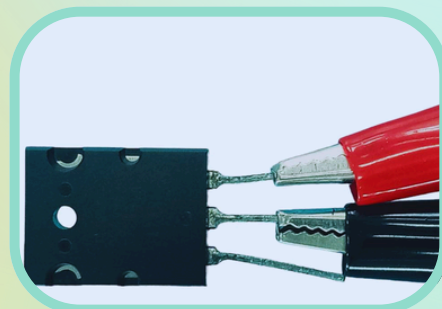
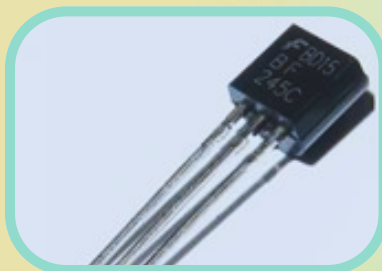
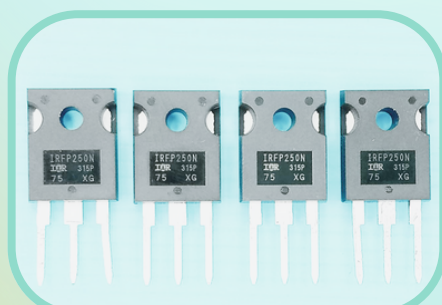
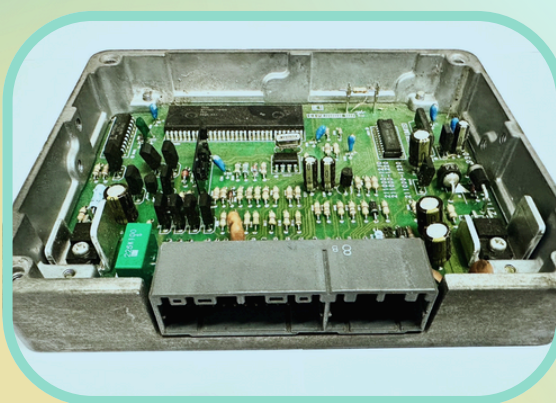




ชุดการสอนที่ 4 อุปกรณ์สารกึ่งตัวนำ

วิชางานอิเล็กทรอนิกส์รถยนต์เบื้องต้น
รหัสวิชา 20101-2103
หลักสูตรประกาศนียบัตรวิชาชีพ พุทธศักราช 2562



นายจิรโรจน์ เลิศธนเปี่ยมสุข
ตำแหน่งครู วิทยฐานะครูชำนาญการพิเศษ

วิทยาลัยเทคนิคศรีสะเกษ
สำนักงานคณะกรรมการการอาชีวศึกษา
กระทรวงศึกษาธิการ

คำนำ

ชุดการสอนวิชางานอิเล็กทรอนิกส์รถยนต์เบื้องต้น รหัสวิชา 2101-2103 นี้ จัดทำขึ้นเพื่อใช้สำหรับประกอบการเรียนการสอน ตามจุดประสงค์รายวิชา สมรรถนะรายวิชาและคำอธิบายรายวิชา หลักสูตรประกาศนียบัตรวิชาชีพ พุทธศักราช 2562

เนื้อหาวิชางานอิเล็กทรอนิกส์รถยนต์เบื้องต้น รหัสวิชา 2101-2103 ในชุดการสอนนี้ ประกอบด้วย ชุดการสอนที่ 1 เรื่อง เครื่องมือวัดและทดสอบอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ ชุดการสอนที่ 2 เรื่อง ตัวต้านทาน ชุดการสอนที่ 3 เรื่อง ตัวเก็บประจุ ชุดการสอนที่ 4 เรื่อง อุปกรณ์สารกึ่งตัวนำ ชุดการสอนที่ 5 เรื่อง อุปกรณ์สารกึ่งตัวนำทางแสง ชุดการสอนที่ 6 เรื่อง อุปกรณ์ตรวจจับและส่งสัญญาณในรถยนต์ ชุดการสอนที่ 7 เรื่อง อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ในระบบประจุไฟฟ้ารถยนต์ วัตถุประสงค์ของการจัดทำชุดการสอนนี้ เพื่อต้องการเผยแพร่ให้ผู้ที่ต้องการศึกษา และผู้สนใจได้อ่านและนำไปใช้เป็นประโยชน์ต่อตนเอง และสามารถแนะนำผู้อื่นได้ ในแผนการจัดการเรียนรู้ ประกอบด้วยเนื้อหาทฤษฎี ใบแบบฝึกหัด แบบทดสอบก่อนเรียน แบบทดสอบหลังเรียน ใบมอบงาน และใบงาน เนื้อหามีการลำดับขั้นตอนที่เหมาะสม ในแต่ละหน่วยการเรียนรู้มีการอธิบายขั้นตอนภาพประกอบและนำข้อมูลต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องมาเสริมเนื้อหาให้มีความสมบูรณ์ยิ่งขึ้น กล่าวคือ เมื่อได้อ่านแล้วจะมีความเข้าใจได้ง่ายสามารถนำไปสู่ปฏิบัติงานได้และเป็นพื้นฐานสำหรับการศึกษาในวิชางานอิเล็กทรอนิกส์รถยนต์เบื้องต้น ได้อย่างมีประสิทธิภาพ ผู้จัดทำได้เตรียมแบบประเมินผล ใบมอบงาน แบบประเมินผลการปฏิบัติงาน แบบประเมินคุณธรรม จริยธรรม ค่านิยมและคุณลักษณะอันพึงประสงค์ แบบสรุปผลการประเมินคุณธรรม จริยธรรม ค่านิยม และคุณลักษณะอันพึงประสงค์ และบันทึกหลังการสอนเพื่อให้การจัดกิจกรรมระหว่างครูและผู้เรียนบรรลุตามวัตถุประสงค์

ผู้จัดทำมีความตั้งใจ และความมุ่งมั่นในการที่จะพัฒนากระบวนการเรียนการสอนให้เกิดคุณภาพและประสิทธิภาพ หวังเป็นอย่างยิ่งว่าชุดการสอนวิชางานอิเล็กทรอนิกส์รถยนต์เบื้องต้น รหัสวิชา 2101-2103 นี้ จะเป็นประโยชน์แก่ครูผู้สอน ความดีของชุดการสอนนี้สำเร็จขึ้นได้ ขอมอบแก้บิดามารดา ครูอาจารย์ และผู้มีพระคุณทุกท่าน หากมีข้อเสนอแนะหรือติชมประการใดผู้จัดทำขอน้อมรับเพื่อนำมาใช้ในการปรับปรุงแก้ไข และพัฒนาจะได้เกิดประโยชน์สูงสุดแก่ผู้ศึกษาและผู้สนใจต่อไป จึงขอขอบพระคุณเป็นอย่างสูงมา ณ โอกาสนี้

จิรโรจน์ เลิศชนเปี่ยมสุข

สารบัญ

เรื่อง	หน้า
คำนำ	ก
สารบัญ	๗
สารบัญรูป	ง
สารบัญตาราง	จ
หลักสูตรรายวิชา	1
การวิเคราะห์หน่วยการเรียนรู้	2
การกำหนดระดับความสำคัญของแบบทดสอบสอบ	3
โครงการสอนประจำรายวิชา	4
สมรรถนะประจำหน่วย	6
การวิเคราะห์รายละเอียดหัวการเรียนรู้	9
การวิเคราะห์หัวข้อย่อย	11
ตารางวิเคราะห์จุดประสงค์เชิงพฤติกรรม	19
คู่มือครูชุดการสอนที่ 4 เรื่อง อุปกรณ์สารกึ่งตัวนำ	39
โครงการจัดการเรียนรู้ประจำหน่วย	44
แผนการจัดการเรียนรู้ที่ 7	46
แผนการจัดการเรียนรู้ที่ 8	53
แผนการจัดการเรียนรู้ที่ 9	60
แผนการจัดการเรียนรู้ที่ 10	66
เอกสารประกอบการสอน	73
ลำดับขั้นการเรียนรู้ด้วยชุดการสอน	74
คำแนะนำสำหรับผู้เรียน	75
จุดประสงค์เชิงพฤติกรรม	76
แบบทดสอบก่อนเรียนและหลังเรียน	78
เฉลยแบบทดสอบก่อนเรียนและหลังเรียน	80
ใบความรู้ เรื่อง อุปกรณ์สารกึ่งตัวนำ	81
ใบแบบฝึกหัด เรื่อง อุปกรณ์สารกึ่งตัวนำ	126
ใบเฉลยแบบฝึกหัด เรื่อง อุปกรณ์สารกึ่งตัวนำ	129

สารบัญ (ต่อ)

เรื่อง	หน้า
ใบมอบงาน เรื่อง อุปกรณ์สารกึ่งตัวนำ	132
แบบประเมินผลใบมอบงาน เรื่อง การอธิบายเรื่องอุปกรณ์สารกึ่งตัวนำ	133
เกณฑ์การประเมินใบมอบงาน เรื่อง การอธิบายเรื่องอุปกรณ์สารกึ่งตัวนำ	135
ใบงานที่ 4.1 เรื่อง งานวัดและทดสอบไดโอดและซีเนอร์ไดโอด	138
แบบประเมินใบงานที่ 4.1 เรื่อง งานวัดและทดสอบไดโอดและซีเนอร์ไดโอด	146
เกณฑ์การประเมินใบงานที่ 4.1 เรื่อง งานวัดและทดสอบไดโอดและซีเนอร์ไดโอด	147
ใบงานที่ 4.2 เรื่อง งานวัดและทดสอบทรานซิสเตอร์	157
แบบประเมินใบงานที่ 4.2 เรื่อง งานวัดและทดสอบทรานซิสเตอร์	159
เกณฑ์การประเมินใบงานที่ 4.2 เรื่อง งานวัดและทดสอบทรานซิสเตอร์	160
ใบงานที่ 4.3 เรื่อง งานวัดและทดสอบเฟตและเอสซีอาร์	162
แบบประเมินใบงานที่ 4.3 เรื่อง งานวัดและทดสอบเฟตและเอสซีอาร์	174
เกณฑ์การประเมินใบงานที่ 4.3 เรื่อง งานวัดและทดสอบเฟตและเอสซีอาร์	175
แบบประเมินคุณธรรม จริยธรรม ค่านิยมและคุณลักษณะอันพึงประสงค์	179
แบบสรุปประเมินคุณธรรม จริยธรรม ค่านิยมและคุณลักษณะอันพึงประสงค์	180
เกณฑ์การประเมินคุณธรรม จริยธรรม ค่านิยมและคุณลักษณะอันพึงประสงค์	182
แบบสังเกตพฤติกรรมการเรียนรู้	184
เกณฑ์การประเมินแบบสังเกตพฤติกรรมการเรียนรู้	185
บันทึกหลังการสอน	189
บรรณานุกรม	197
ภาคผนวก	198

สารบัญรูป

เรื่อง	หน้า
รูปที่ 4.1 โครงสร้างของอะตอม	81
รูปที่ 4.2 วงอิเล็กทรอนิกส์ของสารซิลิคอนมีอิเล็กตรอน 14 ตัว	82
รูปที่ 4.3 โครงสร้างระดับพลังงานอะตอมของซิลิคอน	82
รูปที่ 4.4 แถบนำและแถบช่องว่างพลังงานของธาตุ	84
รูปที่ 4.5 วัสดุที่เป็นตัวนำ	85
รูปที่ 4.6 วัสดุที่เป็นฉนวน	85
รูปที่ 4.7 พันธะโควาเลนต์ของเจอร์มานเนียมและซิลิคอน	87
รูปที่ 4.8 อิเล็กตรอนอิสระของสารกึ่งตัวนำชนิด P	88
รูปที่ 4.9 อิเล็กตรอนอิสระของสารกึ่งตัวนำชนิด N	88
รูปที่ 4.10 รอยต่อ PN ของสารกึ่งตัวนำ	89
รูปที่ 4.11 โครงสร้างและสัญลักษณ์ของไดโอด	90
รูปที่ 4.12 ลักษณะของไดโอดชนิดต่าง ๆ	91
รูปที่ 4.13 การไบแอสตรงให้กับรอยต่อ P-N	92
รูปที่ 4.14 ทิศทางการไหลของกระแสอิเล็กตรอน	92
รูปที่ 4.15 ทิศทางการไหลของกระแสโฮล	93
รูปที่ 4.16 การไบแอสกลับให้กับรอยต่อ P-N	93
รูปที่ 4.17 กราฟลักษณะทางไฟฟ้าของไดโอด	94
รูปที่ 4.18 กราฟลักษณะทางไฟฟ้าของไดโอด	95
รูปที่ 4.19 ซีเนอร์ไดโอด	95
รูปที่ 4.20 กราฟลักษณะสมบัติทางกระแสและแรงดันของซีเนอร์ไดโอด	96
รูปที่ 4.21 กราฟลักษณะคุณสมบัติของกระแสและแรงดันของซีเนอร์ไดโอดเมื่อได้รับไบแอสกลับ	97
รูปที่ 4.22 โครงสร้าง วงจรเทียบเคียง และสัญลักษณ์ของทรานซิสเตอร์ชนิด NPN	98
รูปที่ 4.23 โครงสร้าง สัญลักษณ์เทียบเคียง และสัญลักษณ์ของทรานซิสเตอร์ชนิด PNP	98
รูปที่ 4.24 ลักษณะของทรานซิสเตอร์ชนิดต่าง ๆ	99
รูปที่ 4.25 หลักการทำงานของทรานซิสเตอร์	100
รูปที่ 4.26 โครงสร้างและสัญลักษณ์ของเจฟfet	101
รูปที่ 4.27 ลักษณะของเจฟfet	101
รูปที่ 4.28 ชนิดของมอสเฟต	102

สารบัญรูป (ต่อ)

เรื่อง	หน้า
รูปที่ 4.29 โครงสร้างและสัญลักษณ์ของ D – MOSFET	102
รูปที่ 4.30 โครงสร้างและสัญลักษณ์ของ E – MOSFET	103
รูปที่ 4.31 ลักษณะของ E – MOSFET	103
รูปที่ 4.32 หลักการทำงานของเจฟfetชนิด N แชลแนล	103
รูปที่ 4.33 หลักการทำงานของเจฟfetชนิด P แชลแนล	104
รูปที่ 4.34 การทำงานของมอสเฟตแบบ D-MOSFET ชนิด P แชลแนล	105
รูปที่ 4.35 การทำงานของมอสเฟตแบบ D-MOSFET ชนิด N แชลแนล	106
รูปที่ 4.36 การทำงานของมอสเฟตแบบ E-MOSFET ชนิด P แชลแนล	107
รูปที่ 4.37 การทำงานของมอสเฟตแบบ E-MOSFET ชนิด N แชลแนล	108
รูปที่ 4.38 โครงสร้างและสัญลักษณ์ของเอสซีอาร์	109
รูปที่ 4.39 เอสซีอาร์ลักษณะต่าง ๆ	109
รูปที่ 4.40 สภาวะนำกระแสของเอสซีอาร์	110
รูปที่ 4.41 การทำให้เอสซีอาร์หยุดนำกระแสด้วยการตัดไฟที่ขั้วบวกของแหล่งจ่ายไฟ	111
รูปที่ 4.42 การทำให้เอสซีอาร์หยุดนำกระแสด้วยวิธีการตัดไฟที่ขั้วลบของแหล่งจ่ายไฟ	111
รูปที่ 4.43 การทำให้เอสซีอาร์หยุดนำกระแสด้วยวิธีการทำบายพาส	112
รูปที่ 4.44 การไบอัสตรงให้กับไดโอด	113
รูปที่ 4.45 ไบอัสกลับให้กับไดโอด	113
รูปที่ 4.46 การวัดและทดสอบซีเนอร์ไดโอด กรณีมีแรงดันมากกว่าแรงดันมัลติมิเตอร์ดิจิทัลดิจิทัล	114
รูปที่ 4.47 การวัดและทดสอบซีเนอร์ไดโอด กรณีมีแรงดันน้อยกว่าแรงดันมัลติมิเตอร์ดิจิทัลดิจิทัล	115
รูปที่ 4.48 การวัดและทดสอบทรานซิสเตอร์ ชนิด NPN ด้วยมัลติมิเตอร์ดิจิทัลดิจิทัล	117
รูปที่ 4.49 การวัดและทดสอบทรานซิสเตอร์ ชนิด PNP ด้วยมัลติมิเตอร์ดิจิทัลดิจิทัล	117
รูปที่ 4.50 ตำแหน่งขามอสเฟต	119
รูปที่ 4.51 การวัด E-MOSFET ชนิด N แชลแนล ด้วยมัลติมิเตอร์แอนะล็อก	120

สารบัญรูป (ต่อ)

เรื่อง	หน้า
รูปที่ 4.52 การวัดระหว่างขา G กับขา K ของเอสซีอาร์	123
รูปที่ 4.53 การวัดระหว่างขา A กับขา K ของเอสซีอาร์	123

สารบัญตาราง

เรื่อง	หน้า
ตารางที่ 4.1 การวัดมอสเฟตแบบ E-MOSFET ด้วยมัลติมิเตอร์แอนะล็อก ดูอาการดี เสีย	120
ตารางที่ 4.2 วิธีทำการทดสอบการทำงานของมอสเฟตแบบ E-MOSFET	121
ตารางที่ 4.3 การวัดมอสเฟตแบบ D-MOSFET ด้วยมัลติมิเตอร์แอนะล็อก	122

หลักสูตรรายวิชา

วิชา งานอิเล็กทรอนิกส์รถยนต์เบื้องต้น รหัสวิชา 20101 – 2103

สาขาวิชาเครื่องกล หลักสูตรประกาศนียบัตรวิชาชีพ พุทธศักราช 2562

ประเภทวิชาอุตสาหกรรม

จุดประสงค์รายวิชา เพื่อให้

1. รู้และเข้าใจเกี่ยวกับโครงสร้างและหลักการของอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์รถยนต์เบื้องต้น
2. สามารถวัดและทดสอบอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์รถยนต์เบื้องต้น
3. มีกิจนิสัยที่ดีในการทำงาน รับผิดชอบ ประณีต รอบคอบ ตรงต่อเวลา สะอาดปลอดภัย

และรักษาสภาพแวดล้อม

สมรรถนะรายวิชา

1. แสดงความรู้เกี่ยวกับโครงสร้างและหลักการของอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์รถยนต์เบื้องต้น
2. ใช้เครื่องมือวัดและทดสอบอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์รถยนต์เบื้องต้น
3. วัดและทดสอบอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์รถยนต์เบื้องต้น

คำอธิบายรายวิชา

ศึกษาและปฏิบัติเกี่ยวกับโครงสร้างและหลักการทำงาน การใช้เครื่องมือวัดและทดสอบ อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ สมบัติทางไฟฟ้าของอุปกรณ์สารกึ่งตัวนำ อุปกรณ์ตรวจจับและส่งสัญญาณ ในการควบคุมรถยนต์

การวิเคราะห์หน่วยการเรียนรู้
 วิชางานอิเล็กทรอนิกส์ยนต์เบื้องต้น รหัสวิชา 20101-2103
 หลักสูตรประกาศนียบัตรวิชาชีพ พุทธศักราช 2562 ประเภทวิชา อุตสาหกรรม
 ทฤษฎี 1 ชั่วโมง/สัปดาห์ ปฏิบัติ 3 ชั่วโมง/สัปดาห์ จำนวน 2 หน่วยกิต

ตารางที่ 1 การวิเคราะห์หน่วยการเรียนรู้และความสอดคล้องของหลักสูตรรายวิชา

หน่วย ที่	ชื่อหน่วย	จุดประสงค์รายวิชา			สมรรถนะรายวิชา		
		ข้อ 1	ข้อ 2	ข้อ 3	ข้อ 1	ข้อ 2	ข้อ 3
1	เครื่องมือวัดและทดสอบอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ยนต์		✓	✓		✓	✓
2	ตัวต้านทาน	✓	✓	✓	✓	✓	✓
3	ตัวเก็บประจุ	✓	✓	✓	✓	✓	✓
4	อุปกรณ์สารกึ่งตัวนำ	✓	✓	✓	✓	✓	✓
5	อุปกรณ์สารกึ่งตัวนำทางแสง	✓	✓	✓	✓	✓	✓
6	อุปกรณ์ตรวจจับและส่งสัญญาณในรถยนต์	✓	✓	✓	✓	✓	✓
7	อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ในระบบประจุไฟฟ้ารถยนต์	✓	✓	✓	✓	✓	✓

การกำหนดระดับความสำคัญของแบบทดสอบสอบ
วิชางานอิเล็กทรอนิกส์ยนต์เบื้องต้น รหัสวิชา 2101-2103
หลักสูตรประกาศนียบัตรวิชาชีพ พุทธศักราช 2562 ประเภทวิชาอุตสาหกรรม
ทฤษฎี 1 ชั่วโมง/สัปดาห์ ปฏิบัติ 3 ชั่วโมง/สัปดาห์ จำนวน 2 หน่วยกิต

ตารางที่ 2 ตารางกำหนดระดับความสำคัญของแบบทดสอบ (Test Blueprint)

ระดับพฤติกรรม ชื่อหน่วย	พุทธิพิสัย						รวม	ลำดับความสำคัญ
	ความจำ	ความเข้าใจ	ประยุกต์ใช้	วิเคราะห์	ประเมินค่า	สร้างสรรค์		
1. เครื่องมือวัดและทดสอบอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ยนต์	2	4	10				16	2
2. ตัวต้านทาน	2	4	7				13	4
3. ตัวเก็บประจุ	3	4	8				15	4
4. อุปกรณ์สารกึ่งตัวนำ	4	5	11				20	1
5. อุปกรณ์สารกึ่งตัวนำทางแสง	3	4	6				13	4
6. อุปกรณ์ตรวจจับและส่งสัญญาณในรถยนต์	3	4	5				12	5
7. อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ในระบบประจุไฟฟ้ารถยนต์	2	3	6				11	6
สอบปลายภาค								
รวม	19	28	53				100	
ลำดับความสำคัญ	3	2	1					

โครงการจัดการเรียนรู้ประจำวิชา

ตารางที่ 3 โครงการจัดการเรียนรู้ประจำวิชาวิชางานอิเล็กทรอนิกส์รถยนต์เบื้องต้น รหัสวิชา 20101-2103

โครงการจัดการเรียนรู้						
วิชางานอิเล็กทรอนิกส์รถยนต์เบื้องต้น รหัสวิชา 20101-2103 ทฤษฎี 1 ปฏิบัติ 3 หน่วยกิต 2						
หลักสูตรประกาศนียบัตรวิชาชีพ พุทธศักราช 2562 ประเภทวิชาอุตสาหกรรม สาขาวิชาช่างยนต์						
ลำดับ ที่	สอน ครั้งที่	หน่วย ที่	ชื่อหน่วยการเรียนรู้	ชม./ครั้ง		ชั่วโมง รวม
				ท.	ป.	
1-4	1-4	1	เครื่องมือวัดและทดสอบอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์รถยนต์ 1.1 คุณสมบัติของเครื่องมือวัดและทดสอบอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์รถยนต์ 1.2 ส่วนประกอบของเครื่องมือวัดและทดสอบอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์รถยนต์ 1.3 การใช้เครื่องมือวัดและทดสอบอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์รถยนต์	4	12	16
5	5	2	ตัวต้านทาน 2.1 หน้าที่ของตัวต้านทาน 2.2 ชนิดของตัวต้านทาน 2.3 การอ่านค่าความต้านทาน 2.4 การต่อวงจรตัวต้านทาน 2.5 การวัดค่าความต้านทาน	1	3	4
6	6	3	ตัวเก็บประจุ 3.1 หน้าที่และคุณสมบัติของตัวเก็บประจุ 3.2 โครงสร้างของตัวเก็บประจุ 3.3 ชนิดของตัวเก็บประจุ 3.4 การอ่านค่าความจุไฟฟ้าตัวเก็บประจุ 3.5 การต่อวงจรตัวเก็บประจุ 3.6 การวัดและทดสอบตัวเก็บประจุ	1	3	4

ตารางที่ 3 โครงการจัดการเรียนรู้ประจำวิชางานอิเล็กทรอนิกส์รถยนต์เบื้องต้น รหัสวิชา 2101-2103 (ต่อ)

สัปดาห์ที่	สอนครั้งที่	หน่วยที่	ชื่อหน่วยการเรียนรู้	ชม./ครั้ง		ชั่วโมงรวม
				ท.	ป.	
7-10	7-10	4	อุปกรณ์สารกึ่งตัวนำ 4.1 โครงสร้างของอะตอม 4.2 ตัวนำ ฉนวน และสารกึ่งตัวนำ 4.3 คุณสมบัติของสารกึ่งตัวนำชนิด P และชนิด N 4.4 หน้าที่และหลักการทำงานของอุปกรณ์สารกึ่งตัวนำ 4.5 การวัดและทดสอบอุปกรณ์สารกึ่งตัวนำ	4	12	16
11-13	11-13	5	อุปกรณ์สารตัวนำทางแสง 5.1 โครงสร้างของสารกึ่งตัวนำทางแสง 5.2 หลักการทำงานของสารกึ่งตัวนำทางแสง 5.3 การวัดและทดสอบอุปกรณ์สารกึ่งตัวนำทางแสง	3	9	12
14-16	14-16	6	อุปกรณ์ตรวจจับและส่งสัญญาณในรถยนต์ 6.1 หน้าที่และโครงสร้างของอุปกรณ์ตรวจจับและส่งสัญญาณในรถยนต์ 6.2 หลักการทำงานของอุปกรณ์ตรวจจับและส่งสัญญาณในรถยนต์ 6.3 การวัดและทดสอบอุปกรณ์ตรวจจับและส่งสัญญาณในรถยนต์	3	9	12
17	17	7	อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ในระบบประจุไฟฟ้ารถยนต์ 7.1 หน้าที่และโครงสร้างของอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ในระบบประจุไฟฟ้ารถยนต์ 7.2 หลักการทำงานของอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ในระบบประจุไฟฟ้ารถยนต์ 7.3 การวัดและทดสอบอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ในระบบประจุไฟฟ้ารถยนต์	1	3	4
18			สอบปลายภาค	1	3	4
รวม				18	54	72

สมรรถนะประจำหน่วย

ตารางที่ 4 รายละเอียดสมรรถนะประจำหน่วย

หน่วย ที่	ชื่อหน่วยการเรียนรู้	หัวข้อการเรียนรู้	สมรรถนะประจำหน่วย
1	เครื่องมือวัดและทดสอบอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์รถยนต์	1.1 คุณสมบัติของเครื่องมือวัดและทดสอบอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์รถยนต์ 1.2 ส่วนประกอบของเครื่องมือวัดและทดสอบอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์รถยนต์ 1.3 การใช้เครื่องมือวัดและทดสอบอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์รถยนต์	1. แสดงความรู้ความเข้าใจเกี่ยวกับคุณสมบัติ ส่วนประกอบของเครื่องมือวัดและทดสอบอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์รถยนต์ 2. ใช้เครื่องมือวัดและทดสอบอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์รถยนต์
2	ตัวต้านทาน	2.1 หน้าที่ของตัวต้านทาน 2.2 ชนิดของตัวต้านทาน 2.3 การอ่านค่าความต้านทาน 2.4 การต่อวงจรตัวต้านทาน 2.5 การวัดค่าความต้านทาน	1. แสดงความรู้ความเข้าใจเกี่ยวกับหน้าที่ ชนิด และการอ่านค่าตัวต้านทาน 2. แสดงความรู้ความเข้าใจเกี่ยวกับการต่อวงจร และการวัดค่าความต้านทาน 3. ต่อวงจรตัวต้านทานและวัดค่าความต้านทาน
3	ตัวเก็บประจุ	3.1 หน้าที่และคุณสมบัติของตัวเก็บประจุ 3.2 โครงสร้างของตัวเก็บประจุ 3.3 ชนิดของตัวเก็บประจุ 3.4 การอ่านค่าความจุไฟฟ้าตัวเก็บประจุ 3.5 การต่อวงจรตัวเก็บประจุ 3.6 การวัดและทดสอบตัวเก็บประจุ	1. แสดงความรู้ความเข้าใจเกี่ยวกับหน้าที่ โครงสร้าง ชนิด และคุณสมบัติตัวเก็บประจุ 2. แสดงความรู้ความเข้าใจเกี่ยวกับการอ่านค่าตัวเก็บประจุ 3. แสดงความรู้ความเข้าใจเกี่ยวกับการต่อวงจร การวัดและทดสอบตัวเก็บประจุ 4. ต่อวงจร วัดและทดสอบตัวเก็บประจุ

ตารางที่ 4 รายละเอียดสมรรถนะประจำหน่วย (ต่อ)

หน่วยที่	ชื่อหน่วยการเรียนรู้	หัวข้อการเรียนรู้	สมรรถนะประจำหน่วย
4	อุปกรณ์สารกึ่งตัวนำ	4.1 โครงสร้างของอะตอม 4.2 ตัวนำ ฉนวน และสารกึ่งตัวนำ 4.3 คุณสมบัติของสารกึ่งตัวนำชนิด P และชนิด N 4.4 หน้าที่และหลักการทำงานของอุปกรณ์สารกึ่งตัวนำ 4.5 การวัดและทดสอบอุปกรณ์สารกึ่งตัวนำ	1. แสดงความรู้ความเข้าใจเกี่ยวกับโครงสร้างของอะตอม 2. แสดงความรู้ความเข้าใจเกี่ยวกับตัวนำ ฉนวน และสารกึ่งตัวนำ 3. แสดงความรู้ความเข้าใจเกี่ยวกับคุณสมบัติของสารกึ่งตัวนำชนิด P และชนิด N 4. แสดงความรู้ความเข้าใจเกี่ยวกับหน้าที่และหลักการทำงานของอุปกรณ์สารกึ่งตัวนำ 5. วัดและทดสอบอุปกรณ์สารกึ่งตัวนำ
5	อุปกรณ์สารตัวนำทางแสง	5.1 โครงสร้างของสารกึ่งตัวนำทางแสง 5.2 หลักการทำงานของสารกึ่งตัวนำทางแสง 5.3 การวัดและทดสอบอุปกรณ์สารกึ่งตัวนำทางแสง	1. แสดงความรู้ความเข้าใจเกี่ยวกับโครงสร้างและหลักการทำงานของสารกึ่งตัวนำทางแสง 2. แสดงความรู้ความเข้าใจเกี่ยวกับการวัดและทดสอบอุปกรณ์สารกึ่งตัวนำทางแสง 2. วัดและทดสอบอุปกรณ์สารกึ่งตัวนำทางแสง
6	อุปกรณ์ตรวจจับและส่งสัญญาณในรถยนต์	6.1 หน้าที่และโครงสร้างของอุปกรณ์ตรวจจับและส่งสัญญาณในรถยนต์	1. แสดงความรู้ความเข้าใจเกี่ยวกับหน้าที่และโครงสร้างของอุปกรณ์ตรวจจับและส่งสัญญาณในรถยนต์

ตารางที่ 4 สมรรถนะประจำหน่วย (ต่อ)

หน่วยที่	ชื่อหน่วยการเรียนรู้	หัวข้อการเรียนรู้	สมรรถนะประจำหน่วย
6	อุปกรณ์ตรวจจับและส่งสัญญาณในรถยนต์	6.2 หลักการทำงานของอุปกรณ์ตรวจจับและส่งสัญญาณในรถยนต์ 6.3 การวัดและทดสอบอุปกรณ์ตรวจจับและส่งสัญญาณในรถยนต์	2. แสดงความรู้ความเข้าใจเกี่ยวกับหลักการทำงานของอุปกรณ์ตรวจจับและส่งสัญญาณในรถยนต์ 3. แสดงความรู้ความเข้าใจเกี่ยวกับการวัดและทดสอบอุปกรณ์ตรวจจับและส่งสัญญาณในรถยนต์ 3. วัดและทดสอบอุปกรณ์ตรวจจับและส่งสัญญาณในรถยนต์
7	อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ในระบบประจุไฟฟ้ารถยนต์	7.1 หน้าที่และโครงสร้างของอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ในระบบประจุไฟฟ้ารถยนต์ 7.2 หลักการทำงานของอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ในระบบประจุไฟฟ้ารถยนต์ 7.3 การวัดและทดสอบอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ในระบบประจุไฟฟ้ารถยนต์	1. แสดงความรู้ความเข้าใจเกี่ยวกับหน้าที่โครงสร้างและหลักการทำงานของอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ในระบบประจุไฟฟ้ารถยนต์ 2. แสดงความรู้ความเข้าใจเกี่ยวกับการวัดและทดสอบอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ในระบบประจุไฟฟ้ารถยนต์ 3. วัดและทดสอบอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ในระบบประจุไฟฟ้ารถยนต์

การวิเคราะห์รายละเอียดหัวข้อการเรียนรู้

ตารางที่ 5 รายละเอียดหัวข้อการเรียนรู้และแหล่งข้อมูลประจำหน่วยการเรียนรู้

หัวข้อการเรียนรู้และแหล่งข้อมูล							
รายวิชางานอิเล็กทรอนิกส์รถยนต์เบื้องต้น รหัสวิชา 20101-2103 ทฤษฎี 1 ปฏิบัติ 3 หน่วยกิต 2							
หลักสูตรประกาศนียบัตรวิชาชีพ พุทธศักราช 2562 สาขาวิชาช่างยนต์ สาขางานยานยนต์							
หน่วยที่	ชื่อหน่วย/หัวข้อการเรียนรู้	แหล่งข้อมูลการเรียนรู้					
		A	B	C	D	E	F
1	เครื่องมือวัดและทดสอบอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์รถยนต์						
	1.1 คุณสมบัติของเครื่องมือวัดและทดสอบอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์รถยนต์	✓	✓	✓	✓	✓	✓
	1.2 ส่วนประกอบของเครื่องมือวัดและทดสอบอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์รถยนต์	✓	✓	✓	✓	✓	✓
	1.3 การใช้เครื่องมือวัดและทดสอบอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์รถยนต์	✓	✓	✓	✓	✓	✓
2	ตัวต้านทาน						
	2.1 หน้าที่ของตัวต้านทาน	✓	✓	✓	✓	✓	✓
	2.2 ชนิดของตัวต้านทาน	✓	✓	✓	✓	✓	✓
	2.3 การอ่านค่าความต้านทาน	✓	✓	✓	✓	✓	✓
	2.4 การต่อวงจรตัวต้านทาน	✓	✓	✓	✓	✓	✓
	2.5 การวัดค่าความต้านทาน	✓	✓	✓	✓	✓	✓
3	ตัวเก็บประจุ						
	3.1 หน้าที่และคุณสมบัติของตัวเก็บประจุ	✓	✓	✓	✓	✓	✓
	3.2 โครงสร้างของตัวเก็บประจุ	✓	✓	✓	✓	✓	✓
	3.3 ชนิดของตัวเก็บประจุ	✓	✓	✓	✓	✓	✓
	3.4 การอ่านค่าความจุไฟฟ้าตัวเก็บประจุ	✓	✓	✓	✓	✓	✓
	3.5 การต่อวงจรตัวเก็บประจุ	✓	✓	✓	✓	✓	✓
	3.6 การวัดและทดสอบตัวเก็บประจุ	✓	✓	✓	✓	✓	✓
4	สารกึ่งตัวนำ						
	4.1 โครงสร้างของอะตอม	✓	✓	✓	✓	✓	✓
	4.2 ตัวนำ ฉนวน และสารกึ่งตัวนำ	✓	✓	✓	✓	✓	✓

การวิเคราะห์หัวข้อย่อย

ตารางที่ 6 แสดงการวิเคราะห์หัวข้อย่อย วิชางานอิเล็กทรอนิกส์รถยนต์เบื้องต้น รหัสวิชา 20101-2103

หลักสูตรประกาศนียบัตรวิชาชีพ พุทธศักราช 2562 หน่วยที่ 1 เรื่อง เครื่องมือวัดและทดสอบ
อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์รถยนต์

ลำดับที่	หัวข้อย่อย	แหล่งข้อมูล					
		A	B	C	D	E	F
1	คุณสมบัติของเครื่องมือวัดและทดสอบอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์รถยนต์	✓	✓	✓	✓	✓	✓
2	ส่วนประกอบของเครื่องมือวัดและทดสอบอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์รถยนต์	✓	✓	✓	✓	✓	✓
3	การใช้เครื่องมือวัดและทดสอบอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์รถยนต์	✓	✓	✓	✓	✓	✓
4	ปฏิบัติตามใบมอบงาน	✓	✓	✓	✓	✓	✓
5	ปฏิบัติงานตามใบงาน	✓	✓	✓	✓	✓	✓

แหล่งข้อมูล

A : หลักสูตรรายวิชา

B : ประสบการณ์ของผู้สอน

C : ผู้เชี่ยวชาญ

D : ตำราหรือเอกสารที่เกี่ยวข้อง

E : สถานประกอบการ

F : สื่อออนไลน์ อื่นๆ

การวิเคราะห์หัวข้อย่อย

ตารางที่ 7 แสดงการวิเคราะห์หัวข้อย่อย วิชางานอิเล็กทรอนิกส์รถยนต์เบื้องต้น รหัสวิชา 20101-2103

หลักสูตรประกาศนียบัตรวิชาชีพ พุทธศักราช 2562 หน่วยที่ 2 เรื่อง ตัวต้านทาน

ลำดับที่	หัวข้อย่อย	แหล่งข้อมูล					
		A	B	C	D	E	F
1	หน้าที่และชนิดของตัวต้านทาน	✓		✓	✓		
2	การอ่านค่าความต้านทาน	✓		✓	✓		
3	การต่อวงจรตัวต้านทาน	✓		✓	✓		
4	การวัดค่าต่าง ๆ ในวงจรตัวต้านทาน	✓		✓	✓		
5	ปฏิบัติตามใบมอบงาน	✓		✓	✓		
6	ปฏิบัติงานตามใบงาน	✓		✓	✓		

แหล่งข้อมูล

A : หลักสูตรรายวิชา

B : ประสบการณ์ของผู้สอน

C : ผู้เชี่ยวชาญ

D : ตำราหรือเอกสารที่เกี่ยวข้อง

E : สถานประกอบการ

F : สื่อออนไลน์ อื่นๆ

การวิเคราะห์หัวข้อย่อย

ตารางที่ 8 แสดงการวิเคราะห์หัวข้อย่อย วิชางานอิเล็กทรอนิกส์ยนต์เบื้องต้น รหัสวิชา 20101-2103
หลักสูตรประกาศนียบัตรวิชาชีพ พุทธศักราช 2562 หน่วยที่ 3 เรื่อง ตัวเก็บประจุ

ลำดับที่	หัวข้อย่อย	แหล่งข้อมูล					
		A	B	C	D	E	F
1	หน้าที่และคุณสมบัติของตัวเก็บประจุ	✓	✓	✓	✓	✓	✓
2	โครงสร้างของตัวเก็บประจุ	✓	✓	✓	✓	✓	✓
3	ชนิดของตัวเก็บประจุ	✓	✓	✓	✓	✓	✓
4	การอ่านค่าความจุไฟฟ้าตัวเก็บประจุ	✓	✓	✓	✓	✓	✓
5	การต่อวงจรตัวเก็บประจุ	✓	✓	✓	✓	✓	✓
6	การวัดและทดสอบตัวเก็บประจุ	✓	✓	✓	✓	✓	✓
7	ปฏิบัติตามใบมอบงาน	✓	✓	✓	✓	✓	✓
8	ปฏิบัติงานตามใบงาน	✓	✓	✓	✓	✓	✓

แหล่งข้อมูล

A : หลักสูตรรายวิชา B : ประสบการณ์ของผู้สอน C : ผู้เชี่ยวชาญ
D : ตำราหรือเอกสารที่เกี่ยวข้อง E : สถานประกอบการ F : สื่อออนไลน์ อื่นๆ

การวิเคราะห์หัวข้อย่อย

ตารางที่ 9 แสดงการวิเคราะห์หัวข้อย่อย วิชางานอิเล็กทรอนิกส์รถยนต์เบื้องต้น รหัสวิชา 20101-2103
หลักสูตรประกาศนียบัตรวิชาชีพ พุทธศักราช 2562 หน่วยที่ 4 เรื่อง อุปกรณ์สารกึ่งตัวนำ

ลำดับที่	หัวข้อย่อย	แหล่งข้อมูล					
		A	B	C	D	E	F
1	โครงสร้างของอะตอม	✓	✓	✓	✓	✓	✓
2	ตัวนำ ฉนวน และสารกึ่งตัวนำ	✓	✓	✓	✓	✓	✓
3	คุณสมบัติของสารกึ่งตัวนำ	✓	✓	✓	✓	✓	✓
4	หน้าที่และหลักการทำงานของอุปกรณ์สารกึ่งตัวนำ	✓	✓	✓	✓	✓	✓
5	การวัดและทดสอบอุปกรณ์สารกึ่งตัวนำ	✓	✓	✓	✓	✓	✓
6	ปฏิบัติตามใบมอบงาน	✓	✓	✓	✓	✓	✓
7	ปฏิบัติงานตามใบงาน	✓	✓	✓	✓	✓	✓

แหล่งข้อมูล

A : หลักสูตรรายวิชา

B : ประสบการณ์ของผู้สอน

C : ผู้เชี่ยวชาญ

D : ตำราหรือเอกสารที่เกี่ยวข้อง

E : สถานประกอบการ

F : สื่อออนไลน์ อื่นๆ

การวิเคราะห์หัวข้อย่อย

ตารางที่ 10 แสดงการวิเคราะห์หัวข้อย่อย วิชางานอิเล็กทรอนิกส์ยนต์เบื้องต้น รหัสวิชา 20101-2103

หลักสูตรประกาศนียบัตรวิชาชีพ พุทธศักราช 2562 หน่วยที่ 5 เรื่อง สารกึ่งตัวนำทางแสง

ลำดับที่	หัวข้อย่อย	แหล่งข้อมูล					
		A	B	C	D	E	F
1	โครงสร้างของสารกึ่งตัวนำทางแสง	✓	✓	✓	✓	✓	✓
2	หลักการทำงานของสารกึ่งตัวนำทางแสง	✓	✓	✓	✓	✓	✓
3	การวัดและทดสอบอุปกรณ์สารกึ่งตัวนำทางแสง	✓	✓	✓	✓	✓	✓
4	ปฏิบัติตามใบมอบบงาน	✓	✓	✓	✓	✓	✓
5	ปฏิบัติงานตามใบงาน	✓	✓	✓	✓	✓	✓

แหล่งข้อมูล

A : หลักสูตรรายวิชา B : ประสบการณ์ของผู้สอน C : ผู้เชี่ยวชาญ
D : ตำราหรือเอกสารที่เกี่ยวข้อง E : สถานประกอบการ F : สื่อออนไลน์ อื่นๆ

การวิเคราะห์หัวข้อย่อย

ตารางที่ 12 แสดงการวิเคราะห์หัวข้อย่อย วิชางานอิเล็กทรอนิกส์รถยนต์เบื้องต้น รหัสวิชา 20101-2103
หลักสูตรประกาศนียบัตรวิชาชีพ พุทธศักราชการ 2562 หน่วยที่ 7 เรื่อง อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์
ในระบบประจุไฟฟ้ารถยนต์

ลำดับที่	หัวข้อย่อย	แหล่งข้อมูล					
		A	B	C	D	E	F
1	หน้าที่ของอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ในระบบประจุไฟฟ้ารถยนต์	✓	✓	✓	✓	✓	✓
2	หลักการทำงานของอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ในระบบประจุไฟฟ้ารถยนต์	✓	✓	✓	✓	✓	✓
3	การวัดและทดสอบอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ในระบบประจุไฟฟ้ารถยนต์	✓	✓	✓	✓	✓	✓
4	ปฏิบัติตามใบมอบงาน	✓	✓	✓	✓	✓	✓
5	ปฏิบัติงานตามใบงาน	✓	✓	✓	✓	✓	✓

แหล่งข้อมูล

A : หลักสูตรรายวิชา B : ประสบการณ์ของผู้สอน C : ผู้เชี่ยวชาญ
D : ตำราหรือเอกสารที่เกี่ยวข้อง E : สถานประกอบการ F : สื่อออนไลน์ อื่นๆ

ตารางที่ 13 Job Listing Sheet. ประจำหน่วยการเรียนรู้ รายวิชางานอิเล็กทรอนิกส์รถยนต์
เบื้องต้นรหัสวิชา 20101-2103 หลักสูตรประกาศนียบัตรวิชาชีพ พุทธศักราช 2562

Job Listing Sheet	
วิชางานอิเล็กทรอนิกส์รถยนต์เบื้องต้น รหัสวิชา 20101-2103 ทฤษฎี 1 ปฏิบัติ 3 หน่วยกิต 2	
หน่วยที่/ชื่อหน่วย	ชื่องาน (Jobs)
1. เครื่องมือวัดและทดสอบอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์รถยนต์	ใบงานที่ 1.1 เรื่อง งานใช้งานมัลติมิเตอร์วัดค่าต่าง ๆ ของอุปกรณ์
	ใบงานที่ 1.2 เรื่อง งานการใช้งานออสซิลโลสโคป
	ใบงานที่ 1.3 เรื่อง งานประยุกต์ใช้เครื่องมือวัดและทดสอบอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์
2. ตัวต้านทาน	ใบงานที่ 2.1 เรื่อง งานต่อวงจรไฟฟ้าแบบต่าง ๆ และวัดค่าในวงจรตัวต้านทาน
3. ตัวเก็บประจุ	ใบงานที่ 3.1 เรื่อง งานต่อวงจรและวัดค่าในวงจรตัวเก็บประจุ
4. สารกึ่งตัวนำ	ใบงานที่ 4.1 เรื่อง งานวัดและทดสอบไดโอดและซีเนอร์ไดโอด
	ใบงานที่ 4.2 เรื่อง งานวัดและทดสอบทรานซิสเตอร์
	ใบงานที่ 4.3 เรื่อง งานวัดและทดสอบเฟตและเอสซีอาร์
5. สารกึ่งตัวนำทางแสง	ใบงานที่ 5.1 เรื่อง งานวัดและทดสอบไดโอดเปล่งแสง
	ใบงานที่ 5.2 เรื่อง งานวัดและทดสอบโฟโตไดโอดและโฟโตทรานซิสเตอร์
6. อุปกรณ์ตรวจจับและส่งสัญญาณในรถยนต์	ใบงานที่ 6.1 เรื่อง งานวัดและทดสอบตัวตรวจจับและส่งสัญญาณแรงดันอากาศ
	ใบงานที่ 6.2 เรื่อง งานวัดและทดสอบตัวตรวจจับและส่งสัญญาณเพลลาข้อเหวี่ยง
	ใบงานที่ 6.3 เรื่อง งานวัดและทดสอบตัวตรวจจับและส่งสัญญาณอัตราการไหลของอากาศ
7. อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ในระบบประจุไฟฟ้ารถยนต์	ใบงานที่ 7.1 เรื่อง งานวัดและทดสอบอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ในระบบประจุไฟฟ้ารถยนต์

การวิเคราะห์จุดประสงค์เชิงพฤติกรรม

ตารางที่ 14 แสดงการวิเคราะห์จุดประสงค์เชิงพฤติกรรม วิชางานอิเล็กทรอนิกส์ยนต์เบื้องต้น
รหัสวิชา 20101-2103 หลักสูตรประกาศนียบัตรวิชาชีพ พุทธศักราช 2562

ชื่อหน่วย/หัวข้อย่อย	ระดับพฤติกรรมที่พึงประสงค์															
	พุทธิพิสัย						ทักษะพิสัย					จิตพิสัย				
	1	2	3	4	5	6	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5
หน่วยที่ 1 เครื่องมือวัดและทดสอบอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์รถยนต์																
1.1 คุณสมบัติของเครื่องมือวัดและทดสอบอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์รถยนต์		✓											✓			
1.2 ส่วนประกอบของเครื่องมือวัดและทดสอบอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์รถยนต์		✓						✓					✓			
1.3 การใช้เครื่องมือวัดและทดสอบอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์รถยนต์		✓						✓					✓			
1.4 ปฏิบัติตามใบมอบงาน		✓						✓					✓			
1.5 ปฏิบัติงานตามใบงาน		✓											✓			
หน่วยที่ 2 ตัวต้านทาน																
2.1 หน้าที่และชนิดของตัวต้านทาน	✓												✓			
2.2 การอ่านค่าความต้านทาน		✓						✓					✓			
2.3 การต่อวงจรตัวต้านทาน		✓						✓					✓			
2.4 การวัดค่าต่าง ๆ ในวงจรตัวต้านทาน		✓						✓					✓			
2.5 ปฏิบัติตามใบมอบงาน		✓						✓					✓			
2.6 ปฏิบัติงานตามใบงาน		✓						✓					✓			
หน่วยที่ 3 ตัวเก็บประจุ																
3.1 หน้าที่และคุณสมบัติของตัวเก็บประจุ	✓												✓			
3.2 โครงสร้างของตัวเก็บประจุ		✓											✓			
3.3 ชนิดของตัวเก็บประจุ		✓											✓			
3.4 การอ่านค่าความจุไฟฟ้าตัวเก็บประจุ			✓										✓			
3.5 การต่อวงจรตัวเก็บประจุ		✓						✓					✓			
3.6 การวัดและทดสอบตัวเก็บประจุ		✓						✓					✓			

ตารางที่ 14 แสดงการวิเคราะห์จุดประสงค์เชิงพฤติกรรม วิชางานอิเล็กทรอนิกส์ยนต์เบื้องต้น
รหัสวิชา 20101-2103 หลักสูตรประกาศนียบัตรวิชาชีพ พุทธศักราช 2562 (ต่อ)

ชื่อหน่วย/หัวข้อย่อย	ระดับพฤติกรรมที่พึงประสงค์															
	พุทธิพิสัย						ทักษะพิสัย					จิตพิสัย				
	1	2	3	4	5	6	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5
หน่วยที่ 3 ตัวเก็บประจุ (ต่อ)																
3.7 ปฏิบัติตามใบมอบงาน		✓						✓					✓			
3.8 ปฏิบัติงานตามใบงาน		✓						✓				✓				
หน่วยที่ 4 สารกึ่งตัวนำ																
4.1 โครงสร้างของอะตอม		✓										✓				
4.2 ตัวนำ ฉนวน และสารกึ่งตัวนำ		✓										✓				
4.3 คุณสมบัติของสารกึ่งตัวนำ		✓											✓			
4.4 หน้าที่และหลักการทำงานของอุปกรณ์สารกึ่งตัวนำ		✓											✓			
4.5 การวัดและทดสอบอุปกรณ์สารกึ่งตัวนำ		✓						✓				✓				
4.6 ปฏิบัติตามใบมอบงาน		✓						✓					✓			
4.7 ปฏิบัติงานตามใบงาน			✓					✓					✓			
หน่วยที่ 5 สารกึ่งตัวนำทางแสง																
5.1 โครงสร้างของสารกึ่งตัวนำทางแสง		✓						✓				✓				
5.2 หลักการทำงานของสารกึ่งตัวนำทางแสง		✓						✓					✓			
5.3 การวัดและทดสอบอุปกรณ์สารกึ่งตัวนำทางแสง		✓						✓					✓			
5.4 ปฏิบัติตามใบมอบงาน		✓						✓								
5.5 ปฏิบัติงานตามใบงาน		✓						✓					✓			
หน่วยที่ 6 อุปกรณ์ตรวจจับและส่งสัญญาณในรถยนต์																
6.1 หน้าที่และโครงสร้างของอุปกรณ์ตรวจจับและส่งสัญญาณในรถยนต์		✓											✓			
6.2 หลักการทำงานของอุปกรณ์ตรวจจับและส่งสัญญาณในรถยนต์		✓											✓			
6.3 การวัดและทดสอบอุปกรณ์ตรวจจับและส่งสัญญาณในรถยนต์		✓						✓					✓			

ตารางที่ 14 แสดงการวิเคราะห์จุดประสงค์เชิงพฤติกรรม วิชางานอิเล็กทรอนิกส์รถยนต์เบื้องต้น
รหัสวิชา 20101-2103 หลักสูตรประกาศนียบัตรวิชาชีพ พุทธศักราช 2562 (ต่อ)

ชื่อหน่วย/หัวข้อย่อย	ระดับพฤติกรรมที่พึงประสงค์															
	พุทธิพิสัย						ทักษะพิสัย					จิตพิสัย				
	1	2	3	4	5	6	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5
หน่วยที่ 6 อุปกรณ์ตรวจจับและส่งสัญญาณในรถยนต์ (ต่อ)																
6.4 ปฏิบัติตามใบมอบงาน		✓						✓					✓			
6.5 ปฏิบัติงานตามใบงาน			✓					✓					✓			
หน่วยที่ 7 อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ในระบบประจุไฟฟ้ารถยนต์																
7.1 หน้าที่ของอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ในระบบประจุไฟฟ้ารถยนต์		✓											✓			
7.2 หลักการทำงานของอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ในระบบประจุไฟฟ้ารถยนต์		✓											✓			
7.3 การวัดและทดสอบอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ในระบบประจุไฟฟ้ารถยนต์		✓						✓					✓			
7.4 ปฏิบัติตามใบมอบงาน			✓					✓					✓			
7.5 ปฏิบัติงานตามใบงาน			✓					✓					✓			

หมายเหตุ

พุทธิพิสัย

1 = ความจำ

2 = ความเข้าใจ

3 = การนำไปใช้

4 = การวิเคราะห์

5 = การสังเคราะห์

6 = การประเมินค่า

ทักษะพิสัย

1 = การเลียนแบบ

2 = การทำตามแบบ

3 = การทำอย่างถูกต้องแม่นยำ

4 = การทำอย่างผสมผสาน

5 = การทำอย่างอัตโนมัติ

จิตพิสัย

1 = การรับรู้

2 = การตอบสนอง

3 = การเห็นคุณค่า

4 = การจัดระบบการคิด

5 = การมีลักษณะเฉพาะตน

ตารางที่ 15 รายการงาน (Task Listing Sheet.) ใบงานที่ 4.1

Task Listing Sheet	
วิชางานอิเล็กทรอนิกส์ยนต์เบื้องต้น รหัสวิชา 20101-2103 ทฤษฎี 1 ปฏิบัติ 3 หน่วยกิต 2 หน่วยที่ 4 อุปกรณ์สารกึ่งตัวนำ ใบงานที่ 4.1 เรื่อง งานวัดและตรวจสอบไอโอดและซีเนอร์ไดโอด	
ชื่องาน (Jobs)	ขั้นตอนการทำงาน Tasks (steps) in performing the job
ใบงานที่ 4.1 เรื่อง งานวัดและตรวจสอบ ไอโอดและซีเนอร์ ไดโอด	1. เตรียมเครื่องมือ อุปกรณ์ได้ถูกต้อง 2. ใช้มัลติมิเตอร์วัดไดโอดได้ถูกต้อง 3. สรุปผลการวัดและทดสอบไดโอดได้ถูกต้อง 4. ใช้มัลติมิเตอร์วัดและทดสอบซีเนอร์ไดโอดได้ถูกต้อง 5. สรุปผลการวัดและทดสอบซีเนอร์ไดโอดได้ถูกต้อง 6. ปฏิบัติงานเสร็จตรงตามเวลาที่กำหนด 7. การทำความสะอาดและจัดเก็บเครื่องมือ อุปกรณ์

ตารางที่ 16 รายละเอียดรายการงาน (Task Detailing Sheet.) ใบงานที่ 4.1

Task Detailing Sheet												
วิชางานอิเล็กทรอนิกส์รถยนต์เบื้องต้น รหัสวิชา 20101-2103 ทฤษฎี 1 ปฏิบัติ 3 หน่วยกิต 2												
หน่วยที่ 4 อุปกรณ์สารกึ่งตัวนำ												
ใบงานที่ 4.1 เรื่อง งานวัดและตรวจสอบไอโอดและซีเนอร์ไดโอด												
Tasks (or steps)	Knowledge	N	O	TK			Skills	N	O	TS		
				R	A	T				I	C	A
1. เตรียมเครื่องมืออุปกรณ์ได้ถูกต้อง	มีความรู้และเข้าใจการใช้งานคุณลักษณะเฉพาะและข้อกำหนดของเครื่องมือแต่ละชนิดที่เกี่ยวข้องกับงาน	x		x	x		เลือกเครื่องมืออุปกรณ์ที่เหมาะสมกับลักษณะงานและสภาพแวดล้อม	x		x	x	
	เข้าใจหลักการความปลอดภัยในการเลือกใช้และจัดเตรียมเครื่องมืออุปกรณ์	x		x	x		ตรวจสอบความพร้อมและความปลอดภัยของเครื่องมือและอุปกรณ์ก่อนนำไปใช้งาน	x		x	x	
2. ใช้มัลติมิเตอร์วัดไดโอดได้ถูกต้อง	มีความรู้และเข้าใจการเลือกย่านการวัดไดโอด	x		x	x		มีทักษะเลือกย่านการวัดไดโอดที่เหมาะสมและถูกต้อง	x		x	x	
	มีความรู้และเข้าใจหลักการวัดและทดสอบไดโอด	x		x	x		มีทักษะเกี่ยวกับหลักการวัดและทดสอบไดโอดที่ถูกต้อง	x		x	x	
	มีความรู้และเข้าใจหลักการอ่านค่าจากการหลักการวัดและทดสอบไดโอด	x		x	x		สามารถอ่านค่าที่ได้จากการวัดและทดสอบไดโอดถูกต้อง	x		x	x	

Task Detailing Sheet

วิชางานอิเล็กทรอนิกส์ยนต์เบื้องต้น รหัสวิชา 20101-2103 ทฤษฎี 1 ปฏิบัติ 3 หน่วยกิต 2
หน่วยที่ 4 อุปกรณ์สารกึ่งตัวนำ
ใบงานที่ 4.1 เรื่อง งานวัดและตรวจสอบโอโอดและซีเนอร์ไดโอด

Tasks (or steps)	Knowledge	N	O	TK			Skills	N	O	TS		
				R	A	T				I	C	A
6. ปฏิบัติงานเสร็จตรงตามเวลาที่กำหนด	มีความรู้ด้านการวางแผนและลำดับความสำคัญของงาน	x		x	x		มีทักษะการจัดการทำงานให้เหมาะสมเพื่อให้เสร็จตามเวลา	x		x	x	
	มีความเข้าใจเกี่ยวกับการจัดสรรเวลาอย่างเหมาะสม	x		x	x		ทักษะการแก้ไขปัญหาและตัดสินใจไม่ให้ส่งผลกระทบต่อการทำงานและเวลาที่กำหนด	x		x	x	
	เข้าใจขั้นตอนและกระบวนการทำงานให้เสร็จตามเวลาที่กำหนด	x		x	x			x		x	x	
7. ทำความสะอาด จัดเก็บเครื่องมือวัดและอุปกรณ์	ความสำคัญของการทำความสะอาดสะอาดเครื่องมือและอุปกรณ์	x		x	x		การตรวจสอบสภาพเครื่องมือวัดก่อนและหลังการใช้งาน	x		x	x	
	การจัดเก็บเครื่องมือวัดและอุปกรณ์	x		x	x		จัดเก็บเครื่องมือวัดอุปกรณ์ในตำแหน่งที่เหมาะสม	x		x	x	

TK= Ty of Knowledge

R = Recalled (การฟื้นความรู้), A = Applied (การประยุกต์ความรู้), T = Transferred Knowledge (การส่งถ่ายความรู้)

TS= Ty of Physical Skills

I = Imitation (ทำได้ตามแบบ), C = Control (ทำได้ถูกต้อง), A = Automation (ทำได้ด้วยความชำนาญ)

ตารางที่ 17 รายการจุดประสงค์งาน (Objective Listing Sheet.) ใบงานที่ 4.1

Objective Listing Sheet												
วิชางานอิเล็กทรอนิกส์ยนต์เบื้องต้น รหัสวิชา 20101-2103 ทฤษฎี 1 ปฏิบัติ 3 หน่วยกิต 2 หน่วยที่ 4 อุปกรณ์สารกึ่งตัวนำ ใบงานที่ 4.1 เรื่อง งานวัดและตรวจสอบไอโอดและเนอร์ไดโอด												
จุดประสงค์เชิงพฤติกรรม (Behavioral Objectives)	ISL						PSL					
	R	U	Ap	An	E	C	I	M	P	A	N	
1. บอกหน้าที่และโครงสร้างของไดโอดได้	x	X	I									
2. บอกหน้าที่และโครงสร้างของซีเนอร์ไดโอดได้	x	X	I									
3. อธิบายวิธีการวัดและทดสอบไดโอดได้	x	X	I									
4. อธิบายการวัดและทดสอบซีเนอร์ไดโอดได้	x	X	I									
5. วัดและทดสอบไดโอดได้							x	x	I			
6. วัดและทดสอบซีเนอร์ไดโอดได้							x	x	I			
7. ทำความสะอาดเครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการปฏิบัติงานได้							x	x	I			
8. จัดเก็บเครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการปฏิบัติงานได้							x	x	I			

ความหมายของระดับพฤติกรรมการเรียนรู้, (Bloom's Taxonomy ; 2001)

ด้านความรู้

R = จำ (Remembering) U = เข้าใจ (Understanding) Ap = ประยุกต์ใช้, (Applying)

An = วิเคราะห์ (Analyzing) E = ประเมินค่า (Evaluating) C = คิดสร้างสรรค์ (Creating)

ด้านทักษะ

I = สังเกตและเลียนแบบ (Imitation) M = ทำตามได้ (Manipulation) P = ทำได้ถูกต้อง (Precision)

A = เรียนรู้วิธีการทำอย่างถูกต้อง (Articulation) N = ทำได้อย่างอัตโนมัติ (Naturalization)

ระดับความสำคัญ X = สำคัญมากที่สุด, I = สำคัญมาก, O = สำคัญ

ตารางที่ 18 รายการงาน (Task Listing Sheet.) ใบงานที่ 4.2

Task Listing Sheet	
วิชางานอิเล็กทรอนิกส์รถยนต์เบื้องต้น รหัสวิชา 20101-2103 ทฤษฎี 1 ปฏิบัติ 3 หน่วยกิต 2 หน่วยที่ 4 อุปกรณ์สารกึ่งตัวนำ ใบงานที่ 4.2 เรื่อง งานวัดและทดสอบทรานซิสเตอร์	
ชื่องาน (Jobs)	ขั้นตอนการทำงาน Tasks (steps) in performing the job
ใบงานที่ 4.2 เรื่อง งานวัดและทดสอบ ทรานซิสเตอร์	1. เตรียมเครื่องมือ อุปกรณ์ได้ถูกต้อง 2. ใช้มัลติมิเตอร์วัดทรานซิสเตอร์ได้ถูกต้อง 3. วัดหาตำแหน่งขาทรานซิสเตอร์ได้ถูกต้อง 4. วัดและทดสอบอาการดีหรือเสียของทรานซิสเตอร์ 5. ค้นหาข้อมูลทรานซิสเตอร์ในอินเทอร์เน็ตได้ถูกต้อง 6. ปฏิบัติงานเสร็จตรงตามเวลาที่กำหนด 7. การทำความสะอาดและจัดเก็บเครื่องมือ อุปกรณ์

ตารางที่ 19 รายละเอียดรายการงาน (Task Detailing Sheet.) ใบงานที่ 4.2

Task Detailing Sheet												
วิชางานอิเล็กทรอนิกส์รถยนต์เบื้องต้น รหัสวิชา 20101-2103 ทฤษฎี 1 ปฏิบัติ 3 หน่วยกิต 2												
หน่วยที่ 4 อุปกรณ์สารกึ่งตัวนำ												
ใบงานที่ 4.2 เรื่อง งานวัดและทดสอบทรานซิสเตอร์												
Tasks (or steps)	Knowledge	N	O	TK			Skills	N	O	TS		
				R	A	T				I	C	A
1. เตรียมเครื่องมือวัดและอุปกรณ์	ชื่อเครื่องมือวัดและอุปกรณ์	x		x	x		การเลือกเครื่องมือวัดและอุปกรณ์	x		x	x	
	ประเภทของมัลติมิเตอร์	x		x	x		การเลือกใช้มัลติมิเตอร์ได้อย่างเหมาะสม	x		x	x	
	ข้อควรระวังและความปลอดภัยในการใช้มัลติมิเตอร์	x		x	x		การทดสอบการทำงานของเครื่องมือวัดก่อนใช้งานจริง	x		x	x	
2. ใช้มัลติมิเตอร์วัดทรานซิสเตอร์ได้ถูกต้อง	มีความรู้และเข้าใจการเลือกย่านการวัดมัลติมิเตอร์	x		x	x		มีทักษะในการเลือกย่านการวัดมัลติมิเตอร์	x		x	x	
	มีความรู้และเข้าใจการวัดทรานซิสเตอร์ด้วยมัลติมิเตอร์	x		x	x		มีทักษะในการการวัดทรานซิสเตอร์ด้วยมัลติมิเตอร์ที่ถูกต้อง	x		x	x	
	มีความรู้และเข้าใจการอ่านค่าในการวัดทรานซิสเตอร์	x		x	x		มีทักษะในการอ่านค่าจากการวัดทรานซิสเตอร์ที่ถูกต้อง	x		x	x	
3. วัดหาตำแหน่งขาทรานซิสเตอร์ได้ถูกต้อง	มีความรู้และเข้าใจวิธีการวัดหาตำแหน่งขาทรานซิสเตอร์						มีทักษะการวัดหาตำแหน่งขาทรานซิสเตอร์ที่ถูกต้อง					

ตารางที่ 19 รายละเอียดรายการงาน (Task Detailing Sheet.) ใบงานที่ 4.2 (ต่อ)

Task Detailing Sheet												
วิชางานอิเล็กทรอนิกส์รถยนต์เบื้องต้น รหัสวิชา 20101-2103 ทฤษฎี 1 ปฏิบัติ 3 หน่วยกิต 2												
หน่วยที่ 4 อุปกรณ์สารกึ่งตัวนำ												
ใบงานที่ 4.2 เรื่อง งานวัดและทดสอบทรานซิสเตอร์												
Tasks (or steps)	Knowledge	N	O	TK			Skills	N	O	TS		
				R	A	T				I	C	A
	มีความรู้และเข้าใจการอ่านค่าจากการวัดทรานซิสเตอร์ด้วยมัลติมิเตอร์	x		x	x		มีทักษะในการการอ่านค่าจากการวัดทรานซิสเตอร์ด้วยมัลติมิเตอร์					
	ระบุตำแหน่งขาทรานซิสเตอร์จากการวัดด้วยมัลติมิเตอร์	x		x	x		มีทักษะในการระบุตำแหน่งขาทรานซิสเตอร์จากการวัดด้วยมัลติมิเตอร์ที่ถูกต้อง	x		x	x	
4. วัดและทดสอบอาการดีหรือเสียของทรานซิสเตอร์	มีความรู้และเข้าใจวิธีการทดสอบอาการดีหรือเสียของทรานซิสเตอร์	x		x	x		มีทักษะในการทดสอบอาการดีหรือเสียของทรานซิสเตอร์ที่ถูกต้อง	x		x	x	
	สรุปอาการดีหรือเสียของทรานซิสเตอร์จากการวัดด้วยมัลติมิเตอร์	x		x	x							

ตารางที่ 19 รายละเอียดรายการงาน (Task Detailing Sheet.) ใบงานที่ 4.2 (ต่อ)

Task Detailing Sheet												
วิชางานอิเล็กทรอนิกส์สัณยต์เบื้องต้น รหัสวิชา 20101-2103 ทฤษฎี 1 ปฏิบัติ 3 หน่วยกิต 2												
หน่วยที่ 4 อุปกรณ์สารกึ่งตัวนำ												
ใบงานที่ 4.2 เรื่อง งานวัดและทดสอบทรานซิสเตอร์												
Tasks (or steps)	Knowledge	N	O	TK			Skills	N	O	TS		
				R	A	T				I	C	A
5. ค้นหาข้อมูลทรานซิสเตอร์ในอินเทอร์เน็ตได้ถูกต้อง	มีความรู้และเข้าใจในการค้นหาข้อมูลทรานซิสเตอร์ในอินเทอร์เน็ต	x		x	x		มีทักษะในการค้นหาข้อมูลทรานซิสเตอร์ในอินเทอร์เน็ตที่ถูกต้อง	x		x	x	
6. ปฏิบัติงานเสร็จตรงตามเวลาที่กำหนด	มีความรู้ด้านการวางแผนและจัดลำดับความสำคัญของงาน	x		x	x		มีทักษะการจัดการทำงานให้เหมาะสมเพื่อให้เสร็จตามเวลา	x		x	x	
	มีความเข้าใจเกี่ยวกับการจัดสรรเวลาอย่างเหมาะสม	x		x	x		ทักษะการแก้ไขปัญหาและตัดสินใจ ไม่ให้ส่งผลกระทบต่อกำหนดเวลา	x		x	x	
	เข้าใจขั้นตอนและกระบวนการทำงานให้เสร็จตามกำหนด	x		x	x		มีทักษะการสื่อสารให้การดำเนินงานเป็นไปอย่างราบรื่นและเสร็จตามเวลา	x		x		

ตารางที่ 19 รายละเอียดรายการงาน (Task Detailing Sheet.) ใบงานที่ 4.2 (ต่อ)

Task Detailing Sheet												
วิชางานอิเล็กทรอนิกส์สัณยต์เบื้องต้น รหัสวิชา 20101-2103 ทฤษฎี 1 ปฏิบัติ 3 หน่วยกิต 2												
หน่วยที่ 4 อุปกรณ์สารกึ่งตัวนำ												
ใบงานที่ 4.2 เรื่อง งานวัดและทดสอบทรานซิสเตอร์												
Tasks (or steps)	Knowledge	N	O	TK			Skills	N	O	TS		
				R	A	T				I	C	A
7. ทำความสะอาด จัดเก็บ เครื่องมือวัด และอุปกรณ์	ความสำคัญของการทำความสะอาด สะอาดเครื่องมือและ อุปกรณ์	x		x	x		การตรวจสอบสภาพ เครื่องมือวัดก่อนและ หลังการใช้งาน					
	การจัดเก็บเครื่องมือ วัดและอุปกรณ์	x		x	x		จัดเก็บเครื่องมือวัด อุปกรณ์ในตำแหน่ง ที่เหมาะสม	x		x	x	

TK= Ty of Knowledge

R = Recalled (การฟื้นความรู้), A = Applied (การประยุกต์ความรู้), T = Transferred Knowledge (การส่งถ่ายความรู้)

TS= Ty of Physical Skills

I = Imitation (ทำได้ตามแบบ), C = Control (ทำได้ถูกต้อง), A = Automation (ทำได้ด้วยความชำนาญ)

ตารางที่ 20 รายการจุดประสงค์ (Objective Listing Sheet.) ใบงานที่ 4.2

Objective Listing Sheet

วิชางานอิเล็กทรอนิกส์รถยนต์เบื้องต้น รหัสวิชา 20101-2103 ทฤษฎี 1 ปฏิบัติ 3 หน่วยกิต 2
 หน่วยที่ 4 อุปกรณ์สารกึ่งตัวนำ
 ใบงานที่ 4.2 เรื่อง งานวัดและทดสอบทรานซิสเตอร์

จุดประสงค์เชิงพฤติกรรม (Behavioral Objectives)	ISL						PSL					
	R	U	Ap	An	E	C	I	M	P	A	N	
1. บอกหน้าที่ของทรานซิสเตอร์ได้	x	x	I									
2. อธิบายโครงสร้างของทรานซิสเตอร์ได้	x	x	I									
3. อธิบายวิธีการวัดและทดสอบทรานซิสเตอร์ได้	x	x	I									
4. วัดและทดสอบทรานซิสเตอร์ได้								x	x	I		
5. ทำความสะอาดเครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการปฏิบัติงานได้								x	x	I		
6. จัดเก็บเครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการปฏิบัติงานได้								x	x	I		

ความหมายของระดับพฤติกรรมการเรียนรู้, (Bloom's Taxonomy ; 2001)

ด้านความรู้

R = จำ (Remembering) U = เข้าใจ (Understanding) Ap = ประยุกต์ใช้, (Applying)
 An = วิเคราะห์ (Analyzing) E = ประเมินค่า (Evaluating) C = คิดสร้างสรรค์ (Creating)

ด้านทักษะ

I = สังเกตและเลียนแบบ (Imitation) M = ทำตามได้ (Manipulation) P = ทำได้ถูกต้อง (Precision)
 A = เรียนรู้วิธีการทำอย่างถูกต้อง (Articulation) N = ทำได้อย่างอัตโนมัติ (Naturalization)

ระดับความสำคัญ X = สำคัญมากที่สุด, I = สำคัญมาก, O = สำคัญ

ตารางที่ 21 รายการงาน (Task Listing Sheet.) ใบงานที่ 4.3

Task Listing Sheet วิชางานอิเล็กทรอนิกส์รถยนต์เบื้องต้น รหัสวิชา 20101-2103 ทฤษฎี 1 ปฏิบัติ 3 หน่วยกิต 2 หน่วยที่ 4 อุปกรณ์สารกึ่งตัวนำ ใบงานที่ 4.3 เรื่อง งานวัดและทดสอบเฟตและเอสซีอาร์	
ชื่องาน (Jobs)	ขั้นตอนการทำงาน Tasks (steps) in performing the job
ใบงานที่ 4.3 เรื่อง งานวัดและทดสอบ เฟตและเอสซีอาร์	1. เตรียมเครื่องมือ อุปกรณ์ได้ถูกต้อง 2. ใช้มัลติมิเตอร์วัดและทดสอบมอสเฟตได้ถูกต้อง 3. การวัดและทดสอบมอสเฟตแบบ E มอสเฟต 4. การ Trick On และ Trick Off ให้ E มอสเฟต ชนิด N แชลแนล ให้ทำงานและหยุดทำงาน 5. การ Trick On และ Trick Off ให้มอสเฟต ชนิด P แชลแนล ให้ทำงานและหยุดทำงาน 6. ใช้มัลติมิเตอร์วัดและทดสอบเอสซีอาร์ได้ถูกต้อง 7. ทำการวัดและทดสอบเอสซีอาร์ได้ถูกต้อง 8. ปฏิบัติงานเสร็จตรงตามเวลา 9. ทำความสะอาดและจัดเก็บเครื่องมือ อุปกรณ์

ตารางที่ 22 รายละเอียดรายการงาน (Task Detailing Sheet.) ใบงานที่ 4.3

Task Detailing Sheet												
วิชางานอิเล็กทรอนิกส์รถยนต์เบื้องต้น รหัสวิชา 20101-2103 ทฤษฎี 1 ปฏิบัติ 3 หน่วยกิต 2												
หน่วยที่ 4 อุปกรณ์สารกึ่งตัวนำ												
ใบงานที่ 4.3 เรื่อง งานวัดและทดสอบเฟตและเอสซีอาร์												
Tasks (or steps)	Knowledge	N	O	TK			Skills	N	O	TS		
				R	A	T				I	C	A
1. เตรียม เครื่องมือวัด และ อุปกรณ์	รู้และเข้าใจชื่อ เครื่องมือวัด และ อุปกรณ์	x		x	x		การเลือกเครื่องมือวัด และอุปกรณ์	x		x	x	
	รู้และเข้าใจประเภท ของมัลติมิเตอร์	x		x	x		การเลือกใช้ มัลติมิเตอร์ได้อย่าง เหมาะสม	x		x	x	
	ข้อควรระวังและ ความปลอดภัยใน การใช้มัลติมิเตอร์	x		x	x		การทดสอบการทำงาน ของเครื่องมือวัดก่อน ใช้งานจริง	x		x	x	
2. ใช้มัลติ มิเตอร์วัด และทดสอบ มอสเฟตได้ ถูกต้อง	มีความรู้และเข้าใจ การเลือกย่านการ วัดมัลติมิเตอร์ในการ วัดเฟต	x		x	x		มีทักษะการเลือกย่าน การวัดมัลติมิเตอร์ใน การวัดเฟตที่ถูกต้อง	x		x	x	
	มีความรู้และเข้าใจ การวัดเฟต	x		x	x		มีทักษะการวัดการ วัดเฟตที่ถูกต้อง	x		x	x	
	มีความรู้และเข้าใจ หลักการอ่านค่าจาก การวัดเฟต	x x		x x	x x		มีทักษะในการอ่านค่า จากการวัดเฟตที่ ถูกต้อง	x x		x x	x x	
3. การวัด และทดสอบ มอสเฟต แบบ E มอส เฟต	มีความรู้แลเข้าใจ หลักการวัดการวัด และทดสอบมอสเฟ ตแบบ E มอสเฟต	x		x	x		มีทักษะการวัดและ ทดสอบมอสเฟต แบบ E มอสเฟตได้ ถูกต้อง	x		x	x	

ตารางที่ 22 รายละเอียดรายการงาน (Task Detailing Sheet.) ใบงานที่ 4.3 (ต่อ)

Task Detailing Sheet												
วิชางานอิเล็กทรอนิกส์รถยนต์เบื้องต้น รหัสวิชา 20101-2103 ทฤษฎี 1 ปฏิบัติ 3 หน่วยกิต 2												
หน่วยที่ 4 อุปกรณ์สารกึ่งตัวนำ												
ใบงานที่ 4.3 เรื่อง งานวัดและทดสอบเฟตและเอสซีอาร์												
Tasks (or steps)	Knowledge	N	O	TK			Skills	N	O	TS		
				R	A	T				I	C	A
	มีความรู้และเข้าใจวิธีการอ่านค่าจากการวัดและทดสอบมอสเฟตแบบ E มอสเฟต	x		x	x		มีทักษะการอ่านค่าจากการวัดและทดสอบมอสเฟตแบบ E มอสเฟตที่ถูกต้อง	x		x	x	
4. การ Trick On และ Trick Off ให้ E มอสเฟต ชนิด N แชลแนล ให้ทำงานและหยุดทำงาน	มีความรู้และเข้าใจการ Trick On และ Trick Off ให้ E มอสเฟต ชนิด N แชลแนล ให้ทำงานและหยุดทำงาน	x		x	x		มีทักษะการ Trick On และ Trick Off ให้ E มอสเฟต ชนิด N แชลแนล ให้ทำงานและหยุดทำงานที่ถูกต้อง					
5. การ Trick On และ Trick Off ให้มอสเฟต ชนิด P แชลแนล ให้ทำงานและหยุดทำงาน	มีความรู้และเข้าใจการ Trick On และ Trick Off ให้มอสเฟต ชนิด P แชลแนล ให้ทำงานและหยุดทำงาน	x		x	x		มีทักษะการ Trick On และ Trick Off ให้มอสเฟต ชนิด P แชลแนล ให้ทำงานและหยุดทำงานที่ถูกต้อง	x		x	x	

ตารางที่ 22 รายละเอียดรายการงาน (Task Detailing Sheet.) ใบงานที่ 4.3 (ต่อ)

Task Detailing Sheet												
วิชางานอิเล็กทรอนิกส์ยนต์เบื้องต้น รหัสวิชา 20101-2103 ทฤษฎี 1 ปฏิบัติ 3 หน่วยกิต 2												
หน่วยที่ 4 อุปกรณ์สารกึ่งตัวนำ												
ใบงานที่ 4.3 เรื่อง งานวัดและทดสอบเฟตและเอสซีอาร์												
Tasks (or steps)	Knowledge	N	O	TK			Skills	N	O	TS		
				R	A	T				I	C	A
6. ใช้มัลติมิเตอร์วัดและทดสอบเอสซีอาร์ได้ถูกต้อง	มีความรู้และเข้าใจการเลือกย่านมัลติมิเตอร์ในการวัดและทดสอบเอสซีอาร์	x		x	x		มีทักษะในการเลือกย่านมัลติมิเตอร์ในการเลือกย่านการวัดและทดสอบเอสซีอาร์	x		x	x	
	ความรู้และเข้าใจการใช้มัลติมิเตอร์วัดและทดสอบเอสซีอาร์	x		x	x		มีทักษะในการใช้มัลติมิเตอร์วัดและทดสอบเอสซีอาร์ที่ถูกต้อง	x		x	x	
	มีความรู้และเข้าใจการอ่านค่าจากการวัดเอสซีอาร์	x		x	x		มีทักษะในการอ่านค่าจากการวัดเอสซีอาร์ที่ถูกต้อง	x		x	x	
7. ทำการวัดและทดสอบเอสซีอาร์ได้ถูกต้อง	มีความรู้และเข้าใจในการทดสอบเอสซีอาร์	x		x	x		มีทักษะในการทดสอบเอสซีอาร์ที่ถูกต้อง	x		x	x	
	มีความรู้และเข้าใจการทดสอบเอสซีอาร์ที่ปลอดภัย	x		x	x		มีทักษะในการทดสอบเอสซีอาร์ที่ถูกต้องปลอดภัย	x		x	x	
8. ปฏิบัติงานเสร็จตรงตามเวลาที่กำหนด	มีความรู้ด้านการวางแผนและลำดับความสำคัญของงาน	x		x	x		มีทักษะการจัดการทำงานให้เหมาะสมเพื่อให้เสร็จตามเวลา	x		x	x	

Task Detailing Sheet

วิชางานอิเล็กทรอนิกส์ยนต์เบื้องต้น รหัสวิชา 2101-2103 ทฤษฎี 1 ปฏิบัติ 3 หน่วยกิต 2
หน่วยที่ 4 อุปกรณ์สารกึ่งตัวนำ
ใบงานที่ 4.3 เรื่อง งานวัดและทดสอบเพดและเอสซีอาร์

Tasks (or steps)	Knowledge	N	O	TK			Skills	N	O	TS		
				R	A	T				I	C	A
	มีความเข้าใจเกี่ยวกับการจัดสรรเวลาอย่างเหมาะสม	x		x	x		ทักษะการแก้ไขปัญหาและตัดสินใจ ไม่ให้ส่งผลกระทบต่อกรปฏิบัติงาน และเวลาที่กำหนด	x		x	x	
	เข้าใจขั้นตอนและกระบวนการทำงานให้เสร็จตามเวลาที่กำหนด	x		x	x		มีทักษะการสื่อสารให้การดำเนินงานเป็นไปอย่างราบรื่นและเสร็จตามเวลาที่กำหนด	x		x	x	
9. ทำความสะอาด จัดเก็บ เครื่องมือวัด และอุปกรณ์	ความสำคัญของการทำความสะอาดสะอาดเครื่องมือและอุปกรณ์	x		x	x		การตรวจสอบสภาพเครื่องมือวัดก่อนและหลังการใช้งาน					
	การจัดเก็บเครื่องมือวัดและอุปกรณ์	x		x	x		จัดเก็บเครื่องมือวัดอุปกรณ์ในตำแหน่งที่เหมาะสม	x		x	x	

TK= Ty of Knowledge

R = Recalled (การฟื้นความรู้), A = Applied (การประยุกต์ความรู้), T = Transferred Knowledge (การส่งถ่ายความรู้)

TS= Ty of Physical Skills

I = Imitation (ทำได้ตามแบบ), C = Control (ทำได้ถูกต้อง), A = Automation (ทำได้ด้วยความชำนาญ)

คู่มือครู
ชุดการสอนที่ 4
เรื่อง อุปกรณ์สารกึ่งตัวนำ

คำชี้แจง ชุดการสอน เรื่อง อุปกรณ์สารกึ่งตัวนำต้องการให้ผู้เรียนศึกษาเกี่ยวกับโครงสร้างของอะตอม ตัวนำ ฉนวน สารกึ่งตัวนำ คุณสมบัติของสารกึ่งตัวนำชนิด N และชนิด P หน้าที่และหลักการทำงานของสารกึ่งตัวนำ การวัดและทดสอบอุปกรณ์สารกึ่งตัวนำ และการปฏิบัติงานตามใบงาน

1. จุดประสงค์ทั่วไป

เพื่อให้ผู้เรียนมีความรู้ความเข้าใจเกี่ยวกับโครงสร้างของอะตอม ตัวนำ ฉนวน สารกึ่งตัวนำ คุณสมบัติของสารกึ่งตัวนำชนิด N และชนิด P หน้าที่และหลักการทำงานของสารกึ่งตัวนำ การวัดและทดสอบอุปกรณ์ สารกึ่งตัวนำ

2. จุดประสงค์เชิงพฤติกรรม

เพื่อให้ผู้เรียนเรียนเรื่องสารกึ่งตัวนำแล้วสามารถ

1. บอกโครงสร้างของอะตอมได้
2. จำแนกประเภทของสารได้
3. จำแนกชนิดและคุณสมบัติของสารกึ่งตัวนำได้
4. บอกหน้าที่และโครงสร้างของสารกึ่งตัวนำได้
5. อธิบายหลักการทำงานของอุปกรณ์สารกึ่งตัวนำได้
6. วัดและตรวจสอบอุปกรณ์สารกึ่งตัวนำได้
7. ปฏิบัติตามใบมอบงานได้
8. ปฏิบัติงานตามใบงานได้

3. ส่วนประกอบของชุดการสอนที่ 4 เรื่องสารกึ่งตัวนำมีดังนี้

- 3.1 คู่มือครูชุดการสอนที่ 4 เรื่อง อุปกรณ์สารกึ่งตัวนำ
- 3.2 โครงการสอนชุดการสอนที่ 4 เรื่อง อุปกรณ์สารกึ่งตัวนำ
- 3.3 แผนการจัดการเรียนรู้ที่ 7
- 3.4 แผนการจัดการเรียนรู้ที่ 8
- 3.5 แผนการจัดการเรียนรู้ที่ 9
- 3.6 แผนการจัดการเรียนรู้ที่ 10
- 3.7 เอกสารประกอบการสอน เรื่อง อุปกรณ์สารกึ่งตัวนำ

- 3.8 คำแนะนำสำหรับผู้เรียน
- 3.9 จุดประสงค์เชิงพฤติกรรม
- 3.10 แบบทดสอบก่อนเรียนและหลังเรียน เรื่อง อุปกรณ์สารกึ่งตัวนำ
- 3.11 เฉลยแบบทดสอบก่อนเรียนและหลังเรียน เรื่อง อุปกรณ์สารกึ่งตัวนำ
- 3.12 ใบความรู้ เรื่อง อุปกรณ์สารกึ่งตัวนำ
- 3.13 ใบแบบฝึกหัด เรื่อง อุปกรณ์สารกึ่งตัวนำ
- 3.14 เฉลยใบแบบฝึกหัด เรื่อง อุปกรณ์สารกึ่งตัวนำ
- 3.15 ใบมอบงาน เรื่อง การอธิบายเรื่องอุปกรณ์สารกึ่งตัวนำ
- 3.16 แบบประเมินใบมอบงาน เรื่อง การอธิบายเรื่องสารกึ่งตัวนำ
- 3.17 ใบงานที่ 4.1 เรื่อง งานวัดและทดสอบไดโอดและซีเนอร์ไดโอด
- 3.18 แบบบันทึกผลใบงานที่ 4.1 เรื่อง งานวัดและทดสอบไดโอดและซีเนอร์ไดโอด
- 3.19 ใบงานที่ 4.2 เรื่อง งานวัดและทดสอบทรานซิสเตอร์
- 3.20 แบบบันทึกผลใบงานที่ 4.2 เรื่อง งานวัดและทดสอบทรานซิสเตอร์
- 3.21 ใบงานที่ 4.3 เรื่อง งานวัดและทดสอบเพดและเอสซีอาร์
- 3.22 แบบบันทึกผลใบงานที่ 4.3 เรื่อง งานวัดและทดสอบเพดและเอสซีอาร์
- 3.23 แบบประเมินคุณธรรม จริยธรรม ค่านิยม และคุณลักษณะอันพึงประสงค์
- 3.24 แบบสังเกตพฤติกรรมการเรียนรู้
- 3.25 สื่อประกอบการเรียนการสอน เรื่อง อุปกรณ์สารกึ่งตัวนำ
- 3.26 บันทึกหลังการสอน
- 3.27 บรรณานุกรม

4. เวลาที่ใช้

ใช้เวลาในการสอนจำนวน 16 ชั่วโมง

5. การเตรียมการล่วงหน้า

สิ่งที่ครูต้องเตรียมการล่วงหน้า มีดังนี้

- 5.1 ศึกษาคู่มือครูและแผนการสอนที่ 7,8,9,10
- 5.2 ศึกษาชุดการสอนที่ 4 เรื่อง อุปกรณ์สารกึ่งตัวนำ
- 5.3 กิจกรรมเสริมการเรียนรู้ เรื่อง อุปกรณ์สารกึ่งตัวนำ
- 5.4 แบบทดสอบก่อนเรียนและหลังเรียน

- 5.5 ใบแบบฝึกหัด เรื่อง อุปกรณ์สารกึ่งตัวนำ
- 5.6 ใบแบบฝึกหัด เรื่อง อุปกรณ์สารกึ่งตัวนำ
- 5.7 ใบงานที่ 4.1 เรื่อง งานวัดและทดสอบไดโอดและซีเนอร์ไดโอด
- 5.8 ใบงานที่ 4.2 เรื่อง งานวัดและทดสอบทรานซิสเตอร์
- 5.9 ใบงานที่ 4.3 เรื่อง งานวัดและทดสอบเฟตและเอสซีอาร์
- 5.10 แบบประเมินคุณธรรม จริยธรรม ค่านิยม และคุณลักษณะอันพึงประสงค์
- 5.11 แบบสังเกตพฤติกรรมการเรียนรู้

6. สื่อการเรียนการสอน

- 6.1 สื่อสิ่งพิมพ์
 - ชุดการสอนที่ 4 เรื่อง อุปกรณ์สารกึ่งตัวนำ
- 6.2 สื่อโสตทัศน์
 - สื่อ Power Point ประกอบการสอน เรื่อง อุปกรณ์สารกึ่งตัวนำ
- 6.3 สื่อของจริง ได้แก่ สารกึ่งตัวนำชนิดต่าง ๆ
- 6.4 เครื่องมือที่ใช้ในการปฏิบัติงานตามใบงานที่ 4.1, 4.2 และ 4.3

7. การจัดชั้นเรียน

การจัดชั้นเรียนตามปกติสำหรับการสอนทฤษฎี โดยจัดการเรียนการสอนแบบเชิงรุก อภิปราย อธิบายสาธิต จัดกิจกรรมการเรียนรู้โดยให้ผู้เรียนได้เรียนรู้ผ่านการลงมือปฏิบัติ ใช้สื่อภาพเคลื่อนไหว ประกอบ สรุปการเรียนรู้ ภาควิชาจัดกลุ่มการปฏิบัติงานโดยการแบ่งกลุ่มแบบความสามารถ คนเก่ง ปานกลาง และอ่อน อยู่ในกลุ่มเดียวกัน เพื่อให้ผู้เรียนได้ปฏิบัติงานผ่านกระบวนการกลุ่ม โดยครูเตรียมโต๊ะอุปกรณ์ เครื่องมืออุปกรณ์ให้ใช้ครบทุกกลุ่ม ครูสาธิตให้ดูและควบคุมดูแลพฤติกรรมการปฏิบัติงานให้คำชี้แนะหากพบปัญหา

8. วิธีใช้ชุดการสอน

- 8.1 ศึกษาคู่มือครูและแผนการจัดการเรียนรู้
- 8.2 ศึกษาวิธีการใช้สื่อการเรียนการสอน
- 8.2 ศึกษาวิธีการใช้การวัดและทดสอบอุปกรณ์
- 8.3 ศึกษาวิธีการวัดผลและประเมินผล

9. ขั้นตอนการสอน

- 9.1 ครูชี้แจงให้ผู้เรียนรู้เกี่ยวกับบทบาทของผู้เรียนในการใช้ชุดการสอน
- 9.2 ครูชี้แจงกับผู้เรียนตกลงวิธีการวัดผลประเมินผลพร้อมกำหนดเวลาส่งงานกับครู

9.3 การจัดกิจกรรมการเรียนการสอน แบ่งออกเป็นขั้นตอนดังนี้

ขั้นที่ 1 ชี้นำเข้าสู่บทเรียน

ขั้นที่ 2 ขั้นปฏิบัติกิจกรรม

ขั้นที่ 3 ขั้นอภิปรายและสรุป

ขั้นที่ 4 ขั้นประเมินผล

9.4 ขณะผู้เรียนปฏิบัติงานตามใบงาน ครูควรควบคุมดูแลการปฏิบัติงานของผู้เรียน หากผู้เรียนมีปัญหาขณะปฏิบัติงานจะได้ให้คำแนะนำช่วยเหลือ

9.5 ครูควบคุมและติดตามผลการปฏิบัติงานของผู้เรียนให้เป็นไปตามขั้นตอนตามใบงาน

9.6 การสรุปบทเรียนและการปฏิบัติงานควรเป็นกิจกรรมร่วมของผู้เรียนทุกกลุ่มหรือตัวแทนกลุ่มร่วมกันสรุปบทเรียนและการปฏิบัติงาน

9.7 สังเกตพฤติกรรมผู้เรียนระหว่างการเรียนรู้และการปฏิบัติงาน

9.8 ให้ผู้เรียนทำแบบทดสอบหลังเรียนชุดที่ 4 เรื่อง อุปกรณ์สารกึ่งตัวนำ

9.9 ตรวจสอบผลงานการปฏิบัติงานตามใบงาน และแบบทดสอบหลังเรียนแล้วแจ้งผลให้ผู้เรียนทราบ

9.10 สอนซ่อมเสริมหรือมอบหมายงานเพิ่มให้กับผู้เรียนที่ไม่ผ่านเกณฑ์

10. วิธีการใช้สื่อการเรียนการสอนชุดการสอนที่ 4 เรื่อง อุปกรณ์สารกึ่งตัวนำ

ผู้เรียนศึกษาวิธีการเรียนด้วยตนเองจากคู่มือ หรือผู้สอนชี้แจงให้ผู้เรียนทราบถึงวิธีการเรียนด้วยตนเองโดยใช้ชุดการสอน เรื่อง อุปกรณ์สารกึ่งตัวนำ

11. บทบาทของผู้เรียน

11.1 ผู้เรียนต้องปฏิบัติตามคำแนะนำของครูและกลุ่ม

11.2 ผู้เรียนต้องทำกิจกรรมตามที่มอบหมายและร่วมกันอภิปราย

11.3 ผู้เรียนต้องปฏิบัติงานตามใบงาน

11.4 ผู้เรียนต้องส่งงานให้ตรงตามเวลาที่กำหนด

12. การวัดและประเมินผล

12.1 วิธีวัดผล

12.1.1 สังเกตพฤติกรรมการเรียนรู้รายบุคคลระหว่างการเรียนและปฏิบัติงาน

12.1.2 สังเกตพฤติกรรมการเรียนรู้รายกลุ่มระหว่างการเรียนและปฏิบัติงาน

12.1.3 ตรวจสอบผลประเมินผลจากการอภิปราย

12.1.4 ตรวจสอบผลประเมินผลจากแบบฝึกหัด

12.1.5 ตรวจสอบแบบทดสอบก่อนเรียน

- 12.1.6 ตรวจสอบทดสอบหลังเรียน
- 12.1.7 ตรวจสอบผลการปฏิบัติงานตามใบงาน
- 12.1.8 ตรวจสอบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน

12.2 เครื่องมือวัด

- 12.2.1 แบบทดสอบก่อนเรียนและหลังเรียน
- 12.2.2 ใบแบบฝึกหัด เรื่อง อุปกรณ์สารกึ่งตัวนำ
- 12.2.3 แบบประเมินผลใบมอบงาน เรื่อง การอธิบายเรื่องอุปกรณ์สารกึ่งตัวนำ
- 12.2.4 แบบประเมินผลใบงานที่ 4.1 เรื่อง งานวัดและทดสอบไดโอดและซีเนอร์ไดโอด
- 12.2.5 แบบประเมินผลใบงานที่ 4.2 เรื่อง งานวัดและทดสอบทรานซิสเตอร์
- 12.2.6 แบบประเมินผลใบงานที่ 4.3 เรื่อง งานวัดและทดสอบเฟตและเอสซีอาร์
- 12.2.7 แบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน
- 12.2.8 แบบประเมินคุณธรรม จริยธรรม ค่านิยม และคุณลักษณะอันพึงประสงค์
- 12.2.9 แบบสังเกตพฤติกรรมการเรียนรู้

12.3 เกณฑ์การประเมินผล

- 12.2.1 ได้คะแนนพฤติกรรมระหว่างการเรียนรู้และการปฏิบัติงานไม่ต่ำกว่าร้อยละ 70
- 12.3.2 ได้คะแนนรวมตามแบบประเมินผลใบมอบงาน ไม่ต่ำกว่าร้อยละ 70
- 12.3.3 ได้คะแนนจากการประเมินผลใบงาน ไม่ต่ำกว่าร้อยละ 70
- 12.3.4 ได้คะแนนจากการทำแบบบัตรฝึกหัด ไม่ต่ำกว่าร้อยละ 70
- 12.3.5 ได้คะแนนจากแบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน ไม่ต่ำกว่าร้อยละ 70

	โครงการสอนประจำหน่วย	
	ชื่อวิชางานอิเล็กทรอนิกส์รถยนต์เบื้องต้น	รหัสวิชา 20101-2103
	ชื่อหน่วย อุปกรณ์สารกึ่งตัวนำ	จำนวน 16 ชั่วโมง
หน่วยที่ 4 อุปกรณ์สารกึ่งตัวนำ		จำนวน 16 ชั่วโมง
เรื่อง 1. โครงสร้างอะตอม 2. ตัวนำ ฉนวน และสารกึ่งตัวนำ 3. คุณสมบัติของสารกึ่งตัวนำ 4. หลักการทำงานของอุปกรณ์สารกึ่งตัวนำ 5. การวัดและตรวจสอบอุปกรณ์สารกึ่งตัวนำ		
จุดประสงค์การสอน		รายการสอน
1. บอกโครงสร้างของอะตอมได้ 2. จำแนกประเภทของสารได้ 3. จำแนกชนิดและคุณสมบัติของสารกึ่งตัวนำได้ 4. บอกหน้าที่และโครงสร้างของสารกึ่งตัวนำได้ 5. อธิบายหลักการทำงานของอุปกรณ์สารกึ่งตัวนำได้ 6. วัดและตรวจสอบอุปกรณ์สารกึ่งตัวนำได้ 7. ปฏิบัติตามใบมอบงานได้ 8. ปฏิบัติงานตามใบงานได้		1. โครงสร้างของอะตอม 2. ตัวนำ ฉนวน และสารกึ่งตัวนำ 3. คุณสมบัติของสารกึ่งตัวนำ 3.1 สารกึ่งตัวนำชนิด N 3.2 สารกึ่งตัวนำชนิด P 4. หลักการทำงานของอุปกรณ์สารกึ่งตัวนำ 4.1 ไดโอด 4.2 ซีเนอร์ไดโอด 4.3 ทรานซิสเตอร์ 4.4 เฟต 4.5 เอสซีอาร์ 5. การวัดและตรวจสอบอุปกรณ์สารกึ่งตัวนำ 5.1 ไดโอด 5.2 ซีเนอร์ไดโอด 5.3 ทรานซิสเตอร์ 5.4 เฟต 5.5 เอสซีอาร์

	โครงการสอน (ต่อ)	
	ชื่อวิชางานอิเล็กทรอนิกส์รถยนต์เบื้องต้น	รหัสวิชา 20101-2103
	ชื่อหน่วย อุปกรณ์สารกึ่งตัวนำ	จำนวน 16 ชั่วโมง
หน่วยที่ 4 สารกึ่งตัวนำ		จำนวน 16 ชั่วโมง
วิธีการสอน บรรยาย/ถาม-ตอบ สาคิต เวลาปฏิบัติงานตามใบงาน ครูควรกำหนดตามความพร้อมของเครื่องมือและอุปกรณ์		
สื่อการสอน สื่อประกอบการสอน Power Point แผ่นที่ 1-124 สื่อของจริง บัตรใบความรู้ ใบ แบบฝึกหัด ใบงาน แบบทดสอบ		หนังสืออ้างอิง บรรณานุกรม ลำดับที่ 1-3
การประเมิน คะแนนจากการทำแบบทดสอบก่อนเรียนและหลังเรียน แบบประเมินผลใบงาน ใบแบบฝึกหัด แบบประเมินพฤติกรรมระหว่างการเรียนรู้และการปฏิบัติงาน และคะแนนจากแบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์ ทางการเรียน		

แผนการจัดการเรียนรู้ที่ 7

รหัสวิชา 20101-2103 ชื่อวิชางานอิเล็กทรอนิกส์รถยนต์เบื้องต้น 2 (4)
หน่วยที่ 4 ชื่อหน่วย อุปกรณ์สารกึ่งตัวนำ

สอนครั้งที่ 7
จำนวน 4 ชั่วโมง

หัวเรื่อง

1. โครงสร้างของอะตอม
2. ตัวนำ ฉนวน และสารกึ่งตัวนำ
3. คุณสมบัติของสารกึ่งตัวนำ
4. ปฏิบัติงานตามใบมอบงาน

สาระสำคัญ

อะตอม ประกอบด้วยอนุภาคพื้นฐาน 3 ชนิด ได้แก่ โปรตอน นิวตรอน และอิเล็กตรอน วัสดุบางอย่างมีสมบัติเป็นตัวนำไฟฟ้า เป็นฉนวน หรือเป็นสารกึ่งตัวนำ ความเป็นตัวนำไฟฟ้าขึ้นอยู่กับอุณหภูมิ และสิ่งไม่บริสุทธิ์ที่มีเจือปนอยู่ในวัสดุ สารกึ่งตัวนำ (Semiconductor) คือ วัสดุที่มีคุณสมบัติในการนำไฟฟ้าอยู่ระหว่างตัวนำและฉนวน เป็นวัสดุที่ใช้ทำอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ เป็นธาตุหรือสารประกอบ เช่น ธาตุเจอร์เมเนียม ซิลิคอน ซีลีเนียม และตะกั่วเทลลูไรด์ เป็นต้น

จุดประสงค์การเรียนรู้

จุดประสงค์ทั่วไป

เพื่อให้ผู้เรียนมีความรู้ความเข้าใจเกี่ยวกับหน้าที่โครงสร้างของอะตอม ตัวนำ ฉนวน และสารกึ่งตัวนำ คุณสมบัติของสารกึ่งตัวนำชนิด N และชนิด P หน้าที่และหลักการทำงานของสารกึ่งตัวนำ การวัดและทดสอบอุปกรณ์สารกึ่งตัวนำ

จุดประสงค์เชิงพฤติกรรม

1. ด้านความรู้

- 1.1 บอกโครงสร้างของอะตอมได้
- 1.2 จำแนกประเภทของสารได้
- 1.3 จำแนกชนิดและคุณสมบัติของสารกึ่งตัวนำได้
- 1.4 บอกหน้าที่และโครงสร้างของอุปกรณ์สารกึ่งตัวนำได้
- 1.5 อธิบายหลักการทำงานของอุปกรณ์สารกึ่งตัวนำได้

2. ด้านทักษะ

ผู้เรียนมีทักษะในการวัดและทดสอบอุปกรณ์สารกึ่งตัวนำได้

3. ด้านคุณลักษณะอันพึงประสงค์

- 3.1 มีความตรงต่อเวลาและความรับผิดชอบ
- 3.2 มีระเบียบวินัยและการแต่งกายเรียบร้อย
- 3.3 มีความประณีต รอบคอบและปลอดภัย
- 3.4 มีความสะอาดและรักษาสภาพแวดล้อม

กิจกรรมการเรียนรู้การสอน

การจัดกิจกรรมการเรียนรู้ในชั้นเรียนที่ตอบสนองด้านทักษะการจัดการเรียนรู้และการจัดการชั้นเรียน 8 ตัวชี้วัด ดังนี้

ให้ผู้เรียนทำแบบทดสอบก่อนเรียน เรื่อง อุปกรณ์สารกึ่งตัวนำ จำนวน 10 ข้อ (10 นาที)

1. ชี้นำเข้าสู่บทเรียน (20 นาที)

ตัวชี้วัดที่ 1 ผู้เรียนสามารถเข้าถึงสิ่งที่เรียนและเข้าใจบทเรียน

การจัดการเรียนรู้ที่แสดงให้เห็นถึง “คิดค้นและปรับเปลี่ยน (Invent and Transform)”

ครูแจ้งจุดประสงค์การเรียนรู้และเนื้อหาการเรียนรู้ ที่ครูได้สร้างและพัฒนาขึ้นมาใหม่ เพื่อให้ผู้เรียนสามารถเข้าถึงสิ่งที่เรียนและเข้าใจบทเรียน เรื่อง อุปกรณ์สารกึ่งตัวนำ โดยมีจุดประสงค์การเรียนรู้ ดังนี้

1. บอกโครงสร้างของอะตอมได้
2. จำแนกประเภทของสารได้
3. จำแนกชนิดและคุณสมบัติของสารกึ่งตัวนำได้
4. บอกหน้าที่และโครงสร้างของอุปกรณ์สารกึ่งตัวนำได้
5. อธิบายหลักการทำงานของอุปกรณ์สารกึ่งตัวนำ
6. วัดและทดสอบอุปกรณ์สารกึ่งตัวนำได้

ครูออกแบบโครงสร้างกิจกรรม หรือเนื้อหาการเรียนรู้ในชุดการสอนที่ 4 เรื่อง อุปกรณ์สารกึ่งตัวนำ ได้แก่ โครงสร้างของอะตอม ตัวนำ ฉนวน และสารกึ่งตัวนำ คุณสมบัติของสารกึ่งตัวนำชนิด N และชนิด P หน้าที่และหลักการทำงานของสารกึ่งตัวนำ วิธีการวัดและทดสอบอุปกรณ์สารกึ่งตัวนำ

ครูแจ้งการวัดผลประเมินผลด้วยวิธีที่หลากหลาย ได้แก่ แบบทดสอบก่อนเรียน แบบทดสอบหลังเรียน แบบฝึกหัด แบบประเมินใบมอผลงาน แบบประเมินใบงาน แบบสังเกตพฤติกรรมการเรียนรู้ แบบประเมินคุณธรรมจริยธรรม ค่านิยม และลักษณะอันพึงประสงค์ แจ้งระยะเวลาในการจัดการเรียนรู้ตามแผนการจัดการเรียนรู้ที่ 5 ใช้เวลาเรียนรวมทั้งหมด จำนวน 4 ชั่วโมง

ครูแจ้งกิจกรรมการเรียนรู้ ได้แก่ การแบ่งกลุ่มผู้เรียนให้ร่วมกันศึกษา เรื่อง อุปกรณ์สารกึ่งตัวนำการอธิบายตามใบมอบงาน เรื่อง การอธิบายเรื่อง สารกึ่งตัวนำ

ตัวชี้วัดที่ 2 ผู้เรียนสามารถเชื่อมโยงความรู้หรือประสบการณ์เดิมกับการเรียนรู้ใหม่

การจัดการเรียนรู้ที่แสดงให้เห็นถึง “คิดค้นและปรับเปลี่ยน (Invent and Transform)”

ครูนำเข้าสู่บทเรียน เพื่อให้ผู้เรียนเชื่อมโยงความรู้หรือประสบการณ์เดิมกับการเรียนรู้ใหม่ โดยนำอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ที่เป็นฉนวน สารกึ่งตัวนำ และตัวนำ พร้อมกับนำเครื่องมือที่จะใช้ในการในการวัดและทดสอบ ได้แก่ มัลติมิเตอร์แอนะล็อก มัลติมิเตอร์ดิจิทัล ออสซิลโลสโคป เพาเวอร์ซัพพลายแบบ DC มาแสดงให้ผู้เรียนดูและใช้คำถามนำให้ผู้เรียนร่วมอภิปรายครูอธิบายเพื่อเชื่อมโยงเนื้อหาและทบทวนความรู้ประสบการณ์เดิม เชื่อมโยงกับเนื้อหาใหม่ที่จะเรียน เรื่อง อุปกรณ์สารกึ่งตัวนำโดยครูตั้งคำถามเพื่อทดสอบความรู้เดิมของผู้เรียน ตัวอย่างคำถาม

1. จงช่วยกันบอกความหมายของฉนวน และตัวนำ
2. ผู้เรียนรู้หรือไม่ว่าฉนวน และตัวนำ มีคุณสมบัติเหมือนกันหรือแตกต่างกันอย่างไร
3. ให้ผู้เรียนยกตัวอย่างฉนวน และตัวนำ มาคนละ 1 อัน

ครูอธิบายเพื่อเชื่อมโยงเนื้อหาและทบทวนความรู้ประสบการณ์เดิม เรื่อง อุปกรณ์สารกึ่งตัวนำ ที่ครูได้ให้ผู้เรียนศึกษามาล่วงหน้าจากสื่อออนไลน์ อธิบายให้เชื่อมโยงกับเนื้อหาใหม่ที่จะเรียน โดยเฉพาะเรื่อง อุปกรณ์สารกึ่งตัวนำพร้อมกับแสดงสื่อของจริง ได้แก่ ฉนวน สารกึ่งตัวนำ ตัวนำ มัลติมิเตอร์แอนะล็อก มัลติมิเตอร์ดิจิทัล เพาเวอร์ซัพพลายแบบ DC

หากพบผู้เรียนที่ขาดความรู้และทักษะเดิม ให้ช่วยเหลือโดยให้คำอธิบายเพิ่มเติมและมอบหมายงานให้ศึกษาค้นคว้าเพิ่มเติมในชุดการสอน วิชางานอิเล็กทรอนิกส์รถยนต์เบื้องต้น รหัสวิชา 20101-2103 ชุดการสอนที่ 4 เรื่อง อุปกรณ์สารกึ่งตัวนำ เพื่อให้ผู้เรียนไปสืบค้นข้อมูลจากสื่อต่าง ๆ ส่งให้ผลผู้เรียนสามารถเชื่อมโยงความรู้และประสบการณ์เดิมได้ เป็นการแสดงให้เห็นถึงการคิดค้นและปรับเปลี่ยนวิธีการใหม่ ๆ ในการจัดการเรียนรู้ เพื่อผู้เรียนสามารถเชื่อมโยงความรู้หรือประสบการณ์เดิมกับการเรียนรู้ใหม่

2. ขั้นตอนปฏิบัติการ (2 ชั่วโมง 20 นาที)

ตัวชี้วัดที่ 3 ผู้เรียนได้สร้างความรู้เอง หรือได้สร้างประสบการณ์ใหม่จากการเรียนรู้

การจัดการเรียนรู้ที่แสดงให้เห็นถึง “คิดค้นและปรับเปลี่ยน (Invent and Transform)”

ครูจัดกิจกรรมการเรียนรู้ให้ผู้เรียนได้สร้างความรู้เอง หรือได้สร้างประสบการณ์ใหม่จากการเรียนรู้ เน้นให้ผู้เรียนได้ลงมือปฏิบัติการที่ต้องใช้ความรู้หรือทักษะหลากหลาย ได้แก่ ทักษะกระบวนการกลุ่ม ทักษะการคิด ทักษะการพูด ทักษะการแก้ปัญหา ให้ผู้เรียนได้เรียนรู้ผ่านการลงมือ

ปฏิบัติเพื่อให้เกิดการเรียนรู้ด้วยตนเอง โดยครูเป็นผู้ให้การสนับสนุนการเรียนรู้ให้ผู้เรียนศึกษาด้วยตนเองจากสื่อการเรียนรู้ที่ครูสร้างและพัฒนาขึ้น ให้ผู้เรียนแบ่งกลุ่ม โดยครูจัดกลุ่มให้แต่ละคนเก่ง ปานกลาง และอ่อน อยู่ในกลุ่มเดียวกัน โดยมอบหมายให้ผู้เรียนร่วมกันศึกษาเนื้อหาโดยศึกษาเนื้อหาจากใบความรู้ เรื่อง อุปกรณ์สารกึ่งตัวนำ ในชุดการสอนที่ 4 เรื่อง อุปกรณ์สารกึ่งตัวนำ ให้ผู้เรียนทำกิจกรรมรูปแบบกระบวนการกลุ่ม ดังนี้

ให้ผู้เรียนปฏิบัติกิจกรรมกลุ่ม โดยปฏิบัติตามใบมอบงาน เรื่อง การอธิบาย เรื่อง อุปกรณ์สารกึ่งตัวนำ โดยให้ผู้เรียนได้แสดงความคิดเห็นภายในกลุ่ม การแลกเปลี่ยนเรียนรู้ภายในกลุ่ม การยอมรับความคิดเห็นของผู้อื่น จากนั้นครูใช้เทคนิคให้ผู้เรียนทุกกลุ่มสรุปประสบการณ์ใหม่แล้วออกมานำเสนอสรุปประสบการณ์ใหม่หน้าชั้นเรียน ให้ครูและเพื่อนได้รับฟัง โดยให้มีการวิพากษ์วิจารณ์ผลงานกลุ่มอื่นได้ เพื่อเป็นการแลกเปลี่ยนเรียนรู้

ตัวชี้วัดที่ 5 ผู้เรียนได้รับการพัฒนาทักษะความเชี่ยวชาญจากการเรียนรู้

การจัดการเรียนรู้ที่แสดงให้เห็นถึง “คิดค้นและปรับเปลี่ยน (Invent and Transform)”

ครูอธิบายลำดับการประกอบกิจกรรม แจกกิจกรรมที่จะปฏิบัติ คือ การปฏิบัติกิจกรรมตามใบมอบงาน เรื่อง การอธิบายเรื่องสารกึ่งตัวนำ จัดให้ผู้เรียนเรียนรู้แบ่งกลุ่มปฏิบัติตามใบมอบงาน เรื่อง อุปกรณ์สารกึ่งตัวนำ โดยศึกษาขั้นตอนการปฏิบัติจากใบมอบงาน เรื่องอุปกรณ์สารกึ่งตัวนำ และร่วมกันศึกษาเนื้อหาจากใบความรู้ในชุดการสอนที่ 4 เรื่อง อุปกรณ์สารกึ่งตัวนำ และให้ผู้เรียนออกมานำเสนอหน้าชั้นเรียนเป็นกลุ่ม ให้เพื่อนและครูได้ฟัง โดยให้สมาชิกในแต่ละกลุ่มสามารถวิพากษ์แลกเปลี่ยนเรียนรู้กันได้ เพื่อให้ผู้เรียนได้รับการพัฒนาทักษะความเชี่ยวชาญจากการเรียนรู้ และให้ผู้เรียนทำแบบฝึกหัดรายบุคคล จากชุดการสอนวิชางานอิเล็กทรอนิกส์รถยนต์ เรื่อง อุปกรณ์สารกึ่งตัวนำโดยครูและผู้เรียนร่วมกันเฉลยแบบฝึกหัด และกล่าวชมเชยผู้ที่เรียนรู้ได้ เป็นอย่างดี และให้กำลังใจผู้เรียนที่ยังเรียนไม่ทันเพื่อนและมอบหมายให้ศึกษาเพิ่มเติม แสดงให้เห็นถึง การคิดค้นและปรับเปลี่ยน ในการจัดกิจกรรมการเรียนรู้ของผู้เรียน

ตัวชี้วัดที่ 7 ผู้เรียนได้รับการพัฒนาการเรียนรู้ในบรรยากาศชั้นเรียนที่เหมาะสม

การจัดการเรียนรู้ที่แสดงให้เห็นถึง “คิดค้นและปรับเปลี่ยน (Invent and Transform)”

ครูได้จัดบรรยากาศในชั้นเรียน เพื่อให้ผู้เรียนได้รับการพัฒนาการเรียนรู้ในบรรยากาศชั้นเรียนที่เหมาะสม โดยมีการดำเนินการใน 2 ประการ ได้แก่

1. การจัดบรรยากาศทางกายภาพ คือ การจัดให้มีสื่อการเรียนการสอนที่เพียงพอกับจำนวนผู้เรียนและจัดโต๊ะวางสื่อการเรียนการสอนให้เป็นระเบียบเรียบร้อย ใช้สื่อการเรียนที่

หลากหลาย จัดมุมวิชาการ จัดมุมวางคอมพิวเตอร์เพื่อให้ผู้เรียนได้สืบค้นข้อมูล อ่านบทความสะดวกในการจัดกิจกรรมและการสืบค้นข้อมูลไว้ให้ผู้เรียนได้เรียนอย่างมีความสุข

2. การจัดบรรยากาศที่ส่งผลต่อด้านจิตใจ คือ การจัดรูปแบบการปฏิบัติกิจกรรม กระบวนการกลุ่ม เพื่อให้ผู้เรียนที่มีพื้นฐานความรู้ที่ไม่ดีได้รับการแลกเปลี่ยนเรียนรู้ซึ่งกันและกัน ครูสร้างความอบอุ่น มีความสัมพันธ์อันดีต่อผู้เรียน ให้ผู้เรียนมีอิสระทางความคิดและการกล้าแสดงออก แสดงให้เห็นถึงการคิดค้นและปรับเปลี่ยนวิธีการใหม่ ๆ ในการสร้างบรรยากาศชั้นเรียน ให้ผู้เรียนได้รับการพัฒนาการเรียนรู้ในบรรยากาศชั้นเรียนที่เหมาะสม ในการจัดกิจกรรมเสริมสร้างการเรียนรู้ของผู้เรียน

3. ขั้นตอนิปรายและสรุป (20 นาที)

ตัวชี้วัดที่ 4 ผู้เรียนได้รับการกระตุ้นและเกิดแรงจูงใจในการเรียนรู้

การจัดการเรียนรู้ที่แสดงให้เห็นถึง “คิดค้นและปรับเปลี่ยน (Invent and Transform)”

ครูได้วิเคราะห์และวางแผนการจัดกิจกรรมการเรียนรู้ตามลำดับความยากง่ายเพื่อให้เหมาะสมกับผู้เรียน จัดให้ผู้เรียนเรียนรู้ในรูปแบบกิจกรรมกลุ่มเป็นการทำให้ผู้เรียนได้ช่วยเหลือกัน ผู้เรียนมีโอกาสนสะท้อนถึงความสำเร็จการเรียนรู้ในกลุ่ม หรืออธิบายข้อผิดพลาดจากการเรียนรู้ เป็นการส่งผลให้ ผู้เรียนได้รับการกระตุ้นและให้เกิดแรงจูงใจในการเรียนรู้ อีกทั้ง ครูอธิบายสรุปเนื้อหาผลการนำเสนอการอภิปราย จากการปฏิบัติงานตามใบมอบงาน สะท้อนการนำเสนอและการปฏิบัติงานที่เกิดจากความสำเร็จหรือข้อผิดพลาด กล่าวชมเชยผู้ที่มีความรู้และทักษะที่ดี อีกทั้งให้กำลังใจผู้เรียนที่ยังไม่สามารถพัฒนาตนเองได้เท่ากับเพื่อนร่วมชั้นเรียน ครูชี้ให้เห็นถึงประโยชน์ที่เกิดจากการเรียนรู้ การนำไปประยุกต์ใช้ในชีวิตประจำวัน จัดกิจกรรมการเรียนรู้ของผู้เรียนให้เป็นไปตามวัตถุประสงค์ของการเรียนรู้ แสดงให้เห็นถึงการคิดค้นวิธีการใหม่ ๆ ปรับเปลี่ยนในการกระตุ้นให้ผู้เรียนเกิดแรงจูงใจ

ตัวชี้วัดที่ 6 ผู้เรียนได้รับข้อมูลสะท้อนกลับเพื่อปรับปรุงการเรียนรู้

การจัดการเรียนรู้ที่แสดงให้เห็นถึง “คิดค้นและปรับเปลี่ยน (Invent and Transform)”

ครูสังเกตหรือค้นหาข้อผิดพลาดในการปฏิบัติกิจกรรมของผู้เรียนระหว่างเรียน โดยครูใช้แบบประเมินพฤติกรรมการเรียนรู้ แบบประเมินคุณธรรม จริยธรรม ค่านิยมและคุณลักษณะอันพึงประสงค์ และแบบประเมินการปฏิบัติกิจกรรม คือ การปฏิบัติกิจกรรมกลุ่มตามใบมอบงาน เรื่อง การอภิปรายเรื่องอุปกรณ์สารกึ่งตัวนำ และนำผลจากการปฏิบัติกิจกรรม โดยแต่ละกลุ่มได้นำเสนอผลงานจากการปฏิบัติกิจกรรมกลุ่มตามที่ได้รับมอบหมาย

ครูใช้แบบประเมินในระหว่างการปฏิบัติกิจกรรมจากแบบประเมิน ครูและผู้เรียนร่วมกันสรุปเนื้อหา เรื่อง อุปกรณ์สารกึ่งตัวนำ และนำผลที่ได้จากการประเมินการปฏิบัติกิจกรรม สะท้อนกลับให้ผู้เรียนได้รับรู้ข้อมูลว่าตนเอง มีทักษะและองค์ความรู้ในระดับใดและมีส่วนใดที่ต้องปรับปรุงและพัฒนาตนเอง ครูอธิบายสรุปผลการปฏิบัติให้ผู้เรียนรู้วิธีการปฏิบัติและวิธีการแก้ไขปัญหา เป็นการแสดงให้เห็นถึงวิธีการคิดค้นและปรับเปลี่ยนวิธีการใหม่ๆ ในการให้ข้อมูลสะท้อนกลับเพื่อปรับปรุงการเรียนรู้

4. ขั้นประเมินผล (30 นาที)

ตัวชี้วัดที่ 8 ผู้เรียนสามารถกำกับการเรียนรู้และมีการเรียนรู้แบบนำตนเอง

การจัดการเรียนรู้ที่แสดงให้เห็นถึง “คิดค้นและปรับเปลี่ยน (Invent and Transform)”

ครูใช้วิธีการถาม ตอบ เพื่อประเมินความรู้ความเข้าใจ ตัวอย่างคำถาม ได้แก่

1. อุปกรณ์สารกึ่งตัวนำ คืออะไร และจงยกตัวอย่างอุปกรณ์ที่เป็นสารกึ่งตัวนำ
2. ธาตุที่นิยมนำมาทำเป็นอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ใช้สารกึ่งตัวนำอะไรบ้าง
3. จงยกตัวอย่างอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ในรถยนต์ที่เป็นสารกึ่งตัวนำ

ครูเปิดโอกาสให้ผู้เรียนได้ประเมินตนเองหรือถูกเพื่อนประเมินร่วมกับครูประเมินในระหว่างการเรียนรู้หรือเมื่อจบบทเรียนผ่านกิจกรรมที่หลากหลาย ด้วยการใช้แบบประเมินที่ครูได้สร้างและพัฒนาขึ้น เปิดโอกาสให้ผู้เรียนฝึกฝนเพิ่มเติมภายหลังจากจบบทเรียน เพื่อพัฒนาความสามารถของผู้เรียนโดยมอบหมายงานให้ผู้เรียนทุกคนได้ไปศึกษาค้นคว้าเพิ่มเติมจากสื่อต่าง ๆ โดยผู้เรียนได้สืบค้นอย่างอิสระจากสื่อออนไลน์และสรุปสาระสำคัญ ส่งผ่านระบบออนไลน์ และเปิดโอกาสให้ผู้เรียนได้ทบทวนการปฏิบัติกิจกรรมด้วยตนเองตามใบมอบงาน ในเวลาว่างเพื่อให้เกิดความชำนาญยิ่งขึ้น เป็นการฝึกการวางแผนการปฏิบัติกิจกรรมด้วยตนเอง ผู้เรียนสามารถกำกับการเรียนรู้และมีการเรียนรู้แบบนำตนเอง **แสดงให้เห็นถึงการคิดค้น และปรับเปลี่ยนวิธีการใหม่ ๆ ให้ผู้เรียนสามารถกำกับการเรียนรู้และมีการเรียนรู้แบบนำตนเอง** ในการจัดกิจกรรมเสริมสร้างการเรียนรู้ของผู้เรียน

ครูให้ผู้เรียนทำแบบฝึกหัดเป็นรายบุคคล จากแบบฝึกหัด เรื่อง อุปกรณ์สารกึ่งตัวนำ ครูและผู้เรียนร่วมกันเฉลยแบบฝึกหัด

สื่อการเรียนการสอน

1. ใบความรู้ และใบมอบงาน หน่วยที่ 4 เรื่อง อุปกรณ์สารกึ่งตัวนำ
2. สื่อประกอบการสอน Power Point แผ่นที่ 1-124
3. เครื่องมือวัดและทดสอบสารกึ่งตัวนำ ได้แก่ มัลติมิเตอร์แอนะล็อก มัลติมิเตอร์ดิจิทัล
4. วัสดุอุปกรณ์ ได้แก่ ไดโอด ซีเนอร์ไดโอด ทรานซิสเตอร์ เฟต เอสซีอาร์

การวัดผลประเมินผล

1. คะแนนจากการทำใบแบบฝึกหัด เรื่อง อุปกรณ์สารกึ่งตัวนำ
2. คะแนนจากผลการประเมินใบมอผลงาน เรื่อง การอธิบายเรื่องสารกึ่งตัวนำ
3. คะแนนจากการประเมินผลพฤติกรรมการเรียนรู้
4. คะแนนจากการประเมินผลคุณธรรม จริยธรรม ค่านิยม และคุณลักษณะอันพึงประสงค์

แหล่งการเรียนรู้เพิ่มเติม

1. ห้องสมุด
2. หนังสือเรียน
3. ข้อมูลจากอินเทอร์เน็ต

กิจกรรมเสนอแนะ

1. ผู้เรียนสืบค้นข้อมูลเพิ่มเติมหรือทบทวนเนื้อหาจากวิดีโอที่น่าเชื่อถือจากระบบออนไลน์
2. ผู้เรียนสืบค้นข้อมูลเพิ่มเติมหรือทบทวนเนื้อหาจากวิดีโอจากแหล่งข้อมูล ดังนี้
 - 2.1 <https://www.youtube.com/watch?v=NJUS3L9HeFE&t=136s>
 - 2.2 <https://www.youtube.com/watch?v=NzVYa4lG9Oc>
 - 2.3 <https://www.youtube.com/watch?v=ZLhZieGVjLc>
 - 2.4 https://www.youtube.com/watch?v=2xDAK4shZ_A&t=635s
 - 2.5 https://www.youtube.com/watch?v=gaHKsyufM_4
 - 2.6 <https://www.youtube.com/watch?v=G79ywVc9jLk>
 - 2.7 <https://www.youtube.com/watch?v=a2NcgJQFP8w&t=13s>
 - 2.8 https://www.youtube.com/watch?v=ZKK78_tPh-w
 - 2.9 <https://www.youtube.com/shorts/3O-g3xFofww>
 - 2.10 <https://www.youtube.com/watch?v=7TiJOqoK2bM>
 - 2.11 <https://www.youtube.com/watch?v=Gbyw1K99g1o>

แผนการจัดการเรียนรู้ 8

รหัสวิชา 20101-2103 ชื่อวิชางานอิเล็กทรอนิกส์รถยนต์เบื้องต้น 2 (4)
หน่วยที่ 4 ชื่อหน่วย อุปกรณ์สารกึ่งตัวนำ

สอนครั้งที่ 8
จำนวน 4 ชั่วโมง

หัวเรื่อง

1. ไดโอด
2. หลักการทำงานของไดโอด
3. การวัดและตรวจสอบไดโอด
4. ซีเนอร์ไดโอด
5. หลักการทำงานของซีเนอร์ไดโอด
6. การวัดและตรวจสอบซีเนอร์ไดโอด
7. ปฏิบัติงานตามใบงาน

สาระสำคัญ

ไดโอด มีหน้าที่ ควบคุมทิศทางการไหลของกระแสไฟฟ้าและกั้นการไหลของกระแสไฟฟ้าในทิศทางตรงข้าม ส่วนซีเนอร์ไดโอด (Zener Diode) มีโครงสร้างเหมือนไดโอด คือ ประกอบขึ้นมาจากสารกึ่งตัวนำ 2 ตอน ชนิด P และ N มีขาแอโนด (A) และขาแคโทด (K) เช่นเดียวกับไดโอดธรรมดา ซีเนอร์ไดโอดจะนำไปใช้งานในช่วงไบอัสกลับที่ค่าเบรคดาวน์ เรียกว่า ซีเนอร์ เบรคดาวน์ (Zener Breakdown) ซึ่งมักจะเรียกว่าแรงดันซีเนอร์เบรคดาวน์ (Zener Breakdown Voltage) เป็นค่าแรงดันที่ตัวซีเนอร์ไดโอดทำการควบคุมให้คงที่ตลอดเวลา

จุดประสงค์การเรียนรู้

จุดประสงค์ทั่วไป

เพื่อให้ผู้เรียนมีความรู้ความเข้าใจเกี่ยวกับหน้าที่ หลักการทำงาน การวัดและตรวจสอบไดโอดและซีเนอร์ไดโอด

จุดประสงค์เชิงพฤติกรรม

1. ด้านความรู้ (K)

- 1.1 บอกหน้าที่และหลักการทำงานของไดโอดได้
- 1.2 บอกโครงสร้างและสัญลักษณ์ของไดโอดได้
- 1.3 อธิบายวิธีการวัดและตรวจสอบไดโอดได้
- 1.4 บอกหน้าที่และหลักการทำงานของซีเนอร์ไดโอดได้
- 1.5 บอกโครงสร้างและสัญลักษณ์ของซีเนอร์ไดโอดได้
- 1.6 อธิบายวิธีการวัดและตรวจสอบไดโอดและซีเนอร์ไดโอดได้

2. ด้านทักษะ (S)

ผู้เรียนมีทักษะในการวัดและตรวจสอบไดโอดได้ถูกต้อง

3. ด้านคุณลักษณะอันพึงประสงค์ (A)

- 3.1 มีความตรงต่อเวลาและความรับผิดชอบ
- 3.2 มีระเบียบวินัยและการแต่งกายเรียบร้อย
- 3.3 มีความประณีต รอบคอบและปลอดภัย
- 3.4 มีความสะอาดและรักษาสภาพแวดล้อม

กิจกรรมการเรียนรู้

การจัดกิจกรรมการเรียนรู้ในชั้นเรียนที่ตอบสนองด้านทักษะการจัดการเรียนรู้ และการจัดการชั้นเรียน 8 ตัวชี้วัด

1. ชี้นำเข้าสู่บทเรียน (20 นาที)

ตัวชี้วัดที่ 1 ผู้เรียนสามารถเข้าถึงสิ่งที่เรียนและเข้าใจบทเรียน

การจัดการเรียนรู้ที่แสดงให้เห็นถึง “คิดค้นและปรับเปลี่ยน (Invent and Transform)”

ครูแจ้งจุดประสงค์การเรียนรู้และเนื้อหาการเรียนรู้ ที่ครูได้สร้างและพัฒนาขึ้นมาใหม่ เพื่อให้ผู้เรียนสามารถเข้าถึงสิ่งที่เรียนและเข้าใจบทเรียนในใบงานที่ 4.1 เรื่อง งานวัดและทดสอบไดโอดและซีเนอร์ไดโอด โดยมีจุดประสงค์การเรียนรู้ ดังนี้

1. บอกหน้าที่และหลักการทำงานของไดโอดได้
2. บอกโครงสร้างและสัญลักษณ์ของไดโอดได้
3. อธิบายวิธีการวัดและตรวจสอบไดโอดได้
4. บอกหน้าที่และหลักการทำงานของซีเนอร์ไดโอดได้
5. บอกโครงสร้างและสัญลักษณ์ของซีเนอร์ไดโอดได้
6. อธิบายวิธีการวัดและตรวจสอบไดโอดและซีเนอร์ไดโอดได้

ครูแจ้งการวัดผลประเมินผลด้วยวิธีที่หลากหลาย ได้แก่ แบบประเมินใบงาน แบบสังเกตพฤติกรรมการเรียนรู้รายบุคคล แบบสังเกตพฤติกรรมการเข้าร่วมกิจกรรมกลุ่ม แบบประเมินคุณธรรมจริยธรรม ค่านิยม และลักษณะอันพึงประสงค์ แจ้งระยะเวลาในการจัดการเรียนรู้ตามแผนการจัดการเรียนรู้ที่ 8 ใช้เวลาเรียนรวมทั้งหมด จำนวน 4 ชั่วโมง ครูแจ้งกิจกรรมการเรียนรู้ ได้แก่ การแบ่งกลุ่มผู้เรียนให้ร่วมกันศึกษาใบงานที่ 4.1 เรื่อง งานวัดและทดสอบไดโอดและซีเนอร์ไดโอด

ตัวชี้วัดที่ 2 ผู้เรียนสามารถเชื่อมโยงความรู้หรือประสบการณ์เดิมกับการเรียนรู้ใหม่

การจัดการเรียนรู้ที่แสดงให้เห็นถึง “คิดค้นและปรับเปลี่ยน (Invent and Transform)”

ครูอธิบายเพื่อเชื่อมโยงเนื้อหาและทบทวนความรู้ประสบการณ์เดิม เรื่อง อุปกรณ์สารกึ่งตัวนำ จากที่เคยเรียนผ่านมาโดยครูอธิบายเนื้อหาเดิม ในส่วนของสารกึ่งตัวนำชนิดต่าง ๆ ได้แก่ ไดโอด ซีเนอร์ไดโอด ทรานซิสเตอร์ เฟต เอสซีอาร์ โดยเฉพาะสารกึ่งตัวนำที่นำมาทำไดโอดและซีเนอร์ไดโอด อธิบายให้เชื่อมโยงกับเนื้อหาใหม่ที่จะเรียนในใบงานที่ 4.1 เรื่อง งานวัดและทดสอบไดโอด และซีเนอร์ไดโอด โดยเฉพาะวิธีการวัดและตรวจสอบไดโอดและซีเนอร์ไดโอด ซึ่งจะนำมาใช้ในการจัดการเรียนการสอน พร้อมกับแสดงสื่อของจริง

ครูนำเข้าสู่บทเรียน เพื่อให้ผู้เรียนสามารถเชื่อมโยงความรู้หรือประสบการณ์เดิมกับการเรียนรู้ใหม่ โดยนำสื่อการเรียนการสอนมาแสดง ได้แก่ ชุดการสอนที่ 4 เรื่อง อุปกรณ์สารกึ่งตัวนำ ประกอบด้วย ใบความรู้ ใบแบบฝึกหัด ใบมอบงาน ใบงาน สื่อ Power Point สื่อของจริง ได้แก่ ไดโอด และซีเนอร์ไดโอด เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการปฏิบัติงานตามใบงานที่ 4.1 เรื่อง งานวัดและทดสอบ ไดโอดและซีเนอร์ไดโอด ประกอบด้วย เครื่องเพาเวอร์ซัพพลายแบบ DC มัลติมิเตอร์แอนะล็อก มัลติมิเตอร์ดิจิทัล ถังมือ ผ้าทำความสะอาด ชุดฝึกทักษะ จำนวน 4 โดยครูตั้งคำถามเพื่อทดสอบ ความรู้เดิมของผู้เรียน ตัวอย่างคำถาม

1. ไดโอดมีหน้าที่อย่างไร
2. ซีเนอร์ไดโอดมีหน้าที่อย่างไร
3. การวัดและตรวจสอบไดโอดและซีเนอร์ไดโอดต้องปรับสวิตช์ย่านการวัดของมัลติมิเตอร์ไปที่ตำแหน่งใด

หากพบผู้เรียนที่ขาดความรู้และทักษะเดิม ก็ให้การช่วยเหลือโดยให้คำอธิบายเพิ่มเติม และมอบหมายงาน ให้ศึกษาค้นคว้าเพิ่มเติมในชุดการสอน วิชางานอิเล็กทรอนิกส์รถยนต์เบื้องต้น รหัสวิชา 20101-2103 ชุดการสอนที่ 4 เรื่อง อุปกรณ์สารกึ่งตัวนำ เพื่อให้ผู้เรียนไปสืบค้นข้อมูลจาก สื่อต่าง ๆ ส่งให้ผลผู้เรียนสามารถเชื่อมโยงความรู้และประสบการณ์เดิมได้ เป็นการแสดงให้เห็นถึง คิดค้นและปรับเปลี่ยน วิธีการใหม่ ๆ ในการจัดการเรียนรู้ เพื่อผู้เรียนสามารถเชื่อมโยงความรู้หรือ ประสบการณ์เดิมกับการเรียนรู้ใหม่

2. ชั้นประกอบกิจกรรม (2 ชั่วโมง 20 นาที)

ตัวชี้วัดที่ 3 ผู้เรียนได้สร้างความรู้เอง หรือได้สร้างประสบการณ์ใหม่จากการเรียนรู้

การจัดการเรียนรู้ที่แสดงให้เห็นถึง “คิดค้นและปรับเปลี่ยน (Invent and Transform)”

ครูอธิบายชี้แจงการปฏิบัติกิจกรรมตามใบงานที่ 4.1 เรื่อง งานวัดและทดสอบไดโอดและซีเนอร์ ไดโอด โดยใช้สื่อต่าง ๆ ได้แก่ ไดโอดค่าชนิดต่าง ๆ มัลติมิเตอร์แอนะล็อก มัลติมิเตอร์ดิจิทัล เพาเวอร์ซัพ

หลายแบบ DC สอนประกอบการบรรยายเพื่อให้ผู้เรียนเข้าใจเนื้อหาสาระการเรียนรู้ ใช้สื่อของจริง ภาพเคลื่อนไหว ครูจัดกิจกรรมการเรียนรู้ให้ ผู้เรียนได้สร้างความรู้เอง หรือได้สร้างประสบการณ์ใหม่จากการเรียนรู้ **เน้นให้ผู้เรียนได้ลงมือปฏิบัติกิจกรรมที่ต้องใช้ความรู้หรือทักษะหลากหลาย** โดยส่งเสริมให้ผู้เรียนใช้ทักษะในการเรียนรู้ ได้แก่ ทักษะกระบวนการกลุ่ม ทักษะการคิด ทักษะการพูด ทักษะการอ่าน การเขียน ทักษะการฟัง ทักษะการแก้ปัญหา ให้ผู้เรียนได้ผ่านการเรียนรู้ด้วยการลงมือปฏิบัติเพื่อให้เกิดการเรียนรู้ด้วยตนเอง โดยครูเป็นผู้ให้การสนับสนุนการเรียนรู้ ครูใช้เทคนิคให้ผู้เรียนสรุปความรู้หรือประสบการณ์ใหม่ด้วยตนเอง ได้แก่ การให้ผู้เรียนแบ่งกลุ่ม โดยครูจัดกลุ่มผู้เรียนให้ละครคนเก่ง ปานกลาง และอ่อน อยู่ในกลุ่มเดียวกัน ร่วมกันศึกษาขั้นตอนการปฏิบัติกิจกรรมในใบงานที่ 4.1 เรื่อง งานวัดและทดสอบไดโอดและซีเนอร์ไดโอด และสืบค้นในสื่อออนไลน์ต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องให้ผู้เรียนปฏิบัติกิจกรรม กลุ่มแล้วสรุปประสบการณ์ใหม่ **เป็นการจัดการเรียนรู้ที่แสดงให้เห็นถึง คิดค้นและปรับเปลี่ยน** ผู้เรียนได้แสดงความคิดเห็นภายในกลุ่ม การแลกเปลี่ยนเรียนรู้ภายในกลุ่ม การยอมรับความคิดเห็นของผู้อื่น จากนั้นให้ผู้เรียนทุกกลุ่มออกมานำเสนอสรุปประสบการณ์ใหม่หน้าชั้นเรียนให้ครูและเพื่อนได้รับฟัง โดยให้มีการวิพากษ์วิจารณ์ผลงานกลุ่มอื่นได้ เพื่อเป็นการแลกเปลี่ยนเรียนรู้

ตัวชี้วัดที่ 5 ผู้เรียนได้รับการพัฒนาทักษะความเชี่ยวชาญจากการเรียนรู้

การจัดการเรียนรู้ที่แสดงให้เห็นถึง “คิดค้นและปรับเปลี่ยน (Invent and Transform)”

ครูให้ผู้เรียนศึกษาขั้นตอนการปฏิบัติงานตามใบงานที่ 4.1 เรื่อง งานวัดและทดสอบไดโอดและซีเนอร์ไดโอด พร้อมกับศึกษาแบบบันทึกผลการปฏิบัติงาน ครูให้ผู้เรียนสอบถามในส่วนที่ยังสงสัยเกี่ยวกับการปฏิบัติงานตามใบงานที่ 4.1 เรื่อง งานวัดและทดสอบไดโอดและซีเนอร์ไดโอด และให้ผู้เรียนลงมือปฏิบัติงานตามกลุ่มที่ได้แบ่งไว้แล้ว เพื่อบูรณาการทักษะต่าง ๆ และประยุกต์ทักษะใหม่เพื่อให้ผู้เรียนได้รับการพัฒนาทักษะความเชี่ยวชาญจากการเรียนรู้จากการลงมือผ่านการปฏิบัติงานจริง

ตัวชี้วัดที่ 7 ผู้เรียนได้รับการพัฒนาการเรียนรู้ในบรรยากาศชั้นเรียนที่เหมาะสม

การจัดการเรียนรู้ที่แสดงให้เห็นถึง “คิดค้นและปรับเปลี่ยน (Invent and Transform)”

ครูได้จัดบรรยากาศในชั้นเรียน เพื่อให้ผู้เรียนได้รับการพัฒนาการเรียนรู้ในบรรยากาศชั้นเรียนที่เหมาะสม โดยมีการดำเนินการใน 2 ประการ ได้แก่

1. **การจัดบรรยากาศทางกายภาพ** คือ การจัดให้มีสื่อการเรียนการสอนที่เพียงพอกับจำนวนผู้เรียนและจัดโต๊ะวางสื่อการเรียนการสอนให้เป็นระเบียบเรียบร้อย ใช้สื่อการเรียนที่หลากหลาย จัดมุมวิชาการ จัดมุมวางคอมพิวเตอร์เพื่อให้ผู้เรียนได้สืบค้นข้อมูล อำนวยความสะดวกในการจัดกิจกรรมและการสืบค้นข้อมูลไว้ให้ผู้เรียนได้เรียนอย่างมีความสุข

2. การจัดบรรยากาศที่ส่งผลต่อด้านจิตใจ คือ การจัดรูปแบบการปฏิบัติกิจกรรมกระบวนการกลุ่ม เพื่อให้ผู้เรียนที่มีพื้นฐานความรู้ที่ไม่ดีได้รับการแลกเปลี่ยนเรียนรู้ซึ่งกันและกัน ครูสร้างความอบอุ่น มีความสัมพันธ์อันดีต่อผู้เรียน ให้ผู้เรียนมีอิสระทางความคิดและการกล้าแสดงออก แสดงให้เห็นถึงการคิดค้นและปรับเปลี่ยนวิธีการใหม่ ๆ ในการสร้างบรรยากาศชั้นเรียน ให้ผู้เรียนได้รับการพัฒนาการเรียนรู้ในบรรยากาศชั้นเรียนที่เหมาะสม ในการจัดกิจกรรมเสริมสร้างการเรียนรู้ของผู้เรียน

3. ขั้นตอนิปรายและสรุป (20 นาที)

ตัวชี้วัดที่ 4 ผู้เรียนได้รับการกระตุ้นและเกิดแรงจูงใจในการเรียนรู้

การจัดการเรียนรู้ที่แสดงให้เห็นถึง “คิดค้นและปรับเปลี่ยน (Invent and Transform)”

ครูได้วิเคราะห์และวางแผนการจัดกิจกรรมการเรียนรู้ตามลำดับความยากง่ายเพื่อให้เหมาะสมกับผู้เรียน จัดให้ผู้เรียนเรียนรู้ในรูปแบบกิจกรรมกลุ่มเป็นการทำให้ผู้เรียนได้ช่วยเหลือกัน ผู้เรียนมีโอกาสนสะท้อนถึงความสำเร็จการเรียนรู้ในกลุ่ม หรืออธิบายข้อผิดพลาดจากการเรียนรู้ เป็นการส่งผลให้ ผู้เรียนได้รับการกระตุ้นและให้เกิดแรงจูงใจในการเรียนรู้ อีกทั้ง ครูอธิบายสรุปเนื้อหาผลการนำเสนอการสรุปผลการปฏิบัติกิจกรรมกลุ่มในใบงานที่ 4.1 เรื่อง งานวัดและตรวจสอบไดโอด และซีเนอร์ไดโอด สะท้อนการนำเสนอและการปฏิบัติงานที่เกิดจากความสำเร็จหรือข้อผิดพลาด โดยใช้แบบสรุปเนื้อหาจากชุดการสอนวิชานานอิเล็กทรอนิกส์ระดับเบื้องต้น ในชุดการสอนที่ 4 เรื่อง อุปกรณ์สารกึ่งตัวนำ กล่าวชมเชยผู้ที่มีความรู้และทักษะที่ดี อีกทั้งให้กำลังใจผู้เรียนที่ยังไม่สามารถพัฒนาตนเองได้เท่ากับเพื่อนร่วมชั้นเรียน ครูชี้ให้เห็นถึงประโยชน์ที่เกิดจากการเรียนรู้ การนำไปประยุกต์ใช้ในชีวิตประจำวัน แสดงให้เห็นถึง การคิดค้นและปรับเปลี่ยน ในการจัดกิจกรรมการเรียนรู้ของผู้เรียนให้เป็นไปตามวัตถุประสงค์ของการเรียนรู้

ตัวชี้วัดที่ 6 ผู้เรียนได้รับข้อมูลสะท้อนกลับเพื่อปรับปรุงการเรียนรู้

การจัดการเรียนรู้ที่แสดงให้เห็นถึง “คิดค้นและปรับเปลี่ยน (Invent and Transform)”

ครูสังเกตหรือค้นหาข้อผิดพลาดในการปฏิบัติกิจกรรมของผู้เรียนระหว่างเรียน โดยครูใช้แบบประเมินพฤติกรรมการเรียนรู้ แบบประเมินคุณธรรม จริยธรรม ค่านิยมและคุณลักษณะอันพึงประสงค์ และแบบประเมินใบงานที่ 4.1 เรื่อง งานวัดและทดสอบไดโอดและซีเนอร์ไดโอด และนำผลจากการปฏิบัติกิจกรรม โดยให้แต่ละกลุ่มได้นำเสนอผลงานจากการปฏิบัติกิจกรรมกลุ่มตามที่ได้รับมอบหมาย

ครูใช้แบบประเมินในระหว่างการปฏิบัติกิจกรรมจากแบบประเมิน ครูและผู้เรียนร่วมกันสรุปผลการปฏิบัติกิจกรรมใบงานที่ 4.1 เรื่อง งานวัดและทดสอบไดโอดและซีเนอร์ไดโอด และนำผลที่ได้จากการประเมินการปฏิบัติกิจกรรม สะท้อนกลับให้ผู้เรียนได้รับรู้ข้อมูลว่าตนเอง มีทักษะและองค์ความรู้ในระดับใดและมีส่วนใดที่ต้องปรับปรุงและพัฒนาตนเอง ครูอธิบายสรุปผลการปฏิบัติให้ผู้เรียนรู้วิธีการปฏิบัติและวิธีการแก้ไขปัญหา เป็นการแสดงให้เห็นถึงวิธีการคิดค้นและปรับเปลี่ยนวิธีการใหม่ๆ ในการให้ข้อมูลสะท้อนกลับเพื่อปรับปรุงการเรียนรู้

4. ชั้นประเมินผล (60 นาที)

ตัวชี้วัดที่ 8 ผู้เรียนสามารถกำกับการเรียนรู้และมีการเรียนรู้แบบนำตนเอง

การจัดการเรียนรู้ที่แสดงให้เห็นถึง “คิดค้นและปรับเปลี่ยน (Invent and Transform)”

ครูใช้วิธีการถาม ตอบ เพื่อประเมินความรู้ความเข้าใจ ตัวอย่างคำถามแก่

1. ซีเนอร์ไดโอด และซีเนอร์ไดโอดมีหน้าที่อย่างไร
2. การไบอัสไดโอด คืออะไร และทำการไบอัสอย่างไร
3. การไบอัสกลับให้กับไดโอด มีข้อควรระวังเกี่ยวกับความปลอดภัยอย่างไรบ้าง

ให้ผู้เรียนทำการทดสอบเป็นรายกลุ่มตามใบงานที่ 4.1 เรื่อง งานวัดและทดสอบไดโอดและซีเนอร์ไดโอด แล้วครูทำการประเมินผลตามแบบประเมินใบงานที่ 4.1 และครูเปิดโอกาสให้ผู้เรียนได้ประเมินตนเอง หรือถูกเพื่อนประเมินร่วมกับครูประเมินในระหว่างการเรียนรู้หรือเมื่อจบบทเรียนผ่านกิจกรรมที่หลากหลาย ด้วยการใช้แบบประเมินที่ครูได้สร้างและพัฒนาขึ้น เปิดโอกาสให้ผู้เรียนฝึกฝนเพิ่มเติมหลังจากจบบทเรียน เพื่อพัฒนาความสามารถของผู้เรียนโดยมอบหมายงานให้ผู้เรียนทุกคนได้ไปศึกษาค้นคว้าเพิ่มเติมจากสื่อต่าง ๆ โดยผู้เรียนได้สืบค้นอย่างอิสระจากสื่อออนไลน์และสรุปสาระสำคัญ ส่งผ่านระบบออนไลน์ และเปิดโอกาสให้ผู้เรียนได้ทบทวนการปฏิบัติกิจกรรมด้วยตนเองตามใบงานที่ 4.1 เรื่อง งานวัดและทดสอบไดโอดและซีเนอร์ไดโอด ในเวลาว่างเพื่อให้เกิดความชำนาญยิ่งขึ้น เป็นการฝึกการวางแผนการปฏิบัติกิจกรรมด้วยตนเอง ผู้เรียนสามารถกำกับการเรียนรู้และมีการเรียนรู้แบบนำตนเอง แสดงให้เห็นถึงการคิดค้น และปรับเปลี่ยนวิธีการใหม่ ๆ ให้ผู้เรียนสามารถกำกับการเรียนรู้และมีการเรียนรู้แบบนำตนเอง ในการจัดกิจกรรมเสริมสร้างการเรียนรู้ของผู้เรียน

สื่อการเรียนการสอน

1. ใบความรู้ หน่วยที่ 4 เรื่อง อุปกรณ์สารกึ่งตัวนำ
2. สื่อประกอบการสอน Power Point แผ่นที่ 1-124
3. เครื่องมือวัดและทดสอบ ได้แก่ มัลติมิเตอร์แอนะล็อก มัลติมิเตอร์ดิจิทัล ออสซิลโลสโคป

4. ไดโอดและซีเนอร์ไดโอด

5. ใบงานที่ 4.1 เรื่อง การวัดและตรวจสอบไดโอดและซีเนอร์ไดโอด

การวัดผลประเมินผล

1. คะแนนจากผลการประเมินใบงานที่ 4.1 เรื่อง งานวัดและทดสอบไดโอดและซีเนอร์ไดโอด
2. คะแนนจากการประเมินผลพฤติกรรมการเรียนรู้รายบุคคล
3. คะแนนจากการประเมินผลคุณธรรม จริยธรรม ค่านิยม และคุณลักษณะอันพึงประสงค์

แหล่งการเรียนรู้เพิ่มเติม

1. ห้องสมุด
2. หนังสือเรียน
3. ข้อมูลจากอินเทอร์เน็ต

กิจกรรมเสนอแนะ

1. ผู้เรียนนำไดโอดและซีเนอร์ไดโอดมาวัดและทดสอบตามใบงานเพื่อทบทวน
2. ผู้เรียนสืบค้นข้อมูลเพิ่มเติมหรือทบทวนเนื้อหาจากระบบออนไลน์ ดังนี้

2.1 <https://www.youtube.com/watch?v=ZLhZieGVjLc&list=PLpft6HIXr4FEhiqDX-7ldQkhuGxNWW5Ah>

2.2 https://www.youtube.com/watch?v=2xDAK4shZ_A&list=PLpft6HIXr4FEhiqDX-7ldQkhuGxNWW5Ah&index=2

2.3 https://www.youtube.com/watch?v=gaHKsyufM_4&list=PLpft6HIXr4FEhiqDX-7ldQkhuGxNWW5Ah&index=3

2.4 <https://www.youtube.com/watch?v=a2NcgJQFP8w&t=106s>

2.5 <https://www.youtube.com/watch?v=qYvz37AJ7lc>

แผนการจัดการเรียนรู้ 9

รหัสวิชา 20101-2103 ชื่อวิชางานอิเล็กทรอนิกส์ยนต์เบื้องต้น 2 (4)
หน่วยที่ 4 ชื่อหน่วย อุปกรณ์สารกึ่งตัวนำ

สอนครั้งที่ 9
จำนวน 4 ชั่วโมง

หัวเรื่อง

1. ทรานซิสเตอร์
2. หลักการทำงานของทรานซิสเตอร์
3. การวัดและทดสอบสออบทานซิสเตอร์
4. ปฏิบัติงานตามใบงาน

สาระสำคัญ

ทรานซิสเตอร์เป็นอุปกรณ์สารกึ่งตัวนำที่ถูกพัฒนาขึ้นมาใช้งานแทนหลอดสุญญากาศซึ่งมีค่าสูญเสียต่ำและประสิทธิภาพสูงกว่า ทรานซิสเตอร์สามารถประยุกต์ใช้งานได้หลายอย่าง เช่น ใช้ขยายสัญญาณ (Amplifier) ทำหน้าที่เป็นสวิตซ์ซิง (Switching) กำเนิดสัญญาณใช้รักษาแรงดันไฟฟ้าให้คงที่ เป็นต้น สำหรับหน้าที่หลักของทรานซิสเตอร์ คือ ขยายกระแสไฟฟ้า

จุดประสงค์การเรียนรู้

จุดประสงค์ทั่วไป

เพื่อให้ผู้เรียนมีความรู้ความเข้าใจเกี่ยวกับหน้าที่ หลักการทำงาน การวัดและทดสอบทรานซิสเตอร์

จุดประสงค์เชิงพฤติกรรม

1. ด้านความรู้

- 1.1 บอกหน้าที่ของทรานซิสเตอร์ได้
- 1.2 บอกโครงสร้างและสัญลักษณ์ของทรานซิสเตอร์ได้
- 1.3 อธิบายหลักการทำงานของทรานซิสเตอร์ได้
- 1.4 อธิบายวิธีการวัดและทดสอบทรานซิสเตอร์ได้

2. ด้านทักษะ

ผู้เรียนมีทักษะในการวัดและทดสอบทรานซิสเตอร์ได้

3. ด้านคุณลักษณะอันพึงประสงค์

- 3.1 มีความตรงต่อเวลาและความรับผิดชอบ
- 3.2 มีระเบียบวินัยและการแต่งกายเรียบร้อย
- 3.3 มีความประณีต รอบคอบและปลอดภัย
- 3.4 มีความสะอาดและรักษาสภาพแวดล้อม

กิจกรรมการเรียนรู้การสอน

การจัดกิจกรรมการเรียนรู้ในชั้นเรียนที่ตอบสนองด้านทักษะการจัดการเรียนรู้และการจัดการชั้นเรียน 8 ตัวชี้วัด

1. ชี้นำเข้าสู่บทเรียน (20 นาที)

ตัวชี้วัดที่ 1 ผู้เรียนสามารถเข้าถึงสิ่งที่เรียนและเข้าใจบทเรียน

การจัดการเรียนรู้ที่แสดงให้เห็นถึง “คิดค้นและปรับเปลี่ยน (Invent and Transform)”

ครูแจ้งจุดประสงค์การเรียนรู้และเนื้อหาการเรียนรู้ ที่ครูได้สร้างและพัฒนาขึ้นมาใหม่ เพื่อให้ผู้เรียนสามารถเข้าถึงสิ่งที่เรียนและเข้าใจบทเรียนในใบงานที่ 4.2 เรื่อง งานวัดและทดสอบทรานซิสเตอร์ โดยมีจุดประสงค์การเรียนรู้ ดังนี้

1. บอกหน้าที่ของทรานซิสเตอร์ได้
2. บอกโครงสร้างและสัญลักษณ์ของทรานซิสเตอร์ได้
3. อธิบายหลักการทำงานของทรานซิสเตอร์ได้
4. อธิบายวิธีการวัดและทดสอบทรานซิสเตอร์ได้

ครูแจ้งการวัดผลประเมินผลด้วยวิธีที่หลากหลาย ได้แก่ แบบประเมินใบงาน แบบสังเกตพฤติกรรมการเรียนรู้รายบุคคล แบบสังเกตพฤติกรรมการเข้าร่วมกิจกรรมกลุ่ม แบบประเมินคุณธรรมจริยธรรม ค่านิยม และลักษณะอันพึงประสงค์ แจ้งระยะเวลาในการจัดการเรียนรู้ตามแผนการจัดการเรียนรู้ที่ 9 ใช้เวลาเรียนรวมทั้งหมด จำนวน 4 ชั่วโมง ครูแจ้งกิจกรรมการเรียนรู้ ได้แก่ การแบ่งกลุ่มผู้เรียนให้ร่วมกันศึกษาและปฏิบัติกิจกรรมในใบงานที่ 4.2 เรื่อง งานวัดและทดสอบทรานซิสเตอร์

ตัวชี้วัดที่ 2 ผู้เรียนสามารถเชื่อมโยงความรู้หรือประสบการณ์เดิมกับการเรียนรู้ใหม่

การจัดการเรียนรู้ที่แสดงให้เห็นถึง “คิดค้นและปรับเปลี่ยน (Invent and Transform)”

ครูอธิบายเพื่อเชื่อมโยงเนื้อหาและทบทวนความรู้ประสบการณ์เดิม เรื่อง อุปกรณ์สารกึ่งตัวนำจากที่เคยเรียนผ่านมาโดยครูอธิบายเนื้อหาเดิม ในส่วนของสารกึ่งตัวนำชนิดต่าง ๆ ได้แก่ ไดโอด ซีเนอร์ไดโอด ทรานซิสเตอร์ เฟต เอสซีอาร์ อธิบายให้เชื่อมโยงกับเนื้อหาใหม่ที่จะเรียนในใบงานที่ 4.2 เรื่อง งานวัดและทดสอบทรานซิสเตอร์ โดยเฉพาะวิธีการวัดและตรวจสอบไดโอดและซีเนอร์ไดโอดที่เป็นพื้นฐานของทรานซิสเตอร์ ซึ่งจะนำมาใช้ในการจัดการเรียนการสอนพร้อมกับแสดงสื่อของจริง

ครูนำเข้าสู่บทเรียน เพื่อให้ผู้เรียนสามารถเชื่อมโยงความรู้หรือประสบการณ์เดิมกับการเรียนรู้ใหม่ โดยนำสื่อการเรียนการสอนมาแสดง ได้แก่ ชุดการสอนที่ 4 เรื่อง อุปกรณ์สารกึ่งตัวนำ ประกอบด้วย ใบความรู้ ใบแบบฝึกหัด ใบมอบงาน ใบงาน สื่อ Power Point สื่อของจริง ได้แก่ ไดโอด และซีเนอร์ไดโอด ทรานซิสเตอร์ เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการปฏิบัติงานตามใบงานที่ 4.2

เรื่อง การวัดและทดสอบทรานซิสเตอร์ ประกอบด้วย เครื่องเพาเวอร์ซัพพลายแบบ DC มัลติมิเตอร์ แอนะล็อก มัลติมิเตอร์ดิจิทัล ชุดฝึกทักษะ จำนวน 4 ชุด โดยครูตั้งคำถามเพื่อทดสอบความรู้เดิมของผู้เรียน ตัวอย่างคำถาม

1. ทรานซิสเตอร์มีหน้าที่อย่างไร
2. ทรานซิสเตอร์มีกี่ชนิด คือชนิดใดบ้าง
3. การวัดและทดสอบทรานซิสเตอร์ต้องปรับสวิตช์ย่านการวัดของมัลติมิเตอร์ไปที่ตำแหน่งใด

หากพบผู้เรียนที่ขาดความรู้และทักษะเดิม ให้ช่วยเหลือโดยให้คำอธิบายเพิ่มเติมและมอบหมายงานให้ศึกษาค้นคว้าเพิ่มเติมในชุดการสอน วิชาการอิเล็กทรอนิกส์รถยนต์เบื้องต้น รหัสวิชา 20101-2103 ชุดการสอนที่ 4 เรื่อง อุปกรณ์สารกึ่งตัวนำ เพื่อให้ผู้เรียนไปสืบค้นข้อมูลจากสื่อต่าง ๆ ส่งผลให้ผู้เรียนสามารถเชื่อมโยงความรู้และประสบการณ์เดิมได้ เป็นการแสดงให้เห็นถึง **คิดค้นและปรับเปลี่ยน** วิธีการใหม่ ๆ ในการจัดการเรียนรู้ เพื่อผู้เรียนสามารถเชื่อมโยงความรู้หรือประสบการณ์เดิมกับการเรียนรู้ใหม่

2. ขั้นตอนการปฏิบัติกิจกรรม (2 ชั่วโมง 20 นาที)

ตัวชี้วัดที่ 3 ผู้เรียนได้สร้างความรู้เอง หรือได้สร้างประสบการณ์ใหม่จากการเรียนรู้

การจัดการเรียนรู้ที่แสดงให้เห็นถึง “คิดค้นและปรับเปลี่ยน (Invent and Transform)”

ครูอธิบายชี้แจงการปฏิบัติกิจกรรมตามใบงานที่ 4.2 เรื่อง การวัดและทดสอบทรานซิสเตอร์ โดยใช้สื่อต่าง ๆ ได้แก่ ไดโอด ซีเนอร์ไดโอด ทรานซิสเตอร์ มัลติมิเตอร์แอนะล็อก มัลติมิเตอร์ดิจิทัล เพาเวอร์ซัพพลายแบบ DC ถังมือ ผ้าทำความสะอาด ชุดฝึกทักษะ จำนวน 4 ชุดสอนประกอบการบรรยายเพื่อให้ผู้เรียนเข้าใจเนื้อหาสาระการเรียนรู้ ใช้สื่อของจริง ภาพเคลื่อนไหว ครูจัดกิจกรรมการเรียนรู้ให้ **ผู้เรียนได้สร้างความรู้เอง หรือได้สร้างประสบการณ์ใหม่จากการเรียนรู้** เน้นให้ผู้เรียนได้ลงมือปฏิบัติกิจกรรมที่ต้องใช้ความรู้หรือทักษะหลากหลาย ได้แก่ ทักษะกระบวนการกลุ่ม ทักษะการคิด ทักษะการพูด ทักษะการอ่าน การเขียน ทักษะการฟัง ทักษะการแก้ปัญหา ให้ผู้เรียนได้ผ่านการเรียนรู้ด้วยการลงมือปฏิบัติเพื่อให้เกิดการเรียนรู้ด้วยตนเอง โดยครูเป็นผู้ให้การสนับสนุนการเรียนรู้ ครูใช้เทคนิคให้ผู้เรียนสรุปความรู้หรือประสบการณ์ใหม่ด้วยตนเอง ได้แก่ การให้ผู้เรียนแบ่งกลุ่ม โดยครูจัดกลุ่มให้แต่ละคนเก่ง ปานกลาง และอ่อน อยู่ในกลุ่มเดียวกัน ร่วมกันศึกษาขั้นตอนการปฏิบัติกิจกรรมในใบงานที่ 4.2 เรื่อง งานวัดและทดสอบทรานซิสเตอร์ จากใบงานในชุดการสอนวิชาการอิเล็กทรอนิกส์รถยนต์เบื้องต้น ชุดการสอนที่ 4 เรื่อง อุปกรณ์สารกึ่งตัวนำ และสืบค้นในสื่อออนไลน์ต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้อง จากนั้นให้ผู้เรียน**ปฏิบัติกิจกรรมกลุ่มแล้วสรุปประสบการณ์ใหม่** เป็นการจัดการเรียนรู้ที่แสดงให้เห็นถึง **คิดค้นและปรับเปลี่ยน** ผู้เรียนได้แสดงความคิดเห็นภายในกลุ่มการแลกเปลี่ยนเรียนรู้ภายในกลุ่ม การยอมรับความคิดเห็นของผู้อื่น จากนั้นให้ผู้เรียนทุกกลุ่มออกมานำเสนอสรุป

ประสบการณ์ใหม่หน้าชั้นเรียนให้ครูและเพื่อนได้รับฟัง โดยให้มีการวิพากษ์วิจารณ์ผลงานกลุ่มอื่นได้ เพื่อเป็นการแลกเปลี่ยนเรียนรู้

ตัวชี้วัดที่ 5 ผู้เรียนได้รับการพัฒนาทักษะความเชี่ยวชาญจากการเรียนรู้

การจัดการเรียนรู้ที่แสดงให้เห็นถึง “คิดค้นและปรับเปลี่ยน (Invent and Transform)”

ครูอธิบายลำดับการประกอบกิจกรรม และให้ผู้เรียนศึกษาขั้นตอนการปฏิบัติงานตามใบงานที่ 4.2 เรื่อง การวัดและทดสอบทรานซิสเตอร์ พร้อมกับบันทึกผลการปฏิบัติงาน หากมีข้อสงสัยเกี่ยวกับการปฏิบัติให้สอบถามครูผู้สอน จากนั้นให้ผู้เรียนปฏิบัติงานตามกลุ่มที่ได้แบ่งไว้แล้ว เพื่อบูรณาการทักษะต่าง ๆ และประยุกต์ทักษะใหม่เพื่อให้ผู้เรียนได้รับการพัฒนาทักษะความเชี่ยวชาญจากการเรียนรู้ในการปฏิบัติงาน ครูให้ผู้เรียนช่วยกันสรุปผลการปฏิบัติงานตามใบงานที่ 4.2 เรื่อง การวัดและทดสอบทรานซิสเตอร์

ตัวชี้วัดที่ 7 ผู้เรียนได้รับการพัฒนาการเรียนรู้ในบรรยากาศชั้นเรียนที่เหมาะสม

การจัดการเรียนรู้ที่แสดงให้เห็นถึง “คิดค้นและปรับเปลี่ยน (Invent and Transform)”

ครูได้จัดบรรยากาศในชั้นเรียน เพื่อให้ผู้เรียนได้รับการพัฒนาการเรียนรู้ในบรรยากาศชั้นเรียนที่เหมาะสม โดยมีการดำเนินการใน 2 ประการ ได้แก่

1. การจัดบรรยากาศทางกายภาพ คือ การจัดให้มีสื่อการเรียนการสอนที่เพียงพอกับจำนวนผู้เรียนและจัดโต๊ะวางสื่อการเรียนการสอนให้เป็นระเบียบเรียบร้อย ใช้สื่อการเรียนที่หลากหลาย จัดมุมวิชาการ จัดมุมวางคอมพิวเตอร์เพื่อให้ผู้เรียนได้สืบค้นข้อมูล อำนวยความสะดวกในการจัดกิจกรรมและการสืบค้นข้อมูลไว้ให้ผู้เรียนได้เรียนอย่างมีความสุข

2. การจัดบรรยากาศที่ส่งผลต่อด้านจิตใจ คือ การจัดรูปแบบการปฏิบัติกิจกรรมกลุ่ม เพื่อให้ผู้เรียนที่มีพื้นฐานความรู้ที่ไม่ดีได้รับการแลกเปลี่ยนเรียนรู้ซึ่งกันและกัน ครูสร้างความอบอุ่น มีความสัมพันธ์อันดีต่อผู้เรียน ให้ผู้เรียนมีอิสระทางความคิดและการกล้าแสดงออก แสดงให้เห็นถึงการคิดค้นและปรับเปลี่ยนวิธีการใหม่ ๆ ในการสร้างบรรยากาศชั้นเรียน ให้ผู้เรียนได้รับการพัฒนาการเรียนรู้ในบรรยากาศชั้นเรียนที่เหมาะสม ในการจัดกิจกรรมเสริมสร้างการเรียนรู้ของผู้เรียน

3. ขั้นตอนิปรายและสรุปผล (20 นาที)

ตัวชี้วัดที่ 4 ผู้เรียนได้รับการกระตุ้นและเกิดแรงจูงใจในการเรียนรู้

การจัดการเรียนรู้ที่แสดงให้เห็นถึง “คิดค้นและปรับเปลี่ยน (Invent and Transform)”

ครูได้วิเคราะห์และวางแผนการจัดกิจกรรมการเรียนรู้ตามลำดับความยากง่ายเพื่อให้เหมาะสมกับผู้เรียน จัดให้ผู้เรียนได้เรียนรู้ในรูปแบบกิจกรรมกลุ่มเป็นการทำให้ผู้เรียนได้ช่วยเหลือกัน ผู้เรียนมี

โอกาสสะท้อนถึงความสำเร็จการเรียนรู้ในกลุ่ม หรืออธิบายข้อผิดพลาดจากการเรียนรู้ ครูตรวจประเมินการปฏิบัติกิจกรรมตามใบงานที่ 4.2 เรื่อง งานวัดและทดสอบทรานซิสเตอร์ และอธิบายสรุปผลการปฏิบัติงานและใช้วิธีถาม ตอบ ให้ผู้เรียนรู้วิธีปฏิบัติและวิธีการแก้ไขงานที่มีปัญหาเป็นการส่งผลให้ผู้เรียนได้รับการกระตุ้นและให้เกิดแรงจูงใจในการเรียนรู้ สะท้อนการนำเสนอและการปฏิบัติงานที่เกิดจากความเข้าใจหรือข้อผิดพลาด เช่น กล่าวชมเชยผู้ที่มีความรู้และทักษะที่ดี อีกทั้งให้กำลังใจผู้เรียนที่ยังไม่สามารถพัฒนาตนเองได้เท่ากับเพื่อนร่วมชั้นเรียน ครูชี้ให้เห็นถึงประโยชน์ที่เกิดจากการเรียนรู้ การนำไปประยุกต์ใช้ในชีวิตประจำวัน แสดงให้เห็นถึง การคิดค้นและปรับเปลี่ยนในการจัดกิจกรรมการเรียนรู้ของผู้เรียนให้เป็นไปตามวัตถุประสงค์ของการเรียนรู้

ตัวชี้วัดที่ 6 ผู้เรียนได้รับข้อมูลสะท้อนกลับเพื่อปรับปรุงการเรียนรู้

การจัดการเรียนรู้ที่แสดงให้เห็นถึง “คิดค้นและปรับเปลี่ยน (Invent and Transform)”

ครูสังเกตหรือค้นหาข้อผิดพลาดในการปฏิบัติกิจกรรมของผู้เรียนระหว่างเรียน โดยครูใช้แบบประเมินพฤติกรรมการการเรียนรู้ แบบประเมินคุณธรรม จริยธรรม ค่านิยมและคุณลักษณะอันพึงประสงค์ และแบบประเมินใบงานที่ 4.2 เรื่อง งานวัดและทดสอบทรานซิสเตอร์ และนำผลจากการปฏิบัติกิจกรรม โดยให้แต่ละกลุ่มได้นำเสนอผลงานจากการปฏิบัติกิจกรรมกลุ่มตามที่ได้รับมอบหมาย

ครูใช้แบบประเมินในระหว่างการปฏิบัติกิจกรรมจากแบบประเมิน ครูและผู้เรียนร่วมกันสรุปผลการปฏิบัติกิจกรรมใบงานที่ 4.2 เรื่อง งานวัดและทดสอบทรานซิสเตอร์ และนำผลที่ได้จากการประเมินการปฏิบัติกิจกรรม สะท้อนกลับให้ผู้เรียนได้รับรู้ข้อมูลว่าตนเอง มีทักษะและองค์ความรู้ในระดับใดและมีส่วนใดที่ต้องปรับปรุงและพัฒนาตนเอง ครูอธิบายสรุปผลการปฏิบัติให้ผู้เรียนรู้วิธีการปฏิบัติและวิธีการแก้ไขงาน เป็นการแสดงให้เห็นถึงวิธีการคิดค้นและปรับเปลี่ยนวิธีการใหม่ๆ ในการให้ข้อมูลสะท้อนกลับเพื่อปรับปรุงการเรียนรู้

4. ขั้นประเมินผล (60 นาที)

ตัวชี้วัดที่ 8 ผู้เรียนสามารถกำกับการเรียนรู้และมีการเรียนรู้แบบนำตนเอง

การจัดการเรียนรู้ที่แสดงให้เห็นถึง “คิดค้นและปรับเปลี่ยน (Invent and Transform)”

ครูใช้วิธีการถาม ตอบ เพื่อประเมินความรู้ความเข้าใจผู้เรียน ตัวอย่างคำถาม ได้แก่

1. ทรานซิสเตอร์มีหน้าที่อย่างไร
2. การซิสเตอร์มีกี่ชนิด แต่ละชนิดเหมือนกันหรือแตกต่างกันอย่างไร
3. การวัดและทดสอบทรานซิสเตอร์ด้วยมัลติมิเตอร์ดิจิทัล ต้องปฏิบัติอย่างไรบ้าง

ครูให้ผู้เรียนทำการทดสอบเป็นกลุ่มตามใบงานที่ 4.2 เรื่อง งานวัดและทดสอบทรานซิสเตอร์ ครูเปิดโอกาสให้ผู้เรียนได้ประเมินตนเองหรือถูกเพื่อนประเมินร่วมกับครูประเมินในระหว่างการเรียนรู้

หรือเมื่อจบบทเรียนผ่านกิจกรรมที่หลากหลาย ด้วยการใช้แบบประเมินที่ครูได้สร้างและพัฒนาขึ้น เปิดโอกาสให้ผู้เรียนฝึกฝนเพิ่มเติมหลังจากจบบทเรียน เพื่อพัฒนาความสามารถของผู้เรียนโดย มอบหมายงานให้ผู้เรียนทุกคนได้ไปศึกษาค้นคว้าเพิ่มเติมจากสื่อต่าง ๆ โดยผู้เรียนได้สืบค้นอย่างอิสระ จากสื่อออนไลน์และสรุปสาระสำคัญ ส่งผ่านระบบออนไลน์ และเปิดโอกาสให้ผู้เรียนได้ทบทวนการ ปฏิบัติกิจกรรมด้วยตนเองตามใบงานที่ 4.2 เรื่อง งานวัดและทดสอบทรานซิสเตอร์ ในเวลาว่างเพื่อให้เกิดความชำนาญยิ่งขึ้น เป็นการฝึกการวางแผนการปฏิบัติกิจกรรมด้วยตนเอง ผู้เรียนสามารถกำกับการเรียนรู้และมีการเรียนรู้แบบนำตนเอง แสดงให้เห็นถึงการคิดค้นและปรับเปลี่ยนวิธีการใหม่ ๆ ให้ผู้เรียนสามารถกำกับการเรียนรู้และมีการเรียนรู้แบบนำตนเอง ในการจัดกิจกรรมเสริมสร้างการเรียนรู้ของผู้เรียน

สื่อการเรียนการสอน

1. บัตรใบความรู้ หน่วยที่ 4 เรื่อง อุปกรณ์สารกึ่งตัวนำ
2. สื่อประกอบการสอน Power Point แผ่นที่ 1 - 124
3. เครื่องมือวัดและทดสอบ ได้แก่ มัลติมิเตอร์แอนะล็อก มัลติมิเตอร์ดิจิทัล
4. สื่อวัสดุอุปกรณ์ ได้แก่ ไดโอด ซีเนอร์ไดโอด ทรานซิสเตอร์ เพาเวอร์ซัพพลายแบบ DC
5. ใบงานที่ 4.2 เรื่อง งานวัดและทดสอบทรานซิสเตอร์ และชุดฝึกทักษะ จำนวน 4 ชุด

การวัดผลประเมินผล

1. คะแนนจากผลการประเมินใบงานที่ 4.2 งานวัดและทดสอบทรานซิสเตอร์
2. คะแนนจากการประเมินผลพฤติกรรมการเรียนรู้
3. คะแนนจากการประเมินผลคุณธรรม จริยธรรม ค่านิยม และคุณลักษณะอันพึงประสงค์

แหล่งการเรียนรู้เพิ่มเติม

1. ห้องสมุด
2. หนังสือเรียน
3. ข้อมูลจากอินเทอร์เน็ต

กิจกรรมเสนอแนะ

1. ผู้เรียนนำทรานซิสเตอร์มาวัดและทดสอบตามใบงานเพื่อทบทวน
2. ผู้เรียนสืบค้นข้อมูลเพิ่มเติมหรือทบทวนเนื้อหาจากวิดีโอจากแหล่งข้อมูล ดังนี้
 - 2.1 <https://www.youtube.com/watch?v=G79ywVc9jLk>
 - 2.2 https://www.youtube.com/watch?v=_8z9Py0JIEk

แผนการจัดการเรียนรู้ 10

รหัสวิชา 20101-2103 ชื่อวิชางานอิเล็กทรอนิกส์ยนต์เบื้องต้น 2 (4)
หน่วยที่ 4 ชื่อหน่วย อุปกรณ์สารกึ่งตัวนำ

สอนครั้งที่ 10
จำนวน 4 ชั่วโมง

หัวเรื่อง

1. เฟต
2. หลักการทำงานของเฟต
3. การวัดและทดสอบเฟต
4. เอสซีอาร์
5. หลักการทำงานของเอสซีอาร์
6. การวัดและทดสอบเอสซีอาร์
7. ปฏิบัติงานตามใบงาน

สาระสำคัญ

เฟต เป็นทรานซิสเตอร์ชนิดหนึ่งซึ่งมีหลักการทำงานด้วยการใช้สนามไฟฟ้าควบคุมการไหลของกระแสไฟฟ้า ซึ่งมีความแตกต่างจากการทำงานของทรานซิสเตอร์ทั่วไป มีคุณสมบัติที่ดีที่ทรานซิสเตอร์คือ มีเสถียรภาพในการขยายคงที่ภายใต้การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิ สามารถขยายความถี่สูงได้ดีกว่าทรานซิสเตอร์ทั่วไป

เอสซีอาร์ มีโครงสร้างภายในประกอบด้วยสารกึ่งตัวนำชนิด P และชนิด N ต่อชนกันทั้งหมด 4 ตอน เป็นสารชนิด P 2 ตอน และสารชนิด N 2 ตอน โดยเรียงสลับกัน มีขาต่อออกมาใช้งาน 3 ขา คือ ขาแอโนด (Anode) ขาคะโทด (Cathode) และขาเกต (Gate)

จุดประสงค์การเรียนรู้

จุดประสงค์ทั่วไป

เพื่อให้ผู้เรียนมีความรู้ความเข้าใจเกี่ยวกับหน้าที่ หลักการทำงาน การวัดและทดสอบเฟต และเอสซีอาร์ อย่างประณีต รอบคอบ สะอาดปลอดภัยและรักษาสภาพแวดล้อม

จุดประสงค์เชิงพฤติกรรม

1. ด้านความรู้

- 1.1 บอกหน้าที่ของเฟตได้
- 1.1 บอกโครงสร้างและสัญลักษณ์ของเฟตได้
- 1.2 อธิบายหลักการทำงานของเฟตได้
- 1.3 อธิบายวิธีการวัดและทดสอบเฟตได้

- 1.4 บอกหน้าที่ของเอสซีอาร์ได้
- 1.5 บอกโครงสร้างและสัญลักษณ์ของเอสซีอาร์ได้
- 1.6 อธิบายหลักการทำงานของเอสซีอาร์ได้
- 1.7 อธิบายวิธีการวัดและทดสอบเอสซีอาร์ได้

2 ด้านทักษะ

- 2.1 ผู้เรียนมีทักษะในการวัดและทดสอบเฟตได้
- 2.2 ผู้เรียนมีทักษะในการวัดและทดสอบเอสซีอาร์ได้

3 ด้านคุณลักษณะอันพึงประสงค์

- 3.1 มีความตรงต่อเวลาและความรับผิดชอบ
- 3.2 มีระเบียบวินัยและการแต่งกายเรียบร้อย
- 3.3 มีความประณีต รอบคอบและปลอดภัย
- 3.4 มีความสะอาดและรักษาสภาพแวดล้อม

กิจกรรมการเรียนรู้

การจัดกิจกรรมการเรียนรู้ในชั้นเรียนที่ตอบสนองด้านทักษะการจัดการเรียนรู้และการจัดการชั้นเรียน 8 ตัวชี้วัด

1. ชี้นำเข้าสู่บทเรียน (10 นาที)

ตัวชี้วัดที่ 1 ผู้เรียนสามารถเข้าถึงสิ่งที่เรียนและเข้าใจบทเรียน

การจัดการเรียนรู้ที่แสดงให้เห็นถึง “คิดค้นและปรับเปลี่ยน (Invent and Transform)”

ครูแจ้งจุดประสงค์การเรียนรู้และเนื้อหาการเรียนรู้ ที่ครูได้สร้างและพัฒนาขึ้นมาใหม่ เพื่อให้ผู้เรียนสามารถเข้าถึงสิ่งที่เรียนและเข้าใจบทเรียนในใบงานที่ 4.3 เรื่อง งานวัดและทดสอบเฟตและเอสซีอาร์ โดยมีจุดประสงค์การเรียนรู้ ดังนี้

1. บอกหน้าที่ของเฟตได้
2. บอกโครงสร้างและสัญลักษณ์ของเฟตได้
3. อธิบายหลักการทำงานของเฟตได้
4. อธิบายวิธีการวัดและทดสอบเฟตได้
5. บอกหน้าที่ของเอสซีอาร์ได้
6. บอกโครงสร้างและสัญลักษณ์ของเอสซีอาร์ได้
7. อธิบายหลักการทำงานของเอสซีอาร์ได้
8. อธิบายวิธีการวัดและทดสอบเอสซีอาร์ได้

ครูแจ้งการวัดผลประเมินผลด้วยวิธีที่หลากหลาย ได้แก่ แบบประเมินใบงาน แบบสังเกต พฤติกรรมการเรียนรู้ แบบประเมินคุณธรรมจริยธรรม ค่านิยม และลักษณะอันพึงประสงค์ แจ้งระยะเวลาในการจัดการเรียนรู้ตามแผนการจัดการเรียนรู้ที่ 10 ใช้เวลาเรียนรวมทั้งหมด จำนวน 4 ชั่วโมง ครูแจ้งกิจกรรมการเรียนรู้ ได้แก่ การแบ่งกลุ่มผู้เรียนให้ร่วมกันศึกษาใบงานที่ 4.3 เรื่อง งานวัดและทดสอบ เฟตและเอสซีอาร์

ตัวชี้วัดที่ 2 ผู้เรียนสามารถเชื่อมโยงความรู้หรือประสบการณ์เดิมกับการเรียนรู้ใหม่

การจัดการเรียนรู้ที่แสดงให้เห็นถึง “คิดค้นและปรับเปลี่ยน (Invent and Transform)”

ครูอธิบายเพื่อเชื่อมโยงเนื้อหาและทบทวนความรู้ประสบการณ์เดิม เรื่อง อุปกรณ์สารกึ่งตัวนำ จากที่เคยเรียนผ่านมาโดยครูอธิบายเนื้อหาเดิม ในส่วนของสารกึ่งตัวนำชนิดต่าง ๆ ได้แก่ ไดโอด ซีเนอร์ไดโอด ทรานซิสเตอร์ เฟต เอสซีอาร์ อธิบายให้เชื่อมโยงกับเนื้อหาใหม่ที่จะเรียนในใบงานที่ 4.3 เรื่อง งานวัดและทดสอบเฟตและเอสซีอาร์ ซึ่งจะนำมาใช้ในการจัดการเรียนการสอน พร้อมกับแสดงสื่อของจริง

ครูนำเข้าสู่บทเรียน เพื่อให้ผู้เรียนสามารถเชื่อมโยงความรู้หรือประสบการณ์เดิมกับการเรียนรู้ใหม่ โดยนำสื่อการเรียนการสอนมาแสดง ได้แก่ ชุดการสอนที่ 4 เรื่อง อุปกรณ์สารกึ่งตัวนำ ประกอบด้วย ใบความรู้ ใบแบบฝึกหัด ใบมอบงาน ใบงาน สื่อ Power Point สื่อของจริง ได้แก่ ไดโอด และซีเนอร์ไดโอด ทรานซิสเตอร์ เฟตและเอสซีอาร์ เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการปฏิบัติงานตามใบงานที่ 4.3 เรื่อง งานวัดและทดสอบเฟตและเอสซีอาร์ ประกอบด้วย เฟต เอสซีอาร์ เครื่องเพาเวอร์ ซัพพลายแบบ DC มัลติมิเตอร์แอนะล็อก มัลติมิเตอร์ดิจิทัล ผ้าทำความสะอาด ชุดฝึกทักษะ จำนวน 4 ชุด โดยครูตั้งคำถามเพื่อทดสอบความรู้เดิมของผู้เรียน ตัวอย่างคำถาม

1. เฟตมีหน้าที่อย่างไร
2. เฟตกี่ชนิด คือชนิดใดบ้าง
3. การวัดและทดสอบเอสซีอาร์ต้องปรับสวิตช์ย่านการวัดของมัลติมิเตอร์ไปที่ตำแหน่งใด

หากพบผู้เรียนที่ขาดความรู้และทักษะเดิม ให้ช่วยเหลือโดยให้คำอธิบายเพิ่มเติมและมอบหมายงานให้ศึกษาค้นคว้าเพิ่มเติมในชุดการสอน วิชาการอิเล็กทรอนิกส์ถยนต์เบื้องต้น รหัสวิชา 2101-2103 ชุดการสอนที่ 4 เรื่อง อุปกรณ์สารกึ่งตัวนำ เพื่อให้ผู้เรียนไปสืบค้นข้อมูลจากสื่อต่าง ๆ ส่งให้ผลผู้เรียนสามารถเชื่อมโยงความรู้และประสบการณ์เดิมได้ เป็นการแสดงให้เห็นถึงการคิดค้นและปรับเปลี่ยนวิธีการใหม่ ๆ ในการจัดการเรียนรู้ เพื่อให้ผู้เรียนสามารถเชื่อมโยงความรู้หรือประสบการณ์เดิมกับการเรียนรู้ใหม่

2. ขั้นการให้ข้อมูล (1 ชั่วโมง 40 นาที)

ตัวชี้วัดที่ 3 ผู้เรียนได้สร้างความรู้เอง หรือได้สร้างประสบการณ์ใหม่จากการเรียนรู้

การจัดการเรียนรู้ที่แสดงให้เห็นถึง “คิดค้นและปรับเปลี่ยน (Invent and Transform)”

ครูอธิบายชี้แจงการปฏิบัติกิจกรรมตามใบงานที่ 4.3 เรื่อง การวัดและทดสอบเฟตและเอสซีอาร์ โดยใช้สื่อต่าง ๆ ได้แก่ เฟต เอสซีอาร์ ไดโอด ซีเนอร์ไดโอด ทรานซิสเตอร์ มัลติมิเตอร์แอนะล็อก มัลติมิเตอร์ดิจิทัล เพาเวอร์ซัพพลายแบบ DC ถังมือ ชุดฝึกทักษะ จำนวน 4 ชุด สอนประกอบการบรรยายเพื่อให้ผู้เรียนเข้าใจเนื้อหาสาระการเรียนรู้ ใช้สื่อของจริง ภาพเคลื่อนไหว ครูจัดกิจกรรมการเรียนรู้ให้ผู้เรียนได้สร้างความรู้เอง หรือได้สร้างประสบการณ์ใหม่จากการเรียนรู้ เน้นให้ผู้เรียนได้ลงมือปฏิบัติกิจกรรมที่ต้องใช้ความรู้หรือทักษะหลากหลาย ในการเรียนรู้ ได้แก่ ทักษะกระบวนการกลุ่ม ทักษะการคิด ทักษะการพูด ทักษะการอ่าน การเขียน ทักษะการฟัง ทักษะการแก้ปัญหา ให้ผู้เรียนได้ผ่านการเรียนรู้ด้วยการลงมือปฏิบัติเพื่อให้เกิดการเรียนรู้ด้วยตนเอง โดยครูเป็นผู้ให้การสนับสนุนการเรียนรู้ ครูใช้เทคนิคให้ผู้เรียนสรุปความรู้หรือประสบการณ์ใหม่ด้วยตนเอง ได้แก่ การให้ผู้เรียนแบ่งกลุ่ม โดยครูจัดกลุ่มให้แต่ละคนเก่ง ปานกลาง และอ่อน อยู่ในกลุ่มเดียวกัน ร่วมกันศึกษาขั้นตอนการปฏิบัติกิจกรรมในใบงานที่ 4.3 เรื่อง งานวัดและทดสอบเฟตและเอสซีอาร์ จากใบงานในชุดการสอน วิชางานอิเล็กทรอนิกส์รถยนต์เบื้องต้น ชุดการสอนที่ 4 เรื่อง อุปกรณ์สารกึ่งตัวนำ และสืบค้นในสื่อออนไลน์ต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้อง จากนั้นให้ผู้เรียนปฏิบัติกิจกรรมกลุ่มแล้วสรุปประสบการณ์ใหม่ เป็นการจัดการเรียนรู้ที่แสดงให้เห็นถึง **คิดค้นและปรับเปลี่ยน** ผู้เรียนได้แสดงความคิดเห็นภายในกลุ่ม การแลกเปลี่ยนเรียนรู้ภายในกลุ่ม การยอมรับความคิดเห็นของผู้อื่น จากนั้นให้ผู้เรียนทุกกลุ่มออกมานำเสนอสรุปประสบการณ์ใหม่หน้าชั้นเรียน ให้ครูและเพื่อนได้รับฟัง โดยให้มีการวิพากษ์วิจารณ์ผลงานกลุ่มอื่นได้ เพื่อเป็นการแลกเปลี่ยนเรียนรู้

ตัวชี้วัดที่ 5 ผู้เรียนได้รับการพัฒนาทักษะความเชี่ยวชาญจากการเรียนรู้

การจัดการเรียนรู้ที่แสดงให้เห็นถึง “คิดค้นและปรับเปลี่ยน (Invent and Transform)”

ครูอธิบายลำดับการประกอบกิจกรรม และให้ผู้เรียนศึกษาขั้นตอนการปฏิบัติงานตามใบงานที่ 4.3 เรื่อง งานวัดและทดสอบเฟตและเอสซีอาร์ พร้อมกับศึกษาใบบันทึกผลการปฏิบัติงาน ถ้าผู้เรียนมีข้อสงสัยให้ถามครูผู้สอน จากนั้นให้ผู้เรียนปฏิบัติงานตามกลุ่มที่ได้แบ่งไว้แล้ว โดยปฏิบัติงานตามใบงานที่ 4.3 เรื่อง งานวัดและทดสอบเฟตและเอสซีอาร์ เพื่อบูรณาการทักษะต่าง ๆ และประยุกต์ทักษะใหม่ เพื่อให้ผู้เรียนได้รับการพัฒนาทักษะความเชี่ยวชาญจากการเรียนรู้ในการปฏิบัติงาน

ตัวชี้วัดที่ 7 ผู้เรียนได้รับการพัฒนาการเรียนรู้ในบรรยากาศชั้นเรียนที่เหมาะสม

การจัดการเรียนรู้ที่แสดงให้เห็นถึง “คิดค้นและปรับเปลี่ยน (Invent and Transform)”

ครูได้จัดบรรยากาศในชั้นเรียน เพื่อให้ผู้เรียนได้รับการพัฒนาการเรียนรู้ในบรรยากาศชั้นเรียนที่เหมาะสม โดยมีการดำเนินการใน 2 ประการ ได้แก่

1. การจัดบรรยากาศทางกายภาพ คือ การจัดให้มีสื่อการเรียนการสอนที่เพียงพอกับจำนวนผู้เรียนและจัดโต๊ะวางสื่อการเรียนการสอนให้เป็นระเบียบเรียบร้อย ใช้สื่อการเรียนที่หลากหลาย จัดมุมวิชาการ จัดมุมวางคอมพิวเตอร์เพื่อให้ผู้เรียนได้สืบค้นข้อมูล อำนวยความสะดวกในการจัดกิจกรรมและการสืบค้นข้อมูลไว้ให้ผู้เรียนได้เรียนอย่างมีความสุข

2. การจัดบรรยากาศที่ส่งผลต่อด้านจิตใจ คือ การจัดรูปแบบการปฏิบัติกิจกรรมกระบวนการกลุ่ม เพื่อให้ผู้เรียนที่มีพื้นฐานความรู้ที่ไม่ดีได้รับการแลกเปลี่ยนเรียนรู้ซึ่งกันและกัน ครูสร้างความอบอุ่น มีความสัมพันธ์อันดีต่อผู้เรียน ให้ผู้เรียนมีอิสระทางความคิดและการกล้าแสดงออก แสดงให้เห็นถึงการคิดค้นและปรับเปลี่ยนวิธีการใหม่ ๆ ในการสร้างบรรยากาศชั้นเรียนให้ผู้เรียนได้รับการพัฒนาการเรียนรู้ในบรรยากาศชั้นเรียนที่เหมาะสม ในการจัดกิจกรรมเสริมสร้างการเรียนรู้ของผู้เรียน

3. ขั้นตอนิปรายและสรุปผล (20 นาที)

ตัวชี้วัดที่ 4 ผู้เรียนได้รับการกระตุ้นและเกิดแรงจูงใจในการเรียนรู้

การจัดการเรียนรู้ที่แสดงให้เห็นถึง “คิดค้นและปรับเปลี่ยน (Invent and Transform)”

ครูได้วิเคราะห์และวางแผนการจัดกิจกรรมการเรียนรู้ตามลำดับความยากง่ายเพื่อให้เหมาะสมกับผู้เรียน จัดให้ผู้เรียนเรียนรู้ในรูปแบบกิจกรรมกลุ่มเป็นการทำให้ผู้เรียนได้ช่วยเหลือกัน ผู้เรียนมีโอกาสนำเสนอถึงความสำเร็จการเรียนรู้ในกลุ่ม หรืออธิบายข้อผิดพลาดจากการเรียนรู้ เป็นการส่งผลให้ผู้เรียนได้รับการกระตุ้นและให้เกิดแรงจูงใจในการเรียนรู้ อีกทั้ง ครูอธิบายสรุปเนื้อหาผลการนำเสนอ การสรุปผลการปฏิบัติกิจกรรมกลุ่มตามใบงานที่ 4.3 เรื่อง การวัดและทดสอบเฟดและเอสซีอาร์ สะท้อนการนำเสนอ และการปฏิบัติงานที่เกิดจากความสำเร็จหรือข้อผิดพลาด โดยใช้แบบสรุปเนื้อหาจากชุดการสอนวิชางานอิเล็กทรอนิกส์รถยนต์เบื้องต้น ในชุดการสอนที่ 4 เรื่อง อุปกรณ์สารกึ่งตัวนำ กล่าวชมเชยผู้ที่มีความรู้ และทักษะที่ดี อีกทั้งให้กำลังใจผู้เรียนที่ยังไม่สามารถพัฒนาตนเองได้เท่ากับเพื่อนร่วมชั้นเรียน ครูชี้ให้เห็นถึงประโยชน์ที่เกิดจากการเรียนรู้ การนำไปประยุกต์ใช้ในชีวิตประจำวัน แสดงให้เห็นถึง การคิดค้นและปรับเปลี่ยน ในการจัดกิจกรรมการเรียนรู้ของผู้เรียนให้เป็นไปตามวัตถุประสงค์ของการเรียนรู้

ตัวชี้วัดที่ 6 ผู้เรียนได้รับข้อมูลสะท้อนกลับเพื่อปรับปรุงการเรียนรู้

การจัดการเรียนรู้ที่แสดงให้เห็นถึง “คิดค้นและปรับเปลี่ยน (Invent and Transform)”

ครูสังเกตหรือค้นหาข้อผิดพลาดในการปฏิบัติกิจกรรมของผู้เรียนระหว่างเรียน โดยครูใช้แบบประเมินพฤติกรรมการการเรียนรู้ แบบประเมินคุณธรรม จริยธรรม ค่านิยมและคุณลักษณะอันพึงประสงค์ และแบบประเมินใบงานที่ 4.3 เรื่อง งานวัดและทดสอบเพตและเอสซีอาร์ และนำผลจากการปฏิบัติกิจกรรม ให้แต่ละกลุ่มได้นำเสนอผลงานจากการปฏิบัติกิจกรรมกลุ่มตามที่ได้รับมอบหมาย

ครูใช้แบบประเมินในระหว่างการปฏิบัติกิจกรรมจากแบบประเมิน ครูและผู้เรียนร่วมกันสรุปผลการปฏิบัติกิจกรรมใบงานที่ 4.3 เรื่อง การวัดและทดสอบเพตและเอสซีอาร์ และนำผลที่ได้จากการประเมินการปฏิบัติกิจกรรม สะท้อนกลับให้ผู้เรียนได้รับรู้ข้อมูลว่าตนเอง มีทักษะและองค์ความรู้ในระดับใดและมีส่วนใดที่ต้องปรับปรุงและพัฒนาตนเอง ครูอธิบายสรุปผลการปฏิบัติให้ผู้เรียนรู้วิธีการปฏิบัติและวิธีการแก้ไขปัญหา เป็นการแสดงให้เห็นถึงวิธีการคิดค้นและปรับเปลี่ยน วิธีการใหม่ๆ ในการให้ข้อมูลสะท้อนกลับเพื่อปรับปรุงการเรียนรู้

4. ชั้นประเมินผล (40 นาที)

ตัวชี้วัดที่ 8 ผู้เรียนสามารถกำกับการเรียนรู้และมีการเรียนรู้แบบนำตนเอง

การจัดการเรียนรู้ที่แสดงให้เห็นถึง “คิดค้นและปรับเปลี่ยน (Invent and Transform)”

ครูให้ผู้เรียนทำการทดสอบตามใบงานที่ 4.3 เรื่อง งานวัดและทดสอบเพตและเอสซีอาร์ เพื่อประเมินความรู้ความเข้าใจผู้เรียน ครูเปิดโอกาสให้ผู้เรียนได้ประเมินตนเองหรือถูกเพื่อนประเมินร่วมกับครูประเมินในระหว่างการเรียนรู้หรือเมื่อจบบทเรียนผ่านกิจกรรมที่หลากหลาย ด้วยการใช้อย่างแบบประเมินที่ครูได้สร้างและพัฒนาขึ้น เปิดโอกาสให้ผู้เรียนฝึกฝนเพิ่มเติมภายหลังจากจบบทเรียน เพื่อพัฒนาความสามารถของผู้เรียนโดยมอบหมายงานให้ผู้เรียนทุกคนได้ไปศึกษาค้นคว้าเพิ่มเติมจากสื่อต่าง ๆ โดยผู้เรียนได้สืบค้นอย่างอิสระจากสื่อออนไลน์และสรุปสาระสำคัญ ส่งผ่านระบบออนไลน์ และเปิดโอกาสให้ผู้เรียนได้ทบทวนการปฏิบัติกิจกรรมด้วยตนเองตามใบงานที่ 4.3 เรื่อง งานวัดและทดสอบเพตและเอสซีอาร์ ในเวลาว่างเพื่อให้เกิดความชำนาญยิ่งขึ้น เป็นการฝึกการวางแผนการปฏิบัติกิจกรรมด้วยตนเอง ผู้เรียนสามารถกำกับการเรียนรู้และมีการเรียนรู้แบบนำตนเอง แสดงให้เห็นถึงการคิดค้นและปรับเปลี่ยนวิธีการใหม่ ๆ ให้ผู้เรียนสามารถกำกับการเรียนรู้และมีการเรียนรู้แบบนำตนเอง ในการจัดกิจกรรมเสริมสร้างการเรียนรู้ของผู้เรียน

ให้ผู้เรียนทำแบบทดสอบหลังเรียนชุดการสอนที่ 4 เรื่อง อุปกรณ์สารกึ่งตัวนำ จำนวน 10 ข้อ (10 นาที)

สื่อการเรียนการสอน

1. บัตรใบความรู้ หน่วยที่ 4 เรื่อง อุปกรณ์สารกึ่งตัวนำ
2. สื่อประกอบการสอน Power Point แผ่นที่ 1 - 124
3. สื่อเครื่องมือวัดและทดสอบ ได้แก่ มัลติมิเตอร์แอนะล็อก มัลติมิเตอร์ดิจิทัล
4. วัสดุอุปกรณ์ ได้แก่ ไดโอด ทรานซิสเตอร์ เฟตและเอสซีอาร์
5. ใบงานที่ 4.3 เรื่อง งานวัดและทดสอบเฟตและเอสซีอาร์

การวัดผลประเมินผล

1. คะแนนจากการประเมินผลการปฏิบัติงานตามใบงานที่ 4.3 เรื่อง งานวัดและทดสอบเฟตและเอสซีอาร์
2. คะแนนจากการทำใบแบบฝึกหัด เรื่อง อุปกรณ์สารกึ่งตัวนำ
3. คะแนนจากการประเมินคุณธรรม จริยธรรม ค่านิยม และคุณลักษณะอันพึงประสงค์คะแนน
4. คะแนนจากการประเมินผลพฤติกรรมการเรียนรู้
5. คะแนนแบบทดสอบหลังเรียนชุดที่ 4 เรื่อง อุปกรณ์สารกึ่งตัวนำ

แหล่งการเรียนรู้เพิ่มเติม

1. ห้องสมุด
2. หนังสือเรียน
3. ข้อมูลจากอินเทอร์เน็ต

กิจกรรมเสนอแนะ

1. ผู้เรียนเฟตและเอสซีอาร์มาทำการวัดและทดสอบตามใบงานเพื่อทบทวน
2. ผู้เรียนสืบค้นข้อมูลเพิ่มเติมหรือทบทวนเนื้อหาจากระบบออนไลน์ เช่น
 - 2.1 <https://www.youtube.com/watch?v=Gbyw1K99g1o&t=967s>
 - 2.2 <https://www.youtube.com/watch?v=FOMYhOXqJzA>
 - 2.3 <https://www.youtube.com/watch?v=1oelCZ28Eao>

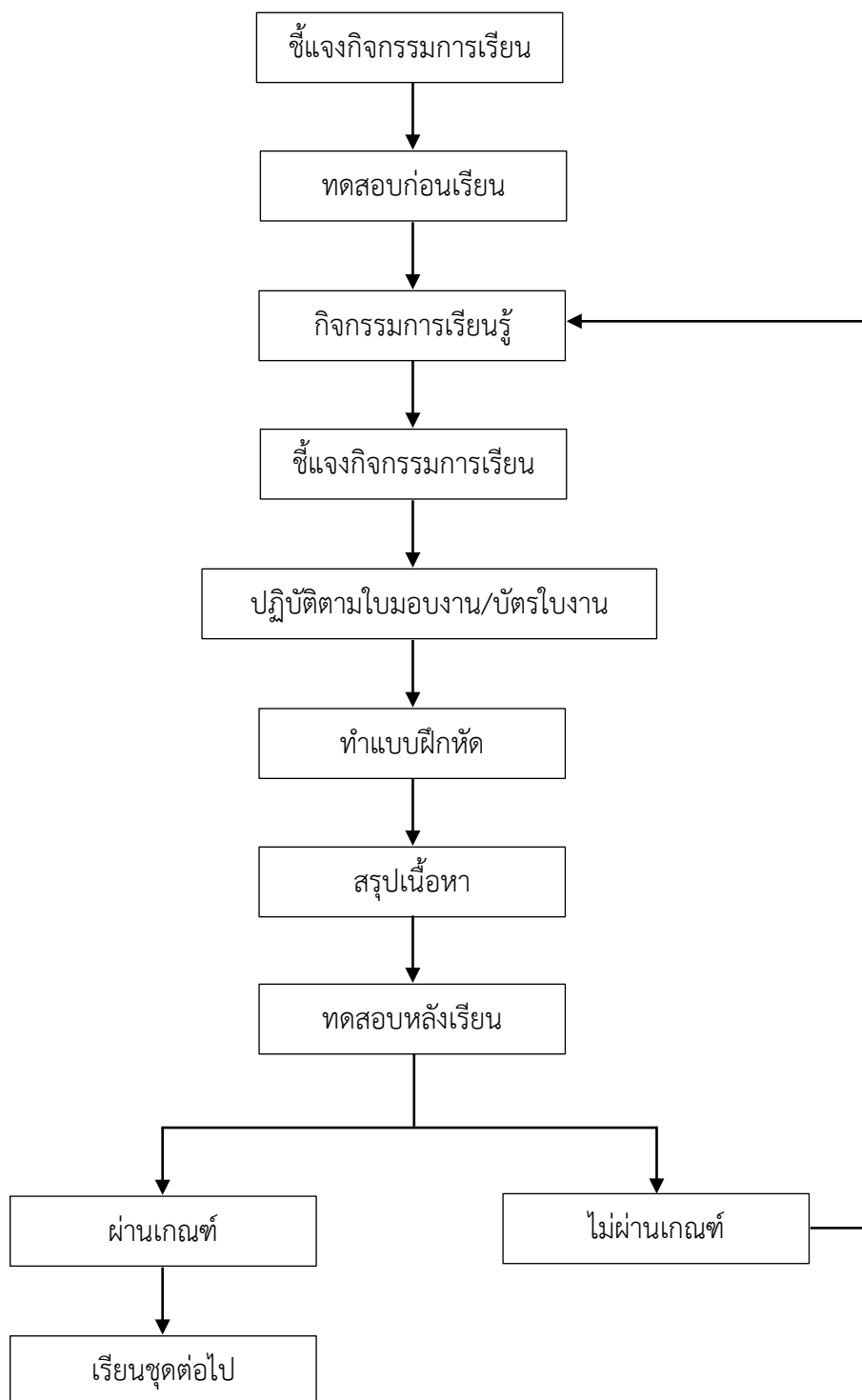
เอกสารประกอบการสอน
วิชางานอิเล็กทรอนิกส์รถยนต์เบื้องต้น รหัสวิชา 20101-2103
หลักสูตรประกาศนียบัตรวิชาชีพ พุทธศักราช 2562
ประเภทวิชาอุตสาหกรรม สาขาวิชาช่างยนต์

ชุดการสอนที่ 4
เรื่อง อุปกรณ์สารกึ่งตัวนำ

นายจิรโรจน์ เลิศธนเปี่ยมสุข

วิทยาลัยเทคนิคศรีสะเกษ จังหวัดศรีสะเกษ
สำนักงานคณะกรรมการการอาชีวศึกษา กระทรวงศึกษาธิการ

ลำดับขั้นการเรียนรู้ด้วยชุดการสอน



คำแนะนำสำหรับนักเรียน

1. ให้นักเรียนทำแบบทดสอบก่อนเรียน จำนวน 10 ข้อ เวลา 10 นาที
2. ให้นักเรียนศึกษาใบความรู้ เรื่อง อุปกรณ์สารกึ่งตัวนำ
3. ให้นักเรียนปฏิบัติตามใบมอบงาน เรื่อง อุปกรณ์สารกึ่งตัวนำ
4. ให้นักเรียนปฏิบัติงานตามใบงาน
5. ให้ผู้เรียนทำแบบฝึกหัด เรื่อง อุปกรณ์สารกึ่งตัวนำ
6. ให้นักเรียนทำแบบทดสอบหลังเรียน จำนวน 10 ข้อ เวลา 10 นาที

จุดประสงค์เชิงพฤติกรรม

1. บอกโครงสร้างของอะตอมได้
2. จำแนกประเภทของสารได้
3. จำแนกชนิดของสารกึ่งตัวนำได้
4. บอกคุณสมบัติของสารกึ่งตัวนำได้
5. อธิบายหลักการทำงานของอุปกรณ์สารกึ่งตัวนำได้
6. อธิบายวิธีการวัดและตรวจสอบอุปกรณ์สารกึ่งตัวนำได้
7. ปฏิบัติตามใบมอบงานได้
8. ปฏิบัติงานตามใบงานได้

เนื้อหา ชุดการสอนที่ 4
เรื่อง อุปกรณ์สารกึ่งตัวนำ

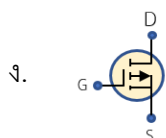
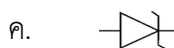
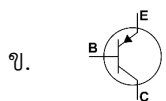
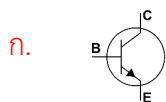
1. โครงสร้างของอะตอม
2. ตัวนำ ฉนวน และสารกึ่งตัวนำ
3. คุณสมบัติของสารกึ่งตัวนำ
4. หลักการทำงานของอุปกรณ์สารกึ่งตัวนำ
5. การวัดและตรวจสอบอุปกรณ์สารกึ่งตัวนำ

แบบทดสอบก่อนเรียนและหลังเรียน
หน่วยที่ 4 เรื่อง อุปกรณ์สารกึ่งตัวนำ

คำชี้แจง ให้เลือกคำตอบข้อที่ถูกต้องที่สุดเพียงข้อเดียวแล้วทำเครื่องหมาย (X) ลงในกระดาษคำตอบ

1. ข้อใดบอกโครงสร้างอนุภาคมูลฐานของอะตอมได้ถูกต้อง
 - ก. ประกอบด้วย นิวเคลียส และโปรตอน
 - ข. ประกอบด้วย อิเล็กตรอน โปรตอน และนิวตรอน
 - ค. ประกอบด้วย โปรตอน และนิวตรอน
 - ง. ประกอบด้วย โปรตอน และอิเล็กตรอน
2. ข้อใดเป็นสารประเภทสารกึ่งตัวนำ
 - ก. แก้วควอตซ์
 - ข. เพชร
 - ค. เจอร์มันเนียม
 - ง. ตะกั่ว
3. สารกึ่งตัวนำจำแนกเป็นกี่ชนิด
 - ก. จำแนกได้ 2 ชนิด
 - ข. จำแนกได้ 3 ชนิด
 - ค. จำแนกได้ 4 ชนิด
 - ง. จำแนกได้ 5 ชนิด
4. ข้อใดเป็นคุณสมบัติของสารกึ่งตัวนำชนิด P
 - ก. มีอิเล็กตรอนอิสระเท่ากับจำนวนโฮล
 - ข. มีอิเล็กตรอนอิสระกับนิวเคลียสจำนวนเท่ากัน
 - ค. มีจำนวนโฮลมากกว่าอิเล็กตรอนอิสระ
 - ง. มีอิเล็กตรอนอิสระมากกว่าจำนวนของโฮล
5. ข้อใดบอกหน้าที่ของไดโอดได้ถูกต้อง
 - ก. ตัดแรงดันไฟ เพื่อป้องกันไฟเกินให้กับวงจร
 - ข. จ่ายกระแสไฟให้กับวงจร เพื่อเพิ่มแรงดันให้เพิ่มขึ้น
 - ค. ควบคุมแรงดันของแบตเตอรี่ให้คงที่และไหลไปในทิศทางเดียว
 - ง. ควบคุมทิศทางการไหลของประจุไฟฟ้าให้ไหลไปในทิศทางเดียว

6. จากโครงสร้างของทรานซิสเตอร์ข้อใดเป็นสัญลักษณ์ทรานซิสเตอร์ชนิด NPN



7. โครงสร้างของเอสซีอาร์ จะมีรอยต่อตามข้อใด

ก. รอยต่อ PNP

ข. รอยต่อ P1 P2 และ P3

ค. รอยต่อ N1 N2 และ N3

ง. รอยต่อ J1 J2 และ J3

8. ข้อใดอธิบายหลักการทำงานของไดโอดเมื่อได้รับแรงดันไบอัสตรงได้ถูกต้อง

ก. กระแสสามารถไหลผ่านไดโอดได้

ข. กระแสไม่สามารถไหลผ่านไดโอดได้

ค. มีกระแสไหลกลับทิศทางจากเดิมและมีค่ามาก

ง. มีกระแสไหลที่เกิดจากพาหะข้างน้อยในสารกึ่งตัวนำพีและเอ็น

9. ขณะซีเนอร์ไดโอดทำงาน เมื่อได้รับไบอัสกลับที่แรงดันสูงมาก ๆ จะทำให้กระแสไหลย้อนกลับเป็นจำนวนมาก ทำให้รอยต่อของไดโอดทะลุใช้งานไม่ได้ ข้อใดกล่าวถูกต้อง

ก. เป็นการพังทลายแบบควบคุมแรงดัน

ข. เป็นการพังทลายแบบซีเนอร์

ค. เป็นการพังทลายแบบวอลานซ์

ง. เป็นการพังทลายแบบร็อกกาแรงดัน

10. เมื่อทำการตรวจสอบซีเนอร์ไดโอดด้วยมัลติมิเตอร์แอนะล็อก ถ้าเข็มมัลติมิเตอร์ชี้อยู่ที่ 0 โอห์ม ข้อใดอธิบายได้ถูกต้อง

- ก. ซีเนอร์ไดโอดขาด
- ข. ซีเนอร์ไดโอดช็อต
- ค. ซีเนอร์ไดโอดรั่ว
- ง. ซีเนอร์ไดโอดดี

เฉลยแบบทดสอบก่อนเรียนและหลังเรียน

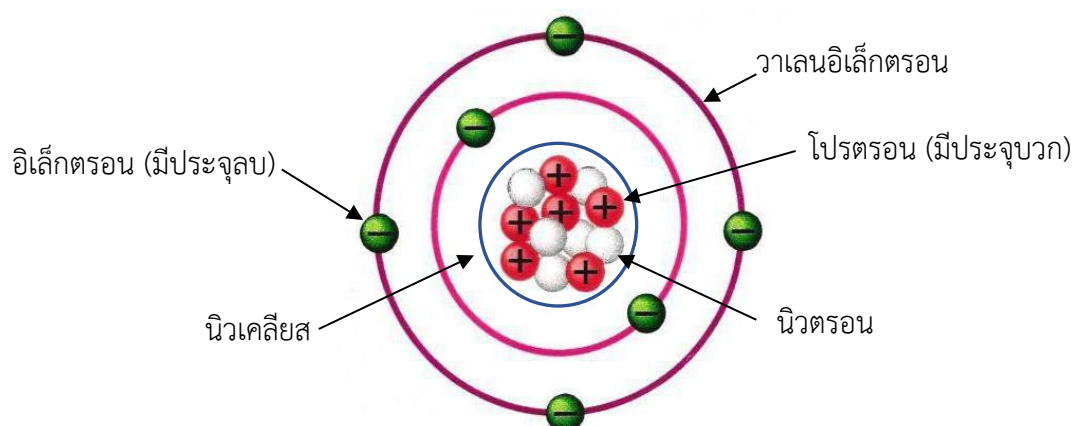
หน่วยที่ 4 เรื่อง อุปกรณ์สารกึ่งตัวนำ

ข้อ	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
เฉลย	ข	ค	ก	ค	ง	ก	ง	ก	ค	ข

ใบความรู้ หน่วยที่ 4 อุปกรณ์สารกึ่งตัวนำ

1. โครงสร้างของอะตอม

ในการศึกษาเกี่ยวกับสารกึ่งตัวนำ จำเป็นที่จะต้องมีความรู้ความเข้าใจพื้นฐานและคุณสมบัติของธาตุที่เป็นสารกึ่งตัวนำ เพราะในธาตุทุกชนิดมีส่วนประกอบเล็ก ๆ ที่เรียกว่า โมเลกุล มารวมตัวกัน โดยแต่ละโมเลกุล ประกอบด้วยส่วนที่เล็กที่สุดเรียกว่าอะตอม เป็นคำที่มาจากภาษากรีกว่า atomos แปลว่า แบ่งแยกอีกไม่ได้ หมายความว่า อะตอม คือ หน่วยย่อยที่เล็กที่สุดของธาตุซึ่งไม่สามารถแบ่งให้เล็กลงไปอีก แนวความคิดดังกล่าวนี้ได้จากนักปราชญ์ชาวกรีก ชื่อ ดีโมคริตัส (Demokritos) เช่น โมเลกุลของน้ำจะประกอบด้วยอะตอม 3 อะตอม คือ อะตอมของไฮโดรเจน (Hydrogen) 2 อะตอม และอะตอมของออกซิเจน (Oxygen) 1 อะตอม มารวมกัน โดยแต่ละอะตอมจะมีแกนกลางประกอบด้วย นิวตรอนและโปรตอนอยู่รวมกัน เรียกว่านิวเคลียส และมีอิเล็กตรอนวิ่งอยู่รอบนิวเคลียสหลาย ๆ วงในอะตอมเดียว อิเล็กตรอนมีวงโคจรเป็นชั้น ๆ แต่ละชั้นมีระดับค่าพลังงานที่แน่นอน อิเล็กตรอนที่อยู่วงนอกสุดเรียกว่า วาเลนซ์อิเล็กตรอน (Valence Electron) จะมีระดับพลังงานมากที่สุด โปรตอนมีศักย์ทางไฟฟ้าเป็นบวก นิวตรอนมีศักย์ทางไฟฟ้าเป็นกลาง และอิเล็กตรอนมีศักย์ทางไฟฟ้าเป็นลบ โปรตอนและอิเล็กตรอน (นิวเคลียส) 1 ตัว มีค่าประจุไฟฟ้า เท่ากับ 1.60219×10^{-19} คูลอมบ

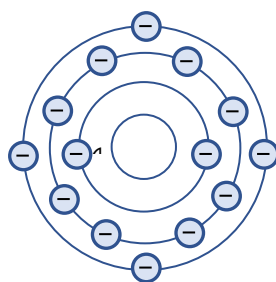


รูปที่ 4.1 โครงสร้างของอะตอม

ที่มา : จิรโรจน์ เลิศชนเปี่ยมสุข. 2565

1.1 วงอิเล็กตรอน

อิเล็กตรอนจะเคลื่อนที่รอบนิวเคลียสเป็นวงโคจร โดยมีแรงเหวี่ยงออกจากจุดศูนย์กลาง แต่เนื่องจากถูกแรงดึงดูดของโปรตอนในนิวเคลียสดึงดูดทำให้อิเล็กตรอนวิ่งเคลื่อนที่รอบนิวเคลียสเป็นวงโคจรที่มีระดับคงที่ ระยะห่างเป็นวงๆ หลายระดับและหลายระยะห่าง ขึ้นอยู่กับจำนวนอิเล็กตรอนและโปรตอน วงโคจรนี้ เรียกว่า วงอิเล็กตรอน โครงสร้างภายนอกของวัตถุธาตุแต่ละชนิดมีความแตกต่างกัน เพราะโครงสร้างแต่ละอะตอมของวัตถุธาตุแต่ละชนิดมีจำนวนโปรตอน นิวตรอน และอิเล็กตรอนไม่เท่ากัน เมื่อรวมตัวเป็นวัตถุโครงสร้างภายนอกจะแตกต่างกัน ดังตัวอย่างวงอิเล็กตรอนของธาตุซิลิคอน ดังรูปที่ 4.2



รูปที่ 4.2 วงอิเล็กตรอนของสารซิลิคอนมีอิเล็กตรอน 14 ตัว

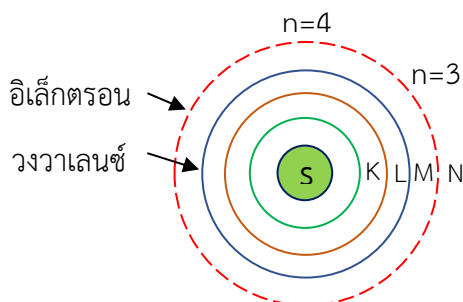
ที่มา : จิรโรจน์ เลิศนเปี่ยมสุข. 2565

การจัดการจำนวนอิเล็กตรอนที่วิ่งเคลื่อนที่ในแต่ละวงโคจรจะมีความแตกต่างกันไป มาตรฐานของจำนวนอิเล็กตรอนในแต่ละวง สามารถทราบได้โดยใช้สูตรดังนี้

$$\text{จำนวนที่มากที่สุดของแต่ละวง} = 2n^2$$

เมื่อ n แทนลำดับวงโคจรที่อยู่ห่างออกไปจากนิวเคลียส

ลำดับวงโคจรของอิเล็กตรอนที่วิ่งรอบนิวเคลียสเรียกว่า ชั้นของวงโคจร (Shell) ถูกกำกับด้วยตัวอักษรเป็นลำดับจากมากไปหาน้อย เรียงลำดับจากตัวอักษรคือ K,L,M,N,O,P และ Q ชั้นวงโคจรแทนค่าด้วยตัวอักษร n ดังรูปที่ 4.3



รูปที่ 4.3 โครงสร้างระดับพลังงานอะตอมของซิลิคอน

ที่มา : จิรโรจน์ เลิศนเปี่ยมสุข. 2565

จากรูปที่ 4.3 อิเล็กตรอนที่วิ่งอยู่รอบๆ นิวเคลียส มีระดับพลังงานแตกต่างกัน ขึ้นอยู่กับค่า n โดยที่ n เป็นเลขจำนวนเต็ม 1, 2, 3, 4 โดยมีค่าต่ำสุดที่ $n = 1$ และระดับพลังงานนี้ไปเป็นตัวกำหนดวงอิเล็กตรอน ระดับพลังงานวงอิเล็กตรอนมีหน่วยเป็นอิเล็กตรอนโวลต์ (Electron Vole ; eV) โดยวงที่อยู่ใกล้นิวเคลียสมากที่สุดจะมีระดับ พลังงานต่ำสุด ($n = 1$) วงนอกสุดมีระดับพลังงานสูงสุด สำหรับชื่อวงอิเล็กตรอนเป็นตัวอักษรภาษาอังกฤษเรียงกัน ตั้งแต่ K, L, M, N, O, P, Q โดยที่วง K จะมีระดับพลังงาน $n = 1$ วง L คือ ระดับพลังงาน $n = 2$ วง M ระดับพลังงาน $n = 3$ เป็นต้น

ระดับพลังงานต่ำสุด หมายถึง พลังงานในตัวอิเล็กตรอนวงนั้นมีค่าน้อย เมื่อต้องการดึงเอาอิเล็กตรอนที่วงนั้นออกมาจากอะตอม ต้องใช้พลังงานมากที่สุด (พลังงาน เช่น พลังงานความร้อน พลังงานไฟฟ้า) ถ้าอิเล็กตรอนที่อยู่ในวงนอกมาก พลังงานในตัวอิเล็กตรอนจะมากขึ้น ทำให้การดึงอิเล็กตรอนออกจากอะตอมทำได้ง่ายขึ้นใช้พลังงานน้อยลง จำนวนอิเล็กตรอนมีได้มากสุดในแต่ละวงหรือแต่ละระดับพลังงาน มีค่าเท่ากับ $2n^2$ ดังตัวอย่าง ดังนี้

ระดับค่า $n = 1$ (วง K) มีอิเล็กตรอนได้มากที่สุด คือ $2(1)^2 = 2$ ตัว

ระดับค่า $n = 5$ (วง L) มีอิเล็กตรอนได้มากที่สุด คือ $2(5)^2 = 50$ ตัว

จากตัวอย่างข้างต้นไม่ได้หมายความว่าทุกวงต้องมีอิเล็กตรอนให้เต็มจำนวนที่มีได้ เพราะในวงนอกสุดจะมีข้อกำหนดว่าจะมีอิเล็กตรอนได้ไม่เกิน 8 ตัว ยกตัวอย่างซิลิคอน มีอิเล็กตรอนทั้งสิ้น 14 ตัว สามารถแบ่งจำนวนอิเล็กตรอนในแต่ละวงได้ คือ วง K มี 2 ตัว วง L มี 8 ตัว วง M เป็นวงนอกสุดของซิลิคอนมี 4 ตัว วงอิเล็กตรอนนอกสุดมีความสำคัญมาก เพราะเป็นตัวบ่งบอกว่าธาตุนั้นมีความสามารถในการนำไฟฟ้าได้ดีเพียงไร วงอิเล็กตรอนนอกสุด เรียกว่า วงวาเลนซ์ (Valence Shell) และอิเล็กตรอนที่อยู่ในวงนี้ เรียกว่า วาเลนซ์อิเล็กตรอน (Valence Electron) วงอิเล็กตรอนนอกสุดหรือวงวาเลนซ์จะมีอิเล็กตรอนได้ไม่เกิน 8 ตัว โดยธรรมชาติของอะตอมจะพยายามจัดกลุ่มรวมกันเป็นโมเลกุลเพื่อให้อยู่ในสภาวะเสถียร ถ้าหากสารใดมีวาเลนซ์อิเล็กตรอนไม่ครบ 8 ตัว จะพยายามหาทางทำให้ครบ วิธีการที่ทำให้อะตอมมีวาเลนซ์อิเล็กตรอนครบ 8 ตัว มีด้วยกัน 3 วิธี คือ

- 1) ให้อิเล็กตรอนไปกับอะตอมอื่น
- 2) รับอิเล็กตรอนจากอะตอมอื่น
- 3) ใช้อิเล็กตรอนร่วมกับอะตอมอื่น

วิธีการใช้อิเล็กตรอนร่วมกับอะตอมอื่นนี้เรียกว่า พันธะโควาเลนต์ (Covalence Bond)

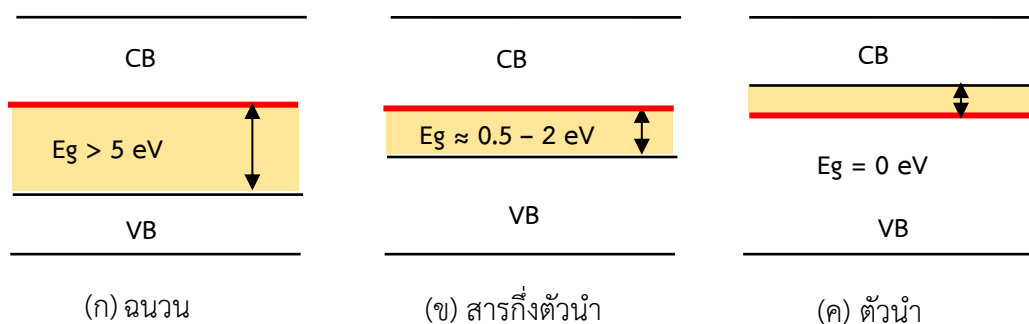
1.2 แถบพลังงาน

อิเล็กตรอนในอะตอมมีระดับพลังงานได้หลายระดับ ซึ่งระดับพลังงานจะจัดเรียงเป็นแถบเรียกว่า แถบพลังงาน (Energy Band) แถบของระดับพลังงานที่อิเล็กตรอนสามารถอยู่ได้ เรียกว่า

แถบยินยอม (Allow Band) แถบของระดับพลังงานที่อิเล็กตรอนไม่สามารถอยู่ได้ เรียกว่า แถบต้องห้าม (Forbidden Band) แถบพลังงานที่มีความสำคัญ คือ แถบพลังงานที่มีค่าสูงที่สุด ซึ่งเป็นแถบวาเลนซ์ของพลังงานอิเล็กตรอน เรียกว่า แถบวาเลนซ์ (Valence Band ; VB) แถบยินยอมถัดจากแถบวาเลนซ์ขึ้นไป เรียกว่า แถบนำ (Conduction Band ; CB) ระหว่างแถบวาเลนซ์กับแถบนำ จะมีช่องว่างอยู่ เรียกว่า แถบช่องว่างพลังงาน (Energy Gap ; E_g) ถ้าอิเล็กตรอนในแถบวาเลนซ์ได้รับพลังงานมากกว่า แถบช่องว่างพลังงาน วาเลนซ์อิเล็กตรอนนั้น จะเป็นอิเล็กตรอนอิสระ (Free Electron) หรืออิเล็กตรอนนำกระแส (Conduction Electron) สามารถทำให้เกิดกระแสไฟฟ้าได้

ค่าระดับพลังงานของแถบวาเลนซ์ (Valence Band) และค่าระดับพลังงานของแถบนำของธาตุแต่ละชนิดจะมีความแตกต่างกัน ดังนั้นค่าของแถบพลังงานช่องว่าง (Energy Gap) ก็แตกต่างกันด้วย วัสดุที่มีค่าแถบพลังงานมากจะนำไฟฟ้าได้ยาก เพราะต้องใช้พลังงานมากจึงจะเกิดอิเล็กตรอนอิสระนำไฟฟ้าได้ วัสดุที่มีค่าแถบช่องว่างพลังงานมากกว่า 5 อิเล็กตรอนโวลต์ (eV) จะถูกจัดให้เป็นฉนวนไฟฟ้า (Insulator) วัสดุที่มีค่าแถบช่องว่างพลังงานต่ำมากหรือเป็นศูนย์ จะทำให้มีอิเล็กตรอนจำนวนมาก จะนำไฟฟ้าได้ดีจะมีคุณสมบัติเป็นตัวนำไฟฟ้า (Conductor)

แถบช่องว่างพลังงานสารกึ่งตัวนำ อยู่ระหว่าง 0.5 – 2 อิเล็กตรอนโวลต์ แต่จะมีระย่น้อยกว่าฉนวน สำหรับเจอร์เมเนียม มีค่าประมาณ 0.785 อิเล็กตรอนโวลต์ และซิลิคอน มีค่า 1.21 อิเล็กตรอนโวลต์



รูปที่ 4.4 แถบนำและแถบช่องว่างพลังงานของธาตุ

ที่มา : จิรโรจน์ เลิศชนเปี่ยมสุข. 2565

2. ตัวนำ ฉนวน และสารกึ่งตัวนำ

จากโครงสร้างของอะตอม เราทราบแล้วว่าธาตุที่เป็นตัวนำ (Conductor) จะมีอิเล็กตรอนวงนอก 1-3 ตัว เมื่อได้รับพลังงานภายนอกมากกระทำ เช่น ความร้อน หรือ พลังงานไฟฟ้า อิเล็กตรอนจะหลุดออกมาจากวงโคจรเป็นอิเล็กตรอนอิสระ (Free Electron) ได้ ทำให้สามารถเคลื่อนตัวไปในธาตุได้อย่างอิสระ เรียกการเคลื่อนตัวของอิเล็กตรอน (ประจุพาหะ) นี้ว่า กระแสไฟฟ้า ดังนั้นธาตุที่เป็น

ตัวนำจึงมีสภาพการนำไฟฟ้าที่ดี ส่วนธาตุที่มีอิเล็กตรอนวงนอกตั้งแต่ 5-8 ตัว จะเรียกว่า ฉนวน (Insulator) จะมีสภาพการนำไฟฟ้าที่ไม่ดี เพราะมีอิเล็กตรอนอิสระน้อย สำหรับธาตุที่มีอิเล็กตรอนวงนอก 4 ตัว เช่น ซิลิคอน (Silicon) และเจอร์มันเนียม (Germanium) จะมีสภาพการนำไฟฟ้าอยู่ระหว่างตัวนำและฉนวน เรียกว่า สารกึ่งตัวนำ (Semiconductor) รายละเอียดของตัวนำ ฉนวน และสารกึ่งตัวนำ มีดังนี้

2.1 ตัวนำ (Conductor)

ตัวนำ คือ วัสดุที่มีคุณสมบัติยอมให้กระแสไฟฟ้าไหลผ่านไปได้ เช่น เงิน ทองแดง ทองเหลือง อลูมิเนียม สังกะสี นิกเกิล ตะกั่ว แพลทินัม ฯลฯ เป็นต้น โดยจะถูกนำไปใช้ในการผลิตอุปกรณ์ไฟฟ้า หรือเป็นส่วนประกอบในเครื่องใช้ไฟฟ้าหลายชนิด เมื่อนำมาเป็นตัวนำไฟฟ้าในวงจรไฟฟ้าวัสดุที่เป็นตัวนำที่ดีจะมีคุณสมบัติมีความต้านทานไฟฟ้าต่ำ มีการสูญเสียพลังงานไฟฟ้าน้อย วัสดุที่เป็นตัวนำเมื่อเรียงตามความสามารถในการนำไฟฟ้าที่ดี ได้แก่ เงิน ทองแดง ทอง อลูมิเนียม นอกจากนี้ยังมีวัสดุอื่น ๆ เช่น ตะกั่ว ดีบุก เหล็ก เป็นต้น ดังรูปที่ 4.5



รูปที่ 4.5 วัสดุที่เป็นตัวนำ

ที่มา : จิรโรจน์ เลิศธนเปี่ยมสุข. 2565

2.2 ฉนวน (Insulator)

ฉนวน คือ วัสดุที่มีคุณสมบัติไม่ให้ไฟฟ้าไหลผ่านได้หรือมีความต้านทานไฟฟ้าสูง หรือไม่ยอมให้ไฟฟ้าไหลผ่าน วัสดุที่เป็นฉนวนไฟฟ้าได้แก่ พลาสติก กระเบื้อง ยาง แก้ว ผ้า เทปพันสายไฟ กระดาษ ไม้แห้ง พีวีซี เป็นต้น ดังรูปที่ 4.6



รูปที่ 4.6 วัสดุที่เป็นฉนวน

ที่มา : จิรโรจน์ เลิศธนเปี่ยมสุข. 2565

2.3 สารกึ่งตัวนำ (Semiconductor)

สารกึ่งตัวนำ คือ วัสดุที่มีคุณสมบัติในการนำไฟฟ้ามีความเป็นกลางระหว่างตัวนำกับฉนวน มีส่วนประกอบของเจอร์เมเนียม (Germanium) ซิลิคอน (Silicon) ซีลีเนียม (Selenium) และตะกั่วเทลลูไรด์ สารดังกล่าวมีอิเล็กตรอนอิสระอยู่น้อยไม่สามารถให้กระแสไฟฟ้าไหลเป็นจำนวนมากได้ ต้องมีการปรุงแต่งโดยการเจือปนอะตอมของธาตุอื่นลงไปในเรื่องสารทำปฏิกิริยากันให้ได้ สารประกอบที่มีคุณสมบัติตามที่ต้องการ สารกึ่งตัวนำที่สร้างขึ้นโดยวิธีดังกล่าวนี้เรียกว่า สารกึ่งตัวนำไม่บริสุทธิ์ ซึ่งจะเป็สารที่ใช้ทำอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ เช่น ไดโอด และทรานซิสเตอร์ชนิดต่าง ๆ ความเป็นตัวนำไฟฟ้าขึ้นอยู่กับอุณหภูมิและสารไม่บริสุทธิ์ที่มีเจือปน สารกึ่งตัวนำจะมีความต้านทานไฟฟ้าลดลงเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น

3. คุณสมบัติสารกึ่งตัวนำ

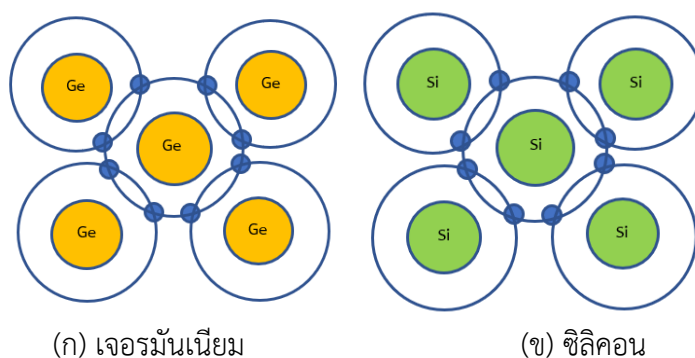
3.1 สารกึ่งตัวนำบริสุทธิ์ (Intrinsic Semiconductor)

ซิลิคอน (Silicon ; Si) เป็นธาตุกึ่งตัวนำที่มีเลขอะตอม 14 มีอิเล็กตรอนชั้นวงนอกสุดจำนวน 4 ตัว ใช้เป็นส่วนประกอบหลักในการผลิตแก้ว ซีเมนต์เซรามิก ซิลิคอนจึงถูกนำมาใช้เป็นสารกึ่งตัวนำอย่างแพร่หลาย

เจอร์เมเนียม (Germanium ; Ge) เป็นธาตุกึ่งตัวนำที่มีอิเล็กตรอนวงนอกสุด จำนวน 4 ตัว มีคุณสมบัติอยู่ระหว่างโลหะและอโลหะ เมื่อนำมาใช้งานมักจะมีปัญหาเกี่ยวกับการรั่วไหลของกระแส สารกึ่งตัวนำที่นำมาผลิตอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ส่วนใหญ่จะใช้ ซิลิคอน (Silicon) และเจอร์เมเนียม (Germanium) สารกึ่งตัวนำทั้งสองตัวนี้มีวาเลนซ์อิเล็กตรอน 4 ตัว อะตอมตัวหนึ่งของสารกึ่งตัวนำจะจับกับอะตอมอื่นอีก 4 อะตอม เป็นการรวมตัวกันโดยพันธะโควาเลนต์ (Covalence Bond) คือใช้วาเลนซ์อิเล็กตรอนร่วมกับอะตอมอื่น จึงทำให้อะตอมหนึ่งของสารกึ่งตัวนำมีวาเลนซ์อิเล็กตรอน 8 ตัว วาเลนซ์อิเล็กตรอน 4 ตัว เป็นของอะตอมสารกึ่งตัวนำในอะตอมนั้น ส่วนวาเลนซ์อิเล็กตรอนอีก 4 ตัว ใช้ร่วมกับอะตอมอื่น ดังนั้นอิเล็กตรอนของสารกึ่งตัวนำจะยึดแน่นกับอะตอมมาก สารกึ่งตัวนำจึงเป็นตัวนำไฟฟ้าที่ไม่ดี แต่เมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นอิเล็กตรอนได้รับพลังงานความร้อนจะหลุดจากอะตอม ทำให้มีอิเล็กตรอนในแถบพลังงานนำสารกึ่งตัวนำจึงนำไฟฟ้าได้ การนำไฟฟ้าของสารกึ่งตัวนำจะขึ้นกับอุณหภูมิ ถ้าอุณหภูมิสูงอิเล็กตรอนในแถบนำมากจะนำไฟฟ้าได้ดี ถ้าอุณหภูมิต่ำจะเป็นตัวนำไฟฟ้าที่ไม่ดี

เมื่ออิเล็กตรอนหลุดจากอะตอมจะกลายเป็นอิเล็กตรอนอิสระ ทำให้พันธะโควาเลนต์ (Covalence Bond) เกิดช่องว่างขึ้นมีลักษณะคล้ายกับหลุม ช่องว่างหรือหลุมนี้ เรียกว่า โฮล (Hole) อิเล็กตรอนจากอะตอมข้างเคียงสามารถเคลื่อนที่เข้ามาแทนที่และอิเล็กตรอนจะตกลงไปในโฮลนั้น ถ้าอิเล็กตรอนของอะตอมข้างเคียงมีพลังงานเคลื่อนที่เข้ามาแทนที่โฮล อิเล็กตรอนข้างเคียงจะเกิดโฮลขึ้น การเคลื่อนที่ลักษณะนี้คือโฮลเคลื่อนจากอะตอมเดิมไปยังอะตอมข้างเคียง ถ้ายังมีอิเล็กตรอนจาก

อะตอมอื่นเคลื่อนเข้ามาแทนที่โฮลต่อเนื่องกันหลาย ๆ อะตอม โฮลจะเคลื่อนที่ไปตามอะตอมเหล่านั้น เมื่ออิเล็กตรอนอิสระเคลื่อนที่เข้ามาสู่โฮล อะตอมนั้นจะกลายสภาพเป็นกลาง มีพันธะโควาเลนต์ครบสมบูรณ์ แต่อะตอมที่เสียอิเล็กตรอนไปจะเกิดโฮลขึ้นแทน จึงเป็นปรากฏการณ์ว่าโฮลเคลื่อนที่ได้จากอะตอมหนึ่งไปสู่อีกอะตอมหนึ่ง โฮลจึงถูกสมมติให้เป็นอนุภาคที่เป็นประจุบวกที่สามารถเคลื่อนที่ได้ เนื่องจากอะตอมที่เกิดโฮล มีสภาพเป็นบวกเพราะขาดอิเล็กตรอน โฮลจึงเป็นตัวพาประจุบวกในสารกึ่งตัวนำ ซึ่งในสารกึ่งตัวนำนี้จะมีตัวพาประจุ 2 ชนิด คืออิเล็กตรอนเป็นพาหะประจุลบและโฮลเป็นพาหะประจุบวกในผลึกสารกึ่งตัวนำบริสุทธิ์เมื่ออิเล็กตรอนอิสระเกิดขึ้น 1 ตัว จะมีโฮลเกิดขึ้นพร้อมกัน 1 ตัวเสมอ เรียกว่า คู่อิเล็กตรอนโฮล ดังรูปที่ 4.7



รูปที่ 4.7 พันธะโควาเลนต์ของเจอร์มันเนียมและซิลิคอน

ที่มา : จิรโรจน์ เลิศธนเปี่ยมสุข. 2565

คุณสมบัติของสารกึ่งตัวนำบริสุทธิ์จะมีสภาพการนำไฟฟ้าที่ไม่ดี เพราะอิเล็กตรอนวงนอกจะจับตัวรวมกัน โดยใช้อิเล็กตรอนร่วมกันเพื่อให้เกิดภาวะเสถียร เหมือนมีอิเล็กตรอนวงนอก 8 ตัว จึงไม่เหมาะสมต่อการใช้งาน จึงมีการเติมสารอื่นเข้าไปเพื่อให้เกิดสภาพนำไฟฟ้าที่เหมาะสมกับการใช้งาน เรียกว่า การโด๊ป (Doping) สารกึ่งตัวนำที่ได้รับการโด๊ปจึงมีอะตอมสารเจือปนอยู่ เรียกว่า สารกึ่งตัวนำไม่บริสุทธิ์

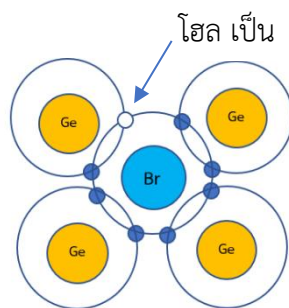
3.2 สารกึ่งตัวนำไม่บริสุทธิ์ (Extrinsic semiconductor)

สารกึ่งตัวนำไม่บริสุทธิ์ เป็นสารที่เกิดขึ้นจากการเติมสารเจือปนลงไปในสารกึ่งตัวนำแท้ เช่น ซิลิคอน หรือเจอร์มันเนียม เพื่อให้ได้สารกึ่งตัวนำที่มีสภาพการนำไฟฟ้าที่ดีขึ้น สารกึ่งตัวนำไม่บริสุทธิ์แบ่งออกเป็น 2 ชนิด คือ สารกึ่งตัวนำชนิดพี (P-type Semiconductor) และสารกึ่งตัวนำชนิดเอ็น (N-type Semiconductor)

3.2.1 สารกึ่งตัวนำชนิด P (P-type Semiconductor)

สารกึ่งตัวนำชนิด P ได้จากการเติมสารที่มีอิเล็กตรอนวงนอก 3 ตัว ลงไปในสารกึ่งตัวนำบริสุทธิ์ ที่มีอิเล็กตรอนวงนอกสุด 4 ตัว (สารเจือปนมีอิเล็กตรอนน้อยกว่าสารกึ่งตัวนำบริสุทธิ์)

เช่น อลูมิเนียม หรือ แกลเลียม ลงไปทำให้เกิดสภาวะขาดอิเล็กตรอน ดังนั้นคุณสมบัติของสารกึ่งตัวนำชนิด P คือ มีที่ว่างของอิเล็กตรอนเรียกว่า โฮล (Hole) มากกว่าอิเล็กตรอนอิสระ อิเล็กตรอนข้างเคียงโฮลจะเคลื่อนที่ไปแทนที่โฮลที่ว่างทำให้ดูคล้ายกับโฮลเคลื่อนที่ได้จึงทำให้กระแสไหลได้ เนื่องจากโฮลเป็นพาหะส่วนใหญ่ของสาร จึงมีสภาพเป็นประจุไฟฟ้าบวกและอิเล็กตรอนจะเป็นพาหะส่วนน้อย จึงเรียกสารกึ่งตัวนำประเภทนี้ว่า สารกึ่งตัวนำชนิด P (P-type Semiconductor) ดังรูปที่ 4.8

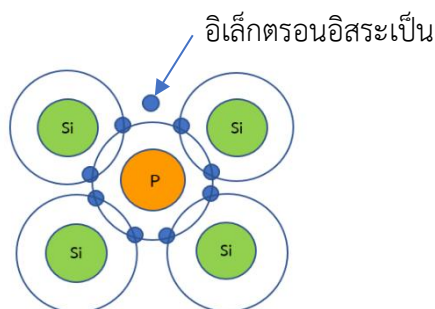


รูปที่ 4.8 อิเล็กตรอนอิสระของสารกึ่งตัวนำชนิด P

ที่มา : จิรโรจน์ เลิศนเปี่ยมสุข. 2565

3.2.2 สารกึ่งตัวนำชนิด N (N-Type Semiconductor)

สารกึ่งตัวนำชนิด N (N-Type Semiconductor) ได้จากการเติมสารเจือปนที่มีอิเล็กตรอนวงนอกสุด 5 ตัว (สารเจือปนมีอิเล็กตรอนมากกว่าสารกึ่งตัวนำบริสุทธิ์) เช่น ฟอสฟอรัส อาเซนิก อย่างใดอย่างหนึ่งลงไป ทำให้อิเล็กตรอนวงนอกสุดแต่ละอะตอมแลกเปลี่ยนอิเล็กตรอนซึ่งกันและกัน หรือใช้อิเล็กตรอนร่วมกันเพื่อให้ได้ครบ 8 ตัว ดังนั้นคุณสมบัติของสารกึ่งตัวนำชนิด N คือ ผลจากการรวมตัวกันของอิเล็กตรอนทำให้เหลืออิเล็กตรอนวงนอกสุด 1 ตัว เพราะสารเจือปนมีอิเล็กตรอนวงนอกสุด 5 ตัว จึงมีอิเล็กตรอนรวมเป็น 9 ตัว เรียกอิเล็กตรอนที่อยู่นอกวงโคจรจำนวน 1 ตัวว่า อิเล็กตรอนอิสระ ซึ่งแสดงประจุลบออกมา จึงเรียกอิเล็กตรอนว่าเป็นพาหะข้างมาก และเรียกโฮลว่าเป็นพาหะข้างน้อย จึงเรียกสารกึ่งตัวนำประเภทนี้ว่า สารกึ่งตัวนำชนิด N (N-type Semiconductor)

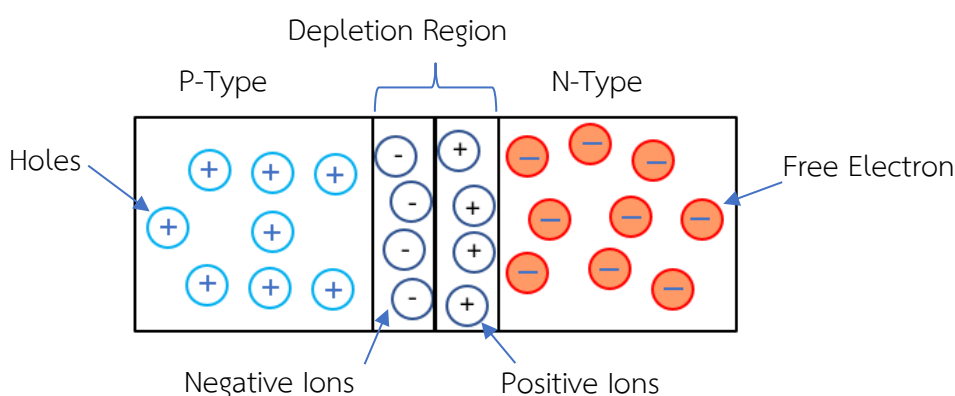


รูปที่ 4.9 อิเล็กตรอนอิสระของสารกึ่งตัวนำชนิด N

ที่มา : จิรโรจน์ เลิศนเปี่ยมสุข. 2565

3.2.3 รอยต่อ PN (PN Junctions)

เมื่อนำสารกึ่งตัวนำชนิด P และสารกึ่งตัวนำชนิด N มาเชื่อมต่อกัน จะเกิดการรวมตัวระหว่างอิเล็กตรอนและโฮลบริเวณใกล้รอยต่อ โดยอิเล็กตรอนในสารกึ่งตัวนำชนิด N รวมตัวกับโฮลของสารกึ่งตัวนำชนิด P ทำให้อะตอมบริเวณรอยต่อของสารกึ่งตัวนำชนิด N ขาดอิเล็กตรอน (เกิดโฮลขึ้นแทน) จึงเกิดสถานะเป็นประจุไฟฟ้าบวก (Positive Ions) ซึ่งจะต้านการเคลื่อนที่ของโฮลที่อยู่ในสารกึ่งตัวนำชนิด P (เกิดการผลักกัน) ในขณะที่อะตอมบริเวณรอยต่อของสารกึ่งตัวนำชนิด P จะมีอิเล็กตรอนเกินมาทำให้มีประจุไฟฟ้าลบ (Negative Ions) ผลักอิเล็กตรอนอิสระที่อยู่ในสารกึ่งตัวนำชนิด N ที่จะพยายามวิ่งเข้ามาทางฝั่งของสารกึ่งตัวนำชนิด P บริเวณรอยต่อ PN เกิดเป็นบริเวณปลอดพาหะ (Depletion Region) เป็นเหมือนกำแพงกันไม่ให้โฮลอิเล็กตรอนและโฮลของอะตอมอื่น ๆ ภายในสารกึ่งตัวนำมารวมกัน ถ้าต้องการให้พาหะทั้งสองฝั่งมารวมตัวกัน ต้องให้แรงดันไฟฟ้าที่มากกว่าระดับแรงดันไฟฟ้าซึ่งเกิดจากประจุมบริเวณรอยต่อ เรียกว่าการไบอัส ถ้าเป็นสารกึ่งตัวนำที่ทำมาจากซิลิคอน ระดับแรงดันดังกล่าวจะมีค่าประมาณ 0.7 โวลต์ และในกรณีที่เป็นสารกึ่งตัวนำที่ทำมาจากเจอร์เมเนียม ระดับแรงดันจะมีค่าประมาณ 0.3 โวลต์ การเกิดเป็นบริเวณปลอดพาหะที่รอยต่อ PN จะแสดงดังรูปที่ 4.10



รูปที่ 4.10 รอยต่อ PN ของสารกึ่งตัวนำ

ที่มา : จิรโรจน์ เลิศธนเปี่ยมสุข. 2565

4. หน้าทีและหลักการทำงานของสารกึ่งตัวนำ

อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ที่ใช้ในระบบควบคุมการทำงานของรถยนต์ มีอยู่หลายตัว ได้แก่ ไดโอด ซีเนอร์ไดโอด ทรานซิสเตอร์ โฟโตทรานซิสเตอร์ เฟต เอสซีอาร์ ไดแอค ไตรแอค เป็นต้น อุปกรณ์เหล่านี้ถูกผลิตขึ้นมาจากสารกึ่งตัวนำบริสุทธิ์ และทำการเติมสารเจือปน เพื่อให้มีคุณสมบัติเป็นตัวนำที่ดีจึงเรียกว่าสารกึ่งตัวนำไม่บริสุทธิ์ แต่ละตัวมีหน้าที่และหลักการทำงานที่แตกต่างกัน

4.1 ไดโอด (Diode)

ไดโอด มีหน้าที่ ควบคุมทิศทางการไหลของกระแสไฟฟ้าโดยยอมให้กระแสไฟฟ้าไหลไปในทิศทางเดียวกัน และป้องกันกระแสไฟฟ้าไหลกลับทิศทางเดิม

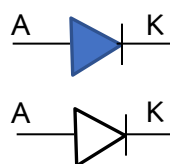
โครงสร้างของไดโอดเกิดจากการนำสารกึ่งตัวนำชนิด P และชนิด N มาต่อกัน ซึ่งจุดสัมผัสรอยต่อ P-N (P-N Junction) อิเล็กตรอนอิสระในสารกึ่งตัวนำชนิด N ที่มีอยู่จำนวนมากจะเคลื่อนที่ข้ามไปรวมกับโฮลในสารกึ่งตัวนำชนิด P จากปรากฏการณ์นี้จึงทำให้พื้นที่รอยต่อเรียกว่า บริเวณปลอดพาหะ (Depletion Region) เมื่อนำสารกึ่งตัวนำสองชนิดมาต่อชนกันจะต่อขาออกมาใช้งาน ขาที่ต่อกับสารกึ่งตัวนำชนิด P คือขาแอนโนดใช้ตัวย่อ A และขาที่ต่อกับสารกึ่งตัวนำชนิด N คือ ขาแคโทด ใช้ตัวย่อ K สัญลักษณ์ของไดโอดจะมีหัวลูกศรซึ่งแสดงทิศทางการไหลของกระแสโฮล จากขาแอนโนดไปสู่ขาแคโทด ตามทิศทางของลูกศร ดังรูปที่ 4.11

4.1.1 คุณสมบัติของไดโอด

1. เมื่อได้รับไบอัสกลับไดโอดจะไม่นำกระแส
2. เมื่อได้รับไบอัสตรง ที่แรงดันมากกว่า 0.6 V ไดโอดจะนำกระแสได้
3. โดยปกติในวงจรไดโอดจะต้องต่อตัวต้านทานจำกัดกระแสเพื่อป้องกันไดโอดเสมอ



(ก) โครงสร้างของไดโอด



(ข) สัญลักษณ์ของไดโอด

รูปที่ 4.11 โครงสร้างและสัญลักษณ์ของไดโอด

ที่มา : จิรโรจน์ เลิศธนเปี่ยมสุข. 2565

ไดโอดมีหลายชนิดขึ้นอยู่กับวัตถุประสงค์ของการผลิตมาใช้งาน ได้แก่

1. ไดโอดกำลัง (Power Diode) ไดโอดประเภทนี้จะมีลักษณะเป็นโลหะขนาดใหญ่ เพื่อช่วยในการระบายความร้อนภายในตัว ส่วนใหญ่จะใช้นิยมนำมาใช้ในงานแหล่งจ่ายกำลัง ซึ่งมีกระแสสูง
2. ซีเนอร์ไดโอด (Zener Diode) เป็นไดโอดที่ออกแบบมาเป็นพิเศษ โดยจะทำงานในสภาวะไบอัสกลับ และมีคุณสมบัติในการรักษาระดับแรงดันไฟฟ้าที่ตกคร่อมตัวมัน ให้มีค่าคงที่ จึงนิยมใช้ในวงจรรักษาระดับแรงดันไฟฟ้า (Voltage Regulator)

3. ไดโอดเปล่งแสง (Light Emitting Diode) เรียกว่า แอลอีดี (LED) เป็นไดโอดที่ออกแบบมาเป็นพิเศษ เมื่อได้รับแรงดันไบอัสตรงจะเปล่งแสงออกมาได้ ซึ่งมีทั้ง สีแดง เขียว ฟ้า ส้ม เหลือง ฯลฯ ตามสารที่ใช้ทำ มีคุณสมบัติที่ดีคือกินไฟน้อย

4. ไดโอดรับแสง (Photo Diode) ออกแบบมาเพื่อปรับเปลี่ยนค่าตามความเข้มของแสงที่เข้ามาระทบ มีลักษณะเป็นช่องหน้าต่างเล็ก ๆ ไว้ใช้ในการรับแสง ซึ่งอาจเป็นแสงสว่างธรรมดาหรือแสงอินฟราเรด มักใช้กับวงจรตรวจจับสัญญาณ หรือ ในวงจรควบคุมระยะไกล หรือที่เรียกว่า รีโมท

5. ไดโอดเรียงกระแส (Rectifier Diode) ใช้เรียงกระแสสลับให้เป็นกระแสตรง ปริมาณกระแสเพิ่มขึ้นตามความเข้มของแสง ใช้เป็นตัวรับสัญญาณควบคุมด้วยแสง

6. วาเรกเตอร์หรือวาริแคปไดโอด (Varactor or Varicap Diode) ใช้คุณสมบัติที่เป็นตัวเก็บประจุเมื่อให้ไบอัสกลับ ใช้กับวงจรเลือกความถี่ในวิทยุโทรทัศน์



ไดโอดเปล่งแสง

ไดโอดเรียงกระแส

วาเรกเตอร์ไดโอด

ชีเนอร์ไดโอด

เลเซอร์ไดโอด

โฟโต้ไดโอด

ไดโอดกำลัง

รูปที่ 4.12 ลักษณะของไดโอดชนิดต่างๆ

ที่มา : จิรโรจน์ เลิศธนเปี่ยมสุข. 2565

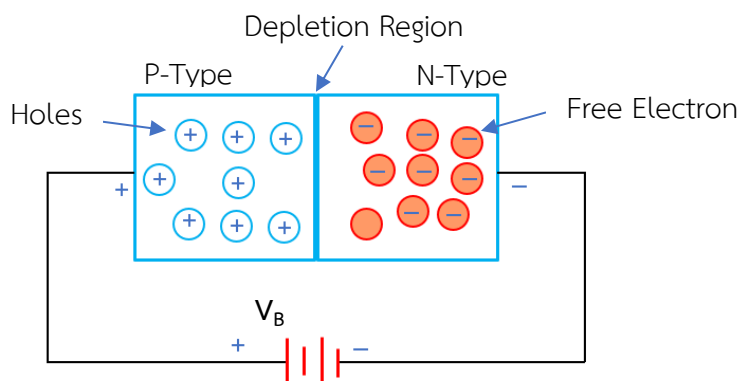
4.1.2 หลักการทำงานของไดโอด

การที่จะให้ไดโอดทำงานได้ ต้องทำการจ่ายแรงดันไบอัสให้ไดโอด โดยการจ่ายไฟฟ้าให้กับรอยต่อ PN เพื่อกระตุ้นให้สารกึ่งตัวนำเปลี่ยนแปลงสภาพภายใน การไบอัสให้กับไดโอดมี 2 ลักษณะ คือ การไบอัสตรง และการไบอัสกลับ

4.1.2.1 การไบอัสตรง (Forward Bias)

การไบอัสตรง หมายถึง การต่อขั้วบวกจากแหล่งจ่ายไฟฟ้าให้สารกึ่งตัวนำชนิด P หรือขั้วแอโนดและต่อขั้วลบของแหล่งจ่ายไฟฟ้าให้สารกึ่งตัวนำชนิด N หรือขั้วแคโทด เมื่อให้ไบอัสตรง สภาวะบริเวณรอยต่อพาหะจะลดลง ทำให้กระแสไฟฟ้าไหลผ่านรอยต่อได้ เมื่อมีกระแสไหล

ผ่านบริเวณรอยต่อจะมีแรงดันตกคร่อม สำหรับสารกึ่งตัวนำทำมาจากซิลิคอนจะมีแรงดันตกคร่อม 0.6 - 0.7 โวลต์ และสารกึ่งตัวนำที่ทำจากเจอร์เมเนียมจะมีแรงดันตกคร่อม 0.2 - 0.3 โวลต์ สามารถต่อแหล่งจ่ายไฟฟ้าให้กับไดโอด ดังรูปที่ 4.13

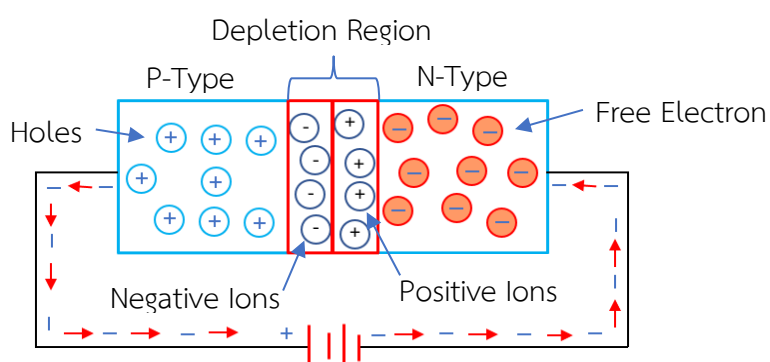


รูปที่ 4.13 การไบอัสตรงให้กับรอยต่อ P-N

ที่มา : จิรโรจน์ เลิศธนเปี่ยมสุข. 2565

การไหลของกระแสไฟฟ้าผ่านรอยต่อ P-N เรียกได้ 2 อย่าง คือ กระแสอิเล็กตรอน (Electron Current) และกระแสนิยม (Conventional Current)

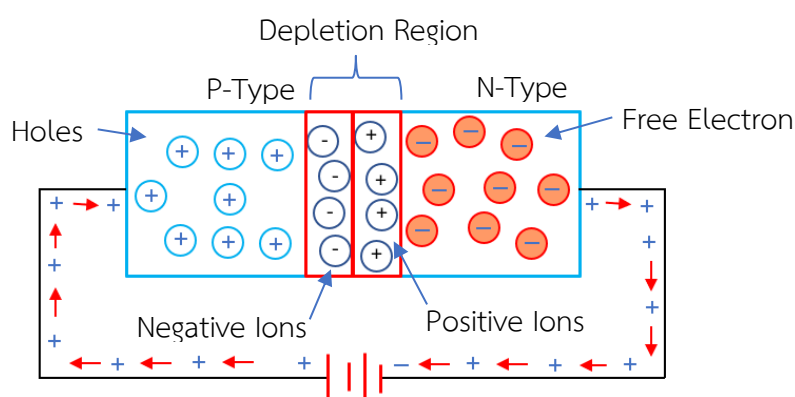
กระแสอิเล็กตรอน คือการเคลื่อนที่ของอิเล็กตรอน จากขั้วลบของแหล่งจ่ายไฟฟ้า ผ่านสารกึ่งตัวนำชนิด N และผลักอิเล็กตรอนอิสระซึ่งเป็นพาหะข้างมาก ให้เคลื่อนที่ข้ามรอยต่อ ผ่านสารกึ่งตัวนำชนิด P ไปยังขั้วบวกของแหล่งจ่ายไฟ ทำให้ได้เป็นกระแสอิเล็กตรอน ดังรูปที่ 4.14



รูปที่ 4.14 ทิศทางการไหลของกระแสอิเล็กตรอน

ที่มา : จิรโรจน์ เลิศธนเปี่ยมสุข. 2565

กระแสซึม คือ การเคลื่อนที่ของโฮลจากขั้วบวกแหล่งจ่ายไฟ ผ่านสารกึ่งตัวนำชนิด P และผลักโฮล ซึ่งเป็นพาหะข้างมากในสารกึ่งตัวนำชนิด P ให้เคลื่อนที่ข้ามรอยต่อผ่านสารกึ่งตัวนำชนิด N เกิดเป็นกระแสโฮล พิจารณาจากทิศทางการเคลื่อนที่จากขั้วบวกไปยังขั้วลบ เมื่อกล่าวถึงทิศทางการเคลื่อนที่ของกระแสไฟฟ้า จะกล่าวถึงการเคลื่อนที่จากขั้วบวกที่มีศักย์สูงกว่าไปยังขั้วลบที่มีศักย์ต่ำกว่า มากกว่าการกล่าวถึงกระแสอิเล็กตรอน จึงเรียกว่า กระแสซึม ดังรูปที่ 4.15

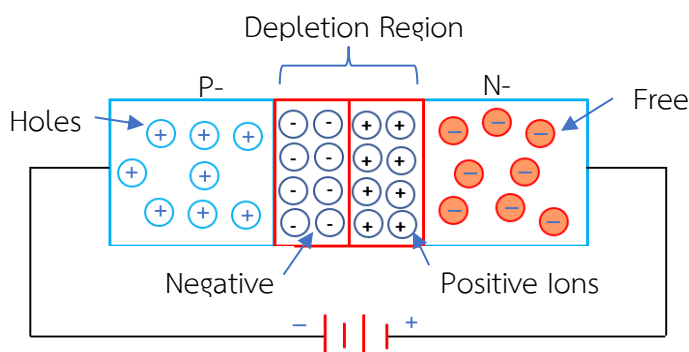


รูปที่ 4.15 ทิศทางการไหลของกระแสซึม

ที่มา : จิรโรจน์ เลิศธนเปี่ยมสุข. 2565

4.1.2.2 ไบอัสกลับ (Reverse Bias)

ไบอัสกลับ หมายถึง การต่อขั้วลบของแหล่งจ่ายไฟฟ้าให้กับสารกึ่งตัวนำชนิด P และต่อขั้วบวกของแหล่งจ่ายไฟฟ้ากับสารกึ่งตัวนำชนิด N เมื่อรอยต่อ P-N ได้รับไบอัสกลับ อิเล็กตรอนอิสระในสาร N จะถูกไฟบวกของแหล่งจ่ายไฟดึงไป และอิเล็กตรอนจากแหล่งจ่ายไฟจะไหลเข้าไปรวมตัวกับโฮลที่สาร P ทำให้บริเวณปลอดพาหะกว้างขึ้น จึงไม่มีกระแสไหลข้ามรอยต่อ P-N เมื่อได้รับไบอัสกลับ ดังรูปที่ 4.16

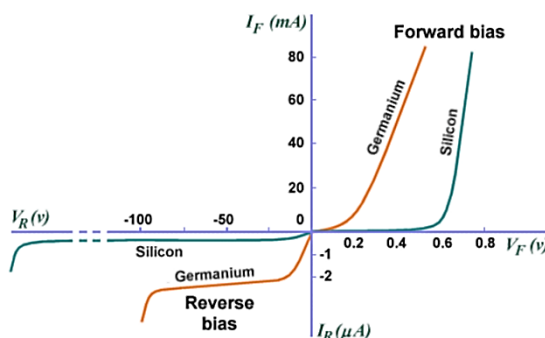


รูปที่ 4.16 การไบอัสกลับให้กับรอยต่อ P-N

ที่มา : จิรโรจน์ เลิศธนเปี่ยมสุข. 2565

เมื่อทำการไบอัสกลับให้กับไดโอดจะมีกระแสรั่วไหล (Leakage Current) ปริมาณกระแสรั่วไหลขึ้นอยู่กับชนิดของสารกึ่งตัวนำ เช่น ซิลิคอนมีค่ากระแสรั่วไหลน้อย ส่วนเจอร์เมเนียมมีค่ากระแสรั่วไหลมากและค่ากระแสรั่วไหลนี้ยังขึ้นอยู่กับค่าแรงดันไบอัสกลับที่จ่ายให้ไดโอด เมื่อแรงดันไบอัสกลับมีค่ามาก กระแสจะรั่วไหลจะมาก ถ้าจ่ายแรงดันไบอัสกลับมีค่าน้อยกระแสรั่วไหลจะน้อย

จากการจ่ายแรงดันไบอัสให้ตัวไดโอด ที่แบ่งเป็น 2 สภาวะคือ การไบอัสตรงและการไบอัสกลับ เมื่อได้รับไบอัสตรงจะมีกระแสไหลผ่านไดโอดได้ (Forward Current) แต่ปริมาณแรงดันต้องสูงกว่าค่าแรงดันเริ่มต้น คือ ไดโอดชนิดซิลิคอนจะมีแรงดัน 0.7 โวลต์ และไดโอดชนิดเจอร์เมเนียมจะมีแรงดัน 0.3 โวลต์ เรียกว่าค่าแรงดันคัตอิน (Cut In Voltage) ในทางตรงกันข้าม เมื่อจ่ายแรงดันไบอัสกลับให้ไดโอด จะไม่มีกระแสไหลผ่านไดโอด แต่อาจจะมีกระแสรั่วเพียงเล็กน้อย เมื่อเพิ่มแรงดันไบอัสกลับให้สูงจนถึงค่าแรงดันพังทลาย (Breakdown-Voltage) จะทำให้มีกระแสรั่วไหลผ่านไดโอดได้ การนำกระแสในสภาวะนี้รอยต่อ P-N จะชำรุดเสียหาย และมีกระแสไหลผ่านรอยต่อ P-N จำนวนมาก ดังแสดงลักษณะทางไฟฟ้าของไดโอดในรูปที่ 4.17



รูปที่ 4.17 กราฟลักษณะทางไฟฟ้าของไดโอด

ที่มา : <https://pomtepelec.blogspot.com/2019/03/5.html>

ข้อควรระวังในการใช้ไดโอด

1. ในการใช้งานไบอัสตรงจะต้องมีตัวต้านทานจำกัดกระแสต่อไว้เสมอ เพราะไดโอดอาจจะไหม้ได้ เพราะมีกระแสสูงเกินไป

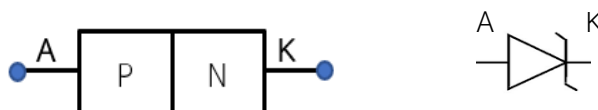
$$\text{ค่าของตัวต้านทานจำกัดกระแส} = \frac{\text{ค่าแรงดันแหล่งจ่ายไฟ} - \text{แรงดันตกคร่อมไดโอด}}{\text{กระแสที่ต้องการให้ไหลผ่านไดโอด}}$$

2. การใช้งานในสภาวะไบอัสกลับจะต้องระวังไม่ให้ไดโอดได้รับแรงดันไบอัสกลับเกินกว่าค่าแรงดันไบอัสกลับสูงสุดที่ทนได้ เพราะอาจทำให้ ไดโอดระเบิดได้

4.2 ซีเนอร์ไดโอด (Zener Diode)

ซีเนอร์ไดโอด มีหน้าที่ ควบคุมและรักษาแรงดันไฟฟ้าในวงจรให้คงที่เมื่อได้รับการไบอัสกลับ แต่ไดโอดทั่วไปเมื่อทำการไบอัสกลับจนถึงค่าแรงดันเบรกดาวน์จะทำให้เกิดความเสียหายได้

โครงสร้างของซีเนอร์ไดโอด ซีเนอร์ไดโอดที่ผลิตจากสารซิลิคอนที่มีปริมาณความหนาแน่นของสารเจือปนของสาร P และสาร N ประกอบด้วยขาแอนโนด (A) และขาแคโทด (K) ดังรูปที่ 4.18

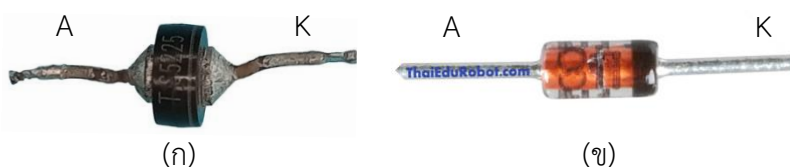


(ก) โครงสร้างของซีเนอร์ไดโอด

(ข) สัญลักษณ์ของซีเนอร์ไดโอด

รูปที่ 4.18 โครงสร้างและสัญลักษณ์ของซีเนอร์ไดโอด

ที่มา : จิรโรจน์ เลิศชนเปี่ยมสุข. 2565



(ก)

(ข)

รูปที่ 4.19 ซีเนอร์ไดโอด

ที่มา : จิรโรจน์ เลิศชนเปี่ยมสุข. 2565

จากรูปที่ 4.19 จะเห็นได้ว่า ซีเนอร์ไดโอดทั้งสองตัวจะมีสัญลักษณ์ขีดเว้าที่ขอบด้านขวาของตัวซีเนอร์ไดโอด ซึ่งเป็นสัญลักษณ์ด้านที่เป็นขั้วแคโทด (K) รูปที่ 4.19 (ก) คาตส่วงกลมรอบตัวซีเนอร์ไดโอด รูปที่ 4.19 (ข) คาตสึดารอบตัวซีเนอร์ไดโอด

4.2.1 คุณสมบัติของซีเนอร์ไดโอด

เมื่อนำซีเนอร์ไดโอดไปใช้งานในช่วงไบอัสกลับที่ค่าเบรกดาวน์ เรียกว่า ซีเนอร์เบรกดาวน์ (Zener Breakdown) ซึ่งเป็นช่วงที่ตัวซีเนอร์ไดโอดทำการควบคุมให้แรงดันคงที่ตลอดเวลาและเมื่อซีเนอร์ไดโอดได้รับไบอัสกลับถึงค่าแรงดันที่กำหนดไว้ ซีเนอร์ไดโอดจะนำกระแสได้และจะเกิดแรงดันตกคร่อมคงที่ เท่ากับค่าแรงดันที่กำหนดจากบริษัทผู้ผลิตการกำหนดค่าแรงดันจะกำหนดมาตั้งแต่ในกระบวนการสร้างซีเนอร์ไดโอด เช่น 2.2 V, 5.1 V, 6 V, 10 V, 12 V เป็นต้น

4.2.2 หลักการทำงานของซีเนอร์ไดโอด

จากคุณสมบัติของซีเนอร์ไดโอด สามารถอธิบายหลักการทำงาน ได้ดังนี้

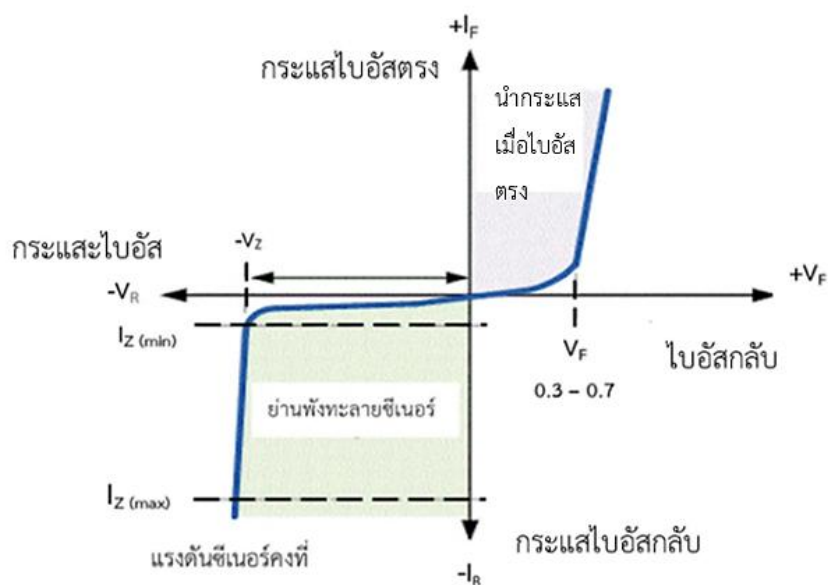
4.2.2.1 การพังทลายของซีเนอร์ (Zener Breakdown) การพังทลายของซีเนอร์ไดโอดแบ่งเป็น 2 แบบ คือ

1) การพังทลายแบบอะวาลานช์ หมายถึง เมื่อไดโอดได้รับไบอัสกลับที่แรงดันสูงมากๆ จะทำให้มีกระแสไหลย้อนกลับผ่านไดโอดมากขึ้น ทำให้รอยต่อของไดโอดทะลุ และใช้งานไม่ได้อีก

2) การพังทลายแบบซีเนอร์ เป็นการพังทลายที่เกิดขึ้นกับแรงดันไบอัสกลับค่าต่ำ ๆ ซึ่งกำหนดได้จากการโดปสารกึ่งตัวนำที่ใช้สร้างเป็นซีเนอร์ไดโอด การพังทลายแบบนี้จะมีกระแสไหลผ่านซีเนอร์ไดโอดจำนวนหนึ่ง ซึ่งต้องรักษาไม่ให้เกินค่าพิกัดสูงสุด และจะทำให้เกิดสถานะที่แรงดันตกคร่อมมีค่าคงที่ เรียกว่า แรงดันซีเนอร์ จากคุณสมบัตินี้สามารถนำซีเนอร์ไดโอดไปสร้างเป็นวงจรควบคุมแรงดันไฟตรงจากแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรงให้มีค่าแรงดันคงที่ได้ ซีเนอร์ไดโอดที่มีใช้อยู่ในทั่วไป

4.2.2.2 คุณสมบัติทางกระแสและแรงดันของซีเนอร์ไดโอด

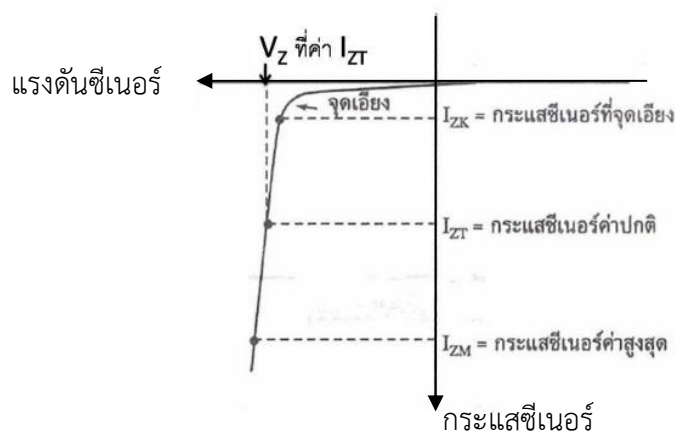
เมื่อซีเนอร์ไดโอดได้รับไบอัสกลับ การพังทลายของซีเนอร์ไดโอดเมื่อเพิ่มแรงดันไบอัสกลับจนถึงค่าแรงดันซีเนอร์ (V_Z) จะเกิดกระแสไหลผ่านซีเนอร์ไดโอดมากขึ้นที่จุดเอียงของกราฟ ดังรูปที่ 4.20 จะมีกระแสไหลผ่านซีเนอร์ไดโอดเท่ากับ I_{ZK} ถ้าได้รับแรงดันสูงขึ้นอีก กระแสจะเพิ่มขึ้นแต่แรงดันซีเนอร์จะคงที่ ถ้าเพิ่มกระแสเกินกว่าค่ากระแสซีเนอร์สูงสุด (I_{ZM}) แรงดันซีเนอร์จะไม่คงที่



รูปที่ 4.20 กราฟลักษณะสมบัติทางกระแสและแรงดันของซีเนอร์ไดโอด

ที่มา : <https://pomtepelec.blogspot.com/2019/03/5.html>

การนำซีเนอร์ไดโอดไปใช้ในการควบคุมให้แรงดันไฟฟ้ากระแสตรงให้คงที่ โดยใช้ค่าแรงดันซีเนอร์ จึงต้องออกแบบวงจรควบคุมให้มีกระแสผ่านซีเนอร์ไดโอดช่วง ระหว่างค่ากระแส I_{ZK} ถึงค่า I_{ZM} สำหรับ กระแส I_{ZT} หมายถึง ค่ากระแสทดสอบค่าแรงดันซีเนอร์ ซึ่งเป็นค่ากระแสที่พิกัดของแรงดันซีเนอร์ ตามค่าที่ผู้ผลิตกำหนด ดังรูปที่ 4.21



รูปที่ 4.21 กราฟลักษณะคุณสมบัติของกระแสและแรงดันของซีเนอร์ไดโอดเมื่อได้รับไบอัสกลับ

ที่มา : <https://pomtepelec.blogspot.com/2019/03/5.html>

4.3 ทรานซิสเตอร์ (Transistor)

ทรานซิสเตอร์ ทำหน้าที่ เป็นสวิตช์เปิดหรือปิดวงจรไฟฟ้าอัตโนมัติ และควบคุม ปริมาณกระแสไฟฟ้า

ทรานซิสเตอร์ เป็นอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ที่เป็นการนำเอาสารกึ่งตัวนำชนิด P และ N มาต่อเรียงสลับกันแบบ 3 ชั้น ทำให้มีรอยต่อระหว่างชั้น 2 รอยต่อ มีหลักการทำงานโดยอาศัยกระแสไฟฟ้า จากวงจรภายนอกไปควบคุมตัวกำเนิดกระแสไฟฟ้าภายในให้เปลี่ยนแปลงตาม ทรานซิสเตอร์สามารถ ประยุกต์ใช้งานได้หลายอย่างเช่น ขยายสัญญาณ สวิตซ์িং กำเนิดสัญญาณ เป็นต้น ทรานซิสเตอร์ แบ่งตามโครงสร้างได้ 2 ชนิด คือ ชนิด NPN และชนิด PNP

ทรานซิสเตอร์มีขาต่อใช้งาน 3 ขา ได้แก่

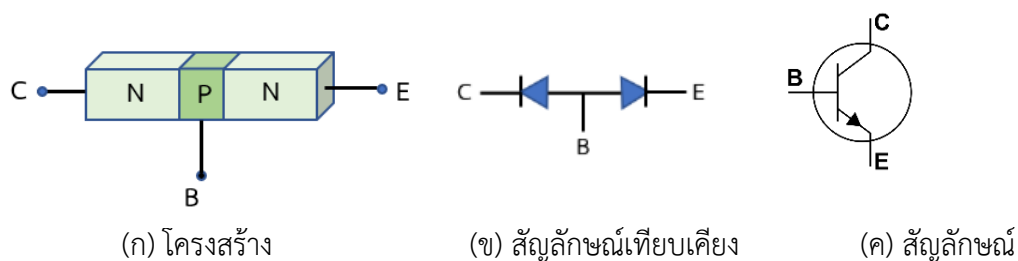
1. ขาคอลเลคเตอร์ (Collector) เรียกว่าขา C เป็นขาที่มีโครงสร้างในการโต้ปสารใหญ่ที่สุด
2. ขาอีมิเตอร์ (Emitter) เรียกว่าขา E เป็นขาที่มีโครงสร้างใหญ่รองลงมาและอยู่คนละด้าน กับขาคอลเลคเตอร์

3. ขาเบส (Base) เรียกว่าขา B อยู่ตรงกลางระหว่าง C และ E มีพื้นที่ของโครงสร้างแคบ ที่สุดเมื่อเทียบกับอีก 2 ส่วน ลักษณะการต่อตัวทรานซิสเตอร์คล้ายกับการนำเอาไดโอด 2 ตัวมาต่อกัน

ตำแหน่งที่เบสกับอิมิตเตอร์เชื่อมกันเป็นรอยต่อ PN เรียกว่า รอยต่อเบส-อิมิตเตอร์ (Base Emitter Junction) ตำแหน่งที่คอลเลคเตอร์กับเบสต่อเชื่อมกันเรียกว่า รอยต่อคอลเลคเตอร์-เบส (Collector Base Junction)

4.3.1 ทรานซิสเตอร์ชนิด NPN

ทรานซิสเตอร์ชนิด NPN เป็นทรานซิสเตอร์ที่สร้างจากสารกึ่งตัวนำชนิด N และชนิด P ต่อเรียงกันในลักษณะ N-P-N ตามลำดับ แล้วต่อขาออกมา 3 ขา สารกึ่งตัวนำชนิด P ซึ่งอยู่ตรงกลางจะเป็นจุดร่วม สารกึ่งตัวนำชนิด N จะทำหน้าที่จ่ายอิเล็กตรอนซึ่งจะไหลเป็นกระแสในวงจร ส่วนนี้เรียกว่า อิมิตเตอร์ (Emitter) อิเล็กตรอนจะเคลื่อนที่ผ่านสารกึ่งตัวนำชนิด P ที่เรียกว่าเบส (Base) ส่วนนี้จะคอยควบคุมอิเล็กตรอนให้ไหลไปยังสารกึ่งตัวนำชนิด N ส่วนที่ผ่านเบสมาจะเคลื่อนที่มายังสารกึ่งตัวนำชนิด N ที่เรียกว่า คอลเลคเตอร์ (Collector) และกลายเป็นกระแสไหลในวงจรภายนอกต่อไป ทรานซิสเตอร์ชนิด NPN มีโครงสร้าง วงจรเทียบเคียง และสัญลักษณ์ ดังรูปที่ 4.22

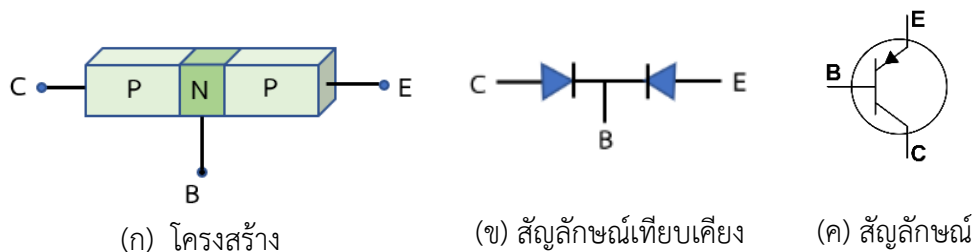


รูปที่ 4.22 โครงสร้าง วงจรเทียบเคียง และสัญลักษณ์ของทรานซิสเตอร์ชนิด NPN

ที่มา : จิรโรจน์ เลิศธนเปี่ยมสุข. 2565

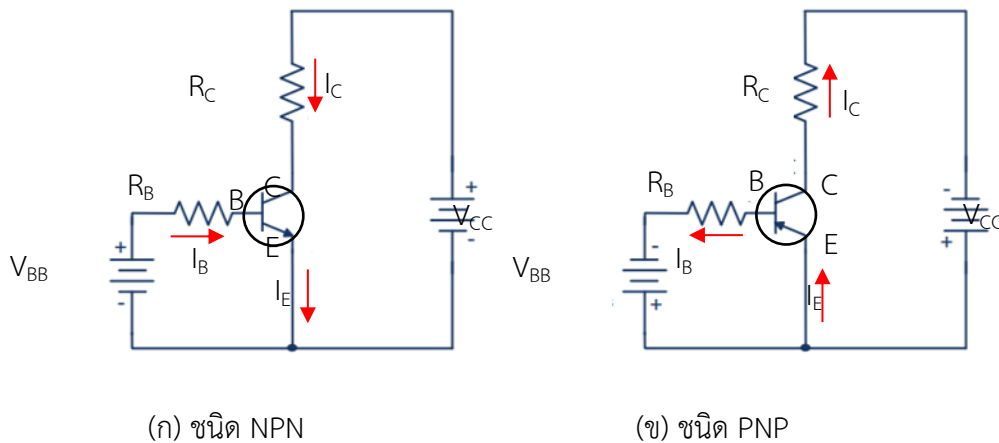
4.3.2 ทรานซิสเตอร์ชนิด PNP

ทรานซิสเตอร์ชนิด PNP เป็นทรานซิสเตอร์ที่สร้างจากสารกึ่งตัวนำชนิด P ชนิด N ต่อเรียงกันในลักษณะ P-N-P ตามลำดับ แล้วต่อขาจากแต่ละชั้นส่วนออกมาเป็น 3 ขา เพื่อต่อกับวงจรสารกึ่งตัวนำชนิด N จะเป็นจุดร่วม ทรานซิสเตอร์ชนิด PNP มีโครงสร้าง วงจรเทียบเคียง และสัญลักษณ์ดังรูปที่ 4.23



รูปที่ 4.23 โครงสร้าง สัญลักษณ์เทียบเคียง และสัญลักษณ์ของทรานซิสเตอร์ชนิด PNP

ที่มา : จิรโรจน์ เลิศธนเปี่ยมสุข. 2565



รูปที่ 4.25 หลักการทำงานของทรานซิสเตอร์

ที่มา : จีโรจน์ เลิศธนเปี่ยมสุข. 2565

จากรูปที่ 4.25 (ก) การไบอัสทรานซิสเตอร์ชนิด NPN ใช้ขาอิมิตเตอร์เป็นขาเทียบศักย์ทางไฟฟ้า ระหว่างขาเบสกับขาอิมิตเตอร์ เมื่อขาเบสได้รับไบอัสตรงจากแหล่งจ่าย V_{BB} โดยมีตัวต้านทาน R_B ทำหน้าที่จำกัดปริมาณกระแสของ I_B ขณะนี้กระแสเบสจะไหลได้ เมื่อขาคอลเลคเตอร์กับอิมิตเตอร์ได้รับไบอัสกลับจากแหล่งจ่ายไฟ V_{CC} จึงเปรียบเสมือนการทำให้ความต้านทานระหว่างคอลเลคเตอร์และอิมิตเตอร์ต่ำลง ทำให้กระแสจากแหล่งจ่ายไฟ V_{CC} จ่ายกระแสจากขั้วบวกผ่านตัวต้านทาน R_C เข้าขาคอลเลคเตอร์ออกไปยังขาอิมิตเตอร์ จึงทำให้ครบวงจรที่ขั้วลบของแหล่งจ่าย V_{CC}

จากรูปที่ 4.25 (ข) การไบอัสทรานซิสเตอร์ชนิด PNP ใช้ขาอิมิตเตอร์เป็นขาเทียบศักย์ทางไฟฟ้าแหล่งจ่ายไฟ V_{BB} เป็นแหล่งจ่ายไบอัสตรงให้ระหว่างขาเบสกับอิมิตเตอร์ ทำให้เกิดกระแส I_E ไหลจากขั้วบวกของแหล่งจ่ายไฟ V_{BB} เข้าขาอิมิตเตอร์ ไหลออกไปยังขาเบสเป็นกระแส I_B ส่งผ่านตัวต้านทาน R_B จึงทำให้ครบวงจรที่ขั้วลบของแหล่งจ่ายไฟ V_{BB} เมื่อมีกระแส I_B จึงส่งผลให้เกิดการไหลของกระแสจากขาอิมิตเตอร์ไปยังขาคอลเลคเตอร์ เป็นกระแสคอลเลคเตอร์ I_C โดยถือว่าเป็นกระแสไหลจากขั้วบวกของแหล่งจ่ายไฟ V_{CC} เข้าขา E ออกไปยังขา C ไหลผ่านตัวต้านทาน R_C ไปครบวงจรที่ขั้วลบแหล่งจ่ายไฟ V_{CC}

4.4 เฟต (FET)

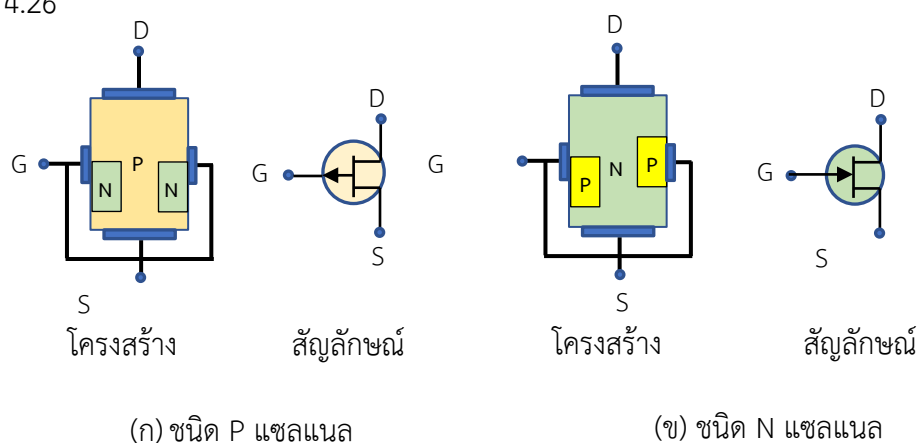
เฟต ทำหน้าที่ ควบคุมการไหลของกระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านตัวอุปกรณ์ โดยจะใช้แรงดันไฟฟ้ามาควบคุมการไหลของกระแส

เฟต หรือ FET ย่อมาจาก Field Effect Transistor หมายถึง ทรานซิสเตอร์สนามไฟฟ้า เฟตเป็นทรานซิสเตอร์ชนิดหนึ่งมีหลักการทำงานด้วยการใช้สนามไฟฟ้าควบคุมการไหลของกระแสไฟฟ้า การทำงานของเฟตแตกต่างจากการทำงานของทรานซิสเตอร์ทั่วไป คือ การทำงานของทรานซิสเตอร์ทั่วไปต้องอาศัยกระแสไฟฟ้าควบคุมการทำงาน แต่เฟตจะใช้แรงดันไฟฟ้าที่ขาเกตมา

ควบคุมการไหลของกระแสที่ขาเดรน (Drain) เฟตมีรูปร่างภายนอกเหมือนทรานซิสเตอร์ แตกต่างกันที่เบอร์ใช้งาน มีอัตราการทนแรงดันและกระแสสูงภายใต้การเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิ มีสัญญาณรบกวนต่ำ ขยายความถี่สูงได้ดีกว่าทรานซิสเตอร์ทั่วไป เฟต มี 3 ขา คือ ขาเดรน (Drain) ขาซอร์ส (Source) และขาเกต (Gate) และมีตัวอักษรย่อแทนทั้ง 3 ขา คือ D S G ตามลำดับและเฟตแบ่งเป็น 2 ประเภท คือ เจเฟตและมอสเฟต แตกต่างกันที่โครงสร้างภายในของการวางชั้นสารกึ่งตัวนำชนิด P และชนิด N

4.4.1 เจเฟต (Junction Field Effect Transistor ; JFET)

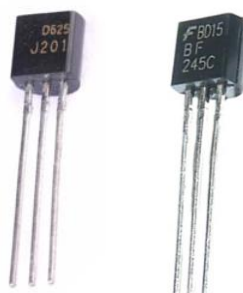
เจเฟต มีโครงสร้างประกอบด้วยสารกึ่งตัวนำตอนใหญ่ 1 ตอน ต่อขาออกมาใช้งาน 2 ขา คือ ขาเดรน (D) และขาซอร์ส (S) มีสารกึ่งตัวนำตอนเล็ก 2 ตอน ต่อขาออกมาใช้งาน 1 ขา คือ ขาเกต (G) ดังรูปที่ 4.26



รูปที่ 4.26 โครงสร้างและสัญลักษณ์ของเจเฟต

ที่มา : จิรโรจน์ เลิศธนเปี่ยมสุข. 2565

เจเฟตแบ่งออกเป็น 2 ชนิด คือ เจเฟตชนิด P แชนแนล (มีสารกึ่งตัวนำชนิด P ตอนใหญ่กว่าสารกึ่งตัวนำชนิด N) และเจเฟตชนิด N แชนแนล (มีสารกึ่งตัวนำชนิด N ตอนใหญ่กว่าสารกึ่งตัวนำชนิด P) โดยเจเฟตทั้งสองชนิดมีโครงสร้าง

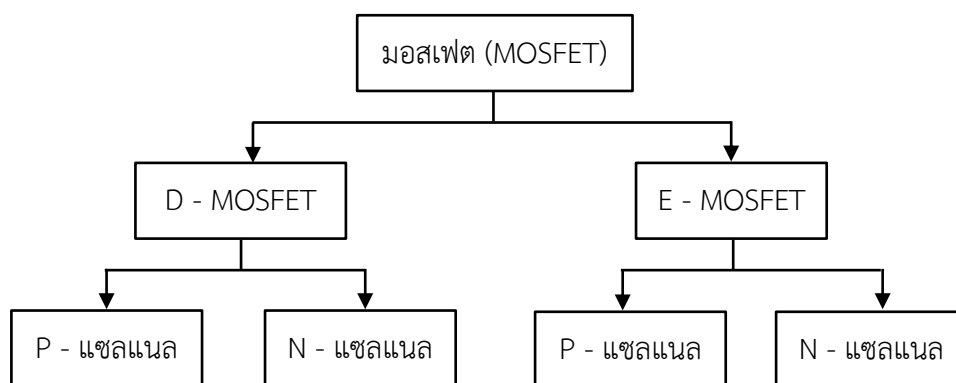


รูปที่ 4.27 ลักษณะของเจเฟต

ที่มา : จิรโรจน์ เลิศธนเปี่ยมสุข. 2565

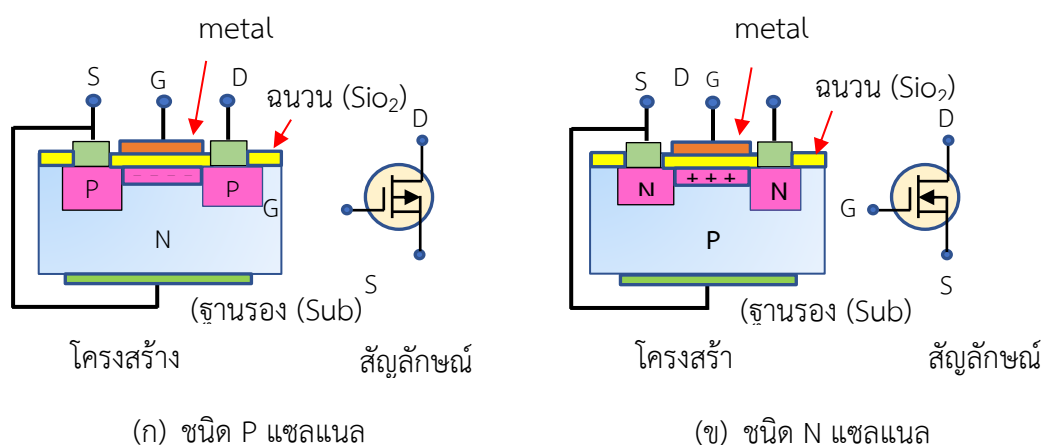
4.4.2 มอสเฟต (Metal Oxide Semiconductor Field Effect Transistor ; MOSFET)

มอสเฟต มี 2 ชนิด คือ ชนิด P แชนแนล และชนิด N แชนแนล โครงสร้างแตกต่างไปจากแบบเจเฟตในส่วนที่เป็นขาคัด (G) จะถูกแยกเป็นอิสระ มีฉนวนซิลิคอนไดออกไซด์ (Silicon Dioxide ; SiO_2) คั่นกลาง มอสเฟตแบ่งย่อยออกได้เป็น 2 แบบ คือ แบบดีพลีชันมอสเฟต (Depletion MOSFET) หรือเรียกว่า D - MOSFET และเอนฮานซ์เมนต์ (Enhancement MOSFET) หรือเรียกว่า E - MOSFET และทั้ง 2 แบบ จะมี 2 ชนิดด้วยกัน คือ ชนิด P แชนแนล และชนิด N แชนแนล



รูปที่ 4.28 ชนิดของมอสเฟต

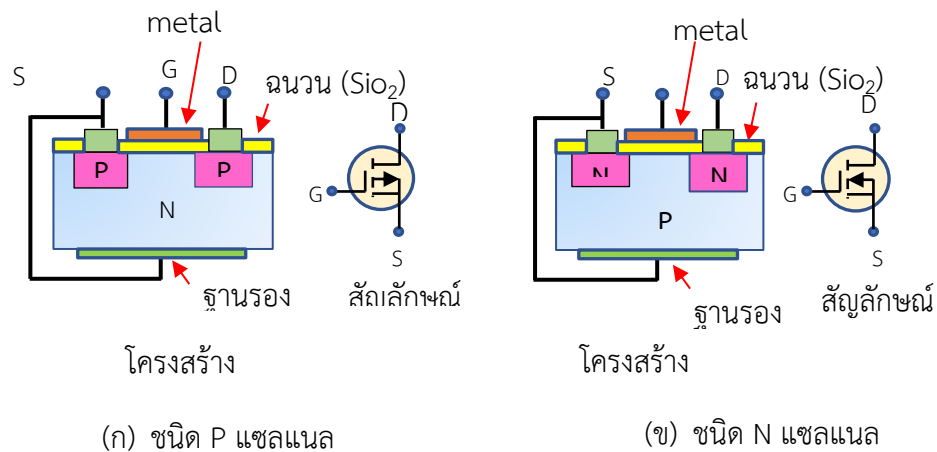
ที่มา : จิรโรจน์ เลิศนเปียมสุข. 2565



รูปที่ 4.29 โครงสร้างและสัญลักษณ์ของ D - MOSFET

ที่มา : จิรโรจน์ เลิศนเปียมสุข. 2565

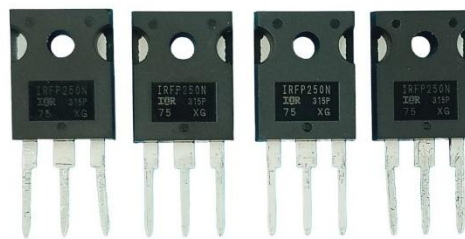
จากรูปที่ 4.29 เห็นได้ว่าโครงสร้างของมอสเฟตแบบ D - MOSFET ที่ส่วนฐานรองเป็นสารกึ่งตัวนำขวางระหว่างสารกึ่งตัวนำขา D กับขา S เชื่อมต่อกัน และจากสัญลักษณ์จะเห็นได้ว่าขาทั้งสองจะต่อถึงกัน



รูปที่ 4.30 โครงสร้างและสัญลักษณ์ของ E - MOSFET

ที่มา : จิรโรจน์ เลิศธนเปี่ยมสุข. 2565

จากรูปที่ 4.30 จะเห็นได้ว่าโครงสร้างของมอสเฟตแบบ E - MOSFET ที่ส่วนฐานรอง มีสารกึ่งตัวนำตรงข้ามกับขา D กับขา S เชื่อมต่อ ทำให้ขาทั้งสองไม่ต่อถึงกัน และจากสัญลักษณ์ จะเห็นได้ว่าขาทั้งสองจะไม่ต่อถึงกัน

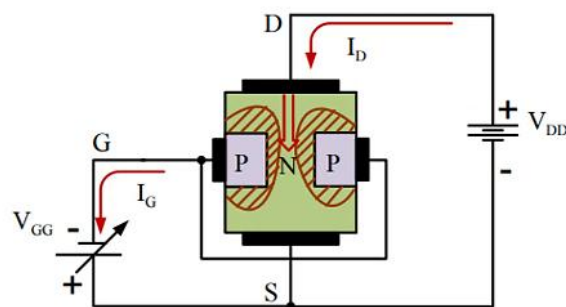


รูปที่ 4.31 ลักษณะของ E - MOSFET

ที่มา : จิรโรจน์ เลิศธนเปี่ยมสุข. 2565

4.4.3 หลักการทำงานของเจฟต

4.4.3.1 หลักการทำงานของเจฟตชนิด N แชนแนล



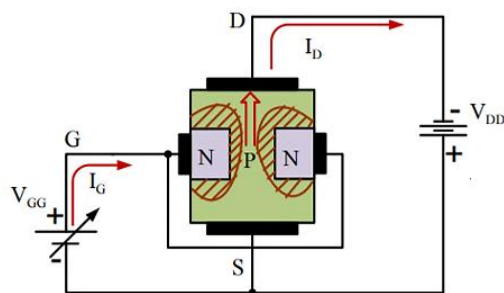
รูปที่ 4.32 หลักการทำงานของเจฟตชนิด N แชนแนล

ที่มา : พันธุ์ศักย์ พุฒิมานิตพงศ์. 2553

จากรูปที่ 4.32 การจ่ายแรงดันไบอัสให้เจฟfetทำงาน จะมีกระแสไหลจากขา D ไปยังขา S ได้การจ่ายแรงดันไบอัสให้เจฟfetชนิด N แชลแนล นำกระแสและควบคุมการนำกระแสได้ต้องจ่ายแรงดันไบอัส V_{DD} ขั้วบวกให้ขา D เป็นไบอัสกลับและขั้วลบให้ขา S เป็นไบอัสตรง ส่วนแรงดัน V_{GG} จ่ายขั้วลบให้ขา G เป็นไบอัสกลับเทียบกับขา S ถ้าจ่ายแรงดันไบอัสให้เฉพาะขา D กับขา S ด้วยแหล่งจ่ายแรงดัน V_{DD} ขณะที่ขา G เปิดลอยไว้ จะมีกระแสเดรน (I_D) ไหลผ่านระหว่างขา D กับขา S สูงมากค่าหนึ่งและไหลคงที่ตลอดเวลา ซึ่งสามารถจำกัดค่ากระแสเดรน (I_D) ได้ด้วยการต่อตัวต้านทานแบบอนุกรมกับวงจร

ถ้าต้องการควบคุมการไหลของกระแสเดรน (I_D) ต้องจ่ายแรงดันไบอัสกลับด้วยแหล่งจ่ายแรงดัน V_{GG} ให้กับขา G เทียบกับขา S ทำให้เกิดรอยต่อหลอดพาหะขึ้นระหว่างรอยต่อ PN รอยต่อหลอดพาหะนี้ทำให้สารชนิด N แคลลง เกิดการขัดขวางการไหลของกระแสเดรน (I_D) จากขา D ไปยังขา S ให้ไหลผ่านได้น้อยลง ถ้าต้องการให้มีแรงต้านทานการไหลของกระแสจากขา D ไปยังขา S เพิ่มขึ้น ต้องจ่ายไบอัสกลับให้ขา G ให้มากขึ้น รอยต่อหลอดพาหะรอยต่อ PN จะยิ่งกว้างขึ้น ทำให้กระแสเดรน (I_D) ไหลได้น้อยลงอีกจึงเกิดความต้านทานระหว่างขา D กับขา S เพิ่มมากขึ้น ความต้านทานนี้เปลี่ยนแปลงไปได้ตามค่าแรงดันไบอัสกลับที่ขา D กับขา S ซึ่งสามารถปรับค่าแรงดัน ไบอัสกลับที่ V_{GG} ที่จ่ายให้ขา G ให้เพิ่มขึ้นหรือลดลงได้ จึงทำให้มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงการไหลของกระแสเดรน (I_D) ตามไปด้วย เพราะรอยต่อหลอดพาหะระหว่างรอยต่อ PN จะยิ่งกว้างขึ้นจึงทำให้เกิดแรงต้านทานการไหลของกระแสเดรน (I_D) เพิ่มมากขึ้น

4.4.3.2 หลักการทำงานของเจฟfetชนิด P แชลแนล



รูปที่ 4.33 หลักการทำงานของเจฟfetชนิด P แชลแนล

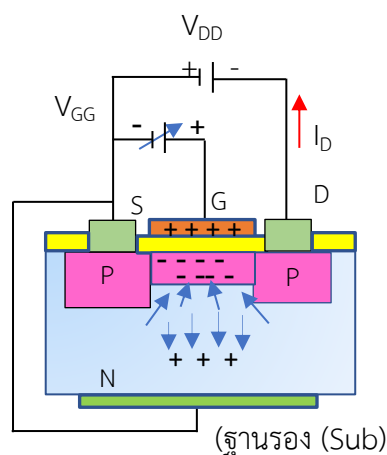
ที่มา : พันธุ์ศักดิ์ พุฒิमानิตพงศ์. 2553

จากรูปที่ 4.33 การจ่ายแรงดันไบอัสให้เจฟfetชนิด P แชลแนล ให้ทำงานต้องจ่ายแรงดันไบอัสตรงให้ขา S จ่ายไบอัสกลับให้ขา D และขา G เทียบกับขา S แรงดันไบอัสที่จ่ายให้เจฟfetชนิด P แชลแนล เพื่อให้กระแสและควบคุมการนำกระแสได้ต้องจ่ายแรงดัน V_{DD} ขั้วลบให้ขา D เป็นไบอัสกลับและขั้วบวกให้ขา S เป็นไบอัสตรง ส่วนแรงดัน V_{GG} จ่ายขั้วบวกให้ขา G เป็นไบอัสกลับเทียบกับขา S

ขณะที่จ่ายแรงดันไบอัสให้ขา D กับขา S ด้วยแหล่งจ่ายแรงดัน V_{DD} ขณะที่ขา G เปิดลอยไว้ จะมีกระแสเดรน (I_D) ไหลผ่านจากขา S ไปยังขา D สูงมากค่าหนึ่งและไหลคงที่ตลอดเวลา ถ้าต้องการจำกัดค่ากระแสเดรน (I_D) ทำได้โดยต่อตัวต้านทานแบบอนุกรมกับวงจร ถ้าต้องการควบคุมการไหลของกระแสเดรน (I_D) ต้องจ่ายแรงดันไบอัสกลับเป็นบวกด้วยแหล่งจ่ายแรงดัน V_{GG} ให้กับขา G เทียบกับขา S ทำให้รอยต่อปลอดพาหะขึ้นระหว่างรอยต่อ PN รอยต่อปลอดพาหะนี้ทำให้สารชนิด P บริเวณรอยต่อ PN แคบลงเกิดการขัดขวางการไหลของกระแสเดรน (I_D) จากขา S ไปขา D ให้ไหลผ่านได้น้อยลง ถ้าจ่ายบัสกลับให้ขา G มากขึ้น รอยต่อปลอดพาหะระหว่างรอยต่อ PN จะยิ่งกว้างขึ้นทำให้เกิดแรงต้านทานการไหลของกระแสเดรน (I_D) มากขึ้น กระแสเดรน (I_D) ไหลได้น้อยลงอีก เกิดความต้านทานระหว่างขา S กับขา D เพิ่มมากขึ้น กระแสเดรน (I_D) ที่ไหลนี้สามารถควบคุมได้โดยการเปลี่ยนแปลงค่าแรงดันไบอัสกลับที่ V_{GG} ที่จ่ายให้ขา G ซึ่งสามารถปรับค่าแรงดัน V_{GG} ให้เพิ่มขึ้นหรือลดลงได้ จึงทำให้มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงการไหลของกระแสเดรน (I_D) ตามไปด้วย เพราะรอยต่อปลอดพาหะระหว่างรอยต่อ PN จะยิ่งกว้างขึ้นจึงทำให้เกิดแรงต้านทานการไหลของกระแสเดรน (I_D) เพิ่มมากขึ้น

4.4.4 หลักการทำงานของมอสเฟต แบบ D-MOSFET ชนิด P แชลแนล

มอสเฟตแบบ D-MOSFET ตัวอักษร D นำหน้า ย่อมาจากคำว่า Depletion หมายถึง การลดลง ดังนั้นมอสเฟตแบบ D-MOSFET คือ วิธีการทำให้การไหล ของกระแส I_D ระหว่างขา D กับขา S ลดลง ดังรูปที่ 4.34



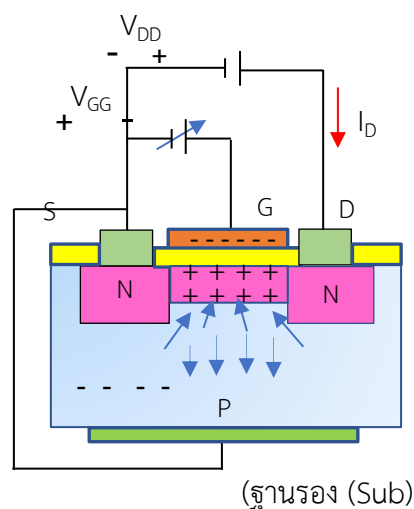
รูปที่ 4.34 การทำงานของมอสเฟตแบบ D-MOSFET ชนิด P แชลแนล

ที่มา : จิรโรจน์ เลิศนเปียมสุข. 2565

จากรูปที่ 4.34 การทำงานของมอสเฟต แบบ D-MOSFET ชนิด P แชนแนล เมื่อจ่ายแรงดันไบอัสให้กับขา D กับขา S กระแส I_D จะไหลปกติ เพราะว่าตามโครงสร้างระหว่างขา D กับขา S ต่อถึงกัน เมื่อต้องการให้กระแส I_D ไหลน้อยลง ต้องทำการจ่ายแรงดันไบอัสตรงให้กับขา G เทียบกับขา S ซึ่งแรงดันที่ขา G มีศักย์ไฟฟ้าเป็นบวก จึงเกิดการผลักกันกับศักย์ไฟฟ้าบวกที่อยู่ในสารกึ่งตัวนำชนิด P ออกไป ทำให้มีโฮลเกิดขึ้นและมีอิเล็กตรอนอิสระที่อยู่ในสารกึ่งตัวนำชนิด N เข้าไปแทนที่รอยต่อระหว่างขา D กับขา S กลายสภาพเป็นสารกึ่งตัวนำชนิด N จึงเป็นการลดเส้นทางการไหลของกระแส I_D ลง ถ้าปรับแรงดัน V_{GG} ให้เปลี่ยนแปลง การไหลของกระแส I_D ก็เปลี่ยนแปลงตามไปด้วย

4.4.5 หลักการทำงานของมอสเฟต แบบ D-MOSFET ชนิด N แชนแนล

จากรูปที่ 4.35 การทำงานของมอสเฟตแบบ D-MOSFET ชนิด N แชนแนล เมื่อจ่ายแรงดันไบอัสให้กับขา D กับขา S กระแส I_D จะไหลปกติ เพราะว่าตามโครงสร้างระหว่างขา D กับขา S ต่อถึงกัน เมื่อต้องการให้กระแส I_D ไหลน้อยลง ต้องทำการจ่ายแรงดันไบอัสกลับให้กับขา G เทียบกับขา S ซึ่งแรงดันที่ขา G มีศักย์ไฟฟ้าเป็นลบ จึงเกิดการผลักกันกับศักย์ไฟฟ้าลบที่อยู่ในสารกึ่งตัวนำชนิด N ออกไป ทำให้มีโฮลที่อยู่ในสารกึ่งตัวนำชนิด P เข้าไปแทนที่กลายเป็นศักย์ไฟฟ้าบวก รอยต่อระหว่างขา D กับขา S กลายสภาพเป็นสารกึ่งตัวนำชนิด P จึงเป็นการลดเส้นทางการไหลของกระแส I_D ลง ถ้าปรับแรงดัน V_{GG} ให้เปลี่ยนแปลง การไหลของกระแส I_D ก็เปลี่ยนแปลงตามไปด้วย



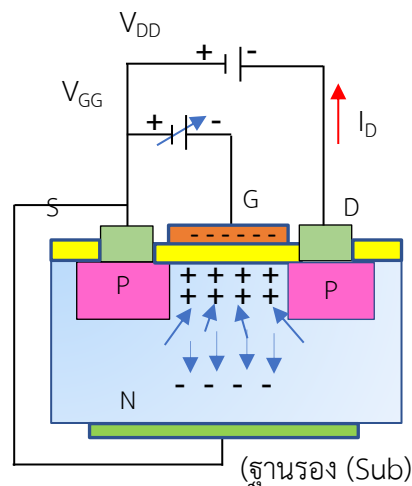
รูปที่ 4.35 การทำงานของมอสเฟตแบบ D-MOSFET ชนิด N แชนแนล

ที่มา : จิรโรจน์ เลิศธนเปี่ยมสุข. 2565

4.4.6 หลักการทำงานของมอสเฟต แบบ E-MOSFET ชนิด P แชนแนล

มอสเฟตแบบ E-MOSFET ที่มีอักษรตัว E นำหน้า ซึ่งย่อมาจากคำว่า Enhancement หมายถึง การเพิ่มขึ้น ดังนั้นมอสเฟตแบบ E-MOSFET คือ วิธีการทำให้การไหลของกระแส I_D ระหว่างขา D กับขา S เพิ่มขึ้น

จากรูปที่ 4.36 การทำงานของมอสเฟตแบบ E-MOSFET ชนิด P แชนแนล ขณะจ่ายแรงดัน V_{DD} ให้ไบอัสขา D เทียบกับขา S มอสเฟตยังไม่ทำงานและยังไม่มีกระแส I_D ไหล เพราะมีสารกึ่งตัวนำชนิด N ซึ่งมีศักย์ไฟฟ้าเป็นลบ กั้นอยู่ระหว่างขา D กับขา S เมื่อจ่ายแรงดัน V_{GG} ที่เป็นการไบอัสกลับให้ขา G เทียบกับขา S ศักย์ไฟฟ้าลบที่ขา G จะผลักให้ศักย์ไฟฟ้าลบของสารกึ่งตัวนำชนิด N ออกไป ทำให้ศักย์ไฟฟ้าที่เป็นบวกเคลื่อนที่เข้ามาแทนที่ และพยายามข้ามไปหาศักย์ไฟฟ้าลบที่ขา G แต่ข้ามไปไม่ได้เพราะมีฉนวนออกไซด์กั้นไว้อยู่จึงไปสะสมอยู่ระหว่างขา D กับขา S เป็นจำนวนมาก เปรียบเหมือนเป็นสะพานเชื่อมต่อให้ขา D กับขา S ต่อถึงกัน เกิดกระแส I_D ไหลจากขา D ไปขา S ถ้ามีการควบคุมแรงดัน V_{GG} ให้มีค่าเปลี่ยนแปลงได้ จะมีผลทำให้การไหลของกระแส I_D เปลี่ยนแปลงไปตามค่าแรงดัน V_{GG} กล่าวคือ เมื่อจ่ายแรงดัน V_{GG} น้อยลง ศักย์ไฟฟ้าลบที่ขา G จะน้อย จึงผลักให้ศักย์ไฟฟ้าลบที่สารกึ่งตัวนำชนิด N ออกไปได้น้อย ศักย์ไฟฟ้าบวกจึงเข้าไปแทนที่ได้น้อย จึงทำให้เกิดกระแส I_D ไหลได้น้อย และเมื่อจ่ายแรงดัน V_{GG} มากขึ้น ศักย์ไฟฟ้าลบที่ขา G จะมีมากขึ้น ดึงศักย์ไฟฟ้าบวกเข้าไปแทนที่ได้มากขึ้นตามไปด้วย เกิดกระแส I_D ไหลมากเพิ่มขึ้น ดังรูปที่ 4.36

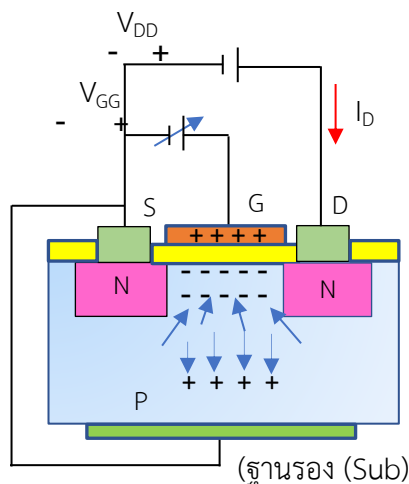


รูปที่ 4.36 การทำงานของมอสเฟตแบบ E-MOSFET ชนิด P แชนแนล

ที่มา : จิรโรจน์ เลิศธนเปี่ยมสุข. 2565

4.4.7 หลักการทำงานของมอสเฟต แบบ E-MOSFET ชนิด N แชนแนล

เมื่อต้องการให้มอสเฟต แบบ E-MOSFET ชนิด N แชนแนลทำงาน ต้องจ่ายแรงดันไบแอสให้กับมอสเฟต ด้วยการจ่ายแรงดันไบแอสตรงให้ขา G เทียบกับขา S จ่ายแรงดันไบแอสกลับให้ขา D เทียบกับขา S



รูปที่ 4.37 การทำงานของมอสเฟตแบบ E-MOSFET ชนิด N แชนแนล

ที่มา : จิรโรจน์ เลิศธนเปี่ยมสุข. 2565

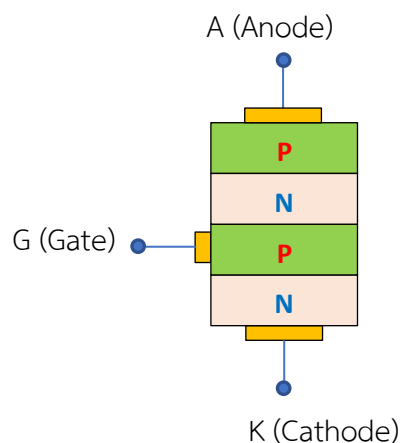
จากรูปที่ 4.37 การทำงานของมอสเฟตแบบ E-MOSFET ชนิด N แชนแนล ขณะจ่ายแรงดัน V_{DD} ให้ไบแอสขา D เทียบกับขา S มอสเฟตยังไม่ทำงาน และยังไม่มีการไหลของกระแส I_D เพราะมีสารกึ่งตัวนำชนิด P ซึ่งมีศักย์ไฟฟ้าเป็นบวก กั้นอยู่ระหว่างขา D กับขา S เมื่อจ่ายแรงดัน V_{GG} ที่เป็นการไบแอสตรงให้ขา G เทียบกับขา S ศักย์ไฟฟ้าบวกที่ขา G จะผลักโฮลซึ่งเป็นศักย์ไฟฟ้าบวกของสารกึ่งตัวนำชนิด P ออกไป ทำให้มีอิเล็กตรอนอิสระที่มีศักย์ไฟฟ้าเป็นลบเคลื่อนที่เข้ามาแทนที่อิเล็กตรอนอิสระซึ่งเป็นศักย์ไฟฟ้าลบ จะพยายามเข้าไปหาศักย์ไฟฟ้าบวกที่ขา G แต่เข้าไปไม่ได้ เพราะมีฉนวนออกไซด์กั้นไว้ อิเล็กตรอนอิสระจึงไปสะสมอยู่ระหว่างขา D กับขา S เป็นจำนวนมาก เปรียบเหมือนเป็นสะพานเชื่อมต่อให้ขา D กับขา S ต่อถึงกัน เกิดกระแส I_D ไหลจากขา D ไปขา S ถ้ามีการควบคุมแรงดัน V_{GG} ให้มีค่าเปลี่ยนแปลงได้ จะมีผลทำให้การไหลของกระแส I_D เปลี่ยนแปลงไปตามค่าแรงดัน V_{GG} กล่าวคือ เมื่อจ่ายแรงดัน V_{GG} น้อย ศักย์ไฟฟ้าบวกที่ขา G จะน้อย จึงผลักโฮลออกไปได้น้อย ดึงอิเล็กตรอนอิสระเข้าไปแทนที่ได้ก็น้อย จึงทำให้เกิดกระแส I_D ไหลได้น้อย และเมื่อจ่ายแรงดัน V_{GG} มากขึ้น ศักย์ไฟฟ้าบวกที่ขา G จะมีมากขึ้น จะผลักโฮลออกไปได้มากขึ้น ดึงอิเล็กตรอนอิสระเข้าไปแทนที่ได้มากขึ้นตามไปด้วย เกิดกระแส I_D ไหลมากขึ้น

4.5 เอสซีอาร์ (Silicon Control Rectifier)

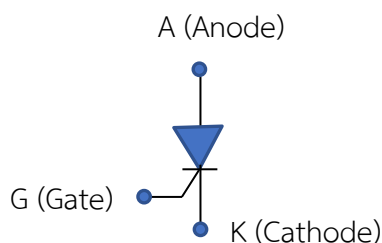
เอสซีอาร์ (Silicon Control Rectifier) มีหน้าที่ เป็นสวิตช์เปิด-ปิด (ON-OFF) เพื่อควบคุมการจ่ายกำลังไฟฟ้าของวงจรทางอิเล็กทรอนิกส์ เอสซีอาร์ ข้อดีของ เอสซีอาร์ คือไม่มีหน้าสัมผัสเพราะเป็นอุปกรณ์สารกึ่งตัวนำจึงทำให้ไม่เกิดประกายไฟที่หน้าสัมผัสจึงมีความปลอดภัยขณะใช้งาน สำหรับในรถยนต์มีการนำเอา เอสซีอาร์ มาประยุกต์ใช้ในการควบคุมการทำงานของอุปกรณ์ระบบจุดระเบิดในเครื่องยนต์ เพื่อให้การทำงานมีประสิทธิภาพและมีความแม่นยำยิ่งขึ้น

4.5.1 โครงสร้างและสัญลักษณ์ของเอสซีอาร์

เอสซีอาร์ มีโครงสร้างของสารกึ่งตัวนำชนิด N และชนิด P ทั้งหมด 4 ตอน เป็นสารกึ่งตัวนำชนิด N และชนิด P อย่างละ 2 ตอน เรียงสลับกัน คือ P-N-P-N มีขาต่อกันออกมาใช้งาน 3 ขา คือ ขาแอโนด (Anode) แคโทด (Cathode) และเกต (Gate) เอสซีอาร์ มีอยู่ด้วยกัน 2 ชนิด คือ ชนิด PNPN และชนิด NPNP



(ก) โครงสร้างของเอสซีอาร์



(ข) สัญลักษณ์ของเอสซีอาร์

รูปที่ 4.38 โครงสร้างและสัญลักษณ์ของเอสซีอาร์

ที่มา : จิรโรจน์ เลิศธนเปี่ยมสุข. 2565



รูปที่ 4.39 เอสซีอาร์ลักษณะต่าง ๆ

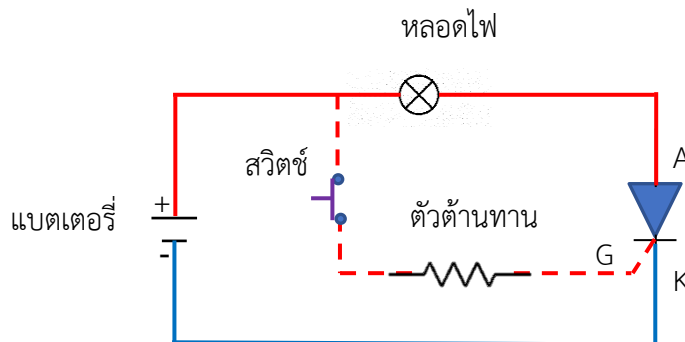
ที่มา : จิรโรจน์ เลิศธนเปี่ยมสุข. 2565

4.5 2 หลักการทำงานของเอสซีอาร์

เอสซีอาร์ทำหน้าที่เป็นสวิตช์เปิด-ปิด เพื่อควบคุมการจ่ายกำลังไฟฟ้าของวงจรทางอิเล็กทรอนิกส์ สถานะการทำงานของ SCR จึงแบ่งได้ 2 สถานะ คือ สถานะนำกระแส เรียกว่า ON และสถานะหยุดนำกระแส เรียกว่า OFF เอสซีอาร์ คล้ายกับไดโอดทั่วไป โดยไดโอดจะทำงานเมื่อได้รับการไบอัสตรงด้วยแรงดันอยู่ที่ 0.3 – 0.7 โวลต์ ไดโอดถึงจะทำงานได้ แต่เอสซีอาร์ จะทำงานได้ ต้องมีการป้อนไฟเข้าขาที่สามของมันที่เรียกว่า การทริกเอสซีอาร์

4.5.2.1 สถานะนำกระแสของเอสซีอาร์

เมื่อทำการไบอัสตรงให้กับเอสซีอาร์ โดยต่อไฟฟ้าขั้วบวกจากแหล่งจ่ายไฟ และต่อหลอดไฟแบบอนุกรมระหว่างแหล่งจ่ายไฟกับขาแอนดของเอสซีอาร์ ขั้วลบของแหล่งจ่ายไฟ ต่อกับขั้วแคโทดของเอสซีอาร์ ในขณะที่เอสซีอาร์ยังไม่สามารถทำงานได้ เมื่อต้องการให้เอสซีอาร์ทำงานต้องมีการทริกที่ขาเกต โดยจ่ายไฟบวกเข้าที่ขาเกต อาจจะต้องตัวต้านทานเพื่อลดแรงดันไฟก่อนเข้าที่ขาเกตได้ เพราะการทริกไม่จำเป็นต้องใช้แรงดันไฟสูงมาก เมื่อทำการทริกที่ขาเกตของเอสซีอาร์ กระแสไฟส่วนใหญ่จะไหลจากขั้วแอนด ไปยังขาแคโทดได้ถือว่าเอสซีอาร์ทำงานได้อย่างสมบูรณ์แล้ว ดังรูปที่ 4.40



รูปที่ 4.40 สถานะนำกระแสของเอสซีอาร์

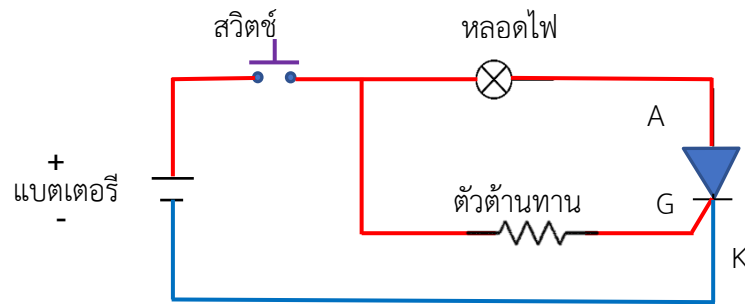
ที่มา : จิรโรจน์ เลิศนเปี่ยมสุข. 2565

ขณะที่เอสซีอาร์ทำงานได้อย่างสมบูรณ์ สารกึ่งตัวนำชนิด P จะกลายเป็นตัวนำได้ทำให้เสมือนว่าสารกึ่งตัวนำชนิด P กลายเป็นสารกึ่งตัวนำชนิด N ขั้วคราว ในขณะที่มีกระแสไหลผ่านจากขาแอนด ไปยังขาแคโทด ดังนั้นในขณะที่เอสซีอาร์ทำงานได้ก็จะเป็นเปรียบเหมือนเป็นไดโอดทั่วไป

4.5.2.2 สถานะหยุดนำกระแสของเอสซีอาร์

วิธีการทำให้เอสซีอาร์หยุดนำกระแสมีอยู่ 3 วิธี คือ

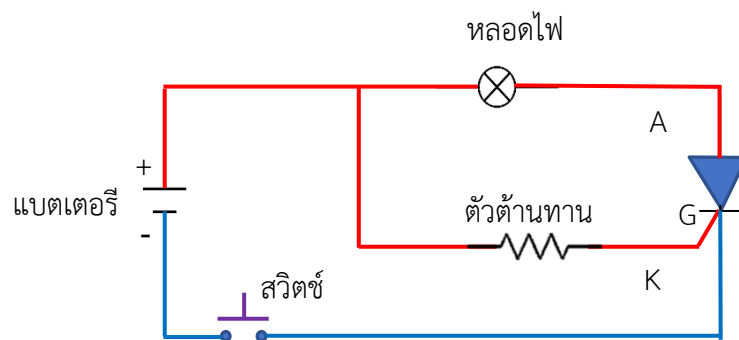
1) การตัดไฟที่ขั้วบวกของแหล่งจ่ายไฟที่ขั้วแอนดของเอสซีอาร์เมื่อปิดสวิตช์ จะทำให้กระแสไฟไม่สามารถไหลผ่านไปได้ จึงทำให้เอสซีอาร์หยุดทำงาน ดังรูปที่ 4.41



รูปที่ 4.41 การทำให้เอสซีอาร์หยุดนำกระแสด้วยการตัดไฟที่ขั้วบวกของแหล่งจ่ายไฟ
ที่มา : จิรโรจน์ เลิศธนเปี่ยมสุข. 2565

2) การตัดไฟที่ขั้วลบของแหล่งจ่ายไฟ

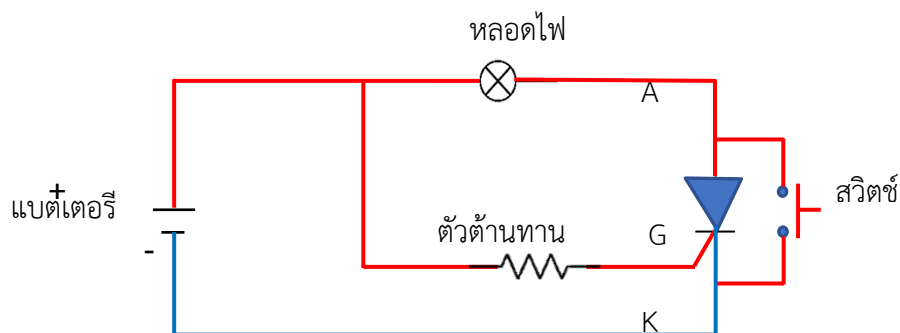
การตัดไฟที่ขั้วลบด้วยวิธีการใช้สวิตช์ต่อระหว่างขั้วแคโทดกับขั้วลบของแหล่งจ่ายไฟ เมื่อเปิดสวิตช์จะทำให้กระแสไฟไม่ครบวงจร จึงทำให้เอสซีอาร์หยุดทำงาน ดังรูปที่ 4.42



รูปที่ 4.42 การทำให้เอสซีอาร์หยุดนำกระแสด้วยวิธีการตัดไฟที่ขั้วลบของแหล่งจ่ายไฟ
ที่มา : จิรโรจน์ เลิศธนเปี่ยมสุข. 2565

3) การทำบายพาส

การตัดไฟโดยวิธีการทำบายพาส ด้วยการต่อสวิตช์ระหว่างขั้วแอโนด กับขั้วแคโทดของเอสซีอาร์ เมื่อเปิดสวิตช์จะทำให้กระแสไฟส่วนใหญ่ไหลผ่านจากขั้วแอโนดไปยังขั้วแคโทดได้โดยตรง จึงมีกระแสไฟส่วนน้อยที่ไหลผ่านเอสซีอาร์ จึงทำให้เอสซีอาร์หยุดทำงาน ในทางวงจรส่วนใหญ่จะใช้แบบนี้ เพราะไม่มีความต้านทานไฟมาก ดังรูปที่ 4.43



รูปที่ 4.43 การทำให้เอสซีอาร์หยุดนำกระแสด้วยวิธีการทำบายพาส
ที่มา : จิรโรจน์ เลิศชนเปี่ยมสุข. 2565

5. การวัดและตรวจสอบอุปกรณ์สารกึ่งตัวนำ

5.1 การวัดและตรวจสอบไดโอด

การวัดและตรวจสอบไดโอด สามารถวัดและทดสอบด้วยการใช้มัลติมิเตอร์ หลักการวัดและตรวจสอบไดโอด ต้องใช้ไฟจากมัลติมิเตอร์จ่ายให้ไดโอดทำงาน ด้วยการใช้ไฟบวกต่อเข้ากับขานโนดและไฟลบต่อเข้ากับ ขาแคโทด เรียกว่า การไบอัสตรง เมื่อทำการไบอัสตรงไดโอดจะทำงานยอมให้กระแสไหลผ่านได้พร้อมกับมีแรงดันตกคร่อมไดโอดประมาณ 0.5 - 0.8 V ถ้าจ่ายไบอัสตรงให้ไดโอดแล้วแต่ไม่มีแรงดันตกคร่อมไดโอดแสดงว่ามีการเสียหายเกิดขึ้นรอยต่อ PN คือ ไดโอดขาด เมื่อจ่ายไบอัสกลับให้ไดโอด ถ้าไดโอดสภาพดีจะกั้นไม่ให้กระแสไหลผ่านได้ แต่ถ้าไบอัสกลับไดโอดนำกระแสได้แสดงว่าไดโอดลัดวงจรหรือรั่ว

การไบอัสตรง

1. ปรับสวิตช์เลือกย่านวัดไปที่ย่านวัดไดโอด ให้สังเกตหน้าจอก็จะแสดงสัญลักษณ์ไดโอด
2. ติดตั้งสายวัดมัลติมิเตอร์สีดำเข้ากับช่อง COM และสายวัดสีแดงเข้ากับช่องที่มีสัญลักษณ์ V, Ω , mA μ A
3. ต่อสายวัดมัลติมิเตอร์สีแดง เข้ากับขานโนด (ขั้ว +) และต่อสายวัดสีดำ เข้ากับขาแคโทด (ขั้ว -) เรียกว่าการไบอัสตรง ถ้าค่าที่แสดงแรงดันตกคร่อมไดโอดอยู่ระหว่าง 0.5 - 0.8 V หมายถึงไดโอดสภาพดี ดังรูปที่ 4.44



รูปที่ 4.44 การไบอัสตรงให้กับไดโอด

ที่มา : จิรโรจน์ เลิศชนเปี่ยมสุข. 2565

การไบอัสกลับ

ต่อสายวัดมัลติมิเตอร์สีแดงเข้ากับขาแคโทด (ขั้ว -) และต่อสายวัดสีดำ เข้ากับขาแอโนด (ขั้ว +) ไดโอดสภาพดีหน้าจอก็จะแสดง OL

ข้อควรระวัง คือ ขณะทำการวัดไดโอด ต้องวัดขณะตัวไดโอดอยู่นอกวงจร หรือในขณะที่ไม่มีไฟและมีกัลการสังเกตขาไดโอด คือ ถ้าเป็นขาแคโทด (ขั้ว -) จะมีวงกลมสีขาวคาดไว้รอบตัวไดโอด



รูปที่ 4.45 ไบอัสกลับให้กับไดโอด

ที่มา : จิรโรจน์ เลิศชนเปี่ยมสุข. 2565

สรุปการวัดและตรวจสอบไดโอดด้วยมัลติมิเตอร์ดิจิทัล

1. เมื่อไบอัสตรงให้ไดโอด หน้าจอจะแสดงแรงดันตกคร่อมอยู่ระหว่าง 0.5 - 0.8 V และเมื่อสลับสายมัลติมิเตอร์ (ไบอัสกลับ) หน้าจอแสดง OL 1 ครั้ง แสดงว่าไดโอดมีสภาพดี
2. ถ้าสลับสายมัลติมิเตอร์วัดแล้วหน้าจอแสดง OL ทั้ง 2 ครั้ง แสดงว่าไดโอดขาด
3. ถ้าสลับสายมัลติมิเตอร์วัดแล้วหน้าจอแสดง 0.000 V ทั้ง 2 ครั้ง แสดงว่าไดโอด

ลัดวงจร

5.2 การวัดและตรวจสอบซีเนอร์ไดโอด

ปกติไดโอดทั่วไปจะทำงานได้ต้องจ่ายแรงดันไบอัสตรงให้กับมัน คือ ต้องจ่ายแรงดันให้กับไดโอดที่ประมาณ $0.3 - 0.7 \text{ V}$ ไดโอดจึงจะทำงาน แต่สำหรับซีเนอร์ไดโอดการจ่ายแรงดันไบอัสตรง เหมือนกับไดโอดมันจะไม่ทำงาน แต่จะยอมทำงานเมื่อจ่ายแรงดันไบอัสกลับและแรงดันนั้นต้องมีค่าถึงแรงดันเบรกตกของซีเนอร์ การใช้มัลติมิเตอร์ดิจิทัลวัดและทดสอบซีเนอร์ไดโอด ก่อนทำการวัดให้ปรับมัลติมิเตอร์ไปที่ย่านการวัดไดโอด ปกติมัลติมิเตอร์ดิจิทัลขณะทำการวัดจะจ่ายไฟออกมา 3 V การวัดและตรวจสอบซีเนอร์ไดโอดแบ่งออกเป็น 3 กรณี คือ ซีเนอร์ไดโอดดี ซีเนอร์ไดโอดขาด และซีเนอร์ไดโอดลัดวงจร

5.2.1 ซีเนอร์ไดโอดดี การวัดและตรวจสอบซีเนอร์ไดโอด จะแบ่งได้ 2 กรณี ดังนี้

5.2.1.1 กรณีซีเนอร์ไดโอดมีแรงดันมากกว่าแรงดันมัลติมิเตอร์ เช่น 2 V , 3.3 V , 4.2 V , 4.7 V เป็นต้น การวัดและทดสอบด้วยมัลติมิเตอร์ให้ปฏิบัติทั้ง 2 กรณี คือ ให้ทำการไบอัสตรงและทำการไบอัสกลับ

การวัดและทดสอบแบบไบอัสตรง

- 1) ปรับสวิตช์เลือกย่านวัดไปที่ย่านวัดไดโอด ให้สังเกตหน้าจอจะแสดงสัญลักษณ์ไดโอด
- 2) นำสายมัลติมิเตอร์สีแดงต่อกับขาแอนด (A) สีดำต่อกับขาแคโทด (K) หน้าจอจะแสดงผลเป็นค่าแรงดันตกคร่อมออกมาค่า ๆ หนึ่ง เช่น 0.647 V

วัดและทดสอบแบบไบอัสกลับ

- 3)ให้นำสายมัลติมิเตอร์สีแดงต่อกับขาแคโทด (K) สีดำต่อกับขาแอนด (A) หน้าจอจะแสดงผลเป็นค่าแรงดันตกคร่อมออกมาเป็นค่า OL

ถ้าผลการวัดและทดสอบไม่เป็นไปตาม 2 กรณีดังกล่าวแสดงว่าซีเนอร์ไดโอดเสีย



รูปที่ 4.46 การวัดและตรวจสอบซีเนอร์ไดโอด กรณีมีแรงดันมากกว่าแรงดันมัลติมิเตอร์ดิจิทัล

ที่มา : จิรโรจน์ เลิศชนเปี่ยมสุข. 2565

5.2.1.2 กรณีซีเนอร์ไดโอด มีแรงดันน้อยกว่าแรงดันมัลติมิเตอร์ เช่น ซีเนอร์ไดโอด 1.8 V, 2 V ในกรณีนี้ ขณะทำการวัดและทดสอบ มัลติมิเตอร์จะแสดงผลออกมาเป็นตัวเลขค่าหนึ่ง ไม่ว่าจะทำการวัดและทดสอบแบบไบอัสตรง หรือทำการวัดและทดสอบแบบไบอัสกลับ

กรณีทำการวัดและทดสอบแบบไบอัสตรง

ให้นำสายมัลติมิเตอร์สีแดงต่อกับขาแอโนด (A) สีดำต่อกับขาแคโทด (K) หน้าจอจะแสดงผลเป็นค่าแรงดันตกคร่อมออกมาค่าหนึ่ง แต่ค่าที่ได้จะน้อยกว่าที่จ่ายออกมาจากตัวมัลติมิเตอร์

กรณีทำการวัดและทดสอบแบบไบอัสกลับ

ให้นำสายมัลติมิเตอร์สีแดงต่อกับขาแคโทด (K) สายสีดำต่อกับขาแอโนด (A) หน้าจอจะแสดงผลเป็นค่าแรงดันตกคร่อมออกมาค่าหนึ่ง แต่ค่าที่ได้จะมากกว่าแบบไบอัสตรง ซึ่งจะใกล้เคียงกับค่าแรงดันที่ตกคร่อมของซีเนอร์ไดโอดตัวนั้น ๆ เช่น ซีเนอร์ไดโอด 1.8 V ค่าที่แสดงบนหน้าจอมัลติมิเตอร์อาจจะได้ 1.5 V 1.7 V เป็นต้น เพราะว่าแรงดันของมัลติมิเตอร์มีค่าสูงกว่าจึงสามารถเอาชนะแรงดันซีเนอร์ไดโอดได้



รูปที่ 4.47 การวัดและตรวจสอบซีเนอร์ไดโอด กรณีมีแรงดันน้อยกว่าแรงดันมัลติมิเตอร์ดิจิทัล

ที่มา : จิรโรจน์ เลิศชนเปี่ยมสุข. 2565

5.2.2 ซีเนอร์ไดโอดขาด เมื่อนำสายมัลติมิเตอร์สีแดงต่อกับแอโนด (A) สายสีดำต่อกับแคโทด (K) และสลับสายมัลติมิเตอร์ หน้าจอจะแสดงผลเป็น OL ทั้ง 2 ครั้ง แสดงว่าซีเนอร์ไดโอดขาด

5.2.3 ซีเนอร์ไดโอดลัดวงจร เมื่อนำสายมัลติมิเตอร์สีแดงต่อกับแอโนด (A) สายสีดำต่อกับแคโทด (K) และทำการสลับสายมัลติมิเตอร์ หน้าจอจะแสดงผลเป็น 0.000 V ทั้ง 2 ครั้ง แสดงว่าซีเนอร์ไดโอดลัดวงจร

5.3 การวัดและทดสอบทรานซิสเตอร์

ก่อนทำการวัดและทดสอบทรานซิสเตอร์ สิ่งแรกที่ต้องรู้คือตำแหน่งขาของทรานซิสเตอร์ ซึ่งทรานซิสเตอร์มีอยู่ด้วยกัน 3 ขา ได้แก่ ขาเบส (B) ขาคอลเล็กเตอร์ (C) และขาอีมิเตอร์ (E) ถ้าหากทรานซิสเตอร์อยู่ในวงจรต้องทำการถอดออกจากวงจรก่อน สำหรับตำแหน่งขาทรานซิสเตอร์สามารถเปิดดูได้ตามคู่มือ หรือค้นหาตามเบอร์ที่กำหนดไว้ในตัวถัง หรือหาตำแหน่งขาของทรานซิสเตอร์ได้ ดังนี้

5.3.1 ปรับตั้งสวิตช์เลือกย่านการวัดของมัลติมิเตอร์ไปที่การวัดไดโอด เพื่อหาขา B และชนิดของทรานซิสเตอร์ก่อน โดยวัดทุกขาสลับกันไปมา 6 ครั้ง หน้าจอมัลติมิเตอร์จะแสดงผลค่าแรงดันตกคร่อม 2 ครั้ง ไม่เท่ากัน

ถ้าสายวัดสีแดง เป็นสายร่วม คือขา B เป็นทรานซิสเตอร์ชนิด NPN

ถ้าสายวัดสีดำ เป็นสายร่วม คือขา B เป็นทรานซิสเตอร์ชนิด PNP

สายร่วม หมายถึง เป็นสายของมัลติมิเตอร์ที่ไม่ต้องย้ายขณะทำการวัด ส่วนอีกหนึ่งสายจะย้ายไปวัดขาที่เหลือทั้งสองขาแล้วจะได้ค่าแรงดันตกคร่อม ประมาณ 0.4 - 0.6 V (ขณะนี้ได้ขา B แล้ว)

5.3.2 วัดหาขา C และขา E โดยให้เอาขา B เป็นหลัก วัดขา B ร่วมกับอีก 2 ขาที่เหลือทีละคู่ หน้าจอมัลติมิเตอร์แสดงผลค่าแรงดันตกคร่อมของแต่ละคู่จะไม่เท่ากัน โดยคู่ที่มีค่าความต้านทานสูงกว่าเป็นขา E คู่ที่มีค่าต่ำกว่าเป็นขา C

เมื่อทราบขาของทรานซิสเตอร์แล้วให้ทำการวัดและทดสอบอาการดีหรือเสียได้ โดยวัดการขาด และการลัดวงจร ทรานซิสเตอร์เป็นอุปกรณ์สารกึ่งตัวนำที่ประกอบด้วยสารกึ่งตัวนำชนิด P และสารกึ่งตัวนำชนิด N การวัดจึงเป็นการทดสอบสภาพรอยต่อ PN ว่ามีความปกติดีอยู่หรือไม่ ขั้นตอนการวัดและทดสอบทรานซิสเตอร์ด้วยมิเตอร์ดิจิทัล

1. ปรับย่านมัลติมิเตอร์ไปที่การวัดไดโอด

2. วัดขา B กับ E และวัดขา B กับขา C

กรณีทรานซิสเตอร์ ชนิด NPN

ใช้สายวัดสีแดงแตะยึดกับขา B ไว้เป็นหลัก และสายวัดสีดำให้แตะขา E และย้ายสายวัดสีดำไปแตะขา C ถ้าทรานซิสเตอร์ดีแรงดันตกคร่อมของรอยต่อ PN ประมาณ 0.4 - 0.6 V ดังรูปที่ 4.48



รูปที่ 4.48 การวัดและทดสอบทรานซิสเตอร์ ชนิด NPN ด้วยมัลติมิเตอร์ดิจิทัล
ที่มา : จิรโรจน์ เลิศธนเปี่ยมสุข. 2565

กรณีทรานซิสเตอร์ ชนิด PNP

ใช้สายวัดสีดำแตะขั้วขา B ไว้เป็นหลัก สายวัดสีแดงให้แตะขา E และย้ายสายวัดสีดำไปแตะขา C ถ้าทรานซิสเตอร์ดีแรงดันตกคร่อมรอยต่อ PN ประมาณ 0.4 – 0.6 V ดังรูปที่ 4.49



รูปที่ 4.49 การวัดและทดสอบทรานซิสเตอร์ ชนิด PNP ด้วยมัลติมิเตอร์ดิจิทัล
ที่มา : จิรโรจน์ เลิศธนเปี่ยมสุข. 2565

วัดขา C กับ E และสลับสายวัดอีกครั้ง ถ้าทรานซิสเตอร์ดี หน้าจอจะแสดงผลเป็น OL ทั้ง 2 ครั้ง ทั้งทรานซิสเตอร์ชนิด NPN และชนิด PNP

กรณีทรานซิสเตอร์ขาด เมื่อทำการวัดและทดสอบ เมื่อสลับสายวัดของมัลติมิเตอร์หน้าจอจะแสดงผลเป็น OL ทั้ง 2 ครั้ง

กรณีทรานซิสเตอร์ลัดวงจร เมื่อวัดและทดสอบ เมื่อสลับสายวัดของมัลติมิเตอร์หน้าจอจะแสดงผลเป็น 0.000 V ทั้ง 2 ครั้ง

5.4 การวัดและทดสอบเฟต

เฟตมีขาต่อออกมาใช้งาน 3 ขาคือ ขาเกต (G) ขาเดรน (D) ขาซอส (S) แบ่งออกได้ 2 ชนิด คือ ชนิดเจเฟต และชนิดมอสเฟต ในการทดสอบเพื่อให้ทราบว่าเฟตดีหรือเสียในเบื้องต้น ต้องทราบตำแหน่งของขาต่าง ๆ ของเฟต จึงมีแนวทางปฏิบัติในการวัดและทดสอบแต่ละชนิด ดังนี้

5.4.1 การวัดและทดสอบเจเฟตด้วยมัลติมิเตอร์แอนะล็อก

การวัดและทดสอบเจเฟต ด้วยมัลติมิเตอร์แอนะล็อก ก่อนอื่นต้องทำการวัดหาตำแหน่งขาเกต (G) ก่อน แล้วจึงทำการทดสอบว่าเจเฟตดีหรือเสีย ซึ่งมีขั้นตอนการวัดและทดสอบ ดังนี้

5.4.1.1 ทำการคายประจุเจเฟต

5.4.1.2 ปรับมัลติมิเตอร์ไปที่ย่านการวัด $R \times 1$ แล้วปรับเข็มมัลติมิเตอร์ให้ตรงเลข 0

5.4.1.3 ให้ทำการวัดระหว่างขาเจเฟตสลับไปมาครบ 6 คู่ สังเกตดูว่าเข็มมัลติมิเตอร์จะมีค่าความต้านทานค่าใดค่าหนึ่งมาบ้างน้อยบ้าง

5.4.1.4 ให้สังเกตดูว่าคู่ใดเมื่อทำการสลับสายวัดของมัลติมิเตอร์แล้วมีค่าความต้านทานเท่ากันทั้ง 2 ครั้ง แสดงว่าคู่นั้นเป็นขาเดรน (D) กับขาซอส (S) ขาที่เหลืออีกหนึ่งขาคือ ขาเกต (G) แต่ขณะนี้ยังระบุไม่ได้ว่าขาใดคือขาเดรน (D) และขาใดเป็นขาซอส (S) ต้องทำการเปิดคู่มือเพื่อหาตำแหน่งของขาเดรนกับขาซอส

ข้อสังเกต ขณะทำการวัดที่ขาเดรน (D) กับขาซอส (S) ถ้าเข็มมัลติมิเตอร์ขึ้นแล้วค่อย ๆ ลดลงแสดงว่ามีไฟตกค้างภายในเจเฟต ให้ทำการคายประจุออกทั้ง 3 ขาก่อน จึงทำการวัด

5.4.1.5 หาชนิดของเจเฟตว่าเป็นแบบ N แชลแนล หรือ แบบ P แชลแนล ให้สังเกต ดังนี้

ถ้าสายวัดสีแดงเป็นสายร่วม ที่ต่ออยู่กับขาเกต (G) แล้วสายสีดำไปวัดเทียบกับอีก 2 ขาที่เหลือ ถ้าเข็มมัลติมิเตอร์ขึ้นทั้งสองครั้งแสดงว่าเป็นเจเฟตชนิด P แชลแนล

ถ้าสายวัดสีดำเป็นสายร่วม ที่ต่ออยู่กับขาเกต (G) แล้วสายสีแดงไปวัดเทียบกับอีก 2 ขาที่เหลือ ถ้าเข็มมัลติมิเตอร์ขึ้นทั้งสองครั้งแสดงว่าเป็นเจเฟตชนิด N แชลแนล

5.4.1.6 ให้ทำการทดสอบเจเฟตว่าดีหรือเสียด้วยการใช้สายมัลติมิเตอร์ โดยปฏิบัติ ดังนี้

1) ให้ใช้สายวัดมัลติมิเตอร์ทั้งสองแตะขาของคู่ที่วัดแล้วมีค่าความต้านทานเท่ากันทั้งสองครั้งไว้

2) ใช้สายมัลติมิเตอร์ขั้วที่เป็นไฟบวกหรือลบก็ได้ แต่ที่ของเกต (G) แล้วปล่อย ทำสลับกันไปเรื่อย ๆ ถ้าเข็มมัลติมิเตอร์ขึ้นลงแสดงว่าเจฟต์ดี แต่ถ้าเข็มมัลติมิเตอร์ไม่ขึ้นเลยแสดงว่าเจฟต์มีอาการขาดภายใน หรือเข็มมัลติมิเตอร์ขึ้นจนสุดตรงเลข 0 แสดงว่าเจฟต์ลัดวงจรภายใน

5.4.2 การวัดและทดสอบมอสเฟต

จากโครงสร้างของมอสเฟต จะมีสารกึ่งตัวนำชนิด P และชนิด N ดังนั้นภายในมอสเฟต จึงมีไดโอดแฝงอยู่ ทำให้มีรอยต่อ PN ทั้งมอสเฟตแบบ D-MOSFET และแบบ E-MOSFET ซึ่งแต่ละแบบมีทั้งชนิด P แชลแนล และชนิด N แชลแนล โดยปกติขาของมอสเฟตเมื่อเรียงลำดับจากซ้ายไปขวา จะเรียงดังนี้ คือ ขาเกต (G) ขาเดรน (D) และขาซอส (S) ตามลำดับ ดังรูปที่ 4.50



รูปที่ 4.50 ตำแหน่งขามอสเฟต

ที่มา : จิรโรจน์ เลิศชนเปี่ยมสุข. 2565

กรณีมอสเฟตดี ไม่ว่าจะเป็นชนิด N แชลแนล หรือชนิด P แชลแนล ขณะทำการวัดระหว่างขา S กับขา D เข็มมัลติมิเตอร์จะขึ้นและอ่านค่าได้ค่าหนึ่ง แต่จะไม่ได้ค่าเป็นศูนย์ (0)

5.4.3 การวัดและทดสอบมอสเฟตแบบ E-MOSFET

ก่อนวัดและทดสอบให้ทำการคายประจุออกจากมอสเฟตก่อนเสมอ ทำการวัดด้วยมัลติมิเตอร์แอนะล็อกโดยปรับสวิตช์ย่านการวัดไปที่ $R \times 10$ แล้วปรับให้เข็มมัลติมิเตอร์ตรงศูนย์ (0) ให้ทำการวัดระหว่างขาเดรน (D) กับขาซอส (S) แล้วสลับสายวัดของมัลติมิเตอร์ที่วัดระหว่างขาเดรน (D) กับขาซอส (S) โดยให้สังเกต ดังตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 การวัดมอสเฟตแบบ E-MOSFET ด้วยมัลติมิเตอร์แอนะล็อก ดูอาการดี เสีย

สายวัดของมัลติมิเตอร์	ชนิด N แชลแนล		ชนิด P แชลแนล	
	อาการเข็มมัลติเตอร์			
	ขึ้น	ไม่ขึ้น	ขึ้น	ไม่ขึ้น
สายสีแดงแตะขา D สายสีดำแตะขา S	✓			✓
สายสีดำแตะขา D สายสีแดงแตะขา S	-	✓	✓	
สีสายแดงแตะขา G สายสีดำแตะขา D (วัดสลับขาได้)	-	✓	-	✓
สายสีแดงแตะขา G สายสีดำแตะขา S (วัดสลับขาได้)	-	✓	-	✓
ถ้าวัดระหว่างขา D กับขา S เมื่อสลับสายมัลติมิเตอร์ เข็มตีขึ้นทั้ง 2 ครั้ง แสดงว่ามอสเฟตลัดวงจร				
ถ้าวัดระหว่างขา G กับขา D และขา G กับขา S ไม่ว่าจะวัดคู่ไหนถ้าเข็มตีขึ้นแสดงว่ามอสเฟตลัดวงจร				
ถ้าวัดระหว่างขา G กับขา D และขา G กับขา S ไม่ว่าจะวัดคู่ไหนถ้าเข็มไม่ตีขึ้นแสดงว่ามอสเฟตขาด				



(ก) สายสีแดงแตะขา D สายสีดำแตะขา S



(ข) สายสีดำแตะขา G สายสีแดงแตะขา S



(ค) สายสีแดงแตะขา G สายสีดำแตะขา D



(ง) สายสีดำแตะขา D สายสีแดงแตะขา S

รูปที่ 4.51 การวัด E-MOSFET ชนิด N แชลแนล ด้วยมัลติมิเตอร์แอนะล็อก

ที่มา : จิรโรจน์ เลิศชนเปี่ยมสุข. 2565

5.4.4 การทดสอบการทำงานของมอสเฟตแบบ E-MOSFET

ทดสอบการทำงานของมอสเฟตแบบ E-MOSFET ชนิด N แชลแนล และชนิด P แชลแนล ใช้วิธีการป้อนไฟจากมัลติมิเตอร์เข้าที่ขาเกต เรียกว่า การทริก มี 2 สภาวะ คือ การทริกออน (Trick On) และการทริกออฟ (Trick Off) เพื่อไปอัสให้กับขาเกต การจะใช้วิธีการไบอัสตรงหรือไบอัสกลับนั้น ขึ้นอยู่กับชนิดของมอสเฟต จากโครงสร้างของมอสเฟตแบบ E-MOSFET กรณีที่เป็นชนิด N แชลแนล ใช้การไบอัสตรงให้กับขาเกต แต่ถ้าเป็นชนิด P แชลแนล ทำการไบอัสกลับให้กับขาเกต มอสเฟตจึงจะทำงานได้ สำหรับการทริกออน (Trick On) และการทริกออฟ (Trick Off) ด้วยมัลติมิเตอร์แอนะล็อก ทดสอบการทำงานของมอสเฟตได้แสดงรายละเอียดไว้ในตารางที่ 4.2

ตารางที่ 4.2 วิธีทำการทดสอบการทำงานของมอสเฟตแบบ E-MOSFET

E-MOSFET	การ Trick On	การ Trick Off
ชนิด N แชลแนล	ใช้สายวัดสีดำ	ใช้สายวัดสีแดง
ชนิด P แชลแนล	ใช้สายวัดสีแดง	ใช้สายวัดสีดำ

ขั้นตอนการทดสอบการทำงานของมอสเฟต

1. ทำการคายประจุออกจากตัวของมอสเฟต
2. ถ้าเป็นชนิด N แชลแนล ใช้สายวัดมัลติมิเตอร์ดำแตะที่ขาเดรน สายสีแดงแตะที่ขาซอส แล้วย้ายสายวัดสีดำไปแตะที่ขาเกต และย้ายสายวัดสีดำกลับมาแตะที่ขาเดรนอีกครั้งหนึ่ง จะเป็นการ Trick On ให้มอสเฟตทำงาน ถ้าต้องการให้หยุดทำงานให้ย้ายสายสีแดงมาแตะที่ขาเกต แล้วย้ายกลับไปแตะที่ขาซอสอีกครั้ง จะเป็นการ Trick Off ให้มอสเฟตหยุดทำงาน
3. ชนิด P แชลแนล ใช้สายวัดแดงมัลติมิเตอร์แตะที่ขาเดรน สายสีดำแตะที่ขาซอส แล้วย้ายสายวัดสีแดงไปแตะที่ขาเกต แล้วย้ายสายสีแดงกลับมาแตะที่ขาเดรนอีกครั้ง เป็นการ Trick On ให้มอสเฟตทำงาน ถ้าต้องการให้หยุดทำงานให้ย้ายสายสีดำมาแตะที่ขาเกต แล้วย้ายกลับไปแตะที่ขาซอสอีกครั้ง จะเป็นการ Trick Off ให้มอสเฟตหยุดทำงาน

5.4.5 การวัดและทดสอบมอสเฟตแบบ D-MOSFET

จากโครงสร้างและสัญลักษณ์ของมอสเฟตแบบ D-MOSFET ชนิด N แชลแนล และชนิด P แชลแนล มีวิธีการวัดและทดสอบมอสเฟต ดังนี้

1. คายประจุออกจากตัวมอสเฟต สามารถปฏิบัติได้โดยใช้โลหะที่เป็นตัวนำไฟฟ้า นำมาแตะให้ขาทั้ง 3 ถึงกัน
2. ปรับมัลติมิเตอร์ไปที่ย่านการวัดความต้านทาน โดยปรับสวิตช์ย่านการวัดไปที่ $R \times 10$ แล้วปรับให้เข็มมัลติมิเตอร์ตรงกับเลขศูนย์ (0)

3. ทำการวัดระหว่างขาเดรน (D) กับขาซอส (S) แล้วสลับสายวัดของมัลติมิเตอร์ ที่วัดระหว่างขาเดรน (D) กับขาซอส (S) โดยให้สังเกต ดังตารางที่ 4.3

ตารางที่ 4.3 การวัดมอสเฟตแบบ D-MOSFET ด้วยมัลติมิเตอร์แอนะล็อก

สายวัดของมัลติมิเตอร์	ชนิด N แชนแนล		ชนิด P แชนแนล	
	อาการเข็มมัลติเตอร์			
	ขึ้น	ไม่ขึ้น	ขึ้น	ไม่ขึ้น
สายสีดำแตะขา S สายสีแดงแตะขา D	ขึ้นมาก	ขาด	ขึ้นน้อย	ขาด
สายสีดำแตะขา D สายสีแดงแตะขา S	ขึ้นน้อย	ขาด	ขึ้นมาก	ขาด
สายสีดำแตะขา D สายสีแดงแตะขา S และสลับสายวัดของมัลติมิเตอร์	ถ้าขึ้นถึงเลขศูนย์ (0) คือลัดวงจร		ถ้าขึ้นถึงเลขศูนย์ (0) คือลัดวงจร	
สายสีดำแตะขา G สีแดงแตะขา D และสลับสายวัดของมัลติมิเตอร์	-	✓	-	✓
สายสีดำแตะขา G สายสีแดงแตะขา S และสลับสายวัดของมัลติมิเตอร์	-	✓	-	✓
ถ้าวัดระหว่างขา D กับขา S เมื่อสลับสายมัลติมิเตอร์ เข็มดีขึ้นทั้ง 2 ครั้ง แสดงว่ามอสเฟตลัดวงจร				
ถ้าวัดระหว่างขา G กับขา D และขา G กับขา S ไม่ว่าจะวัดคู่ไหนถ้าเข็มดีขึ้นแสดงว่ามอสเฟตลัดวงจร				
ถ้าวัดระหว่างขา G กับขา D และขา G กับขา S ไม่ว่าจะวัดคู่ไหนถ้าเข็มไม่ดีขึ้นแสดงว่ามอสเฟตขาด				

5.4.6 การวัดและทดสอบเอสซีอาร์

ก่อนทำการวัดและทดสอบเอสซีอาร์ต้องทราบตำแหน่งขาของเอสซีอาร์ก่อน เพื่อให้ง่ายต่อการวัดและทดสอบ สำหรับวิธีวัดหาขาเอสซีอาร์ ต้องถอดออกมาจากวงจร จากโครงสร้างและสัญลักษณ์ของเอสซีอาร์จะมีขาต่อออกมาใช้งาน 3 ขา คือ ขาแอโนด (Anode) ใช้สัญลักษณ์แทนด้วยอักษร A ขาแคโทด (Cathode) ใช้สัญลักษณ์แทนด้วยอักษร K และขาเกต (Gate) ใช้สัญลักษณ์แทนด้วยอักษร G

การวัดหาขาของเอสซีอาร์ด้วยมัลติมิเตอร์ดิจิทัล มีขั้นตอน ดังนี้

1. ปรับตั้งย่านการวัดมัลติมิเตอร์ไปที่การวัดไดโอด
2. วัดเป็นคู่สลับกันไปมาให้ครบทุกคู่ จำนวน 6 ครั้ง
3. เมื่อสายมัลติมิเตอร์สีแดงแตะกับขาใด และสายมัลติมิเตอร์สีดำแตะกับอีกขาหนึ่ง

ถ้ามัลติมิเตอร์แสดงผลค่าแรงดันตกคร่อม อยู่ระหว่าง 0.4 – 0.6 V แสดงว่าขาที่สายมัลติมิเตอร์สีแดงแตะอยู่นั้นคือขาเกต (G) และสายมัลติมิเตอร์สีดำแตะอยู่นั้นคือขาแคโทด (K) ส่วนที่เหลือ คือ ขาแอโนด (A)

ขั้นตอนการวัดและทดสอบเอสซีอาร์ มีดังนี้

1. ตั้งย่านการวัดมัลติมิเตอร์ไปที่การวัดไดโอด ใช้สายวัดสีแดงแตะขา G สายวัดสีดำแตะขา K ถ้าเอสซีอาร์ดี หน้าจอมัลติมิเตอร์จะแสดงค่าขึ้นมา 1 ครั้ง เมื่อสลับสายวัดจะแสดงค่าเป็น OL



รูปที่ 4.52 การวัดระหว่างขา G กับขา K ของเอสซีอาร์

ที่มา : จิรโรจน์ เลิศธนเปี่ยมสุข. 2565

2. วัดระหว่างขา A กับขา K และสลับสายวัดมัลติมิเตอร์ ถ้าเอสซีอาร์ดีหน้าจอจะแสดงผลเป็น OL ทั้ง 2 ครั้ง หรือแสดงค่าความต้านทานต่ำมาก ๆ เช่น 0 Ω แสดงว่าเอสซีอาร์ลัดวงจร



รูปที่ 4.53 การวัดระหว่างขา A กับขา K ของเอสซีอาร์

ที่มา : จิรโรจน์ เลิศธนเปี่ยมสุข. 2565

สรุป เรื่อง อุปกรณ์สารกึ่งตัวนำ

คุณสมบัติของธาตุที่เป็นสารกึ่งตัวนำ มีส่วนประกอบเล็ก ๆ เรียกว่า โมเลกุล มารวมตัวกัน แต่ละโมเลกุล ประกอบด้วยส่วนที่เล็กที่สุดเรียกว่าอะตอม โดยอะตอมแต่ละอะตอมจะมีแกนกลาง ประกอบด้วยนิวตรอนและโปรตอนอยู่รวมกัน เรียกว่านิวเคลียส และมีอิเล็กตรอนวิ่งอยู่รอบนิวเคลียสหลาย ๆ วง ในอะตอมเดี่ยว อิเล็กตรอนมีวงโคจรเป็นชั้น ๆ แต่ละชั้นมีระดับค่าพลังงานที่แน่นอน อิเล็กตรอนที่อยู่วงนอกสุดเรียกว่า วาเลนซ์อิเล็กตรอน (Valence Electron) จะมีระดับพลังงานมากที่สุด โปรตอนมีศักย์ทางไฟฟ้าเป็นบวก นิวตรอนมีศักย์ทางไฟฟ้าเป็นกลาง และอิเล็กตรอนมีศักย์ทางไฟฟ้าเป็นลบ

วัสดุจำแนกได้ 3 ชนิด คือ ตัวนำ ฉนวน และสารกึ่งตัวนำ แต่ละชนิดมีคุณสมบัติที่แตกต่างกัน ดังนี้

ตัวนำ คือ วัสดุที่มีคุณสมบัติยอมให้กระแสไฟฟ้าไหลผ่านไปได้ เช่น เงิน ทองแดง ทองเหลือง อลูมิเนียม สังกะสี นิกเกิล ตะกั่ว แพลทินัม วัสดุที่เป็นตัวนำเมื่อเรียงตามความสามารถในการนำไฟฟ้าที่ดี ได้แก่ เงิน ทองแดง ทอง อลูมิเนียม

ฉนวน คือ วัสดุที่มีคุณสมบัติไม่ให้ไฟฟ้าไหลผ่านได้หรือมีความต้านทานไฟฟ้าสูง หรือไม่ยอมให้ไฟฟ้าไหลผ่าน วัสดุที่เป็นฉนวนไฟฟ้าได้แก่ พลาสติก กระเบื้อง ยาง แก้ว ผ้า เทปพันสายไฟ กระดาษ ไม้แห้ง พิวซี และวัสดุที่เป็น

สารกึ่งตัวนำ คือ วัสดุที่มีคุณสมบัติในการนำไฟฟ้ามีความเป็นกลางระหว่างตัวนำกับฉนวน มีส่วนประกอบของเจอร์เมเนียม (Germanium) ซิลิคอน (Silicon) ซีลีเนียม (Selenium) และตะกั่วเทลลูไรด์ สารดังกล่าวมีอิเล็กตรอนอิสระอยู่น้อย ไม่สามารถให้กระแสไฟฟ้าไหลเป็นจำนวนมากได้ ต้องปรุงแต่งโดยการเจือปนอะตอมของธาตุอื่นลงไปในเนื้อสารทำปฏิกิริยากันให้ได้สารประกอบที่มีคุณสมบัติตามที่ต้องการ ได้สารกึ่งตัวนำ เรียกว่า สารกึ่งตัวนำไม่บริสุทธิ์ ที่ใช้ทำอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ เช่น ไดโอด ซีเนอร์ไดโอด ทรานซิสเตอร์ เฟต และอื่น ๆ สำหรับสารกึ่งตัวนำ ความเป็นตัวนำไฟฟ้าขึ้นอยู่กับอุณหภูมิและสารไม่บริสุทธิ์ที่เจือปน สารกึ่งตัวนำจะมีความต้านทานไฟฟ้าลดลงเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น

สารกึ่งตัวนำไม่บริสุทธิ์แบ่งออกเป็น 2 ชนิด คือ สารกึ่งตัวนำชนิดพี (P-type Semiconductor) และสารกึ่งตัวนำชนิดเอ็น (N-type Semiconductor) แต่ละชนิดมีคุณสมบัติแตกต่างกัน ดังนี้

1. สารกึ่งตัวนำชนิด P ได้จากการเติมสารที่มีอิเล็กตรอนวงนอก 3 ตัว ลงไปในสารกึ่งตัวนำบริสุทธิ์ ที่มีจำนวนอิเล็กตรอนวงนอกสุด 4 ตัว ทำให้เกิดสภาวะขาดอิเล็กตรอน จึงมีที่ว่างของอิเล็กตรอนเรียกว่า โฮล (Hole) มากกว่าจำนวนอิเล็กตรอนอิสระ ซึ่งเป็นพาหะส่วนใหญ่ของสาร จึงมีสภาพเป็นประจุไฟฟ้าบวกและอิเล็กตรอนจะเป็นพาหะส่วนน้อย

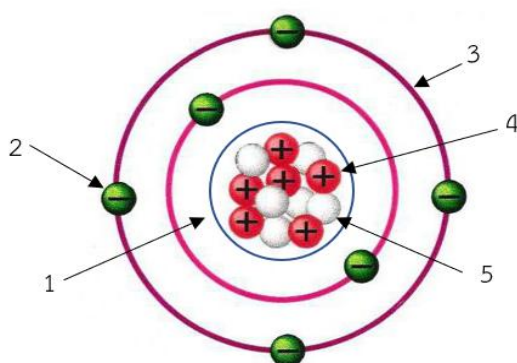
2. สารกึ่งตัวนำชนิด N ได้จากการเติมสารเจือปนที่มีจำนวนอิเล็กตรอนวงนอกสุด 5 ตัวลงในสารกึ่งตัวนำบริสุทธิ์ที่มีจำนวนอิเล็กตรอนวงนอกสุด 4 ตัว จะทำให้อิเล็กตรอนวงนอกสุดของแต่ละอะตอมใช้อิเล็กตรอนร่วมกันเพื่อให้ได้ครบ 8 ตัว คุณสมบัติของสารกึ่งตัวนำชนิด N คือ ผลจากการรวมตัวกันของอิเล็กตรอนทำให้เหลืออิเล็กตรอนวงนอกสุด 1 ตัว เพราะสารเจือปนมีอิเล็กตรอนวงนอกสุด 5 ตัว จึงมีอิเล็กตรอนรวมเป็น 9 ตัว เรียกอิเล็กตรอนที่อยู่นอกวงโคจรจำนวน 1 ตัวว่าอิเล็กตรอนอิสระ ซึ่งจะแสดงประจุลบออกมา จึงเรียกอิเล็กตรอนว่าเป็นพาหะข้างมากและเรียกโฮลว่าเป็นพาหะข้างน้อย

เมื่อนำสารกึ่งตัวนำทั้ง 2 ชนิด คือ ชนิด N และชนิด P มาต่อกัน จะมีรอยต่อเกิดขึ้น เรียกว่า รอยต่อ PN (PN Junctions) ซึ่งเป็นการนำเอาสารกึ่งตัวนำทั้งสองชนิดมาผลิตเป็นอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ ได้แก่ ไดโอด ซีเนอร์ไดโอด ทรานซิสเตอร์ เฟต เป็นต้น ซึ่งอุปกรณ์ต่าง ๆ เหล่านี้จะมีหน้าที่และหลักการทำงานที่แตกต่างกันไป สำหรับการวัดและทดสอบอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์สามารถใช้มัลติมิเตอร์ใช้ในการวัดและตรวจสอบอาการดีหรือเสียของอุปกรณ์ได้

	ใบแบบฝึกหัด	หน่วยที่ 4
	ชื่อวิชา งานอิเล็กทรอนิกส์รถยนต์เบื้องต้น รหัสวิชา 20101-2103	สอนครั้งที่ 7
	ชื่อหน่วย อุปกรณ์สารกึ่งตัวนำ	จำนวน 16 ชั่วโมง
ชื่อเรื่อง อุปกรณ์สารกึ่งตัวนำ		จำนวน 20 นาที

จงเติมคำในช่องว่างให้ถูกต้อง

1. จากรูป จงบอกชื่อโครงสร้างของอะตอม ตามหมายเลขที่กำหนดให้



หมายเลข 1 คือ.....

หมายเลข 2 คือ.....

หมายเลข 3 คือ.....

หมายเลข 4 คือ.....

หมายเลข 5 คือ.....

2. จงจำแนกสารที่มีคุณสมบัติเป็นฉนวน ตัวนำ และสารกึ่งตัวนำ ดังต่อไปนี้ให้ถูกต้อง

2.1 เจอร์เมเนียม เป็นสารที่มีคุณสมบัติ เป็นสารประเภทใด.....

2.2 ดีบุก เป็นสารที่มีคุณสมบัติ เป็นสารประเภทใด.....

2.3 พลาสติก เป็นสารที่มีคุณสมบัติ เป็นประเภทใด.....

3. สารกึ่งตัวนำมีกี่ชนิด และมีชนิดอะไรบ้าง

.....

.....

.....

4. จงบอกคุณสมบัติของสารกึ่งตัวนำที่ถูกต้อง

.....

.....

.....

.....

8. จงอธิบายหลักการทำงานของซีเนอร์ไดโอด ในความหมายดังต่อไปนี้

ตอบ

1) การพังทลายแบบอะวาลานซ์ หมายถึง.....

.....

2) การพังทลายแบบซีเนอร์ หมายถึง.....

.....

9. จงอธิบายวิธีการวัดและตรวจสอบอุปกรณ์สารกึ่งตัวนำแบบวิธีการไบอัสด้วยมัลติมิเตอร์ดิจิทัลที่ถูกต้อง

.....

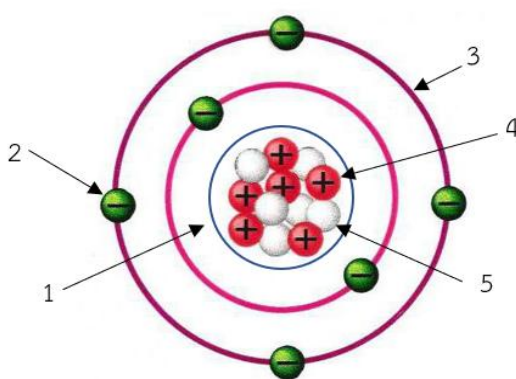
10. จงอธิบายวิธีการวัดและตรวจสอบอุปกรณ์สารกึ่งตัวนำแบบวิธีการไบอัสด้วยมัลติมิเตอร์แอนะล็อก ที่ถูกต้อง

.....

	เฉลยใบแบบฝึกหัด	หน่วยที่ 4
	ชื่อวิชา งานอิเล็กทรอนิกส์สรณต์เบื้องต้น รหัสวิชา 20101-2103	สอนครั้งที่ 7
	ชื่อหน่วย อุปกรณ์สารกึ่งตัวนำ	จำนวน 16 ชั่วโมง
เรื่อง อุปกรณ์สารกึ่งตัวนำ		จำนวน 20 นาที

จงเติมคำในช่องว่างให้ถูกต้อง

1. จากรูป ให้ออกชื่อโครงสร้างของอะตอม ตามหมายเลขที่กำหนดให้



ตอบ

- หมายเลข 1 คือ นิวเคลียส.....
 หมายเลข 2 คือ อิเล็กตรอน.....
 หมายเลข 3 คือ วาเลนอิเล็กตรอน.....
 หมายเลข 4 คือ โปรตรอน.....
 หมายเลข 5 คือ นิวตรอน.....

2. จงจำแนกสารที่มีคุณสมบัติเป็นฉนวน ตัวนำ และสารกึ่งตัวนำ ดังต่อไปนี้ให้ถูกต้อง

ตอบ

- 2.1 เจอร์มันเนียม เป็นสารที่มีคุณสมบัติ เป็นสารกึ่งตัวนำ.....
 2.2 ดีบุก เป็นสารที่มีคุณสมบัติ เป็นตัวนำ.....
 2.3 พลาสติก เป็นสารที่มีคุณสมบัติ เป็นฉนวน.....

3. สารกึ่งตัวนำมีกี่ชนิด และมีชนิดอะไรบ้าง

ตอบ สารกึ่งตัวนำ มี 2 ชนิด คือ สารกึ่งตัวนำชนิด N และสารกึ่งตัวนำชนิด P.....

4. จงบอกคุณสมบัติของสารกึ่งตัวนำที่ถูกต้อง

ตอบ.. สารกึ่งตัวนำ คือ วัสดุที่มีคุณสมบัติในการนำไฟฟ้ามีความเป็นกลางระหว่างตัวนำกับฉนวน วัสดุสารกึ่งตัวนำที่นิยมนำมาทำเป็นอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ ได้แก่ เจอร์มันเนียม (Germanium) ซิลิคอน (Silicon).....

5. จงบอกคุณสมบัติของสารกึ่งตัวนำชนิดพี (P-type Semiconductor) และสารกึ่งตัวนำชนิดเอ็น (N-type Semiconductor) ให้ถูกต้อง

ตอบ

..... 1. สารกึ่งตัวนำชนิด P ได้จากการเติมสารที่มีอิเล็กตรอนวงนอก 3 ตัว ลงไปในสารกึ่งตัวนำบริสุทธิ์ ที่มีจำนวนอิเล็กตรอนวงนอกสุด 4 ตัว ทำให้เกิดสภาวะขาดอิเล็กตรอน จึงมีที่ว่างของอิเล็กตรอนเรียกว่า โฮล (Hole) มากกว่าจำนวนอิเล็กตรอนอิสระ จึงมีสภาพเป็นประจุไฟฟ้าบวก.....

..... 2. สารกึ่งตัวนำชนิด N ได้จากการเติมสารเจือปนที่มีจำนวนอิเล็กตรอนวงนอกสุด 5 ตัว ลงในสารกึ่งตัวนำบริสุทธิ์ที่มีจำนวนอิเล็กตรอนวงนอกสุด 4 ตัว คุณสมบัติของสารกึ่งตัวนำชนิด N คือ ผลจากการรวมตัวกันของอิเล็กตรอนทำให้เหลืออิเล็กตรอนวงนอกสุด 1 ตัว เรียกว่าอิเล็กตรอนอิสระ ซึ่งมีจำนวนมากกว่าโฮล จึงเรียกอิเล็กตรอนว่าเป็นพาหะข้างมาก จึงมีสภาพเป็นประจุไฟฟ้าลบ.....

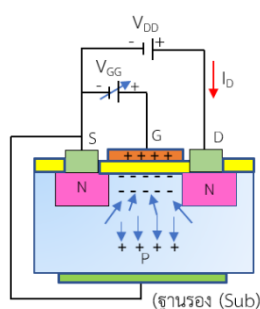
6. จงอธิบายหลักการทำงานของไดโอดขณะทำการไบอัสกลับ

ตอบ

..... เมื่อจ่ายแรงดันไบอัสกลับให้ไดโอด จะไม่มีกระแสไหลผ่านไดโอด เมื่อเพิ่มแรงดันไบอัสกลับให้สูงจนถึงค่าแรงดันพังทลาย (Breakdown-Voltage) จะทำให้มีกระแสรั่วไหลผ่านไดโอดได้ การนำกระแสในสภาวะนี้ร่อยต่อ P-N จะชำรุดเสียหาย และมีกระแสไหลผ่านร่อยต่อ P-N จำนวนมาก

7. จากรูป จงอธิบายหลักการทำงานของมอสเฟต แบบ E-MOSFET ชนิด N แชนแนล

ตอบ



..... ขณะจ่ายแรงดัน V_{DD} ให้ไบอัสขา D เทียบกับขา S มอสเฟตยังไม่ทำงาน และยังไม่มีการไหล เมื่อจ่ายแรงดัน V_{GG} ที่เป็นการไบอัสตรงให้ขา G เทียบกับขา S ศักย์ไฟฟ้าบวกที่ขา G จะผลักโฮลซึ่งเป็นศักย์ไฟฟ้าบวกของสารกึ่งตัวนำชนิด P ออกไป ทำให้มีอิเล็กตรอนอิสระที่มีศักย์ไฟฟ้าเป็นลบเคลื่อนที่เข้ามาแทนที่และจะพยายามเข้าไปหาศักย์ไฟฟ้าบวกที่ขา G แต่เข้าไปไม่ได้เพราะมีฉนวนออกไซด์กั้นไว้ อิเล็กตรอนอิสระจึงสะสมอยู่ระหว่างขา D กับขา S เป็นจำนวนมากเป็นเหมือนสะพานเชื่อมต่อให้ขา D กับขา S ให้ต่อดึงกัน เกิดกระแส I_D ไหลจากขา D ไปขา S ถ้ามีการควบคุมแรงดัน V_{GG} ให้มีค่าเปลี่ยนแปลงได้ จะมีผลทำให้การไหลของกระแส I_D เปลี่ยนแปลงไปตามค่าแรงดัน V_{GG}

8. จงอธิบายหลักการทำงานของซีเนอร์ไดโอด ในความหมายดังต่อไปนี้

ตอบ

1) การพังทลายแบบอะวาลานซ์ หมายถึง เมื่อไดโอดได้รับไบอัสกลับที่แรงดันสูงมากๆ จะทำให้มีกระแสไหลย้อนกลับผ่านไดโอดมากขึ้น ทำให้รอยต่อของไดโอดทะลุ และใช้งานไม่ได้อีก

2) การพังทลายแบบซีเนอร์ หมายถึง การพังทลายที่เกิดขึ้นกับแรงดันไบอัสกลับค่าต่ำ ๆ การพังทลายแบบนี้จะมีกระแสไหลผ่านซีเนอร์ไดโอดจำนวนหนึ่ง ซึ่งต้องรักษาไม่ให้เกิดค่าพิกัดสูงสุด และจะทำให้เกิดสถานะที่แรงดันตกคร่อมมีค่าคงที่ เรียกว่า แรงดันซีเนอร์

9. จงอธิบายวิธีการวัดและตรวจสอบอุปกรณ์สารกึ่งตัวนำแบบวิธีการไบอัสด้วยมัลติมิเตอร์ดิจิทัลที่ถูกต้อง

ตอบ

.....เนื่องจากมัลติมิเตอร์ดิจิทัล สายวัดสีแดงจะจ่ายไฟบวก และสายวัดสีดำจ่ายไฟลบ ดังนั้น ถ้าทำการวัดและตรวจสอบแบบการไบอัสตรง ต้องใช้สายวัดมัลติมิเตอร์สีแดง ทำการไบอัสตรงให้กับอุปกรณ์ ถ้าวัดและตรวจสอบแบบการไบอัสกลับ ต้องใช้สายวัดมัลติมิเตอร์สีดำทำการไบอัสให้กับอุปกรณ์.....

10. จงอธิบายวิธีการวัดและตรวจสอบอุปกรณ์สารกึ่งตัวนำแบบวิธีการไบอัสด้วยมัลติมิเตอร์แอนะล็อก ที่ถูกต้อง

ตอบ

.....เนื่องจากมัลติมิเตอร์แอนะล็อก สายวัดสีดำจะจ่ายไฟบวก และสายวัดสีแดงจะจ่ายไฟลบ ดังนั้น ถ้าทำการวัดและตรวจสอบแบบการไบอัสตรง ต้องใช้สายวัดมัลติมิเตอร์สีดำ ทำการไบอัสตรงให้กับอุปกรณ์ ถ้าวัดและตรวจสอบด้วยการไบอัสกลับ ต้องใช้สายวัดมัลติมิเตอร์สีแดงทำการไบอัสให้กับอุปกรณ์.....

	ใบมอบบงาน	หน่วยที่ 4
	ชื่อวิชา งานอิเล็กทรอนิกส์ยนต์เบื้องต้น รหัสวิชา 20101-2103	สอนครั้งที่ 7
	ชื่อหน่วย อุปกรณ์สารกึ่งตัวนำ	จำนวน 16 ชั่วโมง
ชื่อเรื่อง อภิปราย เรื่อง อุปกรณ์สารกึ่งตัวนำ		จำนวน 1 ชั่วโมง
จุดประสงค์เชิงพฤติกรรม เพื่อให้ผู้เรียนสามารถอภิปราย สรุป หัวข้อเรื่อง สารกึ่งตัวนำ ข้อตกลงเบื้องต้น ให้ผู้เรียนแบ่งกลุ่ม โดยความสามารถคนเก่ง ปานกลาง และอ่อน อภิปรายเกี่ยวกับ เรื่อง อุปกรณ์สารกึ่งตัวนำ จากแนวคิดของกลุ่ม สื่อการเรียนการสอน - สื่อสิ่งพิมพ์ - ใบความรู้ เรื่อง อุปกรณ์สารกึ่งตัวนำ - ใบมอบบงาน เรื่อง การอภิปรายเรื่องอุปกรณ์สารกึ่งตัวนำ - แบบประเมินผล - สื่อโสตทัศน - สื่อ Power Point ประกอบการเรียนรู้ เรื่อง อุปกรณ์สารกึ่งตัวนำ - สื่อของจริง ได้แก่ อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ที่เป็นสารกึ่งตัวนำ ได้แก่ ไดโอด ซีเนอร์ไดโอด ทรานซิสเตอร์ เฟต เอสซีอาร์ ลำดับขั้นตอนการดำเนินงาน - แบ่งกลุ่มผู้เรียนโดยความสามารถคนเก่ง ปานกลาง และอ่อน ให้ผู้เรียนเลือกประธาน และเลขาธิการกลุ่ม - แต่ละกลุ่มอภิปราย เกี่ยวกับ เรื่อง อุปกรณ์สารกึ่งตัวนำ - ให้แต่ละกลุ่มนำเสนอผลการอภิปรายความรู้เกี่ยวกับ สารกึ่งตัวนำ ตามแบบประเมินผลใบมอบบงาน เกณฑ์การประเมิน คะแนนรวมตามแบบประเมินผลใบมอบบงาน ไม่ต่ำกว่า ร้อยละ 70		

	แบบประเมินผลใบมอบงาน		หน่วยที่ 4			
	ชื่อวิชา งานอิเล็กทรอนิกส์รถยนต์เบื้องต้น รหัสวิชา 2101-2103		สอนครั้งที่ 7			
	ชื่อหน่วย อุปกรณ์สารกึ่งตัวนำ		จำนวน 16 ชั่วโมง			
ชื่อเรื่อง อภิปราย เรื่อง อุปกรณ์สารกึ่งตัวนำ			จำนวน 1 ชั่วโมง			
หัวข้ออภิปราย เรื่อง สารกึ่งตัวนำ ชื่อกลุ่ม สมาชิกกลุ่ม 1..... 2..... 3..... 4..... 5.....						
หัวข้อประเมิน			ระดับคะแนน			
			4	3	2	1
1. การแบ่งหน้าที่ 2. ความรับผิดชอบ 3. การอภิปรายในกลุ่ม 4. การทำงานเป็นทีม 5. ความพร้อมในการนำเสนอ 6. การแสดงความคิดเห็น 7. ความชัดเจนในการนำเสนอ 8. การตอบข้อซักถาม 9. การแต่งกาย บุคลิกภาพ 10. การสรุปประเด็นสำคัญ						
รวมคะแนนทั้งหมด						
..... (.....) ผู้เรียน			 (นายจิรโรจน์ เลิศธนเปี่ยมสุข) ครูผู้สอน			

	แบบสรุปประเมินผลใบมอผลงาน		หน่วยที่ 1
	ชื่อวิชา งานอิเล็กทรอนิกส์ยนต์เบื้องต้น รหัสวิชา 20101-2103		สอนครั้งที่ 1
	ชื่อหน่วย อุปกรณ์สารกึ่งตัวนำ		จำนวน 16 ชั่วโมง
ชื่อเรื่อง อภิปราย เรื่อง อุปกรณ์สารกึ่งตัวนำ			จำนวน 1 ชั่วโมง
หัวข้ออภิปราย เครื่องมือวัดและทดสอบอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ยนต์ ชื่อกลุ่ม สมาชิกกลุ่ม 1..... 2..... 3..... 4..... 5.....			
รายการประเมิน	คะแนนเต็ม	ผลคะแนน	หมายเหตุ
1. การแบ่งหน้าที่	4		คะแนนเต็ม
2. ความรับผิดชอบ	4		รวม 40 คะแนน
3. การอภิปรายกลุ่ม	4		
4. การทำงานเป็นทีม	4		คะแนน เกณฑ์คุณภาพ
5. ความพร้อมในการนำเสนอ	4		35-40 ดีมาก
6. การแสดงความคิดเห็น	4		30 -34 ดี
7. ความชัดเจนในการนำเสนอ	4		25 -29 ปานกลาง
8. การตอบข้อซักถาม	4		20- 24 น้อย
9. การแต่งกาย บุคลิกภาพ	4		น้อยกว่า 20 น้อยมาก
10. การสรุปประเด็นสำคัญ	4		
..... (.....) ผู้เรียน			
..... (นายจิรโรจน์ เลิศชนเปี่ยมสุข) ครูผู้สอน			

เกณฑ์การประเมินใบมอบงาน		
หัวข้อประเมิน	ระดับคะแนน	รายละเอียดเกณฑ์การให้คะแนน
1. การแบ่งหน้าที่	4	มีการแบ่งหน้าที่อย่างชัดเจน เหมาะสมและกระจายภาระงานอย่างสมดุล
	3	มีการแบ่งหน้าที่ค่อนข้างชัดเจน การกระจายงานค่อนข้างสมดุล
	2	การแบ่งหน้าที่ยังไม่ค่อยชัดเจน การกระจายงานไม่ค่อยสมดุล
	1	ไม่มีการแบ่งหน้าที่ที่ชัดเจน การกระจายงานไม่สมดุล
2. ความรับผิดชอบ	4	ทำงานที่ได้รับมอบหมายสำเร็จครบถ้วนและตรงเวลา สม่ำเสมอ มีความกระตือรือร้นในการทำงาน ช่วยเหลือผู้อื่นด้วยความเต็มใจเมื่อทำงานของตนเสร็จแล้ว
	3	ทำงานที่ได้รับมอบหมายสำเร็จและส่งตรงเวลาเป็นส่วนใหญ่ มีความตั้งใจในการทำงานตามที่ได้รับมอบหมาย ให้ความร่วมมือกับผู้อื่น
	2	ทำงานสำเร็จแต่มักเสร็จล่าช้าบ่อยครั้ง ต้องมีการกระตุ้นหรือติดตามจึงจะทำงาน ให้ความร่วมมือกับผู้อื่นเป็นบางครั้ง
	1	ขาดความกระตือรือร้นในการทำงาน ไม่ให้ความร่วมมือกับผู้อื่น
3. การอภิปรายในกลุ่ม	4	ให้ความร่วมมือในการทำงานกลุ่มอย่างเต็มที่ ช่วยสร้างบรรยากาศที่ดีในการอภิปราย
	3	ให้ความร่วมมือในการทำงานกลุ่มดี และมีส่วนร่วมในการสร้างบรรยากาศที่ดี
	2	ให้ความร่วมมือในการทำงานกลุ่มบ้าง และไม่ค่อยมีส่วนร่วมในการสร้างบรรยากาศที่ดี
	1	ไม่ให้ความร่วมมือในการทำงานกลุ่ม และไม่สนใจบรรยากาศการทำงานกลุ่ม

เกณฑ์การประเมินใบมอบงาน		
หัวข้อประเมิน	ระดับคะแนน	รายละเอียดเกณฑ์การให้คะแนน
4. การทำงานเป็นทีม	4	มีส่วนร่วมอย่างสม่ำเสมอและแสดงความคิดเห็นที่เป็นประโยชน์ รับผิดชอบงานที่ได้รับมอบหมายได้ครบถ้วน สื่อสารกับสมาชิกในทีมอย่างชัดเจนและสม่ำเสมอ
	3	มีส่วนร่วมในการแสดงความคิดเห็น ทำงานที่ได้รับมอบหมายเสร็จตามกำหนด แต่อาจมีข้อผิดพลาดเล็กน้อย มีการสื่อสารกับทีมในระดับที่เหมาะสม
	2	มีส่วนร่วมน้อย ทำงานที่ได้รับมอบหมายไม่ครบถ้วนให้ความช่วยเหลือเพื่อนร่วมทีมน้อย การสื่อสารกับทีมไม่สม่ำเสมอ
	1	ไม่มีส่วนร่วมเลย ไม่ให้ความช่วยเหลือเพื่อนร่วมทีมและแทบไม่มีการสื่อสารกับทีม
5. ความพร้อมในการนำเสนอ	4	เนื้อหาครบถ้วน ถูกต้อง และมีการจัดลำดับอย่างเป็นระบบ มีการยกตัวอย่างประกอบที่ชัดเจนและเข้าใจง่าย
	3	เนื้อหาครบถ้วน มีการจัดลำดับที่เข้าใจได้ มีการยกตัวอย่างประกอบ
	2	เนื้อหาค่อนข้างครบ แต่การจัดลำดับยังไม่ชัดเจน มีตัวอย่างประกอบบ้าง แต่ไม่ชัดเจน
	1	เนื้อหาไม่ครบถ้วน ขาดการจัดลำดับ ไม่มีตัวอย่างประกอบ
6. การแสดงความคิดเห็น	4	มีส่วนร่วมในการอภิปรายอย่างสม่ำเสมอและกระตือรือร้น แสดงความคิดเห็นที่เป็นประโยชน์และสร้างสรรค์ตลอดการอภิปราย
	3	มีส่วนร่วมในการอภิปรายเป็นระยะ และแสดงความคิดเห็นที่เป็นประโยชน์หลายครั้ง
	2	มีส่วนร่วมในการอภิปรายเป็นบางครั้ง แสดงความคิดเห็นเมื่อถูกถาม
	1	แทบไม่มีส่วนร่วมในการอภิปราย ไม่แสดงความคิดเห็นแม้จะถูกถาม

เกณฑ์การประเมินใบมอบงาน		
หัวข้อประเมิน	ระดับคะแนน	รายละเอียดเกณฑ์การให้คะแนน
7. ความชัดเจนในการนำเสนอ	4	สื่อสารได้ชัดเจน เข้าใจง่าย ใช้น้ำเสียงและภาษากายที่เหมาะสม มีความรู้ในเนื้อหาที่นำเสนอดีมาก
	3	สื่อสารได้เข้าใจ ใช้น้ำเสียงและภาษากายที่เหมาะสมเป็นส่วนใหญ่ มีความรู้ในเนื้อหาที่นำเสนอได้ดี
	2	สื่อสารได้เข้าใจบ้าง น้ำเสียงและภาษากายไม่ค่อยเหมาะสม ขาดความรู้ในเนื้อหาที่นำเสนอเป็นส่วนใหญ่
	1	สื่อสารไม่ชัดเจน เข้าใจยาก น้ำเสียงและภาษากายไม่เหมาะสม และขาดความรู้ในเนื้อหาที่นำเสนอ
8. การตอบข้อซักถาม	4	การตอบข้อซักถามได้ชัดเจน ถูกต้อง เข้าใจง่าย และมีความรู้ในเนื้อหาเป็นอย่างดี
	3	การตอบข้อซักถามได้ชัดเจน ถูกต้องเป็นส่วนใหญ่ และมีความรู้ในเนื้อหาดี
	2	การตอบข้อซักถามได้บ้าง และมีความรู้ในเนื้อหาน้อย
	1	การตอบข้อซักถามไม่ได้เลย และไม่มีความรู้ในเนื้อหา
9. การแต่งกายบุคลิกภาพ	4	การแต่งกายถูกต้องตามระเบียบที่วิทยาลัยกำหนดถูกต้องทั้งหมด มีความสะอาด บุคลิกภาพดี
	3	การแต่งกายไม่ถูกต้องตามระเบียบที่วิทยาลัยกำหนดบ้าง มีความสะอาด บุคลิกภาพดี
	2	การแต่งกายไม่ถูกต้องตามระเบียบที่วิทยาลัยกำหนดเป็นส่วนใหญ่ ขาดความสะอาด บุคลิกภาพไม่เหมาะสม
	1	การแต่งกายไม่ถูกต้องตามระเบียบที่วิทยาลัยกำหนด ขาดความสะอาด บุคลิกภาพต้องปรับปรุง
10. การสรุปประเด็นสำคัญ	4	สรุปประเด็นสำคัญได้ถูกต้องครบถ้วนทั้งหมด
	3	สรุปประเด็นสำคัญได้ถูกต้องเป็นส่วนใหญ่
	2	สรุปประเด็นสำคัญได้บ้าง บางหัวข้อ
	1	สรุปประเด็นสำคัญไม่ได้เลย

	ใบงานที่ 4.1	หน่วยที่ 4
	ชื่อวิชา งานอิเล็กทรอนิกส์ยนต์เบื้องต้น รหัสวิชา 20101-2103	สอนครั้งที่ 8
	ชื่อหน่วย อุปกรณ์สารกึ่งตัวนำ	จำนวน 16 ชั่วโมง
ชื่อเรื่อง งานวัดและทดสอบไดโอดและซีเนอร์ไดโอด		จำนวน 3 ชั่วโมง

หัวข้อชื่อเรื่องและงาน

ปฏิบัติตามใบงานที่ 4.1 เรื่อง งานวัดและทดสอบไดโอดและซีเนอร์ไดโอด

สาระการเรียนรู้

ไดโอด มีหน้าที่ ควบคุมทิศทางการไหลของกระแสไฟฟ้าโดยยอมให้กระแสไฟฟ้าไหลไปในทิศทางเดียวกัน และป้องกันกระแสไฟฟ้าไหลกลับทิศทางเดิม ไดโอดทำจากสารกึ่งตัวนำชนิด P และ N มาต่อกัน มีสองขา คือ ขาแอนโนดต่อ (A) และขาแคโทด (K)

ซีเนอร์ไดโอด มีหน้าที่ ควบคุมและรักษาแรงดันไฟฟ้าในวงจรให้คงที่เมื่อได้รับการไบอัสกลับ โครงสร้างของซีเนอร์ไดโอด ซีเนอร์ไดโอดที่ผลิตจากสารซิลิคอนที่มีปริมาณความหนาแน่นของสารเจือปนของสาร P และสาร N มีค่าสูงกว่าไดโอดธรรมดา ต่อขาออกมาใช้งานเช่นเดียวกับกับไดโอดธรรมดา ได้แก่ ขาแอนโนด (A) และขาแคโทด (K)

สมรรถนะที่พึงประสงค์

สมรรถนะด้านความรู้ (K)

1. บอกหน้าที่และโครงสร้างของไดโอดได้
2. อธิบายวิธีการวัดและทดสอบไดโอดได้
3. บอกหน้าที่และโครงสร้างของซีเนอร์ไดโอดได้
4. อธิบายการวัดและทดสอบซีเนอร์ไดโอดได้

สมรรถนะด้านทักษะ (S)

1. มีทักษะในการวัดและทดสอบไดโอด
2. มีทักษะการวัดและทดสอบไดโอดซีเนอร์ไดโอด

สมรรถนะด้านคุณธรรมจริยธรรม (A)

1. มีความตรงต่อเวลา
2. มีระเบียบวินัย
3. มีความประณีต รอบคอบ
4. มีความสะอาดและปลอดภัย
5. รักษาสภาพแวดล้อม

เนื้อหาสาระ

1. การวัดและตรวจสอบไดโอด
2. การวัดและตรวจสอบไดโอดซีเนอร์ไดโอด

ลำดับขั้นการปฏิบัติงาน

1. เตรียมเครื่องมือและอุปกรณ์ ตามที่กำหนดในใบงาน
2. ตรวจสอบสภาพเครื่องมือ อุปกรณ์
3. เตรียมพื้นที่ปฏิบัติงาน
4. ปฏิบัติตามใบงาน

จุดประสงค์การสอน

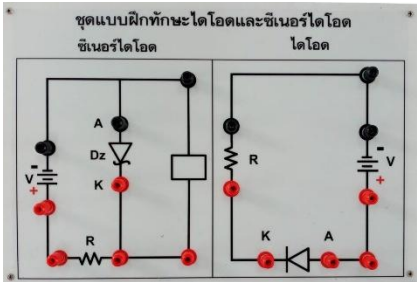
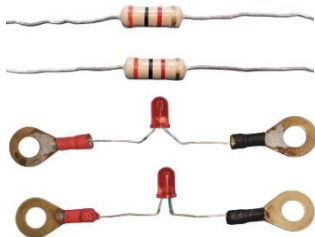
จุดประสงค์ทั่วไป

เพื่อให้ผู้เรียนมีความรู้ความเข้าใจเกี่ยวกับการวัดและตรวจสอบไดโอด ซีเนอร์ไดโอด อย่างประณีต รอบคอบ สะอาดปลอดภัย และรักษาสภาพแวดล้อม

จุดประสงค์เชิงพฤติกรรม

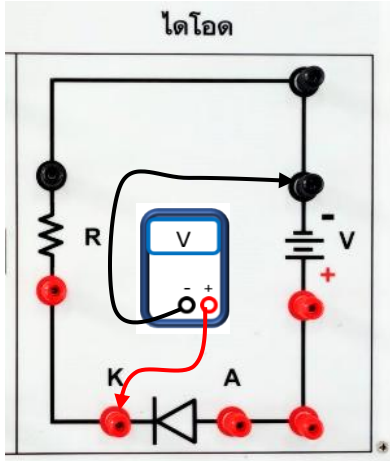
หลังจากเรียนจบหน่วยการเรียนรู้ ผู้เรียนสามารถ

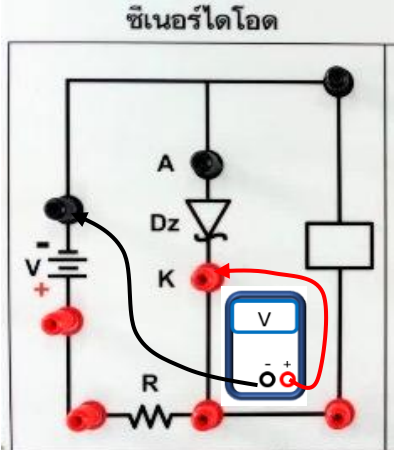
1. บอกหน้าที่และโครงสร้างของไดโอดได้
2. บอกหน้าที่และโครงสร้างของซีเนอร์ไดโอดได้
3. อธิบายวิธีการวัดและทดสอบไดโอดได้
4. อธิบายการวัดและทดสอบซีเนอร์ไดโอดได้
5. วัดและทดสอบไดโอดได้
6. วัดและทดสอบซีเนอร์ไดโอดได้
7. ทำความสะอาดเครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการปฏิบัติงานได้
8. จัดเก็บเครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการปฏิบัติงานได้

	ใบงานที่ 4.1 (ต่อ)		หน่วยที่ 4
	ชื่อวิชา งานอิเล็กทรอนิกส์รถยนต์เบื้องต้น รหัสวิชา 20101-2103		สอนครั้งที่ 8
	ชื่อหน่วย อุปกรณ์สารกึ่งตัวนำ		จำนวน 16 ชั่วโมง
ชื่อเรื่อง งานวัดและทดสอบไดโอดและซีเนอร์ไดโอด			จำนวน 3 ชั่วโมง
คำสั่ง 1. ให้ผู้เรียนศึกษาขั้นตอนการปฏิบัติงานตามใบงาน 2. ให้ผู้เรียนปฏิบัติงานวัดและทดสอบไดโอดและซีเนอร์ไดโอด ตามที่กำหนดในใบงาน			
เครื่องมือ อุปกรณ์			
1. ไดโอด จำนวน 4 ตัว 		2. ซีเนอร์ไดโอดแรงดันมากกว่า 3 V กลุ่มละ 1 ตัว และแรงดันน้อยกว่า 3 V กลุ่มละ 1 ตัว 	
3. เพาเวอร์ซัพพลาย และหม้อแปลงไฟ 220 VAC เป็น 12 VAC 		4. มัลติมิเตอร์ดิจิทัล 	
5. ชุดฝึกทักษะไดโอดและซีเนอร์ไดโอด 		6. ตัวต้านทาน 3 K Ω กลุ่มละ 2 ตัว และหลอด LED กลุ่มละ 1 ตัว 	

	ขั้นตอนปฏิบัติงานใบงานที่ 4.1		หน่วยที่ 4
	ชื่อวิชา งานอิเล็กทรอนิกส์รถยนต์เบื้องต้น รหัสวิชา 2101-2103		สอนครั้งที่ 8
	ชื่อหน่วย อุปกรณ์สารกึ่งตัวนำ		จำนวน 16 ชั่วโมง
ชื่อเรื่อง การวัดและทดสอบไดโอดและซีเนอร์ไดโอด			จำนวน 3 ชั่วโมง
ขั้นตอนการปฏิบัติงาน		รูปประกอบ	
การวัดและตรวจสอบไดโอดด้วยการไบอัสตรง			
1. ติดตั้งสายวัดมัลติมิเตอร์สีดำเข้ากับช่อง COM และสายวัดสีแดงเข้าช่องที่มีสัญลักษณ์ V, Ω, mA, μA จากนั้นปรับสวิตช์เลือกย่านวัดไปที่ย่านวัดไดโอด หน้าจอจะแสดงสัญลักษณ์ไดโอด 2. ต่อสายวัดมัลติมิเตอร์สีแดง เข้ากับขาแอนโนด (ขั้ว +) และต่อสายวัดสีดำเข้ากับขาแคโทด (ขั้ว -) ของไดโอดตัวที่ 1 และไดโอดตัวที่ 2			
การวัดและตรวจสอบไดโอดด้วยการไบอัสกลับ			
3. ต่อสายวัดมัลติมิเตอร์สีแดงเข้ากับขาแคโทด (ขั้ว -) และต่อสายวัดสีดำเข้ากับขาแอนโนด (ขั้ว +) ของไดโอดตัวที่ 1 และไดโอดตัวที่ 2			
ข้อควรสังเกตการวัดและตรวจสอบไดโอดด้วยมัลติมิเตอร์ดิจิทัล			
1. เมื่อไบอัสตรงให้ไดโอด ถ้าไดโอดมีสภาพดี จะแสดงผลค่าแรงดันตกคร่อมอยู่ระหว่าง 0.5 - 0.8 V และเมื่อสลับสายมัลติมิเตอร์ไบอัสกลับให้ไดโอด จะแสดงผลเป็น OL 1 ครั้ง 2. เมื่อไดโอดขาด ถ้าสลับสายมัลติมิเตอร์วัดแล้วหน้าจอก็จะแสดง OL ทั้ง 2 ครั้ง 3. เมื่อไดโอดลัดวงจร ถ้าสลับสายมัลติมิเตอร์วัดแล้วหน้าจอก็จะแสดง 0.000 V ทั้ง 2 ครั้ง			

	ขั้นตอนปฏิบัติงานใบงานที่ 4.1 (ต่อ)		หน่วยที่ 4
	ชื่อวิชา	งานอิเล็กทรอนิกส์รถยนต์เบื้องต้น รหัสวิชา 20101-2103	สอนครั้งที่ 8
	ชื่อหน่วย	อุปกรณ์สารกึ่งตัวนำ	จำนวน 16 ชั่วโมง
ชื่อเรื่อง การวัดและทดสอบไดโอดและซีเนอร์ไดโอด			จำนวน 3 ชั่วโมง
ขั้นตอนการปฏิบัติงาน		รูปประกอบ	
การวัดและตรวจสอบซีเนอร์ไดโอดกรณีค่าแรงดันซีเนอร์มากกว่า 3 V			
การวัดและทดสอบด้วยการไปอัสตรง			
4. นำสายมัลติมิเตอร์สีแดงต่อกับขาแอนโนด (A) และสายสีดำต่อกับขาแคโทด (K) อ่านหน้าจอก็จะแสดงผล			
การวัดและทดสอบด้วยการไปอัสกลับ			
5. นำสายมัลติมิเตอร์สีแดงต่อกับขาแคโทด (K) และสายสีดำต่อกับขาแอนโนด (A) อ่านหน้าจอก็จะแสดงผล			
ข้อควรสังเกต			
1. กรณีซีเนอร์ไดโอดขาด			
เมื่อนำสายมัลติมิเตอร์สีแดงต่อกับแอนโนด (A) สายสีดำต่อกับแคโทด (K) และสลับสายมัลติมิเตอร์ หน้าจอก็จะแสดงผลเป็น OL ทั้ง 2 ครั้ง แสดงว่าซีเนอร์ไดโอดขาด			
2. กรณีซีเนอร์ไดโอดลัดวงจร			
เมื่อนำสายมัลติมิเตอร์สีแดงต่อกับแอนโนด (A) สายสีดำต่อกับแคโทด (K) และสลับสายมัลติมิเตอร์ หน้าจอก็จะแสดงผลเป็น 0.000 V ทั้ง 2 ครั้ง แสดงว่าซีเนอร์ไดโอดลัดวงจร			
3. กรณีซีเนอร์ไดโอดดี			
เมื่อนำสายมัลติมิเตอร์สีแดงต่อกับแอนโนด (A) สายสีดำต่อกับแคโทด (K) จะมีค่าแรงดันตกคร่อมประมาณ 0.6 - 0.7 V สลับสายมัลติมิเตอร์จะแสดงค่าเป็น OL เพราะแรงดันจากมัลติมิเตอร์จะมีค่าประมาณ 3 โวลต์ ซึ่งน้อยกว่าแรงดันซีเนอร์ไดโอด			

	ขั้นตอนปฏิบัติงานใบงานที่ 4.1 (ต่อ)	หน่วยที่ 4
	ชื่อวิชา งานอิเล็กทรอนิกส์ยนต์เบื้องต้น รหัสวิชา 20101-2103	สอนครั้งที่ 8
	ชื่อหน่วย อุปกรณ์สารกึ่งตัวนำ	จำนวน 16 ชั่วโมง
ชื่อเรื่อง การวัดและทดสอบไดโอดและซีเนอร์ไดโอด		จำนวน 3 ชั่วโมง
ขั้นตอนการปฏิบัติงาน		รูปประกอบ
การวัดและตรวจสอบซีเนอร์ไดโอดกรณีค่าแรงดันซีเนอร์น้อยกว่า 3 V		
ให้ปฏิบัติเช่นเดียวกับกรณีค่าแรงดันซีเนอร์มากกว่า 3 V ทั้งการไบอัสตรงและไบอัสกลับ ดังนี้ 6. นำสายมัลติมิเตอร์สีแดงต่อกับขาแอโนด (A) สายสีดำต่อกับขาแคโทด (K) อ่านหน้าจอก็จะแสดงผล 7. นำสายมัลติมิเตอร์สีแดงต่อกับขาแคโทด (K) สายสีดำต่อกับขาแอโนด (A) อ่านหน้าจอก็จะแสดงผล กรณีซีเนอร์ไดโอดขาดหรือซีเนอร์ไดโอดลัดวงจร เมื่อทำการวัดแล้วหน้าจอก็จะแสดงผลเช่นเดียวกับกรณีซีเนอร์ไดโอดค่าแรงดันมากกว่า 3 V กรณีซีเนอร์ไดโอดดี เมื่อนำสายมัลติมิเตอร์สีแดงต่อกับแอโนด (A) สายสีดำต่อกับแคโทด (K) จะมีค่าแรงดันตกคร่อมประมาณ 0.6 - 0.7 V ถ้าสลับสายมัลติมิเตอร์ หน้าจอก็จะแสดงค่าแรงดันขึ้นมาก่าหนึ่ง		
8. ต่อวงจรทดสอบไดโอด โดยวางอุปกรณ์ตามสัญลักษณ์ในวงจรชุดฝึกทักษะ ต่อวงจรด้วยสายต่อวงจร 9. ต่อแหล่งจ่ายไฟให้กับวงจรโดยใช้หม้อแปลงไฟฟ้า 220 VAC เป็น 12 VAC เปิดสวิตช์หม้อแปลงไฟ 10. วัดแรงดันตกคร่อมที่ออกจากไดโอดว่าเป็นไฟฟ้ากระแสตรงหรือไม่ โดยสายมัลติมิเตอร์ขั้วบวกแตะที่ขา K สายขั้วลบแตะที่ขั้วลบของแหล่งจ่ายไฟ 11. ปิดสวิตช์หม้อแปลงไฟฟ้า 220 VAC		

	ขั้นตอนปฏิบัติงานใบงานที่ 4.1 (ต่อ)	หน่วยที่ 4
	ชื่อวิชา งานอิเล็กทรอนิกส์ยนต์เบื้องต้น รหัสวิชา 20101-2103	สอนครั้งที่ 8
	ชื่อหน่วย อุปกรณ์สารกึ่งตัวนำ	จำนวน 16 ชั่วโมง
ชื่อเรื่อง การวัดและทดสอบไดโอดและซีเนอร์ไดโอด		จำนวน 3 ชั่วโมง
ขั้นตอนการปฏิบัติงาน	รูปประกอบ	
12. ต่อดวงจรทดสอบซีเนอร์ไดโอด โดยวางอุปกรณ์ตามสัญลักษณ์ในวงจรชุดฝึกทักษะ ต่อดวงจรด้วยสายต่อดวงจร 13. ต่อดแหล่งจ่ายไฟให้กับวงจรโดยใช้เพาเวอร์ซัพพลาย แล้วปรับแรงดันไฟที่เพาเวอร์ซัพพลายให้ได้ 12 V 14. วัดแรงดันไฟฟ้าตกคร่อมซีเนอร์ไดโอดโดยปฏิบัติดังรูป	ป้อนไฟ 12 VDC 	

	แบบบันทึกผลใบงานที่ 4.1		หน่วยที่ 4		
	ชื่อวิชา งานอิเล็กทรอนิกส์รถยนต์เบื้องต้น รหัสวิชา 20101-2103		สอนครั้งที่ 8		
	ชื่อหน่วย อุปกรณ์สารกึ่งตัวนำ		จำนวน 16 ชั่วโมง		
ชื่อเรื่อง การวัดและทดสอบไดโอดและซีเนอร์ไดโอด					จำนวน 3 ชั่วโมง
ชื่อ นามสกุล.....เลขที่ .....กลุ่ม.....					
รายการวัดและตรวจสอบไดโอด		ผลการวัดและทดสอบ			
		ค่าแรงดันที่วัดได้	สรุปผลการวัดและทดสอบ		
	ดี		ลัดวงจร	ขาด	
การวัดและตรวจสอบไดโอด					
การวัดและตรวจสอบไดโอดด้วยการไบอัสตรง					
1. อ่านค่าแรงดันตกคร่อมไดโอด ตัวที่ 1		ค่าแรงดัน.....V	.....	.....	.....
2. อ่านค่าแรงดันตกคร่อมไดโอด ตัวที่ 2		ค่าแรงดัน.....V	.....	.....	.....
การวัดและตรวจสอบไดโอดด้วยการไบอัสกลับ					
3. อ่านค่าแรงดันตกคร่อมไดโอด ตัวที่ 1		ค่าแรงดัน.....V	.....	.....	.....
4. อ่านค่าแรงดันตกคร่อมไดโอด ตัวที่ 2		ค่าแรงดัน.....V	.....	.....	.....
การวัดและตรวจสอบซีเนอร์ไดโอดกรณีค่าแรงดันซีเนอร์มากกว่า 3 V					
การวัดและตรวจสอบไดโอดด้วยการไบอัสตรง					
5. อ่านค่าแรงดันตกคร่อมซีเนอร์ไดโอด		ค่าแรงดัน.....V	.....	.....	.....
การวัดและตรวจสอบไดโอดด้วยการไบอัสกลับ					
6. อ่านค่าแรงดันตกคร่อมซีเนอร์ไดโอด		ค่าแรงดัน.....V	.....	.....	.....
การวัดและตรวจสอบซีเนอร์ไดโอดกรณีค่าแรงดันซีเนอร์น้อยกว่า 3 V					
การวัดและตรวจสอบไดโอดด้วยการไบอัสตรง					
7. อ่านค่าแรงดันตกคร่อมซีเนอร์ไดโอด		ค่าแรงดัน.....V	.....	.....	.....
การวัดและตรวจสอบไดโอดด้วยการไบอัสกลับ					
8. อ่านค่าแรงดันตกคร่อมซีเนอร์ไดโอด		ค่าแรงดัน.....V	.....	.....	.....
9. วัดแรงดันตกคร่อมไดโอด		ค่าแรงดัน.....V			
10. วัดแรงดันตกคร่อมซีเนอร์ไดโอด		ค่าแรงดัน.....V			

	แบบประเมินผลใบงานที่ 4.1		หน่วยที่ 4			
	ชื่อวิชา งานอิเล็กทรอนิกส์รถยนต์เบื้องต้น รหัสวิชา 20101-2103		สอนครั้งที่ 7			
	ชื่อหน่วย อุปกรณ์สารกึ่งตัวนำ		จำนวน 16 ชั่วโมง			
ชื่อเรื่อง การวัดและทดสอบไดโอดและซีเนอร์ไดโอด			จำนวน 3 ชั่วโมง			
ชื่อ-นามสกุล.....กลุ่ม.....เลขที่.....						
หัวข้อประเมิน			ระดับคะแนน			
			4	3	2	1
1. เตรียมเครื่องมือ อุปกรณ์ได้ถูกต้อง 2. ใช้มัลติมิเตอร์วัดไดโอดและซีเนอร์ไดโอดได้ถูกต้อง 3. สรุปผลการวัดและทดสอบไดโอดได้ถูกต้อง 4. ใช้มัลติมิเตอร์วัดและทดสอบซีเนอร์ไดโอดได้ถูกต้อง 5. สรุปผลการวัดและทดสอบซีเนอร์ไดโอดได้ถูกต้อง 6. ปฏิบัติงานเสร็จตรงตามเวลาที่กำหนด 7. การทำความสะอาดและจัดเก็บเครื่องมือ อุปกรณ์						
รวมคะแนนทั้งหมด						
ลงชื่อ.....ผู้เรียน (.....) ลงชื่อ.....ครูผู้สอน (นายจิรโรจน์ เลิศชนเปี่ยมสุข)						

เกณฑ์การประเมินใบงานที่ 4.1		
หัวข้อประเมิน	ระดับคะแนน	รายละเอียดเกณฑ์การให้คะแนน
1. เตรียมเครื่องมืออุปกรณ์ได้ถูกต้อง	4	เตรียมเครื่องมือและอุปกรณ์ครบถ้วนทุกอย่างตามที่กำหนดไว้ และจัดวางเป็นระเบียบ
	3	เตรียมเครื่องมือและอุปกรณ์ครบเกือบทั้งหมด มีการจัดวางเป็นระเบียบ แต่มีการขาดหายไป 1 รายการ
	2	เตรียมเครื่องมือและอุปกรณ์ไม่ครบ มีการขาดหายไป 2 รายการ การจัดวางเป็นระเบียบเป็นบางส่วน
	1	เครื่องมือและอุปกรณ์เตรียมไม่ครบอย่างชัดเจน ส่งผลกระทบต่อการปฏิบัติงาน
2. ใช้มัลติมิเตอร์วัดและทดสอบไดโอดได้ถูกต้อง	4	เลือกย่านการวัดและทดสอบ เชื่อมต่อสายวัดกับขั้วของไดโอด เช่น ขั้วแอนโนด (A) ขั้วแคโทด (K) ได้ถูกต้องทุกครั้ง ไม่มีข้อผิดพลาด
	3	เลือกย่านการวัดและทดสอบ เชื่อมต่อสายวัดกับขั้วของไดโอด ได้ถูกต้องเกือบทั้งหมด มีข้อผิดพลาดเล็กน้อยแต่ไม่กระทบต่อการทดสอบ
	2	เลือกย่านการวัดและทดสอบ เชื่อมต่อสายวัดกับขั้วของไดโอด ผิดบ่อยครั้ง ส่งผลให้การทดสอบไม่ถูกต้อง
	1	ไม่สามารถเลือกย่านการวัดและทดสอบได้ ทำให้ไม่สามารถทดสอบไดโอดได้
3. สรุปผลการวัดและทดสอบไดโอดได้ถูกต้อง	4	สรุปอาการดี หรือเสียของไดโอดได้ถูกต้องทุกครั้ง พร้อมอธิบายเหตุผลประกอบ
	3	สรุปอาการดี หรือเสียของไดโอดได้ถูกต้องเกือบทั้งหมด มีข้อผิดพลาดเล็กน้อย แต่ไม่ส่งผลกระทบมาก
	2	สรุปอาการดี หรือเสียของไดโอดได้ถูกต้องในบางครั้ง แต่ยังขาดความชัดเจนในการอธิบาย
	1	ไม่สามารถสรุปอาการดี หรือเสียของไดโอดได้ ทำให้การทดสอบไม่สมบูรณ์

เกณฑ์การประเมินใบงานที่ 4.1		
หัวข้อประเมิน	ระดับคะแนน	รายละเอียดเกณฑ์การให้คะแนน
4. ใช้มัลติมิเตอร์วัดและทดสอบซีเนอร์ไดโอดได้ถูกต้อง	4	เลือกย่านการวัดและทดสอบ เชื่อมต่อสายวัดกับขั้วของซีเนอร์ไดโอด เช่น ขั้วแอนด (A) ขั้วแคโทด (K) ได้ถูกต้องทุกครั้ง ไม่มีข้อผิดพลาด
	3	เลือกย่านการวัดและทดสอบ เชื่อมต่อสายวัดกับขั้วซีเนอร์ไดโอด ได้ถูกต้องเกือบทั้งหมด มีข้อผิดพลาดเล็กน้อยแต่ไม่กระทบต่อการทดสอบ
	2	เลือกย่านการวัดและทดสอบ เชื่อมต่อสายวัดกับขั้วของซีเนอร์ไดโอด ผิดบ่อยครั้ง ส่งผลให้การทดสอบไม่ถูกต้อง
	1	ไม่สามารถเลือกย่านการวัดและทดสอบได้ ทำให้ไม่สามารถทดสอบไดโอดได้
5. สรุปผลการวัดและทดสอบซีเนอร์ไดโอดได้ถูกต้อง	4	สรุปอาการดี หรือเสียของซีเนอร์ไดโอดได้ถูกต้องทุกครั้ง พร้อมอธิบายเหตุผลประกอบ
	3	สรุปอาการดี หรือเสียของซีเนอร์ไดโอดได้ถูกต้องเกือบทั้งหมด มีข้อผิดพลาดเล็กน้อย แต่ไม่ส่งผลกระทบมาก
	2	สรุปอาการดี หรือเสียของซีเนอร์ไดโอดได้ถูกต้องในบางครั้ง แต่ยังขาดความชัดเจนในการอธิบาย
	1	ไม่สามารถสรุปอาการดี หรือเสียของซีเนอร์ไดโอดได้ ทำให้การทดสอบไม่สมบูรณ์
6. ปฏิบัติงานเสร็จตรงตามเวลาที่กำหนด	4	สามารถปฏิบัติงานเสร็จตามเวลาที่กำหนดโดยไม่มีการล่าช้า
	3	ปฏิบัติงานเสร็จ แต่มีความล่าช้ามากกว่าเวลาที่กำหนดไว้ไม่เกิน 2 นาที
	2	ปฏิบัติงานเสร็จ แต่มีความล่าช้ามากกว่าเวลาที่กำหนดไว้ไม่เกิน 3 นาที
	1	ปฏิบัติงานเสร็จ แต่มีความล่าช้ามากกว่าเวลาที่กำหนดไว้เกิน 3 นาที ขึ้นไป

เกณฑ์การประเมินใบงานที่ 4.1		
หัวข้อประเมิน	ระดับคะแนน	รายละเอียดเกณฑ์การให้คะแนน
7. การทำความสะอาดและจัดเก็บเครื่องมือ อุปกรณ์	4	ทำความสะอาด จัดเก็บเครื่องมือและอุปกรณ์ทุกชิ้นในตำแหน่งที่กำหนดไว้อย่างเป็นระเบียบ เรียบร้อยทุกรายการ
	3	ทำความสะอาด จัดเก็บเครื่องมือและอุปกรณ์ในตำแหน่งที่กำหนดไว้อย่างเป็นระเบียบ แต่ไม่ครบถ้วน 1 รายการ
	2	ทำความสะอาด จัดเก็บเครื่องมือและอุปกรณ์ในตำแหน่งที่กำหนดไว้อย่างเป็นระเบียบ แต่ไม่ครบถ้วน 2 รายการ
	1	ทำความสะอาด จัดเก็บเครื่องมือและอุปกรณ์ในตำแหน่งที่กำหนดไว้อย่างเป็นระเบียบ แต่ไม่ครบถ้วน 3 รายการขึ้นไป

	ใบงานที่ 4.2	หน่วยที่ 4
	ชื่อวิชา งานอิเล็กทรอนิกส์รถยนต์เบื้องต้น รหัสวิชา 20101-2103	สอนครั้งที่ 9
	ชื่อหน่วย อุปกรณ์สารกึ่งตัวนำ	จำนวน 16 ชั่วโมง
ชื่อเรื่อง งานวัดและทดสอบทรานซิสเตอร์		จำนวน 3 ชั่วโมง

หัวข้อชื่อเรื่องและงาน

ปฏิบัติตามใบงานที่ 4.2 เรื่อง งานวัดและทดสอบทรานซิสเตอร์

สาระการเรียนรู้

ทรานซิสเตอร์ ทำหน้าที่ เป็นสวิตช์เปิดหรือปิดวงจรไฟฟ้าอัตโนมัติ และควบคุมปริมาณกระแสไฟฟ้า เป็นอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ที่เป็นการนำเอาสารกึ่งตัวนำชนิด P และ N มาต่อเรียงสลับกันแบบ 3 ชั้น ทำให้มีรอยต่อระหว่างชั้น 2 รอยต่อ มีหลักการทำงานโดยอาศัยกระแสไฟฟ้าจากวงจรภายนอกไปควบคุมตัวกำเนิดกระแสไฟฟ้าภายในให้เปลี่ยนแปลงตาม ทรานซิสเตอร์สามารถแบ่งตามโครงสร้างได้ 2 ชนิด คือ ชนิด NPN และชนิด PNP แต่ละชนิดต่อขาออกมาใช้งาน 3 ขา ได้แก่

1. ขาคอลเลคเตอร์ (Collector) เรียกว่าขา C เป็นขาที่มีโครงสร้างในการได้ปसारใหญ่ที่สุด
2. ขาอิมิตเตอร์ (Emitter) เรียกว่าขา E เป็นขาที่มีโครงสร้างใหญ่รองลงมาและอยู่คนละด้านกับขาคอลเลคเตอร์

3. ขาเบส (Base) เรียกว่าขา B อยู่ตรงกลางระหว่าง C และ E มีพื้นที่ของโครงสร้างแคบที่สุด เมื่อเทียบกับอีก 2 ส่วน ลักษณะการต่อตัวทรานซิสเตอร์คล้ายกับการนำเอาไดโอด 2 ตัวมาต่อกัน

ตำแหน่งที่เบสกับอิมิตเตอร์เชื่อมกันเป็นรอยต่อ PN เรียกว่า รอยต่อเบส-อิมิตเตอร์(ตำแหน่งที่คอลเลคเตอร์กับเบสต่อเชื่อมกันเรียกว่า รอยต่อคอลเลคเตอร์-เบส

สมรรถนะที่พึงประสงค์

สมรรถนะด้านความรู้ (K)

1. บอกหน้าที่ของทรานซิสเตอร์
2. อธิบายโครงสร้างของทรานซิสเตอร์
3. อธิบายวิธีการวัดและทดสอบทรานซิสเตอร์

สมรรถนะด้านทักษะ (S)

มีทักษะในการวัดและทดสอบทรานซิสเตอร์

สมรรถนะด้านคุณธรรมจริยธรรม (A)

1. มีความตรงต่อเวลา
2. มีระเบียบวินัย
3. มีความประณีต รอบคอบ

4. มีความสะอาดและปลอดภัย

5. รักษาสภาพแวดล้อม

เนื้อหาสาระ

การวัดและทดสอบทรานซิสเตอร์

ลำดับขั้นการปฏิบัติงาน

1. เตรียมเครื่องมือและอุปกรณ์ ตามที่กำหนดในใบงาน
2. ตรวจสอบสภาพเครื่องมือ อุปกรณ์
3. เตรียมพื้นที่ปฏิบัติงาน
4. ปฏิบัติตามใบงาน

จุดประสงค์การสอน

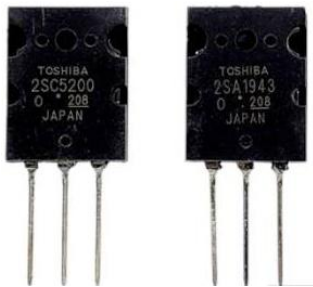
จุดประสงค์ทั่วไป

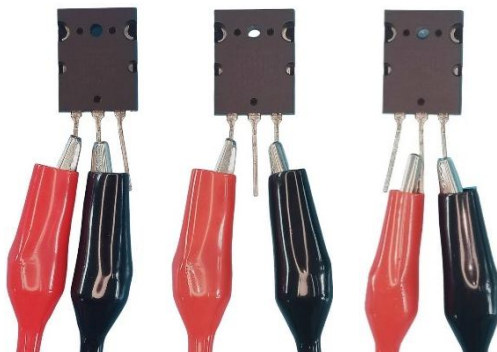
เพื่อให้ผู้เรียนมีความรู้ความเข้าใจเกี่ยวกับการวัดและทดสอบทรานซิสเตอร์ อย่างประณีต รอบคอบ สะอาดปลอดภัย และรักษาสภาพแวดล้อม

จุดประสงค์เชิงพฤติกรรม

หลังจากเรียนจบหน่วยการเรียนรู้ ผู้เรียนสามารถ

1. บอกหน้าที่ของทรานซิสเตอร์ได้
2. อธิบายโครงสร้างของทรานซิสเตอร์ได้
3. อธิบายวิธีการวัดและทดสอบทรานซิสเตอร์ได้
4. วัดและทดสอบทรานซิสเตอร์ได้
5. ทำความสะอาดเครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการปฏิบัติงานได้
6. จัดเก็บเครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการปฏิบัติงานได้

	ใบงานที่ 4.2 (ต่อ)	หน่วยที่ 4
	ชื่อวิชา งานอิเล็กทรอนิกส์รถยนต์เบื้องต้น รหัสวิชา 20101-2103	สอนครั้งที่ 8
	ชื่อหน่วย อุปกรณ์สารกึ่งตัวนำ	จำนวน 16 ชั่วโมง
ชื่อเรื่อง งานวัดและทดสอบทรานซิสเตอร์		จำนวน 3 ชั่วโมง
คำสั่ง 1. ให้ผู้เรียนศึกษาขั้นตอนการปฏิบัติงานตามใบงาน 2. ให้ผู้เรียนปฏิบัติงานวัดและทดสอบทรานซิสเตอร์ตามที่กำหนดในใบงาน		
เครื่องมือ อุปกรณ์		
1. มัลติมิเตอร์ดิจิทัล 	2. ทรานซิสเตอร์เบอร์ 2ASC5200 และทรานซิสเตอร์เบอร์ 2SA1943 	

	ขั้นตอนปฏิบัติงานใบงานที่ 4.2		หน่วยที่ 4
	ชื่อวิชา งานอิเล็กทรอนิกส์สรณต์เบื้องต้น รหัสวิชา 20101-2103		สอนครั้งที่ 9
	ชื่อหน่วย อุปกรณ์สารกึ่งตัวนำ		จำนวน 16 ชั่วโมง
ชื่อเรื่อง งานวัดและทดสอบทรานซิสเตอร์			จำนวน 3 ชั่วโมง
รูปประกอบ		ขั้นตอนการปฏิบัติงาน	
1. ติดตั้งสายวัดมัลติมิเตอร์สีดำเข้ากับช่อง COM และสายวัดสีแดงเข้ากับช่องที่มีสัญลักษณ์ V, Ω, mA, μA จากนั้นปรับสวิตช์เลือกย่านวัดไปที่ย่านวัดไดโอด หน้าจอจะแสดงสัญลักษณ์ไดโอด			
หาค่า B ของทรานซิสเตอร์ ตัวที่ 1			
2. การหาค่า B ของทรานซิสเตอร์ ตามที่กำหนด โดยให้กำหนดขาของทรานซิสเตอร์เป็นหมายเลข 1-2-3 เรียงตามลำดับจากซ้ายไปขวา			
ข้อควรระวัง ก่อนทำการวัดทรานซิสเตอร์ให้ทำการคายประจุออกจากทรานซิสเตอร์ก่อนทุกครั้ง			
3. กำหนดให้สายวัดมัลติมิเตอร์สีแดงเป็นสายร่วม แล้วทำการวัดตามลำดับ ดังนี้			
3.1 วัดขาที่ 1 กับขาที่ 2 แล้วอ่านค่า		3.1	
3.2 วัดขาที่ 1 กับขาที่ 3 แล้วอ่านค่า		3.2	
3.3 วัดขาที่ 2 กับขาที่ 3 แล้วอ่านค่า		3.3	
บันทึกผลการวัดลงในแบบบันทึกผลใบงานที่ 4.2			

	ขั้นตอนปฏิบัติงานใบงานที่ 4.2 (ต่อ)		หน่วยที่ 4
	ชื่อวิชา	งานอิเล็กทรอนิกส์สรณต์เบื้องต้น รหัสวิชา 20101-2103	สอนครั้งที่ 9
	ชื่อหน่วย	อุปกรณ์สารกึ่งตัวนำ	จำนวน 16 ชั่วโมง
ชื่อเรื่อง งานวัดและทดสอบทรานซิสเตอร์			จำนวน 3 ชั่วโมง
4. กำหนดให้สายวัดมัลติมิเตอร์สีดำเป็นสายร่วม แล้วทำการวัดตามลำดับ ดังนี้ 4.1 วัดขาที่ 1 กับขาที่ 2 แล้วอ่านค่า 4.2 วัดขาที่ 1 กับขาที่ 3 แล้วอ่านค่า 4.3 วัดขาที่ 2 กับขาที่ 3 แล้วอ่านค่า บันทึกผลการวัดลงในแบบบันทึกผลใบงานที่ 4.2 แล้วสรุปว่าขาใดเป็นขา B - C - E และเป็นทรานซิสเตอร์ชนิด PNP หรือชนิด NPN		4.1  4.2  4.3 	
ข้อสังเกต 1. ถ้าสายวัดสีแดง เป็นสายร่วม คือขา B แสดงว่าเป็นทรานซิสเตอร์ชนิด NPN 2. ถ้าสายวัดสีดำ เป็นสายร่วม คือขา B แสดงว่าเป็นทรานซิสเตอร์ชนิด PNP 3. ได้ค่าแรงดันตกคร่อมขาทรานซิสเตอร์ ประมาณ 0.4 - 0.6 V ทั้ง 2 คู่ แต่มีค่ามาก 1 คู่ ค่าน้อย 1 คู่ 4. คู่ที่มีค่าแรงดันตกคร่อมน้อย คือขา C คู่ที่มีค่าแรงดันตกคร่อมมากกว่า คือขา E ทั้งทรานซิสเตอร์ชนิด PNP และชนิด NPN			
หาลา B ของทรานซิสเตอร์ ตัวที่ 2			
5. การหาลา B ของทรานซิสเตอร์ที่กำหนดให้ โดยให้กำหนดลาของทรานซิสเตอร์เป็นหมายเลข 1-2-3 เรียงตามลำดับจากซ้ายไปขวา ข้อควรระวัง ก่อนทำการวัดทรานซิสเตอร์ให้ทำการคายประจุออกจากทรานซิสเตอร์ก่อนทุกครั้ง			

	ขั้นตอนปฏิบัติงานใบงานที่ 4.2 (ต่อ)	หน่วยที่ 4	
	ชื่อวิชา งานอิเล็กทรอนิกส์รถยนต์เบื้องต้น รหัสวิชา 20101-2103	สอนครั้งที่ 9	
	ชื่อหน่วย อุปกรณ์สารกึ่งตัวนำ	จำนวน 16 ชั่วโมง	
ชื่อเรื่อง การวัดและทดสอบทรานซิสเตอร์		จำนวน 3 ชั่วโมง	
6. กำหนดให้สายวัดมัลติมิเตอร์สีแดงเป็นสายร่วม แล้วทำการวัดตามลำดับ ดังนี้ 6.1 วัดขาที่ 1 กับขาที่ 2 แล้วอ่านค่า 6.2 วัดขาที่ 1 กับขาที่ 3 แล้วอ่านค่า 6.3 วัดขาที่ 2 กับขาที่ 3 แล้วอ่านค่า บันทึกผลการวัดลงในแบบบันทึกผลใบงานที่ 4.2	  		
7. กำหนดให้สายวัดมัลติมิเตอร์สีดำเป็นสายร่วม แล้วทำการวัดตามลำดับ ดังนี้ 7.1 วัดขาที่ 1 กับขาที่ 2 7.2 วัดขาที่ 1 กับขาที่ 3 7.3 วัดขาที่ 2 กับขาที่ 3 บันทึกผลการวัดลงในแบบบันทึกผลใบงานที่ 4.2 แล้วสรุปว่าขาใดเป็นขา B-C-E และเป็นทรานซิสเตอร์ชนิด PNP หรือชนิด NPN	  		
วัดและทดสอบอาการดีหรือเสียของทรานซิสเตอร์ ชนิด PNP (ที่ได้สรุปมาแล้วจากข้อ 4 และข้อ 7) 8. วัดขา B กับ E และวัดขา B กับขา C สายวัดสีดำให้ยึดขา B ไว้ สายวัดสีแดงให้แตะขา E และย้ายสายวัดสีดำไปแตะขา C ถ้าทรานซิสเตอร์ดีจะแสดงแรงดันตกคร่อมรอยต่อ PN ประมาณ 0.4 – 0.6 V วัดและทดสอบอาการดีหรือเสียของทรานซิสเตอร์ ชนิด NPN (ที่ได้สรุปมาแล้วจากข้อ 4 และข้อ 7) 9. วัดขา B กับ E และวัดขา B กับขา C สายวัดสีแดงให้ยึดขา B ไว้ สายวัดสีดำให้แตะขา E และย้ายสายวัดสีดำไปแตะขา C ถ้าทรานซิสเตอร์ดีจะแสดงแรงดันตกคร่อมรอยต่อ PN ประมาณ 0.4 - 0.6 V			

	ขั้นตอนปฏิบัติงานใบงานที่ 4.2 (ต่อ)	หน่วยที่ 4
	ชื่อวิชา งานอิเล็กทรอนิกส์ยนต์เบื้องต้น รหัสวิชา 20101-2103	สอนครั้งที่ 9
	ชื่อหน่วย อุปกรณ์สารกึ่งตัวนำ	จำนวน 16 ชั่วโมง
ชื่อเรื่อง การวัดและทดสอบทรานซิสเตอร์		จำนวน 3 ชั่วโมง
ข้อควรสังเกต 1. ถ้าทรานซิสเตอร์ขาด เมื่อวัดและสลับสายวัดของมัลติมิเตอร์หน้าจอก็จะแสดงผลเป็น OL ทั้ง 2 ครั้ง 2. ถ้าทรานซิสเตอร์ลัดวงจร เมื่อวัดและสลับสายวัดของมัลติมิเตอร์หน้าจอก็จะแสดงผลเป็น 0.000 V ทั้ง 2 ครั้ง 3. วัดขา C กับ E และสลับสายวัดอีกครั้ง ถ้าทรานซิสเตอร์ดีหน้าจอก็จะแสดงผลเป็น OL ทั้ง 2 ครั้ง ทั้งทรานซิสเตอร์ชนิด NPN และชนิด PNP		
8. ให้ผู้เรียนค้นหาข้อมูลจากอินเทอร์เน็ต ด้วยค่าของทรานซิสเตอร์ที่กำหนดให้ แล้วทำการเปรียบเทียบจากข้อมูลจากที่ทำการวัดได้ แล้วบันทึกค่า		

	แบบบันทึกผลใบงานที่ 4.2	หน่วยที่ 4
	ชื่อวิชา งานอิเล็กทรอนิกส์รถยนต์เบื้องต้น รหัสวิชา 20101-2103	สอนครั้งที่ 9
	ชื่อหน่วย อุปกรณ์สารกึ่งตัวนำ	จำนวน 16 ชั่วโมง
ชื่อเรื่อง การวัดและทดสอบทรานซิสเตอร์		จำนวน 3 ชั่วโมง
รายการวัดและทดสอบ		ผลการวัดและทดสอบ
ทรานซิสเตอร์ ตัวที่ 1		
1. กำหนดให้สายวัดมัลติมิเตอร์สีดำเป็นสายร่วม แล้วทำการวัดตามลำดับ ดังนี้ 1.1 วัดขาที่ 1 กับขาที่ 2 1.2 วัดขาที่ 1 กับขาที่ 3 1.3 วัดขาที่ 2 กับขาที่ 3 2. กำหนดให้สายวัดมัลติมิเตอร์สีแดงเป็นสายร่วม แล้วทำการวัดตามลำดับ ดังนี้ 2.1 วัดขาที่ 1 กับขาที่ 2 2.2 วัดขาที่ 1 กับขาที่ 3 2.3 วัดขาที่ 2 กับขาที่ 3	ค่าแรงดันตกคร่อม.....V ค่าแรงดันตกคร่อม.....V ค่าแรงดันตกคร่อม.....V ค่าแรงดันตกคร่อม.....V ค่าแรงดันตกคร่อม.....V ค่าแรงดันตกคร่อม.....V	
3. สรุป ขา 1 คือ ขา..... ขา 2 คือ ขา..... ขา 3 คือ ขา..... เป็นทรานซิสเตอร์แบบ..... ทรานซิสเตอร์ ☐ ดี ☐ เสีย		
ทรานซิสเตอร์ ตัวที่ 2		
4. กำหนดให้สายวัดมัลติมิเตอร์สีดำเป็นสายร่วม แล้วทำการวัดตามลำดับ ดังนี้ 4.1 วัดขาที่ 1 กับขาที่ 2 4.2 วัดขาที่ 1 กับขาที่ 3 4.3 วัดขาที่ 2 กับขาที่ 3	ค่าแรงดันตกคร่อม.....V ค่าแรงดันตกคร่อม.....V ค่าแรงดันตกคร่อม.....V	

	แบบบันทึกผลใบงานที่ 4.2		หน่วยที่ 4
	ชื่อวิชา งานอิเล็กทรอนิกส์ยนต์เบื้องต้น รหัสวิชา 20101-2103		สอนครั้งที่ 9
	ชื่อหน่วย อุปกรณ์สารกึ่งตัวนำ		จำนวน 16 ชั่วโมง
ชื่อเรื่อง การวัดและทดสอบทรานซิสเตอร์			จำนวน 3 ชั่วโมง
รายการวัดและทดสอบ		ผลการวัดและทดสอบ	
5. กำหนดให้สายวัดมัลติมิเตอร์สีแดงเป็นสายร่วม แล้วทำการวัดตามลำดับ ดังนี้ 5.1 วัดขาที่ 1 กับขาที่ 2 5.2 วัดขาที่ 1 กับขาที่ 3 5.3 วัดขาที่ 2 กับขาที่ 3		ค่าแรงดันตกคร่อม.....V ค่าแรงดันตกคร่อม.....V ค่าแรงดันตกคร่อม.....V	
6. สรุป ขา 1 คือ ขา..... ขา 2 คือ ขา..... ขา 3 คือ ขา..... เป็นทรานซิสเตอร์แบบ..... ทรานซิสเตอร์ ☐ ดี ☐ เสีย			
7. ผลการเปรียบเทียบข้อมูลจากอินเทอร์เน็ต ด้วยค่าของทรานซิสเตอร์ที่กำหนดให้กับข้อมูลจากที่ทำการวัดได้ ทรานซิสเตอร์ ตัวที่ 1 เบอร์ที่ใช้ค้นหา คือ.....เป็นทรานซิสเตอร์ชนิด..... ตำแหน่งขา คือ..... ทรานซิสเตอร์ ตัวที่ 2 เบอร์ที่ใช้ค้นหา คือ.....เป็นทรานซิสเตอร์ชนิด..... ตำแหน่งขา คือ.....			

	แบบประเมินผลใบงานที่ 4.2		หน่วยที่ 4			
	ชื่อวิชา งานอิเล็กทรอนิกส์รถยนต์เบื้องต้น รหัสวิชา 20101-2103		สอนครั้งที่ 8			
	ชื่อหน่วย อุปกรณ์สารกึ่งตัวนำ		จำนวน 16 ชั่วโมง			
ชื่อเรื่อง งานวัดและทดสอบทรานซิสเตอร์			จำนวน 3 ชั่วโมง			
ชื่อ-นามสกุล.....กลุ่ม.....เลขที่.....						
หัวข้อประเมิน			ระดับคะแนน			
			4	3	2	1
1. เตรียมเครื่องมือ อุปกรณ์ได้ถูกต้อง 2. ใช้มัลติมิเตอร์วัดทรานซิสเตอร์ได้ถูกต้อง 3. วัดหาตำแหน่งขาทรานซิสเตอร์ได้ถูกต้อง 4. วัดและทดสอบอาการดีหรือเสียของทรานซิสเตอร์ 5. ค้นหาข้อมูลทรานซิสเตอร์ในอินเทอร์เน็ตได้ถูกต้อง 6. ปฏิบัติงานเสร็จตรงตามเวลาที่กำหนด 7. การทำความสะอาดและจัดเก็บเครื่องมือ อุปกรณ์						
รวมคะแนนทั้งหมด						
ลงชื่อ.....ผู้เรียน (.....) ลงชื่อ.....ครูผู้สอน (นายจิรโรจน์ เลิศชนเปี่ยมสุข)						

เกณฑ์การประเมินใบงานที่ 4.2		
หัวข้อประเมิน	ระดับคะแนน	รายละเอียดเกณฑ์การให้คะแนน
1. เตรียมเครื่องมืออุปกรณ์ได้ถูกต้อง	4	เตรียมเครื่องมือและอุปกรณ์ครบถ้วนทุกอย่างตามที่กำหนดไว้ และจัดวางเป็นระเบียบ
	3	เตรียมเครื่องมือและอุปกรณ์ครบเกือบทั้งหมด มีการจัดวางเป็นระเบียบ แต่มีการขาดหายไป 1 รายการ
	2	เตรียมเครื่องมือและอุปกรณ์ไม่ครบ มีการขาดหายไป 2 รายการ การจัดวางเป็นระเบียบเป็นบางส่วน
	1	เครื่องมือและอุปกรณ์เตรียมไม่ครบอย่างชัดเจน ส่งผลกระทบต่อการปฏิบัติงาน
2. ใช้มัลติมิเตอร์วัดทรานซิสเตอร์ได้ถูกต้อง	4	เลือกย่านการวัดทรานซิสเตอร์ได้ถูกต้องทุกครั้ง ไม่มีข้อผิดพลาด
	3	เลือกย่านการวัดทรานซิสเตอร์ได้ถูกต้องเกือบทุกครั้ง มีข้อผิดพลาดเล็กน้อยแต่ไม่กระทบต่อการวัด
	2	เลือกย่านการวัดผิดบ่อยครั้ง ทำให้ค่าที่วัดได้ไม่ถูกต้อง
	1	ไม่สามารถเลือกย่านการวัดทรานซิสเตอร์ได้ ทำให้ไม่สามารถวัดค่าได้
3. วัดหาตำแหน่งขาทรานซิสเตอร์ได้ถูกต้อง	4	ระบุตำแหน่งขา Base, Collector, Emitter ได้อย่างถูกต้องทุกครั้ง พร้อมอธิบายเหตุผลในการวัดได้ชัดเจน
	3	ระบุตำแหน่งขาได้ถูกต้องเกือบทั้งหมด มีข้อผิดพลาดเล็กน้อยที่ไม่ส่งผลต่อผลการวัด
	2	ระบุตำแหน่งขาผิดบ่อยครั้ง ส่งผลให้การวัดไม่ถูกต้อง
	1	ไม่สามารถระบุตำแหน่งขาได้ ทำให้การวัดไม่สำเร็จ
4. วัดและทดสอบอาการดีหรือเสียของทรานซิสเตอร์	4	สรุปอาการดี หรือเสียของทรานซิสเตอร์ได้ถูกต้อง พร้อมอธิบายเหตุผลได้ชัดเจน
	3	สรุปอาการดี หรือเสียของทรานซิสเตอร์ได้ถูกต้อง แต่ยังขาดความชัดเจนในการอธิบาย
	2	สรุปอาการดี หรือเสียของทรานซิสเตอร์ผิดพลาดบ่อยครั้ง
	1	ไม่สามารถสรุปอาการดี หรือเสียของทรานซิสเตอร์ได้

เกณฑ์การประเมินใบงานที่ 4.2		
หัวข้อประเมิน	ระดับคะแนน	รายละเอียดเกณฑ์การให้คะแนน
5. สามารถค้นหาข้อมูลทรานซิสเตอร์ในอินเทอร์เน็ตได้ถูกต้อง	4	สามารถค้นหาและระบุข้อมูลสำคัญของทรานซิสเตอร์ เช่น ขั้ว (B, C, E), พารามิเตอร์ทางไฟฟ้า (HFE, Vce, Ic) ได้อย่างถูกต้องและครบถ้วน
	3	ค้นหาข้อมูลสำคัญของทรานซิสเตอร์ได้ถูกต้องเกือบทั้งหมด มีข้อผิดพลาดเล็กน้อย
	2	ค้นหาข้อมูลสำคัญผิดบ่อยครั้ง ส่งผลต่อความถูกต้องของข้อมูลทรานซิสเตอร์
	1	ไม่สามารถค้นหาข้อมูลที่สำคัญเกี่ยวกับทรานซิสเตอร์ได้
6. ปฏิบัติงานเสร็จตรงตามเวลาที่กำหนด	4	สามารถปฏิบัติงานเสร็จตามเวลาที่กำหนดโดยไม่มีการล่าช้า
	3	ปฏิบัติงานเสร็จ แต่มีความล่าช้ามากกว่าเวลาที่กำหนดไว้ไม่เกิน 2 นาที
	2	ปฏิบัติงานเสร็จ แต่มีความล่าช้ามากกว่าเวลาที่กำหนดไว้ไม่เกิน 3 นาที
	1	ปฏิบัติงานเสร็จ แต่มีความล่าช้ามากกว่าเวลาที่กำหนดไว้เกิน 3 นาที ขึ้นไป
7. การทำความสะอาดและจัดเก็บเครื่องมือ อุปกรณ์	4	ทำความสะอาด จัดเก็บเครื่องมือและอุปกรณ์ทุกชิ้นในตำแหน่งที่กำหนดไว้อย่างเป็นระเบียบ เรียบร้อยทุกรายการ
	3	ทำความสะอาด จัดเก็บเครื่องมือและอุปกรณ์ในตำแหน่งที่กำหนดไว้อย่างเป็นระเบียบ แต่ไม่ครบถ้วน 1 รายการ
	2	ทำความสะอาด จัดเก็บเครื่องมือและอุปกรณ์ในตำแหน่งที่กำหนดไว้อย่างเป็นระเบียบ แต่ไม่ครบถ้วน 2 รายการ
	1	ทำความสะอาด จัดเก็บเครื่องมือและอุปกรณ์ในตำแหน่งที่กำหนดไว้อย่างเป็นระเบียบ แต่ไม่ครบถ้วน 3 รายการ ขึ้นไป

	ใบงานที่ 4.3	หน่วยที่ 4
	ชื่อวิชา งานอิเล็กทรอนิกส์รถยนต์เบื้องต้น รหัสวิชา 20101-2103	สอนครั้งที่ 10
	ชื่อหน่วย อุปกรณ์สารกึ่งตัวนำ	จำนวน 16 ชั่วโมง
ชื่อเรื่อง งานวัดและทดสอบเฟตและเอสซีอาร์		จำนวน 3 ชั่วโมง

หัวข้อชื่อเรื่องและงาน

ปฏิบัติตามใบงานที่ 4.3 เรื่อง งานวัดและทดสอบเฟตและเอสซีอาร์

สาระการเรียนรู้

เฟต ทำหน้าที่ ควบคุมการไหลของกระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านตัวอุปกรณ์ โดยจะใช้แรงดันไฟฟ้า มาควบคุมการไหลของกระแส เฟตเป็นทรานซิสเตอร์ชนิดหนึ่งมีหลักการทำงานด้วยการใช้สนามไฟฟ้า ควบคุมการไหลของกระแสไฟฟ้า การทำงานของเฟตแตกต่างจากการทำงานของทรานซิสเตอร์ทั่วไป คือ การทำงานของทรานซิสเตอร์ทั่วไปต้องอาศัยกระแสไฟฟ้าควบคุมการทำงาน แต่เฟตจะใช้แรงดันไฟฟ้าที่ขาเกตมาควบคุมการไหลของกระแสที่ขาเดรน (Drain) เฟตมีรูปร่างภายนอกเหมือน ทรานซิสเตอร์ แตกต่างกันที่เบอร์ใช้งาน มีคุณสมบัติที่ดีกว่าทรานซิสเตอร์ มีอัตราการทำงานแรงดันและ กระแสสูงภายใต้การเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิ มีสัญญาณรบกวนต่ำ ขยายความถี่สูงได้ดีกว่า ทรานซิสเตอร์ทั่วไป เฟต มี 3 ขา คือ ขาเดรน (Drain) ขาซอร์ส (Source) และขาเกต (Gate) และมี ตัวอักษรย่อแทนทั้ง 3 ขา คือ D S G ตามลำดับและเฟตแบ่งเป็น 2 ประเภท คือ เจเฟตและมอสเฟต ซึ่งแตกต่างกันที่โครงสร้างภายในของการวางชั้นสารกึ่งตัวนำชนิด P และชนิด N

สมรรถนะที่พึงประสงค์

ผู้เรียนสามารถการวัดและทดสอบเฟตและเอสซีอาร์ตามใบงาน

สมรรถนะด้านความรู้ (K)

1. บอกหน้าที่ของเฟตได้
2. อธิบายโครงสร้างของเฟตได้
3. อธิบายวิธีการวัดและทดสอบเฟตได้
4. อธิบายหลักการทำงานของเฟตได้
5. บอกหน้าที่ของเอสซีอาร์ได้
6. อธิบายโครงสร้างของเอสซีอาร์ได้
7. อธิบายหลักการทำงานของเอสซีอาร์ได้
8. อธิบายวิธีการวัดและทดสอบเอสซีอาร์ได้

สมรรถนะด้านทักษะ (S)

1. มีทักษะในการวัดและทดสอบเฟต
2. มีทักษะในการวัดและทดสอบเอสซีอาร์

สมรรถนะด้านคุณธรรมจริยธรรม (A)

1. มีความตรงต่อเวลา
2. มีระเบียบวินัย
3. มีความประณีต รอบคอบ
4. มีความสะอาดและปลอดภัย
5. รักษาสภาพแวดล้อม

เนื้อหาสาระ

1. การวัดและทดสอบเฟต
2. การวัดและทดสอบเอสซีอาร์

ลำดับขั้นการปฏิบัติงาน

1. เตรียมเครื่องมือและอุปกรณ์ ตามที่กำหนดในใบงาน
2. ตรวจสอบสภาพเครื่องมือ อุปกรณ์
3. เตรียมพื้นที่ปฏิบัติงาน
4. ปฏิบัติตามใบงาน

จุดประสงค์การสอน

จุดประสงค์ทั่วไป

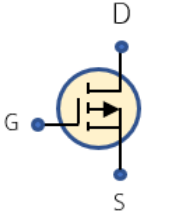
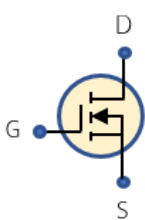
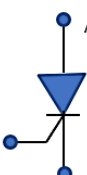
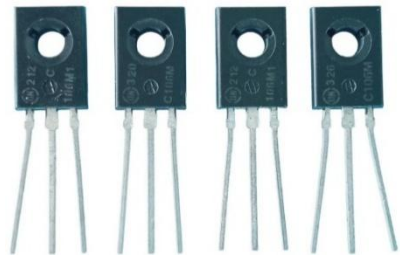
เพื่อให้ผู้เรียนมีความรู้ความเข้าใจเกี่ยวกับการวัดและทดสอบเฟตและเอสซีอาร์ อย่างประณีต รอบคอบ สะอาดปลอดภัย และรักษาสภาพแวดล้อม

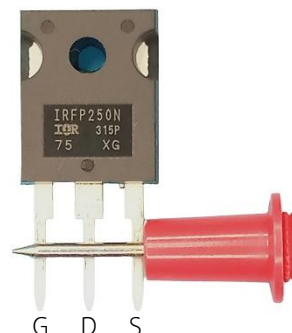
จุดประสงค์เชิงพฤติกรรม

หลังจากเรียนจบหน่วยการเรียนรู้ ผู้เรียนสามารถ

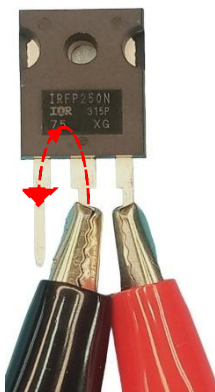
1. บอกหน้าที่ของเฟตได้
2. อธิบายโครงสร้างและหลักการทำงานของเฟตได้
3. อธิบายวิธีการวัดและทดสอบเฟตได้
4. อธิบายหลักการทำงานของเฟตได้
5. บอกหน้าที่ของเอสซีอาร์ได้

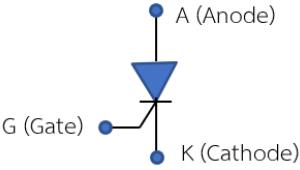
6. อธิบายโครงสร้างและหลักการทำงานของเอสซีอาร์ได้
7. อธิบายหลักการวัดและทดสอบเอสซีอาร์และเฟตได้
8. มีทักษะในการวัดและทดสอบเฟต
9. ทำมีทักษะในการวัดและทดสอบเอสซีอาร์
10. ทำความสะอาดเครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการปฏิบัติงานได้

	ใบงานที่ 4.3 (ต่อ)		หน่วยที่ 4
	ชื่อวิชา งานอิเล็กทรอนิกส์รยนต์เบื้องต้น รหัสวิชา 20101-2103		สอนครั้งที่ 10
	ชื่อหน่วย อุปกรณ์สารกึ่งตัวนำ		จำนวน 16 ชั่วโมง
ชื่อเรื่อง งานวัดและทดสอบเฟตและเอสซีอาร์			จำนวน 3 ชั่วโมง
คำสั่ง 1. ให้ผู้เรียนศึกษาขั้นตอนการปฏิบัติงานตามใบงาน 2. ให้ผู้เรียนศึกษาสัญลักษณ์และหลักการทำงานของเฟตและเอสซีอาร์ 3. ให้ผู้เรียนปฏิบัติงานวัดและทดสอบทรานซิสเตอร์ ตามที่กำหนดในใบงาน D G S  N แชนแนล D G S  P แชนแนล สัญลักษณ์ของ E มอสเฟต A (Anode) G (Gate) K (Cathode)  สัญลักษณ์ของเอสซีอาร์			
เครื่องมือ อุปกรณ์			
1. มัลติมิเตอร์ดิจิทัล 		2. มอสเฟต เบอร์ IRFP 250N จำนวน 4 ตัว 	
3. เอสซีอาร์ เบอร์ C106M จำนวน 4 ตัว 			

	ขั้นตอนปฏิบัติงานใบงานที่ 4.3 (ต่อ)		หน่วยที่ 4
	ชื่อวิชา	งานอิเล็กทรอนิกส์ระดับเบื้องต้น รหัสวิชา 20101-2103	สอนครั้งที่ 10
	ชื่อหน่วย	อุปกรณ์สารกึ่งตัวนำ	จำนวน 16 ชั่วโมง
ชื่อเรื่อง งานวัดและทดสอบเพตและเอสซีอาร์ ชั่วโมง			จำนวน 3
รูปประกอบ		ขั้นตอนการปฏิบัติงาน	
1. ติดตั้งสายวัดมัลติมิเตอร์สีดำเข้ากับช่อง COM และสายวัดสีแดงเข้ากับช่องที่มีสัญลักษณ์ V, Ω, mA, μA จากนั้นปรับสวิตช์เลือกย่านวัดไปที่ย่านวัด ไดโอด หน้าจอจะแสดงสัญลักษณ์ไดโอด			
การวัดและทดสอบมอสเฟตแบบ E มอสเฟต			
การวัดหาชนิดของ E มอสเฟต 3. คายประจุออกจากตัวมอสเฟต โดยใช้โลหะที่เป็นตัวนำไฟฟ้านำมาแตะให้ขาทั้ง 3 ถึงกัน หมายเหตุ โดยปกติขามอสเฟตจะเรียงจากซ้ายไปขวา คือ ขา G-D-S ตามลำดับ			
4. ทำการวัดระหว่างขาเดรน (D) กับขาซอส (S) วัดครั้งที่ 1 ใช้สายวัดมัลติมิเตอร์สีแดงแตะที่ขาเดรน (D) สายวัดสีดำแตะที่ขาซอส (S) แล้วบันทึกค่าที่อ่านได้ วัดครั้งที่ 2 สายวัดสีดำไปแตะที่ขาเกต (G) สายวัดสีดำแตะที่ขาเดรน (D) แล้วบันทึกค่าที่อ่านได้ 5. ให้สรุปว่าเป็น E มอสเฟตชนิด N หรือชนิด P		 วัดครั้งที่ 1วัดครั้งที่ 2	

	ขั้นตอนปฏิบัติงานใบงานที่ 4.3 (ต่อ)		หน่วยที่ 4
	ชื่อวิชา งานอิเล็กทรอนิกส์รถยนต์เบื้องต้น รหัสวิชา 20101-2103		สอนครั้งที่ 10
	ชื่อหน่วย อุปกรณ์สารกึ่งตัวนำ		จำนวน 16 ชั่วโมง
ชื่อเรื่อง งานวัดและทดสอบเฟตและเอสซีอาร์			จำนวน 3 ชั่วโมง
ข้อสังเกต 1. การวัดระหว่างขา D กับขา S จะอ่านค่าแรงดันได้ 1 ครั้ง และเมื่อสลับสายวัดมัลติมิเตอร์ จะอ่านค่าแรงดันไม่ได้ 1 ครั้ง ทั้งชนิด N แชลแนล และชนิด P แชลแนล 2. ถ้า E มอสเฟต ชนิด N แชลแนล ค่าแรงดัน ระหว่างขา D กับขา S จะอยู่ระหว่าง 0.4 – 0.5 V 3. ถ้า E มอสเฟต ชนิด N แชลแนล ค่าแรงดัน ระหว่างขา D กับขา S จะอยู่ระหว่าง 0.8 – 1.2 V			
การ Trick On และ Trick Off ให้มอสเฟตทำงานและหยุดทำงาน			
กรณีเป็น E มอสเฟต ชนิด N แชลแนล 6. ทำการ Trick On โดยย้ายสายสีแดงไปแตะที่ขา G อย่างรวดเร็ว แล้วย้ายกลับมาแตะที่ขา D อีกครั้ง (ทำสลับไป-มา) เพื่อเพื่อทดสอบการทำงานของเฟตว่า ON หรือไม่ โดยสังเกตที่หน้าจอมัลติมิเตอร์จะเปลี่ยนจาก OL เป็นตัวเลข แสดงว่า E มอสเฟต ทำงานได้ (ไม่เสีย)		Trick On 	
7. ทำการ Trick Off โดยสายมัลติมิเตอร์สีแดงแตะยึดที่ขา D ไว้ และ สายมัลติมิเตอร์สีดำแตะที่ขา S แล้วย้ายสายสีดำไปแตะที่ขา G อย่างรวดเร็ว แล้วย้ายกลับมาแตะที่ขา S อีกครั้ง (ทำสลับไป-มา) เพื่อดูว่าเฟต OFF หรือไม่ โดยให้สังเกตที่หน้าจอมัลติมิเตอร์ จะเปลี่ยนจากตัวเลข เป็น OL แสดงว่า E มอสเฟต หยุดทำงาน (ไม่เสีย)		Trick Off 	

	ขั้นตอนปฏิบัติงานใบงานที่ 4.3 (ต่อ)		หน่วยที่ 4
	ชื่อวิชา	งานอิเล็กทรอนิกส์รถยนต์เบื้องต้น รหัสวิชา 20101-2103	สอนครั้งที่ 10
	ชื่อหน่วย	อุปกรณ์สารกึ่งตัวนำ	จำนวน 16 ชั่วโมง
ชื่อเรื่อง		งานวัดและทดสอบเฟตและเอสซีอาร์	จำนวน 3 ชั่วโมง
กรณีเป็น E มอสเฟต ชนิด P แคลแนล 8. ทำการ Trick On สายมัลติมิเตอร์สีดำแตะขั้วที่ขา D ไว้ และสาย มัลติมิเตอร์สีแดงแตะขั้วที่ขา S แล้วย้ายสายสีแดงไปแตะขั้วที่ขา G อย่างรวดเร็ว แล้วย้ายกลับมาแตะขั้วที่ขา S อีกครั้ง (ทำสลับไป-มา) เพื่อดูว่าเฟต ON หรือไม่ โดยให้สังเกตที่หน้าจอมัลติมิเตอร์ จะเปลี่ยนจาก OL เป็นตัวเลขแทน แสดงว่า E มอสเฟต ทำงานได้ (ไม่เสีย)		Trick On 	
9. ทำการ Trick Off สายมัลติมิเตอร์สีแดงแตะขั้วที่ขา S ไว้ และ สายมัลติมิเตอร์สีดำแตะขั้วที่ขา D แล้วย้ายสายสีดำไปแตะขั้วที่ขา G อย่างรวดเร็ว แล้วย้ายกลับมาแตะขั้วที่ขา D อีกครั้ง (ทำสลับไป-มา) เพื่อดูว่าเฟต OFF หรือไม่ โดยให้สังเกตที่หน้าจอมัลติมิเตอร์ จะเปลี่ยนจากตัวเลขเป็น OL แทน แสดงว่า E มอสเฟต หยุดทำงาน (ไม่เสีย)		Trick Off 	
ข้อควรสังเกต 1. ถ้าวัดระหว่างขา D กับขา S เมื่อสลับสายมัลติมิเตอร์แสดงผลเป็น 0.000 ทั้ง 2 ครั้ง แสดงว่ามอสเฟตลัดวงจร 2. ถ้าวัดระหว่างขา D กับขา S เมื่อสลับสายมัลติมิเตอร์แสดงผลเป็น OL ทั้ง 2 ครั้ง แสดงว่ามอสเฟตขาด 3. ถ้าวัดระหว่างขา D กับขา S เมื่อสลับสายมัลติมิเตอร์แสดงผลเป็น OL 1 ครั้ง และแสดงค่าแรงดันตกคร่อม 1 ครั้ง แสดงว่าระหว่างขา D กับขา S ใช้ได้ และให้ทดสอบด้วยการ Trick On และ Trick Off			

	ขั้นตอนปฏิบัติงานใบงานที่ 4.3 (ต่อ)		หน่วยที่ 4
	ชื่อวิชา งานอิเล็กทรอนิกส์สรณยนต์เบื้องต้น รหัสวิชา 20101-2103	สอนครั้งที่ 10	
	ชื่อหน่วย อุปกรณ์สารกึ่งตัวนำ	จำนวน 16 ชั่วโมง	
ชื่อเรื่อง งานวัดและทดสอบเพตและเอสซีอาร์			จำนวน 3 ชั่วโมง
การวัดและทดสอบเอสซีอาร์			
ตำแหน่งขาและสัญลักษณ์ของเอสซีอาร์  K A G  สัญลักษณ์ของเอสซีอาร์			
10. วัดระหว่างขาที่ K กับขาที่ A วัดครั้งที่ 1 สายมัลติมิเตอร์สีแดงแตะที่ขา K สายสีดำแตะที่ขา A แล้วบันทึกค่าที่อ่านได้ วัดครั้งที่ 2 สลับสายมัลติมิเตอร์ สายสีแดงแตะที่ขา A สายสีดำแตะที่ขา K แล้วบันทึกค่าที่อ่านได้			
11. วัดระหว่างขาที่ K กับขาที่ G วัดครั้งที่ 1 สายมัลติมิเตอร์สีแดงแตะที่ขา K สายมัลติมิเตอร์สีดำแตะที่ขา G แล้วบันทึกค่าที่อ่านได้ วัดครั้งที่ 2 สลับสายมัลติมิเตอร์สายสีแดงแตะที่ขา G สายสีดำแตะที่ขา K แล้วบันทึกค่าที่อ่านได้			

	ขั้นตอนปฏิบัติงานใบงานที่ 4.3 (ต่อ)		หน่วยที่ 4
	ชื่อวิชา	งานอิเล็กทรอนิกส์สรณต์เบื้องต้น รหัสวิชา 20101-2103	สอนครั้งที่ 10
	ชื่อหน่วย	อุปกรณ์สารกึ่งตัวนำ	จำนวน 16 ชั่วโมง
ชื่อเรื่อง งานวัดและทดสอบเพตและเอสซีอาร์			จำนวน 3 ชั่วโมง
รูปประกอบ		ขั้นตอนการปฏิบัติงาน	
12. วัดระหว่างขาที่ A กับขาที่ G วัดครั้งที่ 1 สายมัลติมิเตอร์สีแดงแตะที่ขา A สายสีดำแตะที่ขา G แล้วบันทึกค่าที่อ่านได้ วัดครั้งที่ 2 สลับสายมัลติมิเตอร์ สายสีแดงแตะที่ขา G สายสีดำแตะที่ขา A แล้วบันทึกค่าที่อ่านได้			
ข้อควรระวัง ก่อนทำการวัดเอสซีอาร์ให้ทำการคายประจุออกจากทรานซิสเตอร์ก่อนทุกครั้ง			

	แบบบันผลใบงานที่ 4.3	หน่วยที่ 4
	ชื่อวิชา งานอิเล็กทรอนิกส์รถยนต์เบื้องต้น รหัสวิชา 20101-2103	สอนครั้งที่ 10
	ชื่อหน่วย อุปกรณ์สารกึ่งตัวนำ	จำนวน 16 ชั่วโมง
ชื่อเรื่อง งานวัดและทดสอบเพตและเอสซีอาร์		จำนวน 3 ชั่วโมง
รายการวัดและทดสอบ		ผลการวัดและทดสอบ
การวัดและทดสอบ E มอสเฟต		
- วัดครั้งที่ 1 ใช้สายวัดมัลติมิเตอร์สีแดงแตะที่ขาเดรน (D) สายวัดสีดำแตะที่ขาซอส (S) - วัดครั้งที่ 2 สายวัดสีดำไปแตะที่ขาเกต (D) สายวัดสีแดงแตะที่ขาเดรน (S) - สรุปว่าเป็น E มอสเฟตชนิด N หรือชนิด P	วัดครั้งที่ 1 ค่าที่อ่านได้ เท่ากับ..... วัดครั้งที่ 2 ค่าที่อ่านได้ เท่ากับ..... สรุป เป็น E มอสเฟต ☐ ชนิด N ☐ ชนิด P	
การ Trick On และ Trick Off ให้มอสเฟตทำงานและให้หยุดทำงาน กรณี E มอสเฟต ชนิด N แชลแนล		
- สายมัลติมิเตอร์สีดำแตะยึดที่ขา S ไว้ และสายมัลติมิเตอร์สีแดงแตะที่ขา D - ทำการ Trick On โดยย้ายสายสีแดงไปแตะที่ขา G อย่างรวดเร็ว แล้วย้ายกลับมาแตะที่ขา D อีกครั้ง (ทำสลับไป-มา) เพื่อเพื่อทดสอบการทำงานของเพตว่า ON หรือไม่ - ทำการ Trick Off โดยสายมัลติมิเตอร์สีแดงแตะยึดที่ขา D ไว้ และสายมัลติมิเตอร์สีดำแตะที่ขา S แล้วย้ายสายสีดำไปแตะที่ขา G อย่างรวดเร็ว แล้วย้ายกลับมาแตะที่ขา S อีกครั้ง (ทำสลับไป-มา) เพื่อดูว่าเพตว่า OFF หรือไม่	ค่าที่อ่านได้..... การ Trick On มัลติมิเตอร์แสดงผล ดังนี้ การ Trick Off มัลติมิเตอร์แสดงผล ดังนี้ สรุป มอสเฟต ☐ ดี ☐ เสีย	

	แบบบันผลใบงานที่ 4.3		หน่วยที่ 4
	ชื่อวิชา งานอิเล็กทรอนิกส์รถยนต์เบื้องต้น รหัสวิชา 20101-2103		สอนครั้งที่ 10
	ชื่อหน่วย อุปกรณ์สารกึ่งตัวนำ		จำนวน 16 ชั่วโมง
ชื่อเรื่อง การวัดและทดสอบเพตและเอสซีอาร์			จำนวน 3 ชั่วโมง
รายการวัดและทดสอบ		ผลการวัดและทดสอบ	
การ Trick On และ Trick Off ให้มอสเฟตทำงานและให้หยุดทำงาน กรณี E มอสเฟต ชนิด P แชลแนล			
1. สายมัลติมิเตอร์สีดำแตะขั้วที่ขา S ไว้ และสายมัลติมิเตอร์สีแดงแตะขั้วที่ขา D 2. ทำการ Trick On โดยย้ายสายสีแดงไปแตะขั้วที่ขา G อย่างรวดเร็ว แล้วย้ายกลับมาแตะขั้วที่ขา D อีกครั้ง (ทำสลับไป-มา) เพื่อเพื่อทดสอบการทำงานของเพตว่า ON หรือไม่ 3. ทำการ Trick Off โดยสายมัลติมิเตอร์สีแดงแตะขั้วที่ขา D ไว้ และสายมัลติมิเตอร์สีดำแตะขั้วที่ขา S แล้วย้ายสายสีดำไปแตะขั้วที่ขา G อย่างรวดเร็ว แล้วย้ายกลับมาแตะขั้วที่ขา S อีกครั้ง (ทำสลับไป-มา) เพื่อดูว่าเพตว่า OFF หรือไม่		ค่าที่อ่านได้..... การ Trick On มัลติมิเตอร์แสดงผล ดังนี้ การ Trick Off มัลติมิเตอร์แสดงผล ดังนี้ สรุป มอสเฟต ☐ ดี ☐ เสีย	
การวัดและทดสอบเอสซีอาร์			
1. วัดระหว่างขาที่ K กับขาที่ A วัดครั้งที่ 1 สายมัลติมิเตอร์สีแดงแตะขั้วที่ขา K สายสีดำแตะขั้วที่ขา A วัดครั้งที่ 2 สลับสายมัลติมิเตอร์ สายสีแดงแตะขั้วที่ขา A สายสีดำแตะขั้วที่ขา K		วัดครั้งที่ 1 ค่าที่อ่านได้ วัดครั้งที่ 2 ค่าที่อ่านได้	
2. วัดระหว่างขาที่ K กับขาที่ G วัดครั้งที่ 1 สายมัลติมิเตอร์สีแดงแตะขั้วที่ขา K สายมัลติมิเตอร์สีดำแตะขั้วที่ขา G วัดครั้งที่ 2 สลับสายมัลติมิเตอร์สายสีแดงแตะขั้วที่ขา G สายสีดำแตะขั้วที่ขา K		วัดครั้งที่ 1 ค่าที่อ่านได้ วัดครั้งที่ 2 ค่าที่อ่านได้	

	แบบบันผลใบงานที่ 4.2 (ต่อ)	หน่วยที่ 4
	ชื่อวิชา งานอิเล็กทรอนิกส์ยนต์เบื้องต้น รหัสวิชา 20101-2103	สอนครั้งที่ 9
	ชื่อหน่วย อุปกรณ์สารกึ่งตัวนำ	จำนวน 16 ชั่วโมง
ชื่อเรื่อง งานวัดและทดสอบเพตและเอสซีอาร์		จำนวน 3 ชั่วโมง
รายการวัดและทดสอบ		ผลการวัดและทดสอบ
การวัดและทดสอบเอสซีอาร์ (ต่อ)		
3. วัดระหว่างขาที่ A กับขาที่ G วัดครั้งที่ 1 สายมัลติมิเตอร์สีแดงแตะที่ขา A สายสีดำแตะที่ขา G วัดครั้งที่ 2 สลับสายมัลติมิเตอร์ สายสีแดงแตะ ที่ขา G สายสีดำแตะที่ขา A	วัดครั้งที่ 1 ค่าที่อ่านได้ วัดครั้งที่ 2 ค่าที่อ่านได้ สรุป เอสซีอาร์ ☐ ดี ☐ เสีย	

	แบบประเมินผลใบงานที่ 4.3				หน่วยที่ 4	
	ชื่อวิชา งานอิเล็กทรอนิกส์รถยนต์เบื้องต้น รหัสวิชา 20101-2103				สอนครั้งที่ 10	
	ชื่อหน่วย อุปกรณ์สารกึ่งตัวนำ				จำนวน 16 ชั่วโมง	
ชื่อเรื่อง งานวัดและทดสอบเฟตและเอสซีอาร์					จำนวน 3 ชั่วโมง	
ชื่อ-นามสกุล.....กลุ่ม.....เลขที่.....						
รายการ		ระดับคะแนน				
		3	2	1	0	
1. เตรียมเครื่องมือ อุปกรณ์ได้ถูกต้อง 2. ใช้มัลติมิเตอร์วัดและทดสอบมอสเฟตได้ถูกต้อง 3. การวัดและทดสอบมอสเฟตแบบ E มอสเฟต 4. การ Trick On และ Trick Off ให้ E มอสเฟต ชนิด N แชลแนล ให้ทำงานและหยุดทำงาน 5. การ Trick On และ Trick Off ให้มอสเฟต ชนิด P แชลแนล ให้ทำงานและหยุดทำงาน 6. ใช้มัลติมิเตอร์วัดและทดสอบเอสซีอาร์ได้ถูกต้อง 7. ทำการวัดและทดสอบเอสซีอาร์ได้ถูกต้อง 8. ปฏิบัติงานเสร็จตรงตามเวลา 9. ทำความสะอาดและจัดเก็บเครื่องมือ อุปกรณ์						เกณฑ์ประเมินระดับ คุณภาพ 21-27 ดีมาก 14-20 ดี 7-13 พอใช้ ต่ำกว่า 7 ต้องปรับปรุง
รวมคะแนนทั้งหมด						
ลงชื่อ.....ผู้เรียน (.....) ลงชื่อ.....ครูผู้สอน (นายจิรโรจน์ เลิศธนเปี่ยมสุข)						

เกณฑ์การประเมินใบงานที่ 4.3		
ระดับคะแนน	ระดับคะแนน	ระดับคะแนน
1. เตรียมเครื่องมือ อุปกรณ์ได้ถูกต้อง	4	เตรียมเครื่องมือ อุปกรณ์ได้ครบถ้วน ได้แก่ มัลติมิเตอร์ ดิจิตอล, มอสเฟต เบอร์ IRFP 250N จำนวน 4 ตัว, เอสซีอาร์ เบอร์ C106M จำนวน 4 ตัว
	3	เตรียมเครื่องมือ อุปกรณ์ ขาด 1 รายการ
	2	เตรียมเครื่องมือ อุปกรณ์ ขาด 2 รายการ
	1	ปฏิบัติไม่ถูกต้อง
2. ใช้มัลติมิเตอร์วัด และทดสอบมอสเฟต ได้ถูกต้อง	4	ใช้มัลติมิเตอร์วัดและทดสอบมอสเฟตได้ถูกต้อง ได้แก่ การ ติดตั้งสายวัดมัลติมิเตอร์ถูก, การปรับสวิตช์เลือกย่านวัด, วิธีการการวัด, การอ่านค่า, การอ่านหน่วยการวัด
	3	ใช้มัลติมิเตอร์วัดและทดสอบมอสเฟตไม่ถูกต้อง 1 รายการ
	2	ใช้มัลติมิเตอร์วัดและทดสอบมอสเฟตไม่ถูกต้อง 2 รายการ
	1	ใช้มัลติมิเตอร์วัดและทดสอบมอสเฟตไม่ถูกต้อง 3 รายการ ขึ้นไป
3. การวัดและทดสอบ มอสเฟตแบบ E มอส เฟต	4	วัดและทดสอบมอสเฟตแบบ E มอสเฟตได้ถูกต้อง ได้แก่ การคายประจุก่อนการวัด, การวัดระหว่างขาเดรนกับขา ซอส, การวัดระหว่างขาเกตกับขาเดรน, การสรุปชนิดของ มอสเฟต
	3	วัดและทดสอบมอสเฟตแบบ E มอสเฟตไม่ถูกต้อง 1 รายการ ได้แก่ การคายประจุก่อนการวัด, หรือการวัด ระหว่างขาเดรนกับขาซอส, หรือการวัดระหว่างขาเกตกับขา เดรน, หรือการสรุปชนิดของมอสเฟต
	2	วัดและทดสอบมอสเฟตแบบ E มอสเฟตไม่ถูกต้อง 2 รายการ
	1	วัดและทดสอบมอสเฟตแบบ E มอสเฟตไม่ถูกมากกว่า 2 รายการ

เกณฑ์การประเมินใบงานที่ 4.3		
ระดับคะแนน	ระดับคะแนน	ระดับคะแนน
4. การ Trick On และ Trick Off ให้ E มอสเฟตชนิด N แชลแนล ให้ทำงานและหยุดทำงาน	4	ทำการ Trick On และ Trick Off ให้ E มอสเฟตชนิด N แชลแนล ให้ทำงานและหยุดทำงานได้ถูกต้อง ได้แก่ การ Trick On ของ E มอสเฟต, การ Trick Off ของ E มอสเฟต, การสรุปอาการดีหรือเสียของมอสเฟต
	3	ทำการ Trick On และ Trick Off ให้ E มอสเฟตชนิด N แชลแนล ให้ทำงานและหยุดทำงานไม่ถูกต้อง 1 รายการ ได้แก่ หรือการ Trick On ของ E มอสเฟต, หรือการ Trick Off ของ E มอสเฟต, หรือการสรุปอาการดีหรือเสียของมอสเฟต
	2	ทำการ Trick On และ Trick Off ให้ E มอสเฟตชนิด N แชลแนล ให้ทำงานและหยุดทำงานไม่ถูกต้อง 2 รายการ
	1	ปฏิบัติไม่ถูกต้อง
5. การ Trick On และ Trick Off ให้ มอสเฟตชนิด P แชลแนล ให้ทำงานและหยุดทำงาน	4	ทำการ Trick On และ Trick Off ให้ E มอสเฟตชนิด N แชลแนล ให้ทำงานและหยุดทำงานได้ถูกต้อง ได้แก่ การ Trick On ของ E มอสเฟต, การ Trick Off ของ E มอสเฟต, การสรุปอาการดีหรือเสียของมอสเฟต
	3	ทำการ Trick On และ Trick Off ให้ E มอสเฟตชนิด N แชลแนล ให้ทำงานและหยุดทำงานไม่ถูกต้อง 1 รายการ ได้แก่ หรือการ Trick On ของ E มอสเฟต, หรือการ Trick Off ของ E มอสเฟต, หรือการสรุปอาการดีหรือเสียของมอสเฟต
	2	ทำการ Trick On และ Trick Off ให้ E มอสเฟตชนิด N แชลแนล ให้ทำงานและหยุดทำงานไม่ถูกต้อง 2 รายการ
	1	ปฏิบัติไม่ถูกต้อง

เกณฑ์การประเมินใบงานที่ 4.3		
ระดับคะแนน	ระดับคะแนน	ระดับคะแนน
6. ใช้มัลติมิเตอร์วัดและทดสอบเอสซีอาร์ได้ถูกต้อง	4	ใช้มัลติมิเตอร์วัดและทดสอบเอสซีอาร์ได้ถูกต้อง ได้แก่ การติดตั้งสายวัดมัลติมิเตอร์ถูก, การปรับสวิตช์เลือกย่านวัด, วิธีการการวัด, การอ่านค่า, การอ่านหน่วยการวัด,
	3	ใช้มัลติมิเตอร์วัดและทดสอบเอสซีอาร์ไม่ถูกต้อง 1 รายการ
	2	ใช้มัลติมิเตอร์วัดและทดสอบเอสซีอาร์ไม่ถูกต้อง 2 รายการ
	1	ใช้มัลติมิเตอร์วัดและทดสอบเอสซีอาร์ไม่ถูกต้อง 3 รายการขึ้นไป
7. ทำการวัดและทดสอบเอสซีอาร์ได้ถูกต้อง	4	ทำการวัดและทดสอบเอสซีอาร์ได้ถูกต้อง ได้แก่ การวัดระหว่างขา K กับขาที่ A ครั้งที่ 1, ระหว่างขา K กับขา A ครั้งที่ 2, การวัดระหว่างขาที่ K กับขาที่ G ครั้งที่ 1, การวัดระหว่างขาที่ K กับขาที่ G ครั้งที่ 2, การอ่านค่า, การสรุปอาการดีและเสีย
	3	ทำการวัดและทดสอบเอสซีอาร์ไม่ถูกต้อง 1 รายการ
	2	ทำการวัดและทดสอบเอสซีอาร์ไม่ถูกต้อง 2 รายการ
	1	ทำการวัดและทดสอบเอสซีอาร์ไม่ถูกต้อง 2 รายการขึ้นไป
8. ปฏิบัติงานเสร็จตรงตามเวลา	4	ปฏิบัติงานเสร็จตรงตามเวลาที่กำหนด
	3	ปฏิบัติงานเสร็จเกินเวลาที่กำหนด 1 นาที
	2	ปฏิบัติงานเสร็จเกินเวลาที่กำหนด 2 นาที
	1	ปฏิบัติงานเสร็จเกินเวลาที่กำหนด 2 นาทีขึ้นไป

เกณฑ์การประเมินใบงานที่ 4.3		
ระดับคะแนน	ระดับคะแนน	ระดับคะแนน
9. ทำความสะอาด และจัดเก็บเครื่องมือ อุปกรณ์	4	ทำความสะอาดเครื่องมืออุปกรณ์ครบทุกตัว จัดเก็บเครื่องมือ อุปกรณ์ครบทุกตัว ทำความสะอาดพื้นที่ปฏิบัติงาน
	3	ไม่ปฏิบัติตามใดอย่างหนึ่ง คือ ไม่ทำความสะอาดเครื่องมือ อุปกรณ์ หรือไม่จัดเก็บเครื่องมืออุปกรณ์ 1 ตัว หรือไม่ทำความ สะอาดพื้นที่ปฏิบัติงาน
	2	ไม่ปฏิบัติตามใดอย่างหนึ่ง คือ ไม่ทำความสะอาดเครื่องมือ อุปกรณ์ หรือไม่จัดเก็บเครื่องมืออุปกรณ์ 2 ตัวขึ้นไป หรือไม่ทำ ความสะอาดพื้นที่ปฏิบัติงาน
	1	ไม่ปฏิบัติ

	แบบประเมินคุณธรรม จริยธรรมและคุณลักษณะอันพึงประสงค์	หน่วยที่ 1	
	ชื่อวิชา งานอิเล็กทรอนิกส์ยนต์เบื้องต้น รหัสวิชา 20101-2103	สอนครั้งที่ 1-4	
	ชื่อหน่วย อุปกรณ์สารกึ่งตัวนำ	จำนวน 16 ชั่วโมง	
ชื่อ-สกุล.....ระดับชั้น.....กลุ่ม.....เลขที่.....			
คำชี้แจง ให้ครูผู้สอนสังเกตพฤติกรรมของผู้เรียนแล้วทำเครื่องหมาย ✓ ลงในช่องรายการประเมินพฤติกรรม			
คุณลักษณะอันพึงประสงค์	จุดพิจารณาพฤติกรรม	พฤติกรรม	
		มี	ไม่มี
มีความตรงต่อเวลาและความรับผิดชอบ	1. เข้าเรียนตรงตามเวลา		
	2. วางแผนปฏิบัติงานที่ได้รับมอบหมายเสร็จตามที่กำหนด		
	3. สามารถแก้ไขปัญหาที่ได้รับมอบหมายเสร็จตามที่กำหนด		
	4. ปฏิบัติงานที่ได้รับมอบหมายเสร็จตามกำหนด		
	5. ส่งงานที่ได้รับมอบหมายตามที่กำหนด		
มีความมีระเบียบวินัยและการแต่งกายเรียบร้อย	1. ทรงผมถูกต้องตามระเบียบและข้อบังคับ		
	2. กระโปรง/กางเกงถูกต้องตามระเบียบและข้อบังคับ		
	3. รองเท้า ถุงเท้าถูกต้องตามระเบียบข้อบังคับ		
	4. แต่งกายสะอาด เรียบร้อย		
	5. มีความพร้อมในการเรียนและการปฏิบัติงาน		
มีความประณีตรอบคอบและปลอดภัย	1. ปฏิบัติงานโดยคำนึงถึงความปลอดภัยต่อตนเองและผู้อื่น		
	2. ใช้เครื่องมือถูกต้องเหมาะสมกับงาน		
	3. ปฏิบัติงานด้วยความประณีต และรอบคอบ		
	4. แก้ไขปัญหาในการปฏิบัติงานได้		
	5. มีการวางแผนก่อนการปฏิบัติงานอย่างรอบคอบ		
มีความสะอาด และรักษาสภาพแวดล้อม	1. รักษาความสะอาดตนเองและส่วนรวม		
	2. รักษาความสะอาดห้องเรียนและสภาพแวดล้อม		
	3. ทำความสะอาดเครื่องมือ อุปกรณ์ได้ครบทุกตัว		
	4. บำรุงรักษาเครื่องมือ อุปกรณ์		
	5. จัดเก็บเครื่องมือ อุปกรณ์ ได้อย่างเรียบร้อย		
รวม			

	แบบสรุปประเมินคุณธรรม จริยธรรมและคุณลักษณะอันพึงประสงค์					หน่วยที่ 4	
	ชื่อวิชา งานอิเล็กทรอนิกส์รถยนต์เบื้องต้น รหัสวิชา 20101-2103					สอนครั้งที่ 7 - 10	
	ชื่อหน่วย อุปกรณ์สารกึ่งตัวนำ					จำนวน 16 ชั่วโมง	
เลขที่	ชื่อ-สกุล	คะแนน คุณลักษณะอันพึงประสงค์รายข้อ				สรุป	
		มีความตรงต่อเวลาและ ความรับผิดชอบ	มีระเบียบวินัยและการ แต่งกายเรียบร้อย	มีความรับผิดชอบ รอบคอบ และปลอดภัย	มีความสะอาด และรักษาสภาพแวดล้อม	คะแนน เฉลี่ย	ระดับ คุณภาพ
1							
2							
3							
4							
5							
6							
7							
8							
9							
10							
11							
12							
13							
14							
15							
16							
17							
18							
19							
20							

เลขที่	ชื่อ-สกุล	คะแนน คุณลักษณะอันพึงประสงค์รายข้อ				สรุป	
		มีความตรงต่อเวลา และความรับผิดชอบ	มีระเบียบวินัยและการแต่ง กายเรียบร้อย	มีความประพฤติ รอบคอบ และปลอดภัย	มีความสะอาด และรักษาสภาพแวดล้อม	คะแนน เฉลี่ย	ระดับ คุณภาพ
21							
22							
23							
24							
25							
26							
27							
28							
29							
30							
31							
32							
33							
34							
35							
36							
37							
38							
39							
รวม							

ลงชื่อ.....ผู้ประเมิน
(นายจิรโรจน์ เลิศชนเปี่ยมสุข)

	เกณฑ์การประเมินคุณธรรม จริยธรรม ค่านิยมและคุณลักษณะที่พึงประสงค์		หน่วยที่ 4
	ชื่อวิชา งานอิเล็กทรอนิกส์รถยนต์เบื้องต้น รหัสวิชา 2101-2103		
	ชื่อหน่วย อุปกรณ์สารกึ่งตัวนำ		จำนวน 16 ชั่วโมง
ข้อที่	คุณลักษณะที่พึงประสงค์	จุดพิจารณาพฤติกรรม	
1	มีความตรงต่อเวลา และความรับผิดชอบ	1. เข้าเรียนตรงตามเวลา 2. วางแผนปฏิบัติงานที่ได้รับมอบหมายเสร็จตามที่กำหนด 3. สามารถแก้ไขปัญหาที่ได้รับมอบหมายเสร็จตามที่กำหนด 4. ปฏิบัติงานที่ได้รับมอบหมายเสร็จตามที่กำหนด 5. มีความสนใจใฝ่รู้ มีการศึกษาค้นคว้าด้วยตนเอง	
2	มีความมีระเบียบวินัย และการแต่งกายเรียบร้อย	1. ทรงผมถูกต้องตามระเบียบและข้อบังคับ 2. กระโปรง/กางเกงถูกต้องตามระเบียบและข้อบังคับ 3. รองเท้า ถุงเท้าถูกต้องตามระเบียบข้อบังคับ 4. แต่งกายสะอาด เรียบร้อย 5. มีความความร่วมมือในการเรียนและการปฏิบัติงาน	
3	มีความประณีต รอบคอบ และปลอดภัย	1. ปฏิบัติงานโดยคำนึงถึงความปลอดภัยต่อตนเองและผู้อื่น 2. ใช้เครื่องมือถูกต้องเหมาะสมกับงาน 3. ปฏิบัติงานด้วยความประณีต และรอบคอบ 4. แก้ไขปัญหาในการปฏิบัติงานได้ 5. มีการวางแผนก่อนการปฏิบัติงานอย่างรอบคอบ	
4	มีความสะอาด และรักษาสภาพแวดล้อม	1. รักษาความสะอาดตนเองและส่วนรวม 2. รักษาความสะอาดห้องเรียนและสภาพแวดล้อม 3. ทำความสะอาดเครื่องมือ อุปกรณ์ได้ครบทุกตัว 4. บำรุงรักษาเครื่องมือ อุปกรณ์ 5. จัดเก็บเครื่องมือ อุปกรณ์ ได้อย่างเรียบร้อย	

เกณฑ์การให้คะแนน

จุดพิจารณาพฤติกรรม	ค่าคะแนน	ระดับคุณภาพ
ปฏิบัติครบทุกประเด็น	5	ดีมาก
ปฏิบัติได้ 4 ประเด็น	4	ดี
ปฏิบัติได้ 3 ประเด็น	3	ปานกลาง
ปฏิบัติได้ 1-2 ประเด็น	2	น้อย
ปฏิบัติไม่ได้ทุกประเด็น	1	น้อยมาก

สรุปคะแนนผลการประเมินคุณธรรม จริยธรรมและคุณลักษณะอันพึงประสงค์ คะแนนรวม
ทุกรายการ (4 รายการ) มีคะแนนเต็ม 20 คะแนน และใช้เกณฑ์พิจารณาสรุปผลการประเมินผู้เรียน
รายบุคคล ดังนี้

คะแนน	17 – 20	คะแนน	หมายถึง	มีคุณภาพพระดับดีมาก
คะแนน	13 – 16	คะแนน	หมายถึง	มีคุณภาพพระดับดี
คะแนน	9 – 12	คะแนน	หมายถึง	มีคุณภาพพระดับปานกลาง
คะแนน	5 – 8	คะแนน	หมายถึง	มีคุณภาพพระดับน้อย
คะแนน	1 – 4	คะแนน	หมายถึง	มีคุณภาพพระดับน้อยมาก

		แบบสังเกตพฤติกรรมการเรียนรู้															หน่วยที่ 4					
		ชื่อวิชา งานอิเล็กทรอนิกส์รถยนต์เบื้องต้น รหัสวิชา 2101-2103															สอนครั้งที่ 7-10					
		ชื่อหน่วย อุปกรณ์สารกึ่งตัวนำ															จำนวน 16 ชั่วโมง					
ที่	ชื่อ- นามสกุล	พฤติกรรม																				เฉลี่ย
		ความสนใจใฝ่รู้					ความร่วมมือ					การแลกเปลี่ยนเรียนรู้					การทำงานเป็นทีม					
1		5	4	3	2	1	5	4	3	2	1	5	4	3	2	1	5	4	3	2	1	
2																						
3																						
4																						
5																						
6																						
7																						
8																						
9																						
10																						
11																						
12																						
13																						
14																						
15																						
16																						
17																						
18																						

ลงชื่อผู้สังเกต

(นายจิรโรจน์ เลิศธนเปี่ยมสุข)

...../...../.....

เกณฑ์การประเมิน

ระดับ 5 หมายถึง มีพฤติกรรมการเรียนรู้อยู่ในระดับมากที่สุด

ระดับ 4 หมายถึง มีพฤติกรรมการเรียนรู้ในระดับมาก

ระดับ 3 หมายถึง มีพฤติกรรมการเรียนรู้ในระดับปานกลาง

ระดับ 2 หมายถึง มีพฤติกรรมการเรียนรู้ในระดับน้อย

ระดับ 1 หมายถึง มีพฤติกรรมการเรียนรู้ในระดับน้อยที่สุด

การแปลความหมายของระดับคะแนน มีดังนี้

คะแนน 4.51 – 5.00 หมายถึง มีพฤติกรรมการเรียนรู้ในระดับมากที่สุด

คะแนน 3.51 – 4.50 หมายถึง มีพฤติกรรมการเรียนรู้ในระดับมาก

คะแนน 2.51 – 3.50 หมายถึง มีพฤติกรรมการเรียนรู้ในระดับปานกลาง

คะแนน 1.51 – 2.50 หมายถึง มีพฤติกรรมการเรียนรู้ในระดับน้อย

คะแนน 1.00 – 1.50 หมายถึง มีพฤติกรรมการเรียนรู้ในระดับน้อยที่สุด

เกณฑ์การประเมินพฤติกรรมการเรียนรู้		
หัวข้อประเมิน	ระดับคะแนน	จุดพิจารณาการให้คะแนน
1. ความสนใจใฝ่รู้	5	แสดงความกระตือรือร้นในการเรียนรู้สิ่งใหม่อย่างต่อเนื่อง ตั้งคำถาม แสดงการคิดวิเคราะห์ ค้นคว้าข้อมูลเพิ่มเติม เชื่อมโยงความรู้ใหม่กับประสบการณ์เดิมและนำไปประยุกต์ใช้ สร้างแรงบันดาลใจให้ผู้อื่นเกิดความสนใจเรียนรู้
	4	แสดงความสนใจในการเรียนรู้เป็นประจำ ตั้งคำถามที่แสดงความสนใจและความเข้าใจ ค้นคว้าข้อมูลเพิ่มเติม เมื่อได้รับการสนับสนุน สามารถเชื่อมโยงความรู้และนำไปใช้ได้ มีส่วนร่วมในการสร้างบรรยากาศการเรียนรู้ แสดงความคิดสร้างสรรค์เป็นครั้งคราว
	3	แสดงความสนใจในการเรียนรู้เมื่อได้รับการกระตุ้น ตั้งคำถามเมื่อไม่เข้าใจ ค้นคว้าข้อมูลตามที่ได้รับมอบหมาย เชื่อมโยงความรู้ได้เมื่อมีแนวทางชัดเจน มีส่วนร่วมในกิจกรรมการเรียนรู้เป็นบางครั้ง

เกณฑ์การประเมินพฤติกรรมการเรียนรู้		
หัวข้อประเมิน	ระดับคะแนน	จุดพิจารณาการให้คะแนน
	2	แสดงความสนใจในการเรียนรู้เป็นครั้งคราว ตั้งคำถามน้อยครั้งกว่าข้อมูลเมื่อได้รับการติดตาม เชื่อมโยงความรู้ได้บ้างแต่ยังไม่ชัดเจน มีส่วนร่วมในกิจกรรมเมื่อได้รับการกระตุ้น แสดงความคิดเห็นได้บ้างแต่ต้องการการช่วยเหลือ
	1	แสดงความสนใจในการเรียนรู้้น้อยมาก ไม่ตั้งคำถามหรือตั้งคำถามที่ไม่เกี่ยวข้อง ไม่ค้นคว้าข้อมูลแม้ได้รับการช่วยเหลือ ไม่มีส่วนร่วมในกิจกรรมการเรียนรู้ ไม่แสดงความคิดเห็นหรือแสดงความคิดเห็นที่ไม่เหมาะสม
2. ความร่วมมือ	5	แสดงความเต็มใจและความกระตือรือร้นในการร่วมมือ เคารพและยอมรับความแตกต่างของผู้อื่น สร้างบรรยากาศที่ดีและส่งเสริมการมีส่วนร่วมของทุกคน เป็นแบบอย่างในการแสดงความร่วมมือที่ดี
	4	แสดงความเต็มใจในการร่วมมือเป็นประจำ รับฟังและเคารพความคิดเห็นของผู้อื่น สามารถทำงานร่วมกับผู้อื่นได้อย่างมีประสิทธิภาพ มีส่วนร่วมในการสร้างบรรยากาศที่ดี ให้ความร่วมมือได้ดีในสถานการณ์ต่างๆ
	3	ร่วมมือในกิจกรรมตามที่ได้รับการขอร้อง รับฟังความคิดเห็นของผู้อื่นได้พอสมควร ทำงานร่วมกับผู้อื่นได้ในระดับพื้นฐาน มีความสัมพันธ์ที่ดีกับเพื่อนโดยทั่วไป ให้ความร่วมมือเมื่อเห็นประโยชน์ชัดเจน
	2	ร่วมมือในกิจกรรมเมื่อได้รับการกระตุ้น รับฟังความคิดเห็นได้บ้าง ทำงานร่วมกับผู้อื่นได้แต่ต้องการการช่วยเหลือ มีความสัมพันธ์กับเพื่อนในระดับพื้นฐาน ให้ความร่วมมือเมื่อได้รับการชี้แนะ
	1	ไม่ร่วมมือในกิจกรรมหรือต้องการการบังคับ ไม่รับฟังความคิดเห็นของผู้อื่น มีความยากลำบากในการทำงานร่วมกับผู้อื่น เป็นสาเหตุหลักของข้อขัดแย้งในกลุ่ม ไม่ให้ความร่วมมือ

เกณฑ์การประเมินพฤติกรรมการเรียนรู้		
หัวข้อประเมิน	ระดับคะแนน	จุดพิจารณาการให้คะแนน
3. การแลกเปลี่ยนเรียนรู้	5	แบ่งปันความรู้และประสบการณ์อย่างสม่ำเสมอ ตั้งคำถามที่กระตุ้นให้ผู้อื่นคิดวิเคราะห์ นำเสนอข้อมูลใหม่ๆ ที่น่าสนใจและเป็นประโยชน์ เป็นผู้นำในการสร้างชุมชนแห่งการเรียนรู้
	4	แบ่งปันความรู้และประสบการณ์เป็นประจำ ตั้งคำถามที่เหมาะสมและแสดงความสนใจต่อผู้อื่น นำเสนอข้อมูลได้อย่างชัดเจนและเข้าใจง่าย ช่วยส่งเสริมการแลกเปลี่ยนเรียนรู้ในกลุ่ม
	3	แบ่งปันความรู้เมื่อได้รับการกระตุ้น ตั้งคำถามเมื่อไม่เข้าใจหรือต้องการข้อมูลเพิ่มเติม นำเสนอข้อมูลได้เมื่อมีโอกาสมناسبة มีส่วนร่วมในการเรียนรู้ระดับพื้นฐาน ช่วยเหลือผู้อื่นเมื่อสามารถทำได้
	2	แบ่งปันรู้น้อยและต้องการการสนับสนุน ตั้งคำถามน้อย มีส่วนร่วมในการเรียนรู้เมื่อได้รับการกระตุ้น ช่วยเหลือผู้อื่นได้เป็นครั้งคราว
	1	ไม่แบ่งปันความรู้ ไม่ตั้งคำถามหรือตั้งคำถามที่ไม่เกี่ยวข้องไม่มีส่วนร่วมในการเรียนรู้แม้ได้รับการสนับสนุน ไม่ช่วยเหลือผู้อื่นหรือให้การช่วยเหลือที่ไม่เหมาะสม
4. การทำงานเป็นทีม	5	แสดงทักษะการเป็นผู้นำและผู้ตามที่ยืดหยุ่นตามสถานการณ์ สื่อสารอย่างมีประสิทธิภาพ เป็นตัวอย่างในการสร้างวัฒนธรรมการทำงานเป็นทีมที่ดี
	4	มีบทบาทที่ชัดเจนและปฏิบัติหน้าที่ได้ตัวอย่างสม่ำเสมอ สื่อสารกับสมาชิกในทีมได้อย่างเหมาะสม สนับสนุนและให้กำลังใจแก่สมาชิกทีมอย่างสม่ำเสมอ แสดงภาวะผู้นำเมื่อจำเป็น
	3	ปฏิบัติหน้าที่ตามที่ได้รับมอบหมายโดยทั่วไป สื่อสารกับสมาชิกทีมได้ในระดับพื้นฐาน ให้การสนับสนุนแก่สมาชิกทีมเมื่อมีโอกาส มีส่วนร่วมในกิจกรรมทีมตามแบบปกติ แสดงความเป็นผู้นำเป็นครั้งคราว

เกณฑ์การประเมินพฤติกรรมการเรียนรู้		
หัวข้อประเมิน	ระดับคะแนน	จุดพิจารณาการให้คะแนน
	2	ปฏิบัติหน้าที่ได้บางส่วนและต้องการการช่วยเหลือสื่อสารกับสมาชิกทีมได้บ้างแต่ไม่สม่ำเสมอ ให้การสนับสนุนแก่สมาชิกทีมเป็นครั้งคราว แสดงความเป็นผู้นำได้น้อย
	1	ไม่ปฏิบัติหน้าที่หรือต้องการการควบคุมอย่างใกล้ชิด ไม่ช่วยแก้ไขปัญหาคือเป็นสาเหตุของปัญหา ไม่ให้การสนับสนุนหรือสร้างความขัดแย้งในทีม ไม่มีส่วนร่วมในทีม แม้ได้รับการช่วยเหลือ ไม่แสดงความเป็นผู้นำ

บันทึกหลังการสอน			
ชื่อวิชางานอิเล็กทรอนิกส์รถยนต์เบื้องต้น รหัสวิชา 20101-2103		2 (4)	สอนครั้งที่ 7
หน่วยที่ 4 ชื่อหน่วย อุปกรณ์สารกึ่งตัวนำ			จำนวน 4 ชั่วโมง
ข้อที่	หลักการของการจัดการเรียนรู้	ผลที่เกิดการจัดการเรียนรู้ในชั้นเรียน	บันทึก/ร่องรอย
1	ผู้เรียนสามารถเข้าถึงสิ่งที่เรียนและเข้าใจบทเรียน	ผู้เรียนเข้าใจในหลักสูตร/วัตถุประสงค์ของบทเรียน/การวัดประเมินผล/สื่อ ที่ครูจะนำมาใช้ในการประกอบกิจกรรมการเรียนการสอน	มีโครงการสอน
2	ผู้เรียนสามารถเชื่อมโยงความรู้หรือประสบการณ์เดิมกับการเรียนรู้ใหม่	ครูอธิบายเชื่อมโยงประสบการณ์เดิมกับเนื้อหาใหม่ ให้ผู้เรียนได้เข้าใจเป็นอย่างดีโดยเฉพาะหน้าที่ ชนิดสารกึ่งตัวนำและการอ่านค่าสารกึ่งตัวนำและการตรวจสอบสารกึ่งตัวนำ	มีแผนการสอน
3	ผู้เรียนได้สร้างความรู้เอง หรือได้สร้างประสบการณ์ใหม่จากการเรียนรู้	ผู้เรียนได้ปรับเปลี่ยนวิธีการใหม่ๆในการเรียนรู้ด้วยตนเองจากการทำกิจกรรมกลุ่มและสืบค้นจากสื่อต่างๆ	แบบฝึกหัด/ใบงาน
4	ผู้เรียนได้รับการกระตุ้นและเกิดแรงจูงใจในการเรียนรู้	ขณะประกอบกิจกรรมครูได้สังเกตพัฒนาการของผู้เรียนแล้วได้กระตุ้นให้ผู้เรียนมีความตั้งใจ จูงใจให้มุ่งมั่นในการเรียนรู้อย่างทั่วถึงทุกคน	แบบฝึกหัด/ใบงาน/แบบสังเกตพฤติกรรม
5	ผู้เรียนได้รับการพัฒนาทักษะความเชี่ยวชาญจากการเรียนรู้	ผู้เรียนทุกคนได้ฝึกทักษะตามใบงานใบมอบงาน และกิจกรรมต่างๆที่ครูกำหนดเพื่อพัฒนาทักษะ ให้มีความเชี่ยวชาญตามวัตถุประสงค์การจัดการเรียนรู้	แบบฝึกหัด/ใบงาน/
6	ผู้เรียนได้รับข้อมูลสะท้อนกลับเพื่อปรับปรุงการเรียนรู้	ผลจากการสังเกตผู้เรียนระหว่างการเรียนรู้และจากแบบประเมินใบงาน กิจกรรมต่าง ๆ และแบบฝึกหัด ครูได้สะท้อนกลับข้อมูลให้ผู้เรียนทุกคนได้รับรู้ผลการพัฒนาตนเองเพื่อให้ผู้เรียนได้ปรับปรุงผลการเรียนรู้ของตนเอง	แบบสังเกตพฤติกรรม/แบบประเมิน

บันทึกหลังการสอน (ต่อ)			
ชื่อวิชางานอิเล็กทรอนิกส์รถยนต์เบื้องต้น รหัสวิชา 2101-2103 2 (4) สอนครั้งที่ 7			
หน่วยที่ 4 ชื่อหน่วย อุปกรณ์สารกึ่งตัวนำ			จำนวน 4 ชั่วโมง
7	ผู้เรียนได้รับการพัฒนาการเรียนรู้ในบรรยากาศชั้นเรียนที่เหมาะสม	ครูได้ให้ผู้เรียนร่วมอภิปรายตอบคำถามและแสดงความคิดเห็นในบรรยากาศชั้นเรียนที่ผู้เรียนเรียนอย่างมีความสุข ผู้เรียนส่วนใหญ่ร้อยละ 80 กล้าแสดงออกโดยเฉพาะการตอบคำถามที่ครูถามในชั้นเรียนและการร่วมกิจกรรม	แบบสังเกตพฤติกรรม/ แบบประเมิน
8	ผู้เรียนสามารถกำกับการเรียนรู้และมีการเรียนรู้แบบนำตนเอง	ครูเปิดโอกาสให้ผู้เรียนได้กำหนดเป้าหมายและรูปแบบการค้นคว้าฝึกฝนเรียนรู้อย่างต่อเนื่องโดยครูมอบหมายใบมอบงานให้ผู้เรียนไปสืบค้นตามความถนัดและความสะดวกของผู้เรียนแบบนำตนเอง	ใบมอบงาน/ แบบประเมิน

บันทึกหลังการสอน			
ชื่อวิชางานอิเล็กทรอนิกส์รถยนต์เบื้องต้น		รหัสวิชา 20101-2103	2 (4) สอนครั้งที่ 8
หน่วยที่ 4 ชื่อหน่วย อุปกรณ์สารกึ่งตัวนำ		จำนวน 4 ชั่วโมง	
ข้อที่	หลักการของการจัดการเรียนรู้	ผลที่เกิดการจัดการเรียนรู้ในชั้นเรียน	บันทึก/ ร่องรอย
1	ผู้เรียนสามารถเข้าถึงสิ่งที่เรียนและเข้าใจบทเรียน	ผู้เรียนเข้าใจในหลักสูตร/วัตถุประสงค์ของบทเรียน/การวัดประเมินผล/สื่อ ที่ครูจะนำมาใช้ในการประกอบกิจกรรมการเรียนการสอน	มีโครงการสอน
2	ผู้เรียนสามารถเชื่อมโยงความรู้หรือประสบการณ์เดิมกับการเรียนรู้ใหม่	ครูอธิบายเชื่อมโยงประสบการณ์เดิมกับเนื้อหาใหม่ ให้ผู้เรียนได้เข้าใจเป็นอย่างดีโดยเฉพาะหน้าที่ของไดโอดและซีเนอร์ไดโอด ชนิดของไดโอดและซีเนอร์ไดโอด การวัดและตรวจสอบไดโอดและซีเนอร์ไดโอด	มีแผนการสอน
3	ผู้เรียนได้สร้างความรู้เองหรือได้สร้างประสบการณ์ใหม่จากการเรียนรู้	ผู้เรียนได้ปรับเปลี่ยนวิธีการใหม่ๆในการเรียนรู้ด้วยตนเองจากการทำกิจกรรมกลุ่มและสืบค้นจากสื่อต่างๆ	แบบฝึกหัด/ ใบงาน
4	ผู้เรียนได้รับการกระตุ้นและเกิดแรงจูงใจในการเรียนรู้	ขณะประกอบกิจกรรมครูได้สังเกตพัฒนาการของผู้เรียนแล้วได้กระตุ้นให้ผู้เรียนมีความตั้งใจ จูงใจให้มุ่งมั่นในการเรียนรู้อย่างทั่วถึงทุกคน	แบบฝึกหัด/ ใบงาน/แบบ สังเกต พฤติกรรม
5	ผู้เรียนได้รับการพัฒนาทักษะความเชี่ยวชาญจากการเรียนรู้อย่างต่อเนื่อง	ผู้เรียนทุกคนได้ฝึกทักษะตามใบงานใบมอบงาน และกิจกรรมต่างๆที่ครูกำหนดเพื่อพัฒนาทักษะให้มีความเชี่ยวชาญตามวัตถุประสงค์การจัดการเรียนรู้	แบบฝึกหัด/ ใบงาน/
6	ผู้เรียนได้รับข้อมูลสะท้อนกลับเพื่อปรับปรุงการเรียนรู้	ผลจากการสังเกตผู้เรียนระหว่างการเรียนรู้และจากแบบประเมินใบงาน กิจกรรมต่าง ๆ และแบบฝึกหัด ครูได้สะท้อนกลับข้อมูลให้ผู้เรียนทุกคนได้รับรู้ผลการพัฒนาตนเองเพื่อให้ผู้เรียนได้ปรับปรุงผลการเรียนรู้ของตนเอง	แบบสังเกต พฤติกรรม/ แบบประเมิน

บันทึกหลังการสอน (ต่อ)			
ชื่อวิชางานอิเล็กทรอนิกส์รถยนต์เบื้องต้น		รหัสวิชา 20101-2103	2 (4) สอนครั้งที่ 8
หน่วยที่ 4 ชื่อหน่วย อุปกรณ์สารกึ่งตัวนำ			จำนวน 4 ชั่วโมง
7	ผู้เรียนได้รับการพัฒนาการเรียนรู้ในบรรยากาศชั้นเรียนที่เหมาะสม	ครูได้ให้ผู้เรียนร่วมอภิปรายตอบคำถามและแสดงความคิดเห็นในบรรยากาศชั้นเรียนที่ผู้เรียนเรียนอย่างมีความสุข ผู้เรียนส่วนใหญ่ร้อยละ 80 กล้าแสดงออกโดยเฉพาะการตอบคำถามที่ครูถามในชั้นเรียนและการร่วมกิจกรรม	แบบสังเกตพฤติกรรม/ แบบประเมิน
8	ผู้เรียนสามารถกำกับการเรียนรู้และมีการเรียนรู้แบบนำตนเอง	ครูเปิดโอกาสให้ผู้เรียนได้กำหนดเป้าหมายและรูปแบบการค้นคว้าฝึกฝนเรียนรู้อย่างต่อเนื่องโดยครูมอบหมายใบมอบงานให้ผู้เรียนไปสืบค้น ตามความถนัดและความสะดวกของผู้เรียนแบบนำตนเอง	ใบมอบงาน/ แบบประเมิน

บันทึกหลังการสอน			
ชื่อวิชางานอิเล็กทรอนิกส์รถยนต์เบื้องต้น		รหัสวิชา 20101-2103	2 (4) สอนครั้งที่ 9
หน่วยที่ 4 ชื่อหน่วย อุปกรณ์สารกึ่งตัวนำ		จำนวน 4 ชั่วโมง	
ข้อที่	หลักการของการจัดการเรียนรู้	ผลที่เกิดการจัดการเรียนรู้ในชั้นเรียน	บันทึก/ร่องรอย
1	ผู้เรียนสามารถเข้าถึงสิ่งที่เรียนและเข้าใจบทเรียน	ผู้เรียนเข้าใจในหลักสูตร/วัตถุประสงค์ของบทเรียน/การวัดประเมินผล/สื่อ ที่ครูจะนำมาใช้ในการประกอบกิจกรรมการเรียนการสอน	มีโครงการสอน
2	ผู้เรียนสามารถเชื่อมโยงความรู้หรือประสบการณ์เดิมกับการเรียนรู้ใหม่	ครูอธิบายเชื่อมโยงประสบการณ์เดิมกับเนื้อหาใหม่ ให้ผู้เรียนได้เข้าใจเป็นอย่างดีโดยเฉพาะหน้าที่ ชนิด หลักการทำงาน การวัดและทดสอบ ทรวนซิสเตอร์	มีแผนการสอน
3	ผู้เรียนได้สร้างความรู้เอง หรือได้สร้างประสบการณ์ใหม่จากการเรียนรู้	ผู้เรียนได้ปรับเปลี่ยนวิธีการใหม่ๆในการเรียนรู้ด้วยตนเองจากการทำกิจกรรมกลุ่มและสืบค้นจากสื่อต่างๆ	แบบฝึกหัด/ใบงาน
4	ผู้เรียนได้รับการกระตุ้นและเกิดแรงจูงใจในการเรียนรู้	ขณะประกอบกิจกรรมครูได้สังเกตพัฒนาการของผู้เรียนแล้วได้กระตุ้นให้ผู้เรียนมีความตั้งใจสูงใจให้มุ่งมั่นในการเรียนรู้อย่างทั่วถึงทุกคน	แบบฝึกหัด/ใบงาน/ แบบสังเกตพฤติกรรม
5	ผู้เรียนได้รับการพัฒนาทักษะความเชี่ยวชาญจากการเรียนรู้	ผู้เรียนทุกคนได้ฝึกทักษะตามใบงานใบมอบงาน และกิจกรรมต่างๆที่ครูกำหนดเพื่อพัฒนาทักษะให้มีความเชี่ยวชาญตามวัตถุประสงค์การจัดการเรียนรู้	แบบฝึกหัด/ใบงาน/
6	ผู้เรียนได้รับข้อมูลสะท้อนกลับเพื่อปรับปรุงการเรียนรู้	ผลจากการสังเกตผู้เรียนระหว่างการเรียนรู้และจากแบบประเมินใบงาน กิจกรรมต่าง ๆ และแบบฝึกหัด ครูได้สะท้อนกลับข้อมูลให้ผู้เรียนทุกคนได้รับรู้ผลการพัฒนาดตนเองเพื่อให้ผู้เรียนได้ปรับปรุงผลการเรียนรู้ของตนเอง	แบบสังเกต พฤติกรรม/แบบประเมิน

บันทึกหลังการสอน (ต่อ)			
ชื่อวิชางานอิเล็กทรอนิกส์รถยนต์เบื้องต้น		รหัสวิชา 20101-2103	2 (4) สอนครั้งที่ 9
หน่วยที่ 4 ชื่อหน่วย อุปกรณ์สารกึ่งตัวนำ			จำนวน 4 ชั่วโมง
7	ผู้เรียนได้รับการพัฒนาการเรียนรู้ในบรรยากาศชั้นเรียนที่เหมาะสม	ครูได้ให้ผู้เรียนร่วมอภิปรายตอบคำถามและแสดงความคิดเห็นในบรรยากาศชั้นเรียนที่ผู้เรียนเรียนอย่างมีความสุข ผู้เรียนส่วนใหญ่ร้อยละ 80 กล้าแสดงออกโดยเฉพาะการตอบคำถามที่ครูถามในชั้นเรียนและการร่วมกิจกรรม	แบบสังเกตพฤติกรรม/แบบประเมิน
8	ผู้เรียนสามารถกำกับการเรียนรู้และมีการเรียนรู้แบบนำตนเอง	ครูเปิดโอกาสให้ผู้เรียนได้กำหนดเป้าหมายและรูปแบบการค้นคว้าฝึกฝนเรียนรู้อย่างต่อเนื่องโดยครูมอบหมายใบมอบงานให้ผู้เรียนไปสืบค้น ตามความถนัดและความสะดวกของผู้เรียนแบบนำตนเอง	ใบมอบงาน/แบบประเมิน

บันทึกหลังการสอน			
ชื่อวิชางานอิเล็กทรอนิกส์รถยนต์เบื้องต้น รหัสวิชา 20101-2103		2 (4)	สอนครั้งที่ 10
หน่วยที่ 4 ชื่อหน่วย อุปกรณ์สารกึ่งตัวนำ			จำนวน 4 ชั่วโมง
ข้อที่	หลักการของการจัดการเรียนรู้	ผลที่เกิดการจัดการเรียนรู้ในชั้นเรียน	บันทึก/ร่องรอย
1	ผู้เรียนสามารถเข้าถึงสิ่งที่เรียนและเข้าใจบทเรียน	ผู้เรียนเข้าใจในหลักสูตร/วัตถุประสงค์ของบทเรียน/การวัดประเมินผล/สื่อ ที่ครูจะนำมาใช้ในการประกอบกิจกรรมการเรียนรู้การสอน	มีโครงการสอน
2	ผู้เรียนสามารถเชื่อมโยงความรู้หรือประสบการณ์เดิมกับการเรียนรู้ใหม่	ครูอธิบายเชื่อมโยงประสบการณ์เดิมกับเนื้อหาใหม่ ให้ผู้เรียนได้เข้าใจเป็นอย่างดี โดยเฉพาะหน้าที่ ชนิด หลักการทำงาน การวัดและทดสอบเพดและเอสซีอาร์	มีแผนการสอน
3	ผู้เรียนได้สร้างความรู้เอง หรือได้สร้างประสบการณ์ใหม่จากการเรียนรู้	ผู้เรียนได้ปรับเปลี่ยนวิธีการใหม่ๆในการเรียนรู้ด้วยตนเองจากการทำกิจกรรมกลุ่มและสืบค้นจากสื่อต่างๆ	แบบฝึกหัด/ใบงาน
4	ผู้เรียนได้รับการกระตุ้นและเกิดแรงจูงใจในการเรียนรู้	ขณะประกอบกิจกรรมครูได้สังเกตพัฒนาการของผู้เรียนแล้วได้กระตุ้นให้ผู้เรียนมีความตั้งใจสนใจให้มุ่งมั่นในการเรียนรู้อย่างทั่วถึงทุกคน	แบบฝึกหัด/ใบงาน/แบบสังเกตพฤติกรรม
5	ผู้เรียนได้รับการพัฒนาทักษะความเชี่ยวชาญจากการเรียนรู้	ผู้เรียนทุกคนได้ฝึกทักษะตามใบงานใบมอบงานและกิจกรรมต่างๆที่ครูกำหนดเพื่อพัฒนาทักษะให้มีความเชี่ยวชาญตามวัตถุประสงค์การจัดการเรียนรู้	แบบฝึกหัด/ใบงาน/
6	ผู้เรียนได้รับข้อมูลสะท้อนกลับเพื่อปรับปรุงการเรียนรู้	ผลจากการสังเกตผู้เรียนระหว่างการเรียนรู้และจากแบบประเมินใบงาน กิจกรรมต่าง ๆ และแบบฝึกหัด ครูได้สะท้อนกลับข้อมูลให้ผู้เรียนทุกคนได้รับรู้ผลการพัฒนาตนเองเพื่อให้ผู้เรียนได้ปรับปรุงผลการเรียนรู้ของตนเอง	แบบสังเกตพฤติกรรม/แบบประเมิน

บันทึกหลังการสอน (ต่อ)			
ชื่อวิชางานอิเล็กทรอนิกส์รถยนต์เบื้องต้น		รหัสวิชา 20101-2103	2 (4) สอนครั้งที่ 10
หน่วยที่ 4 ชื่อหน่วย อุปกรณ์สารกึ่งตัวนำ			จำนวน 4 ชั่วโมง
7	ผู้เรียนได้รับการพัฒนาการเรียนรู้ในบรรยากาศชั้นเรียนที่เหมาะสม	ครูได้ให้ผู้เรียนร่วมอภิปรายตอบคำถามและแสดงความคิดเห็นในบรรยากาศชั้นเรียนที่ผู้เรียนเรียนอย่างมีความสุข ผู้เรียนส่วนใหญ่ร้อยละ 80 กล้าแสดงออกโดยเฉพาะการตอบคำถามที่ครูถามในชั้นเรียนและการร่วมกิจกรรม	แบบสังเกตพฤติกรรม/แบบประเมิน
8	ผู้เรียนสามารถกำกับการเรียนรู้และมีการเรียนรู้แบบนำตนเอง	ครูเปิดโอกาสให้ผู้เรียนได้กำหนดเป้าหมายและรูปแบบการค้นคว้าฝึกฝนเรียนรู้อย่างต่อเนื่อง โดยครูมอบหมายใบมอบงานให้ผู้เรียนไปสืบค้นตามความถนัดและความสะดวกของผู้เรียนแบบนำตนเอง	ใบมอบงาน/แบบประเมิน

บรรณานุกรม

พันธ์ศักดิ์ พุฒิมานิตพงศ์ และคณะ. (2562). งานไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์เบื้องต้น รหัสวิชา 20100 - 1005.

กรุงเทพฯ : ศูนย์ส่งเสริมอาชีวะ.

อำพล ชี้อตรง. (2564). งานอิเล็กทรอนิกส์รถยนต์เบื้องต้น. กรุงเทพฯ : สำนักพิมพ์ศูนย์ส่งเสริมวิชาการ.

[https; //pomtepelec.blogspot.com/2019/03/5.html](https://pomtepelec.blogspot.com/2019/03/5.html). เรียกใช้เมื่อวันที่ 19 มิถุนายน 2565.
จากวิกิพีเดีย.

ภาคผนวก

สื่อประกอบการสอน



ตะกั่ว



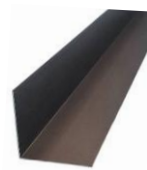
ตีบุก



เหล็ก



ทองแดง



อลูมิเนียม



ผ้า



เทปพันสายไฟ



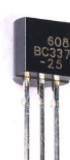
กระดาษเทปกาว



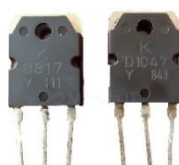
ไม้แห้ง

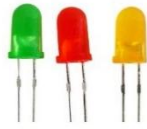


พีวีซี



ทรานซิสเตอร์ชนิดต่าง ๆ





ไดโอดเปล่งแสง



ไดโอดเรียงกระแส



วาระกเตอร์ไดโอด



ซีเนอร์ไดโอด



เลเซอร์ไดโอด



โฟโต้ไดโอด



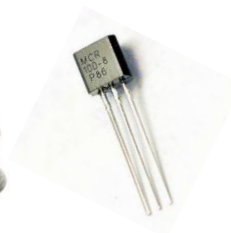
ไดโอดกำลัง



ซีเนอร์ไดโอด



E - MOSFET



เอสซีอาร์ลักษณะ



หม้อแปลง 220 ACV เป็น 12 DCV



มัลติมิเตอร์ดิจิทัล

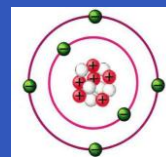


เพาเวอร์ซัพพลายแบบ DC



มัลติมิเตอร์แอนะล็อก

สื่ Power Point



ชุดการสอนที่ 4

เรื่อง อุปกรณ์สารกึ่งตัวนำ (semiconductor)

จุดประสงค์การเรียนรู้

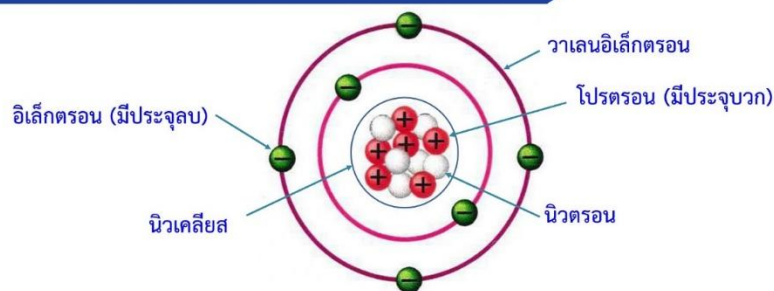
1. บอกโครงสร้างของอะตอมได้
2. บอกตัวนำ ฉนวน และสารกึ่งตัวนำได้
3. บอกคุณสมบัติของสารกึ่งตัวนำชนิด P และชนิด N ได้
4. บอกหน้าที่และหลักการทำงานของสารกึ่งตัวนำได้
5. อธิบายวิธีการวัดและทดสอบอุปกรณ์ สารกึ่งตัวนำได้
6. ปฏิบัติตามบัตรมอบงานได้
7. ปฏิบัติงานตามบัตรงานได้

จิรโรจน์ เลิศธนเปี่ยมสุข สาขาวิชาช่างยนต์ วิทยาลัยเทคนิคศรีสะเกษ

เนื้อหา ชุดการสอนที่ 4

1. โครงสร้างของอะตอม
2. ตัวนำ ฉนวน และสารกึ่งตัวนำ
3. คุณสมบัติของสารกึ่งตัวนำชนิด P และชนิด N
4. หน้าที่และหลักการทำงานของสารกึ่งตัวนำ
5. การวัดและทดสอบอุปกรณ์สารกึ่งตัวนำ

โครงสร้างของอะตอม



รูปที่ 4.1 โครงสร้างของอะตอม

จิรโรจน์ เลิศธนเปี่ยมสุข สาขาวิชาช่างยนต์ วิทยาลัยเทคนิคศรีสะเกษ

1 โครงสร้างของอะตอม

ธาตุที่เป็นสารกึ่งตัวนำ มีส่วนประกอบเล็ก ๆ เรียกว่า โมเลกุล มารวมตัวกันแต่ละโมเลกุล ประกอบด้วยส่วนที่เล็กที่สุดเรียกว่าอะตอม แปลว่า หน่วยย่อยที่เล็กที่สุดของสสารซึ่งไม่สามารถแบ่งให้เล็กลงไปอีก เช่น โมเลกุลของน้ำจะประกอบด้วยอะตอม 3 อะตอม คือ อะตอมของไฮโดรเจน (Hydrogen) 2 อะตอม และอะตอม ของออกซิเจน (Oxygen) 1 อะตอม มารวมกัน

จิรโรจน์ เลิศธนเปี่ยมสุข สาขาวิชาช่างยนต์ วิทยาลัยเทคนิคศรีสะเกษ

1 โครงสร้างของอะตอม

อิเล็กตรอนมีวงโคจรเป็นชั้น ๆ แต่ละชั้นมีระดับค่าพลังงานที่แน่นอน อิเล็กตรอนที่อยู่วงนอกสุดเรียกว่า วาเลนซ์อิเล็กตรอน (Valence Electron) จะมีระดับพลังงานมากที่สุด

โปรตอนมีศักย์ทางไฟฟ้าเป็นบวก
นิวตรอนมีศักย์ทางไฟฟ้าเป็นกลาง
อิเล็กตรอนมีศักย์ทางไฟฟ้าเป็นลบ

โปรตอนและอิเล็กตรอน
(นิวเคลียส) 1 ตัว
มีค่าประจุไฟฟ้า
 $= 1.60219 \times 10^{-19}$ คูลอมป์

1.1 วงอิเล็กตรอน

อิเล็กตรอนจะเคลื่อนที่รอบนิวเคลียสเป็นวงโคจร โดยมีแรงเหวี่ยงออกจากจุดศูนย์กลางแต่เนื่องจากถูกแรงดึงดูดของโปรตอนในนิวเคลียสดึงดูด ทำให้อิเล็กตรอนวิ่งเคลื่อนที่รอบนิวเคลียสเป็นวงโคจร มีระดับคงที่ระยะห่างเป็นวงๆ หลายระดับหลายระยะห่าง ขึ้นอยู่กับจำนวนอิเล็กตรอนและโปรตอน ในแต่ละอะตอมของวัตถุสารนั้น วงโคจรนี้เรียกว่า **วงอิเล็กตรอน**

จิรโรจน์ เลิศอนเปี่ยมสุข สาขาวิชาช่างยนต์ วิทยาลัยเทคนิคศรีสะเกษ

1.1 วงอิเล็กตรอน

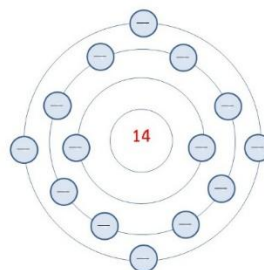
โครงสร้างภายนอกของวัตถุสารแต่ละชนิดมีความแตกต่างกัน เพราะว่าโครงสร้างแต่ละอะตอมของวัตถุสารแต่ละชนิดมีจำนวนโปรตอน นิวตรอน และอิเล็กตรอนไม่เท่ากัน ดังนั้นเมื่อรวมตัวเป็นโมเลกุล หรือรวมเป็นวัตถุ ทำให้โครงสร้างภายนอกที่เห็นแตกต่างกันไป ดังตัวอย่างวงอิเล็กตรอนของสารซิลิคอน ดังรูปที่ 4.2

จิรโรจน์ เลิศอนเปี่ยมสุข สาขาวิชาช่างยนต์ วิทยาลัยเทคนิคศรีสะเกษ

การจัดจำนวนอิเล็กตรอนที่วิ่งเคลื่อนที่ในแต่ละวงโคจรจะมีความแตกต่างกันมาตรฐานของจำนวนอิเล็กตรอนในแต่ละวง ทราบได้โดยใช้สูตรดังนี้

$$\text{จำนวนที่มากที่สุดของแต่ละวง} = 2n^2$$

เมื่อ n แทนลำดับวงโคจรที่อยู่ห่างออกไปจากนิวเคลียส

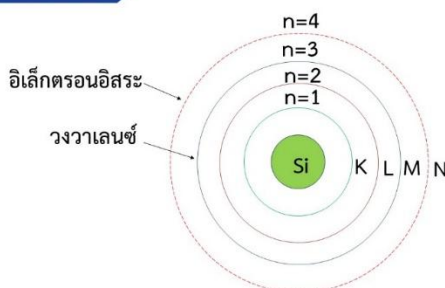


รูปที่ 4.2 วงอิเล็กตรอนของสารซิลิคอน
มีอิเล็กตรอน 14 ตัว

จิรโรจน์ เลิศอนเปี่ยมสุข สาขาวิชาช่างยนต์ วิทยาลัยเทคนิคศรีสะเกษ

ลำดับวงโคจรของอิเล็กตรอน
ที่วิ่งรอบนิวเคลียสเรียกว่า
ชั้นของวงโคจร (Shell)
กำกับด้วยตัวอักษรจากมากไปหา
น้อย คือ K,L,M,N,O,P และ Q

ชั้นวงโคจรแทนค่าด้วย
ตัวอักษร n



รูปที่ 4.3 โครงสร้างระดับพลังงานอะตอมของซิลิคอน

จิรโรจน์ เลิศอนเปี่ยมสุข สาขาวิชาช่างยนต์ วิทยาลัยเทคนิคศรีสะเกษ

อิเล็กตรอนที่วิ่งอยู่รอบๆ นิวเคลียส มีระดับพลังงานแตกต่างกัน ขึ้นอยู่กับค่า n
โดยที่ n เป็นเลขจำนวนเต็ม 1 2 3 4 โดยมีค่าต่ำสุดที่ n = 1
ระดับพลังงานนี้เป็นตัวกำหนด วงอิเล็กตรอน
ระดับพลังงานวงอิเล็กตรอนมีหน่วยเป็นอิเล็กตรอนโวลต์ (Electron Vole ; eV)
วงที่อยู่ใกล้นิวเคลียสมากที่สุดจะมีระดับ พลังงานต่ำสุด (n = 1)
วงนอกสุดมีระดับพลังงานสูงสุด
ชื่อวงอิเล็กตรอนเป็นตัวอักษรภาษาอังกฤษเรียงกัน K L M N O P Q
วง K มีระดับพลังงาน n = 1
วง L มีระดับพลังงาน n = 2
วง M มีระดับพลังงาน n = 3

จิรโรจน์ เลิศอนเปี่ยมสุข สาขาวิชาช่างยนต์ วิทยาลัยเทคนิคศรีสะเกษ

ระดับพลังงานต่ำสุด หมายถึง พลังงานในตัวอิเล็กตรอนวงนั้นมีค่าน้อย
เมื่อต้องการดึงเอาอิเล็กตรอนที่วิ่งออกมาจากอะตอม ต้องใช้พลังงานมาก เช่น พลังงาน
ความร้อน พลังงานไฟฟ้า ถ้าอิเล็กตรอนที่อยู่ในวงนอกมาก พลังงานในตัวอิเล็กตรอน
จะมากขึ้น ทำให้การดึงอิเล็กตรอนออกจากอะตอมได้ง่ายขึ้นใช้พลังงานน้อยลง
จำนวนอิเล็กตรอนมีได้มากสุดในแต่ละวงหรือแต่ละระดับพลังงาน มีค่าเท่ากับ $2n^2$
ดังตัวอย่าง ดังนี้

ระดับค่า n = 1 (วง K) มีอิเล็กตรอนได้มากที่สุด คือ $2(1)^2 = 2$ ตัว

ระดับค่า n = 5 (วง L) มีอิเล็กตรอนได้มากที่สุด คือ $2(5)^2 = 50$ ตัว

จิรโรจน์ เลิศอนเปี่ยมสุข สาขาวิชาช่างยนต์ วิทยาลัยเทคนิคศรีสะเกษ

ไม่ได้หมายความว่าทุกวงต้องมีอิเล็กตรอนให้เต็มจำนวน เพราะมีข้อกำหนดว่าวงนอกสุดจะมีอิเล็กตรอนได้ไม่เกิน 8 ตัว ยกตัวอย่างซิลิคอน มีอิเล็กตรอนทั้งสิ้น 14 ตัว สามารถแบ่งจำนวนอิเล็กตรอนในแต่ละวงได้ คือ

- วง K มี 2 ตัว
- วง L มี 8 ตัว
- วง M เป็นวงนอกสุด มี 4 ตัว

วงอิเล็กตรอนนอกสุดมีความสำคัญมาก เพราะเป็นตัวบ่งบอกว่าสารนั้นมีสามารถในการนำไฟฟ้าได้ดีเพียงไร

จิรโรจน์ เลิศอนเปี่ยมสุข สาขาวิชาช่างยนต์ วิทยาลัยเทคนิคศรีสะเกษ

วงอิเล็กตรอนนอกสุด เรียกว่า วงวาเลนซ์ (Valence Shell) และอิเล็กตรอนที่อยู่ในวงนี้ เรียกว่า วาเลนซ์อิเล็กตรอน (Valence Electron) วงอิเล็กตรอนนอกสุดหรือวงวาเลนซ์จะมีอิเล็กตรอนได้ไม่เกิน 8 ตัว โดยธรรมชาติของอะตอมจะพยายามจัดกลุ่มรวมกันเป็น โมเลกุลเพื่อให้อยู่ในสภาวะเสถียร

จิรโรจน์ เลิศอนเปี่ยมสุข สาขาวิชาช่างยนต์ วิทยาลัยเทคนิคศรีสะเกษ

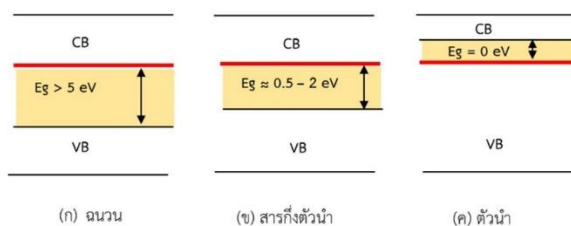
ถ้าหากสารใดมีวาเลนซ์อิเล็กตรอนไม่ครบ 8 ตัว จะพยายามหาทางทำให้ครบ วิธีการที่ทำให้อะตอมมีวาเลนซ์อิเล็กตรอนครบ 8 ตัว มีด้วยกัน 3 วิธี คือ

- 1) ให้อิเล็กตรอนไปกับอะตอมอื่น
- 2) รับอิเล็กตรอนจากอะตอมอื่น
- 3) ใช้อิเล็กตรอนร่วมกับอะตอมอื่น

วิธีการใช้อิเล็กตรอนร่วมกับอะตอมอื่น เรียกว่า พันธะโควาเลนซ์ (Covalence Bond)

จิรโรจน์ เลิศอนเปี่ยมสุข สาขาวิชาช่างยนต์ วิทยาลัยเทคนิคศรีสะเกษ

1.2 แถบพลังงาน



รูปที่ 4.4 แถบนำและแถบช่องว่างพลังงานของสสาร

1.2 แถบพลังงาน

อิเล็กตรอนในอะตอมมีระดับพลังงานได้หลายระดับ ซึ่งระดับพลังงานจะจัดเรียงเป็นแถบ เรียกว่า แถบพลังงาน (Energy Band)

แถบของระดับพลังงานที่อิเล็กตรอนสามารถอยู่ได้ เรียกว่า แถบยินยอม (Allow Band)

แถบของระดับพลังงานที่อิเล็กตรอนไม่สามารถอยู่ได้ เรียกว่า แถบต้องห้าม (Forbidden Band)

แถบพลังงานที่มีความสำคัญ คือ แถบพลังงานที่มีค่าสูงสุด ซึ่งเป็นแถบวาเลนซ์ของพลังงานอิเล็กตรอน เรียกว่า แถบวาเลนซ์ (Valence Band ; VB)

จิรโรจน์ เลิศอนแปงมสุข สาขาวิชาช่างยนต์ วิทยาลัยเทคนิคศรีสะเกษ

1.2 แถบพลังงาน

แถบยินยอมถัดจากแถบวาเลนซ์ขึ้นไป เรียกว่า แถบนำ (Conduction Band ; CB)

ระหว่างแถบวาเลนซ์กับแถบนำ มีช่องว่าง เรียกว่า แถบช่องว่างพลังงาน (Energy Gap ; E_g)

ถ้าอิเล็กตรอนในแถบวาเลนซ์ได้รับพลังงานมากกว่าแถบช่องว่างพลังงานวาเลนซ์อิเล็กตรอนนั้น จะเป็นอิเล็กตรอนอิสระ (Free Electron) หรือ อิเล็กตรอนนำกระแส (Conduction Electron) สามารถทำให้เกิดกระแสไฟฟ้าได้

จิรโรจน์ เลิศอนแปงมสุข สาขาวิชาช่างยนต์ วิทยาลัยเทคนิคศรีสะเกษ

วัสดุที่มีค่าแถบพลังงานมากจะนำไฟฟ้าได้ยาก เพราะต้องใช้พลังงานมากจึงจะเกิดอิเล็กตรอนอิสระนำไฟฟ้าได้

วัสดุที่มีค่าแถบช่องว่างพลังงานมากกว่า 5 อิเล็กตรอนโวลต์ (eV) ถูกจัดให้เป็นฉนวนไฟฟ้า (Insulator)

วัสดุที่มีค่าแถบช่องว่างพลังงานต่ำมากหรือเป็นศูนย์ จะมีอิเล็กตรอนจำนวนมากจะนำไฟฟ้าได้ดี มีคุณสมบัติเป็นตัวนำไฟฟ้า (Conductor)

แถบช่องว่างพลังงานสารกึ่งตัวนำ อยู่ระหว่าง 0.5 – 2 อิเล็กตรอนโวลต์ แต่จะมีระยะช่องว่างน้อยกว่าฉนวน

เจอร์เมเนียม มีค่าประมาณ 0.785 อิเล็กตรอนโวลต์

ซิลิคอน มีค่าประมาณ 1.21 อิเล็กตรอนโวลต์

จิรโรจน์ เลิศอนแปงมสุข สาขาวิชาช่างยนต์ วิทยาลัยเทคนิคศรีสะเกษ

2. ตัวนำ ฉนวน และสารกึ่งตัวนำ

ธาตุที่เป็นตัวนำ (Conductor) จะมีอิเล็กตรอนวงนอก 1-3 ตัว เมื่อได้รับพลังงานภายนอกมากจะทำ เช่น ความร้อน หรือ พลังงานไฟฟ้า อิเล็กตรอนจะหลุดออกมาจากวงโคจรเป็นอิเล็กตรอนอิสระ (Free Electron) ได้ ทำให้สามารถเคลื่อนตัวไปในสสารได้อย่างอิสระ เรียกการเคลื่อนตัวของอิเล็กตรอน (ประจุพาหะ) นี้ว่า กระแสไฟฟ้า

โดย จิรโรจน์ เลิศอนแปงมสุข สาขาวิชาช่างยนต์ วิทยาลัยเทคนิคศรีสะเกษ

ธาตุที่มีอิเล็กตรอนวงนอกตั้งแต่ 5-8 ตัว เรียกว่า ฉนวน (Insulator) จะมีสภาพการนำไฟฟ้าที่ไม่ดี เพราะมีอิเล็กตรอนอิสระน้อย

ธาตุที่มีอิเล็กตรอนวงนอก 4 ตัว เช่น ซิลิคอน (Silicon) และเจอร์เมเนียม (Germanium) จะมีสภาพการนำไฟฟ้าอยู่ระหว่างตัวนำและฉนวน เรียกว่า สารกึ่งตัวนำ (Semiconductor)

จิรโรจน์ เลิศอนแปงมสุข สาขาวิชาช่างยนต์ วิทยาลัยเทคนิคศรีสะเกษ

2.1 ตัวนำ (Conductor)

ตัวนำ คือ วัสดุที่มีคุณสมบัติยอมให้กระแสไฟฟ้าไหลผ่านไปได้ เช่น เงิน ทองแดง ทองเหลือง อลูมิเนียม สังกะสี นิกเกิล ตะกั่ว แพลทินัม ฯลฯ

วัสดุที่เป็นตัวนำที่ดีจะมีคุณสมบัติมีความต้านทานไฟฟ้าต่ำ มีการสูญเสียพลังงานไฟฟ้าน้อย

วัสดุที่เป็นตัวนำเมื่อเรียงตามความสามารถในการนำไฟฟ้าที่ดี ได้แก่ เงิน ทองแดง ทอง อลูมิเนียม เป็นต้น แต่เนื่องจากเงินมีราคาสูงมาก ทองแดงจึงถูกนำมาใช้หลากหลายมากกว่า

จิรโรจน์ เลิศอนเนียมสุข สาขาวิชาช่างยนต์ วิทยาลัยเทคนิคศรีสะเกษ



รูปที่ 4.5 วัสดุที่เป็นตัวนำ

จิรโรจน์ เลิศอนเนียมสุข สาขาวิชาช่างยนต์ วิทยาลัยเทคนิคศรีสะเกษ

2.2 ฉนวน (Insulator)

ฉนวน คือ วัสดุที่มีคุณสมบัติไม่ให้อิทธิพลไฟฟ้าไหลผ่านได้หรือมีความต้านทานไฟฟ้าสูง หรือไม่ยอมให้อิทธิพลไฟฟ้าไหลผ่าน อุปกรณ์ที่ทำมาจากฉนวนเพื่อป้องกันไฟฟ้า เช่น สายไฟ ฉนวนฉนวน ฉนวนฉนวน หรืออุปกรณ์ที่ใช้ในการป้องกันไฟดูด วัสดุที่เป็นฉนวนไฟฟ้า ได้แก่ พลาสติก กระเบื้อง ไม้แห้ง ยาง แก้ว ผ้า กระดาษ เป็นต้น

จิรโรจน์ เลิศอนเนียมสุข สาขาวิชาช่างยนต์ วิทยาลัยเทคนิคศรีสะเกษ



ผ้า

เทปพันสายไฟ

กระดาษเทปกาว

ไม้แห้ง

พีวีซี

รูปที่ 4.6 วัสดุที่เป็นฉนวน

จิรโรจน์ เลิศธนเปี่ยมสุข สาขาวิชาช่างยนต์ วิทยาลัยเทคนิคศรีสะเกษ

2.3 สารกึ่งตัวนำ (Semiconductor)

สารกึ่งตัวนำ คือ วัสดุที่มีคุณสมบัติในการนำไฟฟ้ามีความเป็นกลางระหว่างตัวนำกับฉนวน มีส่วนประกอบของเจอร์เมเนียม (Germanium) ซิลิคอน (Silicon) ซีลีเนียม (Selenium) และตะกั่วเทลลูไรด์ สารดังกล่าวมีคุณสมบัติ คือ

- มีจำนวนอิเล็กตรอนอิสระอยู่น้อย
- ไม่สามารถให้กระแสไฟฟ้าไหลจำนวนมาก ต้องปรุงแต่งโดยการเจือปนอะตอมของธาตุอื่นลงไป ในเนื้อสารให้ได้สารประกอบที่มีคุณสมบัติตามที่ต้องการ เรียกว่า สารกึ่งตัวนำไม่บริสุทธิ์ หรือสารกึ่งตัวนำแบบสารประกอบ
- ความเป็นตัวนำไฟฟ้าขึ้นอยู่กับอุณหภูมิและสารไม่บริสุทธิ์ที่เจือปน

2.4 สารกึ่งตัวนำบริสุทธิ์ (Intrinsic Semiconductor)

สารกึ่งตัวนำบริสุทธิ์ส่วนใหญ่มีส่วนประกอบของ ซิลิคอน (Silicon) และ เจอร์เมเนียม (Germanium)

อะตอมของซิลิคอน และเจอร์เมเนียม จับกันเป็นผลึกในรูปของพันธะโควาเลนต์ (Covalence Bond)

เพื่อให้อะตอมอยู่ในสภาพเสถียรต้องทำให้มีอิเล็กตรอนวงนอกสุดครบ 8 ตัว ต้องใช้อิเล็กตรอนร่วมกับอะตอมข้างเคียงอีก 4 อะตอม วาเลนซ์อิเล็กตรอน 4 ตัว เป็นของอะตอมสารกึ่งตัวนำในอะตอมนั้น ส่วนวาเลนซ์อิเล็กตรอนอีก 4 ตัว ใช้ร่วมกับอะตอมอื่น

2.4 สารกึ่งตัวนำบริสุทธิ์ (Intrinsic Semiconductor)

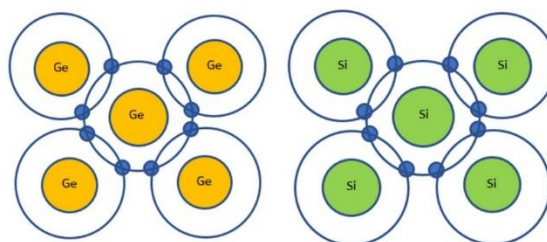
อิเล็กตรอนของสารกึ่งตัวนำจะยึดแน่นกับอะตอมมาก สารกึ่งตัวนำจึงเป็นตัวนำไฟฟ้าที่ไม่ดี แต่เมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น อิเล็กตรอนได้รับพลังงานความร้อน จะหลุดจากอะตอม ทำให้มีอิเล็กตรอนในแถบพลังงานนำ สารกึ่งตัวนำจึงนำไฟฟ้าได้ การนำไฟฟ้าของสารกึ่งตัวนำจะขึ้นกับอุณหภูมิ ถ้าอุณหภูมิสูงอิเล็กตรอนในแถบนำมาก จะนำไฟฟ้าได้ดี ถ้าอุณหภูมิต่ำจะเป็นตัวนำไฟฟ้าที่ไม่ดี

เมื่ออิเล็กตรอนหลุดจากอะตอมจะกลายเป็นอิเล็กตรอนอิสระ

- ★ พันธะโคเวเลนต์เกิดช่องว่าง มีลักษณะคล้ายกับหลุมอิเล็กตรอนจากอะตอมข้างเคียงเคลื่อนที่เข้ามาแทนที่ในหลุมนั้น
- ★ หลุมหรือช่องว่างนี้ เรียกว่า โฮล (Hole)
- ★ ถ้าอิเล็กตรอนของอะตอมข้างเคียงมีพลังงานเคลื่อนที่เข้ามาแทนที่โฮล อิเล็กตรอนข้างเคียงจะเกิดโฮลขึ้นอีก
- ★ ลักษณะการเคลื่อนที่ คือ โฮลเคลื่อนจากอะตอมเดิมไปยังอะตอมข้างเคียง
- ★ อิเล็กตรอนอิสระจากอะตอมอื่นเคลื่อนเข้ามาแทนที่โฮลต่อเนื่อง โฮลจะเคลื่อนที่ไปตามอะตอมอิสระเหล่านั้น

3. สารกึ่งตัวนำชนิด P และชนิด N

- ★ เมื่ออิเล็กตรอนอิสระเคลื่อนที่เข้ามาสู่โฮล อะตอมนั้นจะกลายเป็นกลาง มีพันธะโคเวเลนต์ครบสมบูรณ์
- ★ อะตอมที่เสียอิเล็กตรอนไปจะเกิดโฮลขึ้นแทน เป็นปรากฏการณ์ว่าโฮลเคลื่อนที่จากอะตอมหนึ่งไปสู่อีกอะตอมหนึ่ง
- ★ โฮล มีอนุภาคเป็นประจุบวก หรือพาหะประจุบวก ที่สามารถเคลื่อนที่ได้ เนื่องจากอะตอมที่เกิดโฮล มีสภาพเป็นบวกเพราะขาดอิเล็กตรอน อิเล็กตรอนเป็นพาหะประจุลบ
- ★ ในผลึกสารกึ่งตัวนำบริสุทธิ์เมื่ออิเล็กตรอนอิสระเกิดขึ้น 1 ตัว จะมีโฮลเกิดขึ้นพร้อมกัน 1 ตัวเสมอ เรียกว่า คู่อิเล็กตรอนโฮล



(ก) เจอร์มันเนียม

(ข) ซิลิคอน

รูปที่ 4.7 พันธะโควาเลนต์ของเจอร์มันเนียมและซิลิคอน

จิรโรจน์ เลิศธนเปี่ยมสุข สาขาวิชาช่างยนต์ วิทยาลัยเทคนิคศรีสะเกษ

3.2 สารกึ่งตัวนำไม่บริสุทธิ์ (Extrinsic semiconductor)

เป็นสารที่เกิดขึ้นจากการเติมสารเจือปนลงไปในสารกึ่งตัวนำแท้ เช่น ซิลิคอน หรือเจอร์มันเนียม เพื่อให้ได้สารกึ่งตัวนำที่มีสภาพการนำไฟฟ้าที่ดีขึ้น

แบ่งออกเป็น 2 ชนิด คือ

- สารกึ่งตัวนำชนิดพี (P-type Semiconductor)
- สารกึ่งตัวนำชนิดเอ็น (N-type Semiconductor)

จิรโรจน์ เลิศธนเปี่ยมสุข สาขาวิชาช่างยนต์ วิทยาลัยเทคนิคศรีสะเกษ

3.2.1 สารกึ่งตัวนำชนิด P (P-type Semiconductor)

ได้จากการเติมสารที่มีอิเล็กตรอนวงนอก 3 ตัว (สารเจือปนมีอิเล็กตรอนน้อยกว่าสารกึ่งตัวนำบริสุทธิ์) เช่น อลูมิเนียม หรือแกลเลียม เกิดสภาวะขาดอิเล็กตรอน คุณสมบัติของสารกึ่งตัวนำชนิด P คือ

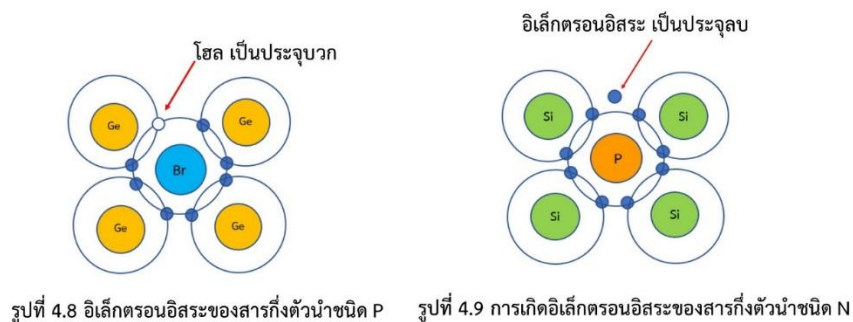
- มีที่ว่างของอิเล็กตรอน เรียกว่า โฮล (Hole) มากกว่าจำนวนอิเล็กตรอนอิสระ
- อิเล็กตรอนข้างเคียงโฮลจะเคลื่อนที่ไปแทนที่โฮลที่ว่างทำให้ดูคล้ายกับโฮลเคลื่อนที่ได้จึงทำให้กระแสไหลได้
- มีโฮลเป็นพาหะส่วนใหญ่ของสาร จึงมีสภาพเป็นประจุไฟฟ้าบวก เรียกสารกึ่งตัวนำประเภทนี้ว่า สารกึ่งตัวนำชนิด P (P-type Semiconductor) ดังรูปที่ 4.8

จิรโรจน์ เลิศธนเปี่ยมสุข สาขาวิชาช่างยนต์ วิทยาลัยเทคนิคศรีสะเกษ

3.2.2 สารกึ่งตัวนำชนิด N (N-Type Semiconductor)

ได้จากการเติมสารเจือปนที่มีจำนวนอิเล็กตรอนวงนอกสุด 5 ตัว (สารเจือปนมีอิเล็กตรอนมากกว่าสารกึ่งตัวนำบริสุทธิ์) เช่น ฟอสฟอรัส อาเซนิก อย่างใดอย่างหนึ่ง อิเล็กตรอนวงนอกสุด ของแต่ละอะตอมแลกเปลี่ยนอิเล็กตรอนซึ่งกันและกัน เพื่อให้ได้ครบ 8 ตัว คุณสมบัติของสารกึ่งตัวนำชนิด N คือ

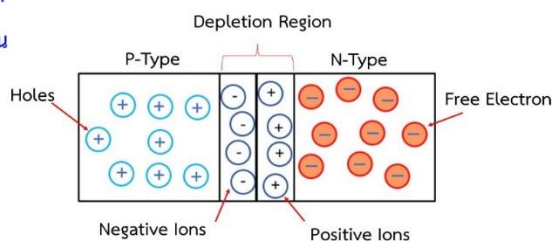
- การรวมตัวกันของอิเล็กตรอน เหลืออิเล็กตรอนวงนอกสุด 1 ตัว สารเจือปนมีอิเล็กตรอนวงนอกสุด 5 ตัว จึงมีอิเล็กตรอนรวมเป็น 9 ตัว เรียกอิเล็กตรอนที่อยู่นอกวงโคจร 1 ตัวว่าอิเล็กตรอนอิสระ จะแสดงประจุลบออกมา จึงเรียกอิเล็กตรอนว่าเป็นพาหะข้างมาก และมีโฮลเป็นพาหะข้างน้อย เรียกสารกึ่งตัวนำประเภทนี้ว่า สารกึ่งตัวนำชนิด N (N-type Semiconductor)



จิรโรจน์ เลิศอนเปี่ยมสุข สาขาวิชาช่างยนต์ วิทยาลัยเทคนิคศรีสะเกษ

3.2.3 รอยต่อ PN (PN Junctions)

เกิดจากการนำสารกึ่งตัวนำชนิด P และชนิด N มาเชื่อมต่อกัน จะเกิดการรวมตัวระหว่างอิเล็กตรอนและโฮลบริเวณใกล้เคียง



รูปที่ 4.10 รอยต่อ PN ของสารกึ่งตัวนำ

จิรโรจน์ เลิศอนเปี่ยมสุข สาขาวิชาช่างยนต์ วิทยาลัยเทคนิคศรีสะเกษ

3.2.3 รอยต่อ PN (PN Junctions)

ผลของอิเล็กตรอนในสารกึ่งตัวนำชนิด N รวมตัวกับโฮลของสารกึ่งตัวนำชนิด P

- ★ อะตอมบริเวณรอยต่อของสารกึ่งตัวนำชนิด N ขาดอิเล็กตรอน (เกิดโฮลขึ้นแทน) เกิดสภาวะเป็นประจุไฟฟ้าบวก (Positive Ions) ซึ่งจะต้านการเคลื่อนที่ของโฮลที่อยู่ในสารกึ่งตัวนำชนิด P (เกิดการผลักกัน)
- ★ อะตอมบริเวณรอยต่อของสารกึ่งตัวนำชนิด P จะมีอิเล็กตรอนเกินมา **ทำให้มีประจุไฟฟ้าลบ (Negative Ions)** ผลักอิเล็กตรอนอิสระที่อยู่ในสารกึ่งตัวนำชนิด N ที่จะพยายามวิ่งเข้ามาทางฝั่งของสารกึ่งตัวนำชนิด P

จิรโรจน์ เลิศอนแปงมสุข สาขาวิชาช่างยนต์ วิทยาลัยเทคนิคศรีสะเกษ

3.2.3 รอยต่อ PN (PN Junctions)

ผลของอิเล็กตรอนในสารกึ่งตัวนำชนิด N รวมตัวกับโฮลของสารกึ่งตัวนำชนิด P

- ★ บริเวณรอยต่อ PN เกิดเป็นบริเวณปลอดพาหะ (Depletion Region) เป็นเหมือนกำแพงกันไม่ให้อิเล็กตรอนและโฮลของอะตอมอื่นๆ ภายในสารกึ่งตัวนำมารวมกัน
- ★ ถ้าต้องการให้พาหะทั้งสองฝั่งมารวมตัวกัน ต้องให้แรงดันไฟฟ้าที่มากกว่าระดับแรงดันไฟฟ้าซึ่งเกิดจากประจุบริเวณรอยต่อ เรียกว่าการไบอัส
- ★ ถ้าเป็นสารกึ่งตัวนำที่ทำมาจากซิลิคอน ระดับแรงดันจะอยู่ประมาณ 0.7 โวลต์ สารกึ่งตัวนำที่ทำมาจากเจอร์เมเนียม ระดับแรงดันจะมีค่าประมาณ 0.3 โวลต์

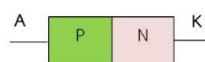
จิรโรจน์ เลิศอนแปงมสุข สาขาวิชาช่างยนต์ วิทยาลัยเทคนิคศรีสะเกษ

4. หน้าที่และหลักการทำงานของสารกึ่งตัวนำ

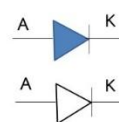
4.1 ไดโอด (Diode)

ไดโอด มีหน้าที่ ควบคุมทิศทางการไหลของกระแสไฟฟ้า โดยยอมให้กระแสไฟฟ้าไหลไปในทิศทางเดียวกัน และป้องกันกระแสไฟฟ้าไหลกลับทิศทางเดิม

โครงสร้างของไดโอดเกิดจากการนำสารกึ่งตัวนำชนิด P และ N มาต่อกัน



(ก) โครงสร้าง



(ข) สัญลักษณ์

รูปที่ 4.11 โครงสร้างและสัญลักษณ์ของไดโอด

จิรโรจน์ เลิศอนแปงมสุข สาขาวิชาช่างยนต์ วิทยาลัยเทคนิคศรีสะเกษ

4.1.1 คุณสมบัติของไดโอด

1. เมื่อได้รับไบอัสกลับไดโอดจะไม่นำกระแส
2. เมื่อได้รับไบอัสตรง ที่แรงดันมากกว่า 0.6 V ไดโอดจะนำกระแสได้
3. โดยปกติในวงจรไดโอดจะต้องต่อตัวต้านทานจำกัดกระแสเพื่อป้องกันไดโอดเสมอ

ไดโอดมีหลายชนิดขึ้นอยู่กับวัตถุประสงค์ของการผลิตมาใช้งาน ได้แก่ ไดโอดกำลัง ซีเนอร์ไดโอด ไดโอดเปล่งแสง (LED) ไดโอดรับแสง ไดโอดเรียงกระแส วารเรเตอร์หรือวารีแคป

จิรโรจน์ เลิศอนแปรมสุข สาขาวิชาช่างยนต์ วิทยาลัยเทคนิคศรีสะเกษ



รูปที่ 4.12 ลักษณะของไดโอดชนิดต่างๆ

จิรโรจน์ เลิศอนแปรมสุข สาขาวิชาช่างยนต์ วิทยาลัยเทคนิคศรีสะเกษ

4.1.2 หลักการทำงานของไดโอด

จ่ายไฟฟ้าให้กับรอยต่อ PN เพื่อกระตุ้นให้สารกึ่งตัวนำเปลี่ยนแปลงสภาพภายใน การไบอัสให้กับไดโอดมี 2 ลักษณะ คือ การไบอัสตรง และ การไบอัสกลับ

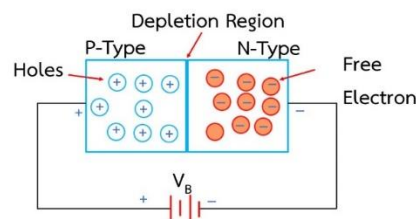
4.1.2.1 การไบอัสตรง (Forward Bias)

- ต่อขั้วบวกแหล่งจ่ายไฟฟ้าให้สารกึ่งตัวนำชนิด P หรือขั้วแอนโนด
- ต่อขั้วลบแหล่งจ่ายไฟฟ้าให้สารกึ่งตัวนำชนิด N หรือขั้วแคโทด
- บริเวณปอดพาหะจะลดลง ทำให้กระแสไฟฟ้าไหลผ่านรอยต่อได้

จิรโรจน์ เลิศอนแปรมสุข สาขาวิชาช่างยนต์ วิทยาลัยเทคนิคศรีสะเกษ

4.1.2.1 การไบอัสตรง (Forward Bias)

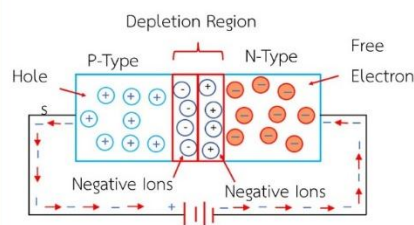
- เมื่อมีกระแสไหลผ่านบริเวณรอยต่อจะมีแรงดันตกคร่อม
- สารกึ่งตัวนำที่ทำมาจากซิลิคอนจะมีแรงดันตกคร่อม 0.6 - 0.7 โวลต์
- สารกึ่งตัวนำที่ทำจากเจอร์เมเนียมจะมีแรงดันตกคร่อม 0.2 - 0.3 โวลต์



รูปที่ 4.13 การไบอัสตรงให้กับรอยต่อ P-N

จิรโรจน์ เลิศอนเปี่ยมสุข สาขาวิชาช่างยนต์ วิทยาลัยเทคนิคศรีสะเกษ

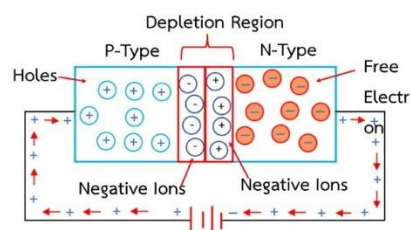
กระแสอิเล็กตรอน คือ การเคลื่อนที่ของอิเล็กตรอน จากขั้วลบของแหล่งจ่ายไฟฟ้า V_B ผ่านสารกึ่งตัวนำชนิด N และผลักอิเล็กตรอนอิสระซึ่งเป็นพาหะข้างมาก ให้เคลื่อนที่ข้ามรอยต่อผ่านสารกึ่งตัวนำชนิด P ไปยังขั้วบวกของแหล่งจ่ายไฟ ทำให้ได้เป็นกระแสอิเล็กตรอน ดังรูปที่ 4.14



รูปที่ 4.14 ทิศทางการไหลของกระแสอิเล็กตรอน

จิรโรจน์ เลิศอนเปี่ยมสุข สาขาวิชาช่างยนต์ วิทยาลัยเทคนิคศรีสะเกษ

กระแสโฮล คือ การเคลื่อนที่ของโฮลจากขั้วบวกของแหล่งจ่ายไฟ ผ่านสารกึ่งตัวนำชนิด P และผลักโฮล ให้เคลื่อนที่ข้ามรอยต่อผ่านสารกึ่งตัวนำชนิด N เกิดเป็น**กระแสโฮล** ทิศทางการเคลื่อนที่ของกระแสไฟฟ้า จะกล่าวถึงการเคลื่อนที่จากขั้วบวกซึ่งมีศักย์สูงกว่าไปยังขั้วลบซึ่งมีศักย์ต่ำกว่า มากกว่าการกล่าวถึงกระแสอิเล็กตรอน จึงเรียกว่า กระแสโฮล ดังรูปที่ 4.15

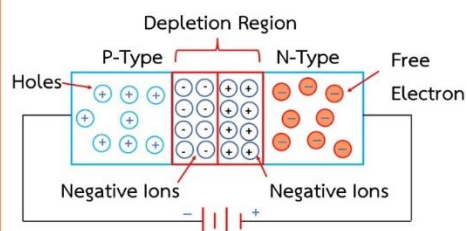


รูปที่ 4.15 ทิศทางการไหลของกระแสโฮล

จิรโรจน์ เลิศอนเปี่ยมสุข สาขาวิชาช่างยนต์ วิทยาลัยเทคนิคศรีสะเกษ

4.1.2.2 ไบอัสกลับ (Reverse Bias)

ไบอัสกลับ หมายถึง การต่อ
ขั้วลบของแหล่งจ่ายไฟฟ้าให้กับ
สารกึ่งตัวนำชนิด P และต่อขั้วบวก
ของแหล่งจ่ายไฟฟ้ากับสารกึ่งตัวนำ
ชนิด N รอยต่อ P-N ได้รับไบอัสกลับ
บริเวณหลอดพาหะจะกว้างขึ้น
ดังรูปที่ 4.16



รูปที่ 4.16 การไบอัสกลับให้กับรอยต่อ P-N

จิรโรจน์ เลิศอนเป็นมสุข สาขาวิชาช่างยนต์ วิทยาลัยเทคนิคศรีสะเกษ

เมื่อไบอัสตรง

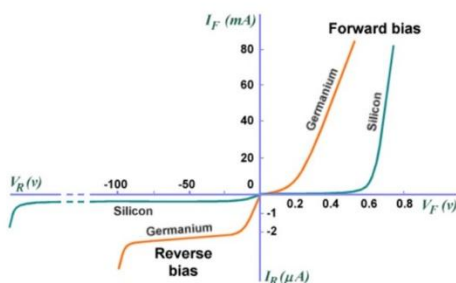
จะมีกระแสไหลผ่านไดโอดได้ (Forward Current) แต่ปริมาณแรงดัน ต้องสูงกว่าค่าแรงดัน
เริ่มต้น ▶ ไดโอดชนิดซิลิคอนจะมีแรงดัน 0.7 โวลต์
▶ ไดโอดชนิดเจอร์เมเนียม จะมีแรงดัน 0.3 โวลต์

เรียกว่าค่าแรงดันคัตอิน (Cut In Voltage)

เมื่อไบอัสกลับ

ไม่มีกระแสไหลผ่านไดโอด (รั่วเล็กน้อย) เมื่อเพิ่มแรงดันไบอัสกลับให้สูงจนถึงค่าแรงดัน
พังทลาย (Breakdown-Voltage) ทำให้มีกระแสรั่วไหลผ่านไดโอดการนำกระแสในสภาวะนี้
รอยต่อ P-N จะชำรุดเสียหาย และมีกระแสไหลผ่านรอยต่อ P-N จำนวนมาก ดังแสดงลักษณะ
ทางไฟฟ้าของไดโอดในรูปที่ 4.17

จิรโรจน์ เลิศอนเป็นมสุข สาขาวิชาช่างยนต์ วิทยาลัยเทคนิคศรีสะเกษ



รูปที่ 4.17 กราฟลักษณะทางไฟฟ้าของไดโอด

จิรโรจน์ เลิศอนเป็นมสุข สาขาวิชาช่างยนต์ วิทยาลัยเทคนิคศรีสะเกษ

ข้อควรระวังในการใช้ไดโอด

1. ในการใช้งานไบอัสตรงจะต้องมีตัวต้านทานจำกัดกระแสต่อไว้เสมอ เพราะไดโอดอาจจะไหม้ได้ เพราะมีกระแสสูงเกินไป

$$\text{ค่าของตัวต้านทานจำกัดกระแส} = \frac{\text{ค่าแรงดันแหล่งจ่ายไฟ} - \text{แรงดันตกคร่อมไดโอด}}{\text{กระแสที่ต้องการให้ไหลผ่านไดโอด}}$$

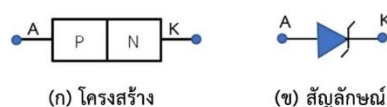
2. การใช้งานในสภาวะไบอัสกลับจะต้องระวังไม่ให้ไดโอดได้รับแรงดันไบอัสกลับเกินกว่าค่าแรงดันไบอัสกลับสูงสุดที่ทนได้ เพราะอาจทำให้ ไดโอดระเบิดได้

จิรโรจน์ เลิศอนเนียมสุข สาขาวิชาช่างยนต์ วิทยาลัยเทคนิคศรีสะเกษ

4.2 ซีเนอร์ไดโอด (Zener Diode)

ซีเนอร์ไดโอด มีหน้าที่ ควบคุม และรักษาแรงดันไฟฟ้าในวงจรให้คงที่ เมื่อได้รับการไบอัสกลับ

ซีเนอร์ไดโอดที่ผลิตจากสารซิลิคอน ที่มีปริมาณความหนาแน่นของสารเจือปนของสาร P และสาร N มีค่าสูงกว่าปกติ ประกอบด้วยขาแอนโนด (A) ขาแคโทด (K) ดังรูปที่ 4.18



รูปที่ 4.18 โครงสร้างและสัญลักษณ์ของซีเนอร์ไดโอด



รูปที่ 4.19 ซีเนอร์ไดโอด

จิรโรจน์ เลิศอนเนียมสุข สาขาวิชาช่างยนต์ วิทยาลัยเทคนิคศรีสะเกษ

4.2.1 คุณสมบัติของซีเนอร์ไดโอด

เมื่อนำไปใช้งานในช่วงไบอัสกลับที่ค่าเบรคดาวน์ ที่เรียกว่า ซีเนอร์เบรคดาวน์ (Zener Breakdown) เรียกว่าแรงดันซีเนอร์เบรค เป็นค่าแรงดันที่ตัวซีเนอร์ไดโอดทำการควบคุมให้คงที่ตลอดเวลา และเมื่อซีเนอร์ไดโอดได้รับไบอัสกลับถึงค่าแรงดันที่กำหนดไว้ ซีเนอร์ไดโอดจะนำกระแสได้ เกิดแรงดันตกคร่อมตัวมันคงที่ เท่ากับค่าแรงดันที่กำหนดจากบริษัทผู้ผลิต การกำหนดค่าแรงดันจะกำหนดมาตั้งแต่ในกระบวนการสร้างซีเนอร์ไดโอด เช่น 2.2 V 5.1 V 6 V 10 V 12 V เป็นต้น

จิรโรจน์ เลิศอนเนียมสุข สาขาวิชาช่างยนต์ วิทยาลัยเทคนิคศรีสะเกษ

4.2.2 หลักการทำงานของซีเนอร์ไดโอด

4.2.2.1 การพังทลายของซีเนอร์ (Zener Breakdown) แบ่งเป็น 2 แบบ

1) การพังทลายแบบอะวาลานช์

- ได้รับไบอัสกลับที่แรงดันสูง
- มีกระแสไหลย้อนกลับผ่านไดโอดจำนวนมาก
- ทำให้รอยต่อของไดโอดทะลุ และใช้งานไม่ได้

จิรโรจน์ เลิศอนเนียมสุข สาขาวิชาช่างยนต์ วิทยาลัยเทคนิคศรีสะเกษ

4.2.2 หลักการทำงานของซีเนอร์ไดโอด

2) การพังทลายแบบซีเนอร์

- เป็นการพังทลายที่เกิดขึ้นกับแรงดันไบอัสกลับค่าต่ำ ๆ
- มีกระแสไหลผ่านซีเนอร์ไดโอดจำนวนหนึ่ง ไม่เกินค่าพิกัดสูงสุด เกิดสภาวะที่แรงดันตกคร่อมมีค่าคงที่เรียกว่า แรงดันซีเนอร์
- คุณสมบัตินี้สามารถนำซีเนอร์ไดโอดไปสร้างเป็นวงจรควบคุมแรงดันไฟตรงจากแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรงให้มีค่าแรงดันคงที่ได้

จิรโรจน์ เลิศอนเนียมสุข สาขาวิชาช่างยนต์ วิทยาลัยเทคนิคศรีสะเกษ

4.2.2.2 คุณสมบัติทางกระแสและแรงดันของซีเนอร์ไดโอด

เมื่อซีเนอร์ไดโอดได้รับไบอัสกลับ เมื่อเพิ่มแรงดันไบอัสกลับจนถึงค่าแรงดัน ซีเนอร์ (V_Z) จะเกิดกระแสไหลผ่านซีเนอร์ไดโอดมากขึ้น ที่จุดเอียงของกราฟ ดังรูปที่ 4.20 จะมีกระแสไหลผ่านซีเนอร์ไดโอดเท่ากับ I_{ZK} ถ้าซีเนอร์ไดโอดได้รับแรงดันสูงขึ้นอีกกระแสจะเพิ่มขึ้น แต่แรงดันซีเนอร์จะคงที่ แต่ถ้าเพิ่มกระแสเกินกว่าค่ากระแสซีเนอร์สูงสุด (I_{ZM}) แรงดันซีเนอร์ จะไม่คงที่

จิรโรจน์ เลิศอนเนียมสุข สาขาวิชาช่างยนต์ วิทยาลัยเทคนิคศรีสะเกษ

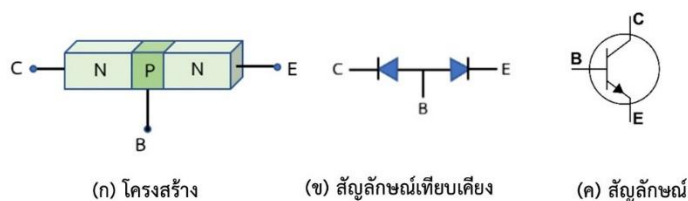
ทรานซิสเตอร์มีขาต่อใช้งาน 3 ขา ได้แก่

1. ขาคอลเลคเตอร์ (Collector) เรียกว่าขา C มีโครงสร้างใหญ่ที่สุด
2. ขาอิมิตเตอร์ (Emitter) เรียกว่าขา E มีโครงสร้างใหญ่รองลงมาและอยู่คนละด้านกับขาคอลเลคเตอร์
3. ขาเบส (Base) เรียกว่าขา B อยู่ตรงกลางระหว่าง C และ E มีพื้นที่ของโครงสร้างแคบที่สุดเมื่อเทียบกับอีก 2 ส่วน

- ตำแหน่งที่ขาเบสกับขาอิมิตเตอร์เชื่อมกัน เรียกว่า รอยต่อเบส-อิมิตเตอร์
- ตำแหน่งที่ขาคอลเลคเตอร์กับขาเบสต่อเชื่อมกัน เรียกว่า รอยต่อคอลเลคเตอร์-เบส

จิรโรจน์ เลิศอนแปงสุข สาขาวิชาช่างยนต์ วิทยาลัยเทคนิคศรีสะเกษ

4.3.1 ทรานซิสเตอร์ชนิด NPN



รูปที่ 4.22 โครงสร้าง วงจรเทียบเคียง และสัญลักษณ์ของทรานซิสเตอร์ชนิด NPN

ทรานซิสเตอร์ชนิด NPN

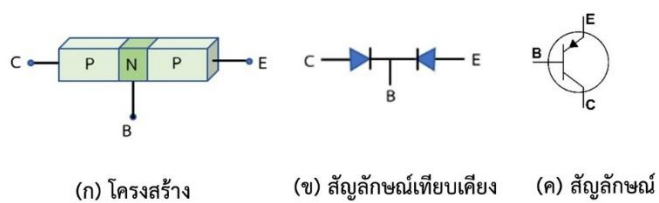
- ◆ สร้างจากสารกึ่งตัวนำชนิด N และชนิด P ต่อเรียงกันในลักษณะ N-P-N
 - ◆ ต่อขาออกมา 3 ขา สารกึ่งตัวนำชนิด P ซึ่งอยู่ตรงกลาง จะเป็นจุดร่วม
 - ◆ สารกึ่งตัวนำชนิด N ทำหน้าที่จ่ายอิเล็กตรอนซึ่งจะไหลเป็นกระแสในวงจร
- ส่วนนี้เรียกว่า อิมิตเตอร์ (Emitter) อิเล็กตรอนจะเคลื่อนที่ผ่านสารกึ่งตัวนำชนิด P ที่เรียกว่าเบส (Base) ส่วนนี้จะคอยควบคุมอิเล็กตรอนให้ไหลไปยังสารกึ่งตัวนำชนิด N ส่วนที่ผ่านเบสมาจะเคลื่อนที่มายังสารกึ่งตัวนำชนิด N ที่เรียกว่า คอลเลคเตอร์ (Collector) และกลายเป็นกระแสไหลในวงจรภายนอกต่อไป

จิรโรจน์ เลิศอนแปงสุข สาขาวิชาช่างยนต์ วิทยาลัยเทคนิคศรีสะเกษ

4.3.2 ทรานซิสเตอร์ชนิด PNP

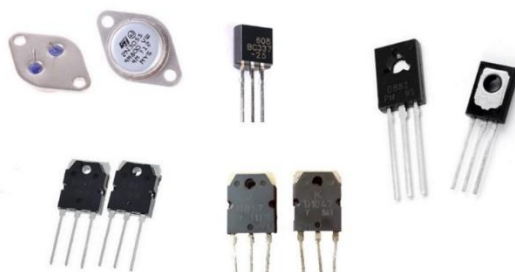
เป็นทรานซิสเตอร์ที่สร้างจากสารกึ่งตัวนำชนิด P ชนิด N ต่อเรียงกันในลักษณะ P-N-P ตามลำดับ แล้วต่อขาแต่ละชั้นส่วนออกมาเป็น 3 ขา เพื่อต่อกับวงจร สารกึ่งตัวนำชนิด N จะเป็นจุดร่วม ทรานซิสเตอร์ชนิด PNP มีโครงสร้าง วงจรเทียบเคียง และสัญลักษณ์ ดังรูปที่ 4.23

จิรโรจน์ เลิศอนเนียมสุข สาขาวิชาช่างยนต์ วิทยาลัยเทคนิคศรีสะเกษ



รูปที่ 4.23 โครงสร้าง วงจรเทียบเคียง และสัญลักษณ์ของทรานซิสเตอร์ชนิด PNP

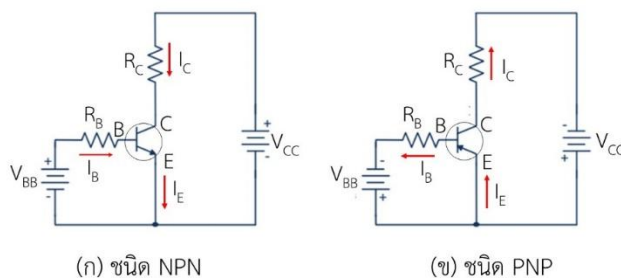
จิรโรจน์ เลิศอนเนียมสุข สาขาวิชาช่างยนต์ วิทยาลัยเทคนิคศรีสะเกษ



รูปที่ 4.24 ลักษณะของทรานซิสเตอร์ชนิดต่าง ๆ

จิรโรจน์ เลิศอนเนียมสุข สาขาวิชาช่างยนต์ วิทยาลัยเทคนิคศรีสะเกษ

4.3.3 หลักการทำงานของทรานซิสเตอร์



รูปที่ 4.25 หลักการทำงานของทรานซิสเตอร์

จิรโรจน์ เลิศธนเปี่ยมสุข สาขาวิชาช่างยนต์ วิทยาลัยเทคนิคศรีสะเกษ

4.4 เฟต (FET)

เฟต ทำหน้าที่ ควบคุมการไหลของกระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านตัวอุปกรณ์ โดย
จะใช้แรงดันไฟฟ้ามาควบคุมการไหลของกระแส

◆ เฟต หรือ FET ย่อมาจาก Field Effect Transistor

หมายถึง ทรานซิสเตอร์สนามไฟฟ้า

◆ เฟตเป็นทรานซิสเตอร์ชนิดหนึ่งมีหลักการทำงานด้วยการใช้สนามไฟฟ้า
ควบคุมการไหลของกระแสไฟฟ้า

จิรโรจน์ เลิศธนเปี่ยมสุข สาขาวิชาช่างยนต์ วิทยาลัยเทคนิคศรีสะเกษ

การทำงานของเฟต แตกต่างจากการทำงานของทรานซิสเตอร์ทั่วไป คือ

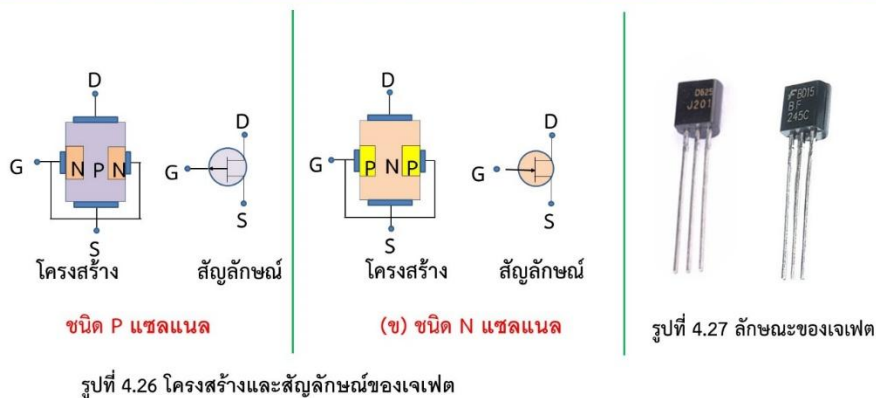
- ◆ การทำงานของทรานซิสเตอร์ทั่วไปต้องอาศัยกระแสไฟฟ้าควบคุมการทำงาน
- ◆ เฟตจะใช้แรงดันไฟฟ้าที่ขาเกตมาควบคุมการไหลของกระแสที่ขาเดรน (Drain)
- ◆ เฟตมีรูปร่างภายนอกเหมือนทรานซิสเตอร์ แตกต่างกันตรงเบอร์ใช้งาน
และคุณสมบัติที่ดีกว่าทรานซิสเตอร์
- ◆ มีอัตราการทำงานแรงดันและกระแสสูง ภายใต้การเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิ
- ◆ มีสัญญาณรบกวนต่ำ ขยายความถี่สูงได้ดีกว่าทรานซิสเตอร์ทั่วไป
- ◆ เฟต มี 3 ขา คือ ขาเดรน (Drain) ขาซอร์ส (Source) และขาเกต (Gate)
และเขียนตัวอักษรย่อแทนทั้ง 3 ขา คือ D S G

จิรโรจน์ เลิศธนเปี่ยมสุข สาขาวิชาช่างยนต์ วิทยาลัยเทคนิคศรีสะเกษ

เฟตแบ่งเป็น 2 ประเภท คือ เจเฟต และมอสเฟต

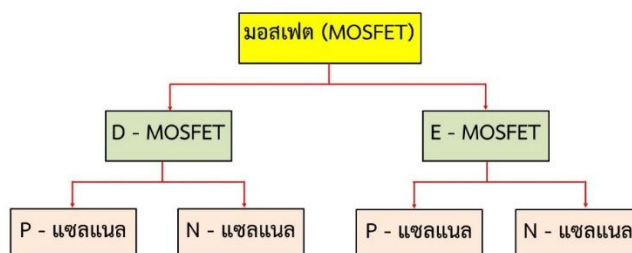
4.4.1 เจเฟต (Junction Field Effect Transistor ; JFET)

- ◆ โครงสร้างประกอบด้วยสารกึ่งตัวนำตอนใหญ่ 1 ตอน มี 2 ขา คือ ขาเดรน (D) และขาซอร์ส (S)
- ◆ มีสารกึ่งตัวนำตอนเล็ก 2 ตอน มี 1 ขา คือ ขาเกต (G)
- ◆ เจเฟตแบ่งออกเป็น 2 ชนิด คือ
 1. เจเฟตชนิด P แชนแนล (มีสารกึ่งตัวนำชนิด P ตอนใหญ่กว่าสารกึ่งตัวนำชนิด N)
 2. เจเฟตชนิด N แชนแนล (จะมีสารกึ่งตัวนำชนิด N ตอนใหญ่กว่าสารกึ่งตัวนำชนิด P)



4.4.2 มอสเฟต (Metal Oxide Semiconductor Field Effect Transistor ; MOSFET)

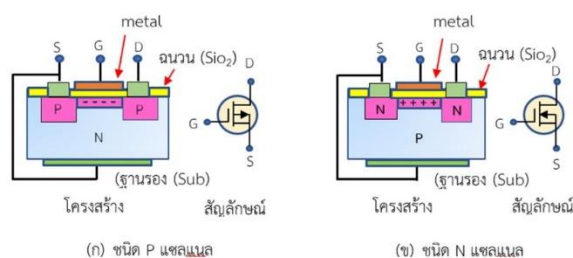
- ◆ มอสเฟต มี 2 ชนิด คือ ชนิด P แชนแนล และชนิด N แชนแนล
- ◆ โครงสร้างจะแตกต่างไปจากแบบเจเฟต ในส่วนที่เป็นขาเกต (G) ถูกแยกเป็นอิสระ โดยมีฉนวนซิลิคอนไดออกไซด์ (Silicon Dioxide ; SiO_2) คั่นกลาง
- ◆ มอสเฟตแบ่งย่อยออกได้เป็น 2 แบบ คือ
 1. แบบดีพลีชันมอสเฟต (Depletion MOSFET) หรือเรียกว่า D - MOSFET
 2. เอนฮานซ์เมนต์ (Enhancement MOSFET) หรือเรียกว่า E - MOSFET
 ทั้ง 2 แบบ จะมี 2 ชนิดด้วยกัน คือ ชนิด P แชนแนล และชนิด N แชนแนล



รูปที่ 4.28 ชนิดของมอสเฟต

จิรโรจน์ เลิศอนแปงมสุข สาขาวิชาช่างยนต์ วิทยาลัยเทคนิคศรีสะเกษ

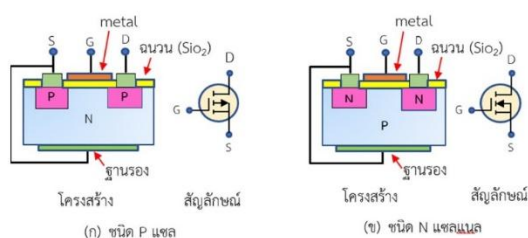
จากรูปที่ 4.28
โครงสร้างของมอสเฟต
แบบ D - MOSFET
ที่ส่วนฐานรองเป็นสาร
กึ่งตัวนำขวางระหว่าง
สารกึ่งตัวนำขา D กับขา S
เชื่อมต่อกัน และจาก
สัญลักษณ์จะเห็น
ได้ว่าขาทั้งสองจะต่อกัน



รูปที่ 4.29 โครงสร้างและสัญลักษณ์ของ D - MOSFET

จิรโรจน์ เลิศอนแปงมสุข สาขาวิชาช่างยนต์ วิทยาลัยเทคนิคศรีสะเกษ

จากรูปที่ 4.29 โครงสร้าง
ของมอสเฟตแบบ E - MOSFET
ที่ส่วนฐานรองมีสารกึ่งตัวนำ
ตรงข้ามกับขา D กับขา S
เชื่อมต่อ ทำให้ขาทั้งสอง
ไม่ต่อกัน และจากสัญลักษณ์
จะเห็นได้ว่า ขาทั้งสองจะไม่ต่อ
ถึงกัน



รูปที่ 4.30 โครงสร้างและสัญลักษณ์ของ E - MOSFET

จิรโรจน์ เลิศอนแปงมสุข สาขาวิชาช่างยนต์ วิทยาลัยเทคนิคศรีสะเกษ

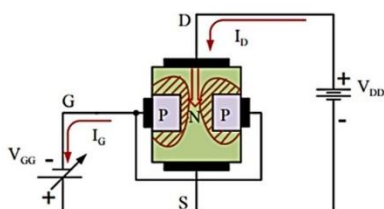


รูปที่ 4.31 ลักษณะของ E - MOSFET

จิรโรจน์ เลิศธนเปี่ยมสุข สาขาวิชาช่างยนต์ วิทยาลัยเทคนิคศรีสะเกษ

4.4.3 หลักการทำงานของเจฟfet

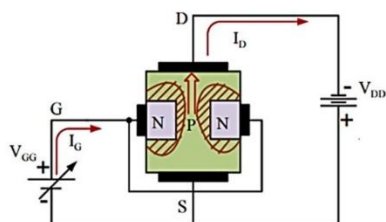
4.4.3.1 หลักการทำงานของเจฟfetชนิด N แชลแนล



รูปที่ 4.32 หลักการทำงานของเจฟfetชนิด N แชลแนล

จิรโรจน์ เลิศธนเปี่ยมสุข สาขาวิชาช่างยนต์ วิทยาลัยเทคนิคศรีสะเกษ

4.4.3.1 หลักการทำงานของเจฟfetชนิด P แชลแนล

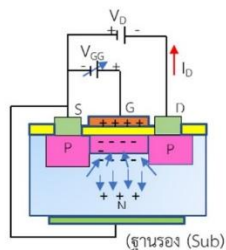


รูปที่ 4.33 หลักการทำงานของเจฟfetชนิด P แชลแนล

จิรโรจน์ เลิศธนเปี่ยมสุข สาขาวิชาช่างยนต์ วิทยาลัยเทคนิคศรีสะเกษ

4.4.4.1 หลักการทำงานของมอสเฟต แบบ D-MOSFET ชนิด P แชลแนล

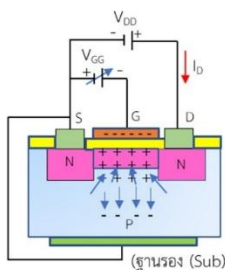
อักษรตัว D ย่อมาจากคำว่า Depletion หมายถึง การลดลง ดังนั้นมอสเฟตแบบ D-MOSFET คือ วิธีการทำให้การไหล ของกระแส I_D ระหว่างขา D กับขา S ลดลง **ดังรูปที่ 4.32**



รูปที่ 4.34 การทำงานของมอสเฟตแบบ D-MOSFET ชนิด P แชลแนล

จิรโรจน์ เลิศธนเปี่ยมสุข สาขาวิชาช่างยนต์ วิทยาลัยเทคนิคศรีสะเกษ

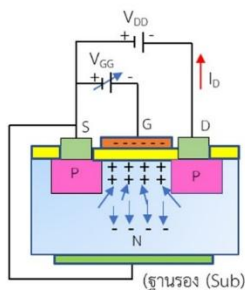
4.4.4.2 หลักการทำงานของมอสเฟต แบบ D-MOSFET ชนิด N แชลแนล



รูปที่ 4.35 การทำงานของมอสเฟตแบบ D-MOSFET ชนิด N แชลแนล

จิรโรจน์ เลิศธนเปี่ยมสุข สาขาวิชาช่างยนต์ วิทยาลัยเทคนิคศรีสะเกษ

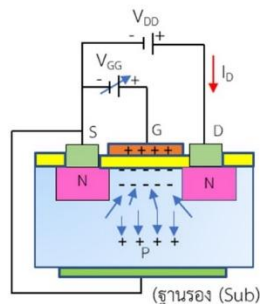
4.4.4.3 หลักการทำงานของมอสเฟต แบบ E-MOSFET ชนิด P แชลแนล



รูปที่ 4.36 การทำงานของมอสเฟตแบบ E-MOSFET ชนิด P แชลแนล

จิรโรจน์ เลิศธนเปี่ยมสุข สาขาวิชาช่างยนต์ วิทยาลัยเทคนิคศรีสะเกษ

4.4.4.4 หลักการทำงานของมอสเฟต แบบ E-MOSFET ชนิด N แชนแนล



รูปที่ 4.37 การทำงานของมอสเฟตแบบ E-MOSFET ชนิด N แชนแนล

จิรโรจน์ เลิศธนเปี่ยมสุข สาขาวิชาช่างยนต์ วิทยาลัยเทคนิคศรีสะเกษ

4.5 เอสซีอาร์ (Silicon Control Rectifier)

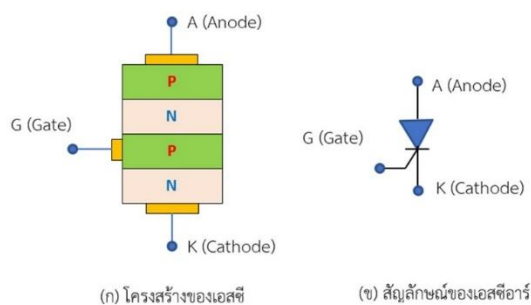
- ◆ เอสซีอาร์ (Silicon Control Rectifier) มีหน้าที่ เป็นสวิตช์เปิด-ปิด (ON-OFF) เพื่อควบคุมการจ่ายกำลังไฟฟ้าของวงจรทางอิเล็กทรอนิกส์
- ◆ ข้อดีของ เอสซีอาร์ คือไม่มีหน้าสัมผัสเพราะเป็นอุปกรณ์สารกึ่งตัวนำจึงทำให้ไม่เกิดประกายไฟ จึงมีความปลอดภัยขณะใช้งาน
- ◆ ในรถยนต์มีการนำเอา เอสซีอาร์ มาประยุกต์ใช้ในการควบคุมการทำงานของอุปกรณ์ระบบจุดระเบิดในเครื่องยนต์ เพื่อให้การทำงานมีประสิทธิภาพและมีความแม่นยำยิ่งขึ้น

จิรโรจน์ เลิศธนเปี่ยมสุข สาขาวิชาช่างยนต์ วิทยาลัยเทคนิคศรีสะเกษ

4.5.1 โครงสร้างและสัญลักษณ์ของเอสซีอาร์

- ◆ เอสซีอาร์ มีโครงสร้างของสารกึ่งตัวนำชนิด N และชนิด P ทั้งหมด 4 ตอน เป็นสารกึ่งตัวนำชนิด N และชนิด P อย่างละ 2 ตอน เรียงสลับกัน คือ P-N-P-N
- ◆ มีขาต่อกันออกมาใช้งาน 3 ขา คือ ขาแอโนด (Anode) แคโทด (Cathode) และเกต (Gate)
- ◆ เอสซีอาร์ มีอยู่ด้วยกัน 2 ชนิด คือ ชนิด PNPN และชนิด NPNP

จิรโรจน์ เลิศธนเปี่ยมสุข สาขาวิชาช่างยนต์ วิทยาลัยเทคนิคศรีสะเกษ



รูปที่ 4.38 โครงสร้างและสัญลักษณ์ของเอสซีอาร์

จิรโรจน์ เลิศธนเปี่ยมสุข สาขาวิชาช่างยนต์ วิทยาลัยเทคนิคศรีสะเกษ



รูปที่ 4.39 เอสซีอาร์ลักษณะต่าง ๆ

จิรโรจน์ เลิศธนเปี่ยมสุข สาขาวิชาช่างยนต์ วิทยาลัยเทคนิคศรีสะเกษ

4.5.2 หลักการทำงานของเอสซีอาร์

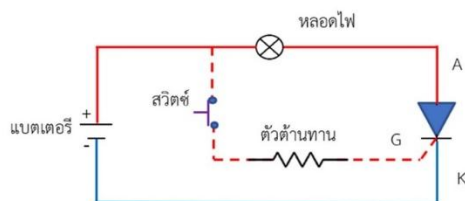
สภาวะการทำงานของเอสซีอาร์ แบ่งได้ 2 สภาวะ คือ สภาวะนำกระแส เรียกว่า ON และสภาวะหยุดนำกระแส เรียกว่า OFF

เอสซีอาร์ มีลักษณะคล้ายกับไดโอดทั่วไป โดยไดโอดจะทำงานเมื่อได้รับการไบอัสตรงด้วยแรงดันอยู่ที่ 0.3 – 0.7 โวลต์ ไดโอดถึงจะทำงานได้

แต่เอสซีอาร์ จะทำงานได้ต้องมีการป้อนไฟเข้าขาที่สามของมันที่ เรียกว่า **การทริกเอสซีอาร์**

จิรโรจน์ เลิศธนเปี่ยมสุข สาขาวิชาช่างยนต์ วิทยาลัยเทคนิคศรีสะเกษ

4.5.2.1 สถานะนำกระแสของเอสซีอาร์



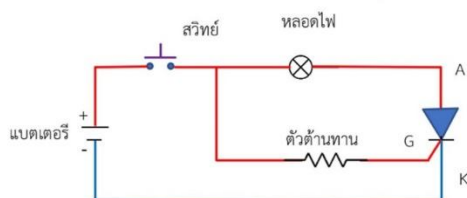
รูปที่ 4.40 สถานะนำกระแสของเอสซีอาร์

จิรโรจน์ เลิศธนเปี่ยมสุข สาขาวิชาช่างยนต์ วิทยาลัยเทคนิคศรีสะเกษ

4.5.2.2 สถานะหยุดนำกระแสของเอสซีอาร์

วิธีการทำให้เอสซีอาร์หยุดนำกระแสมีอยู่ 3 วิธี คือ

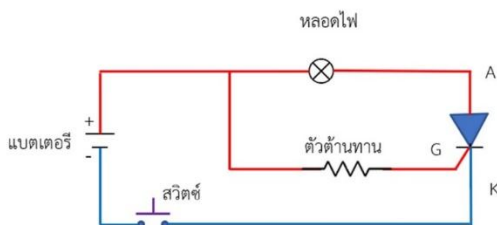
1) การตัดไฟที่ขั้วบวกของแหล่งจ่ายไฟที่ขั้วแอนโนดของเอสซีอาร์



รูปที่ 4.41 การทำให้เอสซีอาร์หยุดนำกระแสด้วยการตัดไฟที่ขั้วบวกของแหล่งจ่ายไฟ

จิรโรจน์ เลิศธนเปี่ยมสุข สาขาวิชาช่างยนต์ วิทยาลัยเทคนิคศรีสะเกษ

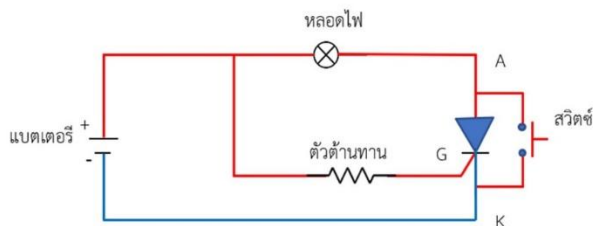
2) การตัดไฟที่ขั้วลบของแหล่งจ่ายไฟ



รูปที่ 4.42 การทำให้เอสซีอาร์หยุดนำกระแสด้วยวิธีการตัดไฟที่ขั้วลบของแหล่งจ่ายไฟ

จิรโรจน์ เลิศธนเปี่ยมสุข สาขาวิชาช่างยนต์ วิทยาลัยเทคนิคศรีสะเกษ

3) การทำบายพาส



รูปที่ 4.43 การทำให้เอสซีอาร์หยุดนำกระแสด้วยวิธีการทำบายพาส

จิรโรจน์ เลิศธนเปี่ยมสุข สาขาวิชาช่างยนต์ วิทยาลัยเทคนิคศรีสะเกษ

5. การวัดและทดสอบอุปกรณ์สารกึ่งตัวนำ

5.1 การวัดและทดสอบไดโอด

การไบอัสตรง

1. ปรับสวิตช์เลือกย่านวัดไปที่ย่านวัดไดโอด
 2. ดัดตั้งสายวัดสีดำเข้ากับช่อง COM และสายวัดสีแดงเข้าช่องสัญลักษณ์ V, Ω , mA μ A
 3. ต่อโพรบวัดสีแดงเข้ากับขาแอนโนด (ขั้ว +) และต่อโพรบวัดสีดำเข้ากับขาแคโทด (ขั้ว -)
- แรงดันคร่อมอยู่ระหว่าง 0.5 - 0.8 V
- หมายถึงไดโอดสภาพดี



รูปที่ 4.44 การวัดและทดสอบไดโอดด้วยการไบอัสตรง

จิรโรจน์ เลิศธนเปี่ยมสุข สาขาวิชาช่างยนต์ วิทยาลัยเทคนิคศรีสะเกษ

การไบอัสกลับ

3. ต่อโพรบวัดสีแดงเข้ากับขาแคโทด (ขั้ว -) และต่อโพรบวัดสีดำเข้ากับขาแอนโนด (ขั้ว +)
- ไดโอดสภาพดีหน้าจอก็จะแสดง OL

ข้อควรระวัง คือ ขณะทำการวัดไดโอด

ต้องวัดขณะตัวไดโอดอยู่นอกวงจร หรือในกรณีที่ไม่มีไฟ และมีหลักการสังเกตหาไดโอด คือ ถ้าเป็นขาแคโทด (ขั้ว -) จะมีวงกลมสีขาวคาดไว้รอบตัวไดโอด



รูปที่ 4.45 การวัดและทดสอบไดโอดด้วยการไบอัสกลับ

จิรโรจน์ เลิศธนเปี่ยมสุข สาขาวิชาช่างยนต์ วิทยาลัยเทคนิคศรีสะเกษ

สรุปการวัดและทดสอบไดโอดด้วยมัลติมิเตอร์ดิจิทัล

1. เมื่อไบอัสตรงให้ไดโอด หน้าจอจะแสดงแรงดันตกคร่อมอยู่ระหว่าง 0.5 - 0.8 V และเมื่อสลับสายมัลติมิเตอร์ (ไบอัสกลับ) หน้าจอแสดง OL 1 ครั้ง แสดงว่าไดโอดมีสภาพดี
2. ถ้าสลับสายมัลติมิเตอร์วัดแล้วหน้าจอแสดง OL ทั้ง 2 ครั้ง แสดงว่าไดโอดขาด
3. ถ้าสลับสายมัลติมิเตอร์วัดแล้วหน้าจอแสดง 0.000 V ทั้ง 2 ครั้ง แสดงว่าไดโอดลัดวงจร

จิรโรจน์ เลิศธนเปี่ยมสุข สาขาวิชาช่างยนต์ วิทยาลัยเทคนิคศรีสะเกษ

5.2 การวัดและทดสอบซีเนอร์ไดโอด

การวัดและทดสอบซีเนอร์ไดโอดแบ่งออกเป็น 3 กรณี คือ ซีเนอร์ไดโอดดี ซีเนอร์ไดโอดขาด และซีเนอร์ไดโอดลัดวงจร

ไดโอดทั่วไปทำงานได้ต้องจ่ายแรงดันไบอัสตรงที่ประมาณ 0.3 – 0.7 V

ซีเนอร์ไดโอดการจ่ายแรงดันไบอัสตรงจะไม่ทำงาน จะยอมทำงานเมื่อจ่ายแรงดันไบอัสกลับและแรงดันนั้นต้องมีค่าถึงแรงดันเบรกดาวนของซีเนอร์

การใช้มัลติมิเตอร์ดิจิทัลวัดและทดสอบซีเนอร์ไดโอด ให้ปรับมัลติมิเตอร์ไปที่ย่านการวัดไดโอด ปกติมัลติมิเตอร์ดิจิทัลขณะทำการวัดจะจ่ายไฟออกมา 3 V

จิรโรจน์ เลิศธนเปี่ยมสุข สาขาวิชาช่างยนต์ วิทยาลัยเทคนิคศรีสะเกษ

5.2.1 ซีเนอร์ไดโอดดี การวัดและทดสอบซีเนอร์ไดโอด จะแบ่งได้ 2 กรณี ดังนี้

5.2.1.1 กรณีซีเนอร์ไดโอดมีแรงดันมากกว่าแรงดันมัลติมิเตอร์ เช่น 2 V, 3.3 V, 4.2 V, 4.7 V เป็นต้น การวัดและทดสอบด้วยมัลติมิเตอร์ให้ปฏิบัติทั้ง 2 กรณี คือ ให้ทำการไบอัสตรง และทำการไบอัสกลับ

การวัดและทดสอบแบบไบอัสตรง

- 1) ปรับสวิตช์เลือกย่านวัดไปที่ย่านวัดไดโอด
- 2) โพรบมัลติมิเตอร์สีแดงต่อกับขาแอนโนด (A) สีดำต่อกับขาแคโทด (K) หน้าจอจะแสดงผลเป็นค่าแรงดันตกคร่อมออกมาค่า ๆ หนึ่ง เช่น 0.647 V

จิรโรจน์ เลิศธนเปี่ยมสุข สาขาวิชาช่างยนต์ วิทยาลัยเทคนิคศรีสะเกษ

วัดและทดสอบแบบไบอัสกลับ

ให้นำโพรบมัลติมิเตอร์สีแดงต่อกับขาแคโทด (K) สีดำต่อกับขาแอนโนด (A) หน้าจอจะแสดงผลเป็นค่าแรงดันตกคร่อมออกมาเป็นค่า OL

ถ้าผลการวัดและทดสอบไม่เป็นไปตาม 2 กรณีดังกล่าวแสดงว่าซีเนอร์ไดโอดเสีย



รูปที่ 4.46 การวัดและทดสอบซีเนอร์ไดโอด
กรณีมีแรงดันมากกว่าแรงดันมัลติมิเตอร์ดิจิทัล

จิรโรจน์ เลิศธนเปี่ยมสุข สาขาวิชาช่างยนต์ วิทยาลัยเทคนิคศรีสะเกษ

5.2.1.2 กรณีซีเนอร์ไดโอด มีแรงดันน้อยกว่าแรงดันมัลติมิเตอร์

เช่น ซีเนอร์ไดโอด 1.8 V, 2 V ในกรณีนี้ ขณะที่ทำการวัดและทดสอบมัลติมิเตอร์จะแสดงผลออกมาเป็นตัวเลขค่าหนึ่ง ไม่ว่าจะทำการวัดและทดสอบแบบไบอัสตรง หรือทำการวัดและทดสอบแบบไบอัสกลับ

กรณีทำการวัดและทดสอบแบบไบอัสตรง

นำโพรบมัลติมิเตอร์สีแดงต่อกับขาแอนโนด (A) สีดำต่อกับขาแคโทด (K) หน้าจอจะแสดงผลเป็นค่าแรงดันตกคร่อมออกมาค่าหนึ่ง แต่ค่าที่ได้จะน้อยกว่าที่จ่ายออกมาจากตัวมัลติมิเตอร์

จิรโรจน์ เลิศธนเปี่ยมสุข สาขาวิชาช่างยนต์ วิทยาลัยเทคนิคศรีสะเกษ

กรณีทำการวัดและทดสอบแบบไบอัสกลับ

ค่าที่ได้จะมากกว่าแบบไบอัสตรง ซึ่งจะใกล้เคียงกับค่าแรงดันที่ตกคร่อมของซีเนอร์ไดโอดตัวนั้น ๆ เช่น ซีเนอร์ไดโอด 1.8 V ค่าที่แสดงบนหน้าจอมัลติมิเตอร์อาจจะได้ 1.5 V 1.7 V เป็นต้น เพราะว่าแรงดันของมัลติมิเตอร์มีค่าสูงกว่าจึงสามารถเอาชนะแรงดันซีเนอร์ไดโอดได้

จิรโรจน์ เลิศธนเปี่ยมสุข สาขาวิชาช่างยนต์ วิทยาลัยเทคนิคศรีสะเกษ



รูปที่ 4.47 การวัดและทดสอบซีเนอร์ไดโอด กรณีมีแรงดันน้อยกว่า
แรงดันมัลติมิเตอร์ดิจิทัล

จิรโรจน์ เลิศธนเปี่ยมสุข สาขาวิชาช่างยนต์ วิทยาลัยเทคนิคศรีสะเกษ

5.2.2 ซีเนอร์ไดโอดขาด เมื่อนำโพรบมัลติมิเตอร์สีแดงต่อกับ
แอโนด (A) โพรบสีดำต่อกับ แคโทด (K) และสลับโพรบมัลติมิเตอร์
หน้าจอก็จะแสดงผลเป็น OL ทั้ง 2 ครั้ง แสดงว่าซีเนอร์ไดโอดขาด

5.2.3 ซีเนอร์ไดโอดลัดวงจร เมื่อนำโพรบมัลติมิเตอร์สีแดงต่อกับ
แอโนด (A) โพรบสีดำต่อกับแคโทด (K) และทำการสลับสายมัลติ
มิเตอร์ หน้าจอก็จะแสดงผลเป็น 0.000 V ทั้ง 2 ครั้ง แสดงว่าซีเนอร์
ไดโอดลัดวงจร

จิรโรจน์ เลิศธนเปี่ยมสุข สาขาวิชาช่างยนต์ วิทยาลัยเทคนิคศรีสะเกษ

ขั้นตอนการวัดและทดสอบทรานซิสเตอร์ด้วยมิเตอร์ดิจิทัล

1. ปรับย่านมัลติมิเตอร์ไปที่การวัดไดโอด
2. วัดขา B กับ E และวัดขา B กับขา C

กรณีทรานซิสเตอร์ ชนิด NPN

ใช้โพรบวัดสีแดงแตะยึดกับขา B ไว้เป็นหลัก และโพรบวัดสีดำให้
แตะขา E และย้ายโพรบวัดสีดำไปแตะขา C ถ้าทรานซิสเตอร์ดีแรงดัน
ตกคร่อมของรอยต่อ PN ประมาณ 0.4 - 0.6 V ดังรูปที่ 4.48

จิรโรจน์ เลิศธนเปี่ยมสุข สาขาวิชาช่างยนต์ วิทยาลัยเทคนิคศรีสะเกษ

5.3 การวัดและทดสอบทรานซิสเตอร์



รูปที่ 4.48 การวัดและทดสอบทรานซิสเตอร์ ชนิด NPN ด้วยมัลติมิเตอร์ดิจิทัล

จิรโรจน์ เลิศธนเปี่ยมสุข สาขาวิชาช่างยนต์ วิทยาลัยเทคนิคศรีสะเกษ

กรณีทรานซิสเตอร์ ชนิด PNP

ใช้โพรบวัดสีดำแตะขั้วขา B ไว้เป็นหลัก
โพรบวัดสีแดงให้แตะขา E และย้ายโพรบวัดสีดำ
ไปแตะขา C ถ้าทรานซิสเตอร์ดีแรงดันตกคร่อม
รอยต่อ PN ประมาณ 0.4 – 0.6 V

วัดขา C กับ E และสลับโพรบวัดอีกครั้ง
ถ้าทรานซิสเตอร์ดี หน้าจอจะแสดงผลเป็น OL
ทั้ง 2 ครั้ง ทั้งทรานซิสเตอร์ชนิด NPN
และชนิด PNP



รูปที่ 4.49 การวัดและทดสอบทรานซิสเตอร์ ชนิด PNP ด้วยมัลติมิเตอร์ดิจิทัล

จิรโรจน์ เลิศธนเปี่ยมสุข สาขาวิชาช่างยนต์ วิทยาลัยเทคนิคศรีสะเกษ

กรณีทรานซิสเตอร์ขาด

เมื่อทำการวัดและทดสอบ เมื่อสลับโพรบวัดของมัลติมิเตอร์หน้าจอ
จะแสดงผลเป็น OL ทั้ง 2 ครั้ง

กรณีทรานซิสเตอร์ลัดวงจร

เมื่อวัดและทดสอบ เมื่อสลับโพรบวัดของมัลติมิเตอร์หน้าจอจะแสดงผลเป็น
0.000 V ทั้ง 2 ครั้ง

จิรโรจน์ เลิศธนเปี่ยมสุข สาขาวิชาช่างยนต์ วิทยาลัยเทคนิคศรีสะเกษ

5.4 การวัดและทดสอบเฟต

เฟตมี 3 ขาคือ ขาเกต (G) ขาเดรน (D) ขาซอส (S) แบ่งได้ด้วยกัน 2 ชนิด

คือ ชนิดเจเฟต และชนิดมอสเฟต

การทดสอบเจเฟตว่าดีหรือเสียด้วยการใช้สายมัลติมิเตอร์ โดยปฏิบัติ ดังนี้

- 1) ให้ใช้โพรบวัดมัลติมิเตอร์ทั้งสองแตะขาของคู่ที่วัดแล้วมีค่าความต้านทานเท่ากันทั้งสองครั้งไว้
- 2) ใช้โพรบมัลติมิเตอร์ขั้วที่เป็นไฟบวกหรือลบแตะที่ของเกต (G) แล้วปล่อย ทำสลับกันไปเรื่อย ๆ ถ้าเข็มมัลติมิเตอร์ที่ขึ้นลงแสดงว่าเจเฟตดี แต่ถ้าเข็มมัลติมิเตอร์ไม่ขึ้นเลยแสดงว่าเจเฟตมีอากรขาดภายใน หรือเข็มมัลติมิเตอร์ที่ขึ้นจนสุดตรงเลข 0 แสดงว่าเจเฟตลัดวงจรภายใน

จิรโรจน์ เลิศธนเปี่ยมสุข สาขาวิชาช่างยนต์ วิทยาลัยเทคนิคศรีสะเกษ

5.4.2 การวัดและทดสอบมอสเฟต

โดยปกติขาของมอสเฟตเมื่อเรียงลำดับจากซ้ายไปขวา จะเรียงดังนี้ คือ ขาเกต (G) ขาเดรน (D) และขาซอส (S) ตามลำดับ ดังรูปที่ 4.50

กรณีมอสเฟตดี ไม่ว่าจะเป็นชนิด N แชลแนล หรือชนิด P แชลแนล ขณะทำการวัดระหว่างขา S กับขา D เข็มมัลติมิเตอร์จะขึ้นและอ่านค่าได้ค่าหนึ่ง แต่จะไม่ได้ค่าเป็นศูนย์ (0)



รูปที่ 4.50 ตำแหน่งขามอสเฟต

จิรโรจน์ เลิศธนเปี่ยมสุข สาขาวิชาช่างยนต์ วิทยาลัยเทคนิคศรีสะเกษ

5.4.3 การวัดและทดสอบมอสเฟตแบบ E-MOSFET

ตารางที่ 4.1 การวัดมอสเฟตแบบ E-MOSFET ด้วยมัลติมิเตอร์แอนะล็อก คู่มือการดี เสีย

โพรบวัดของมัลติมิเตอร์	ชนิด N แชลแนล		ชนิด P แชลแนล	
	อาการเข็มมัลติมิเตอร์			
	ขึ้น	ไม่ขึ้น	ขึ้น	ไม่ขึ้น
โพรบสีแดงแตะขา D โพรบสีดำแตะขา S	✓			✓
โพรบสีดำแตะขา D โพรบสีแดงแตะขา S	-	✓	✓	
สีโพรบแดงแตะขา G โพรบสีดำแตะขา D (วัดสลับขาได้)	-	✓	-	✓
โพรบสีแดงแตะขา G โพรบสีดำแตะขา S (วัดสลับขาได้)	-	✓	-	✓

จิรโรจน์ เลิศธนเปี่ยมสุข สาขาวิชาช่างยนต์ วิทยาลัยเทคนิคศรีสะเกษ

ตารางที่ 4.1 การวัดมอสเฟตแบบ E-MOSFET ด้วยมัลติมิเตอร์แอนะล็อก คู่มือการดี เสีย (ต่อ)

ถ้าวัดระหว่างขา D กับขา S เมื่อสลับโพรบมัลติมิเตอร์ เข็มขึ้นทั้ง 2 ครั้ง แสดงว่ามอสเฟตลัดวงจร
ถ้าวัดระหว่างขา G กับขา D และขา G กับขา S ไม่ว่าจะวัดคู่ไหนถ้าเข็มขึ้นแสดงว่ามอสเฟตลัดวงจร
ถ้าวัดระหว่างขา G กับขา D และขา G กับขา S ไม่ว่าจะวัดคู่ไหนถ้าเข็มไม่ขึ้นแสดงว่ามอสเฟตขาด

จิ๋วโรจน์ เลิศอนเบียมสุข สาขาวิชาช่างยนต์ วิทยาลัยเทคนิคศรีสะเกษ



(ก) โพรบสีแดงแตะขา D โพรบสีดำแตะขา S (ข) โพรบสีดำแตะขา G โพรบสีแดงแตะขา S

รูปที่ 4.51 การวัด E-MOSFET ชนิด N แชลแนล ด้วยมัลติมิเตอร์แอนะล็อก คู่มือการดี เสีย

จิ๋วโรจน์ เลิศอนเบียมสุข สาขาวิชาช่างยนต์ วิทยาลัยเทคนิคศรีสะเกษ



(ค) โพรบสีแดงแตะขา G โพรบสีดำแตะขา D (ง) โพรบสีดำแตะขา D โพรบสีแดงแตะขา S

รูปที่ 4.51 การวัด E-MOSFET ชนิด N แชลแนล ด้วยมัลติมิเตอร์แอนะล็อก คู่มือการดี เสีย

จิ๋วโรจน์ เลิศอนเบียมสุข สาขาวิชาช่างยนต์ วิทยาลัยเทคนิคศรีสะเกษ

5.4.4 การทดสอบการทำงานของมอสเฟตแบบ E-MOSFET

วิธีการทดสอบการทำงานของมอสเฟตแบบ E-MOSFET ชนิด N แชนแนล และชนิด P แชนแนล ใช้วิธีการป้อนสัญญาณไฟจากมัลติมิเตอร์เข้าที่ขาเกต เรียกว่า การทริก ซึ่งมีอยู่ 2 สภาวะด้วยกัน คือ การทริกออน (Trick On) และการทริกออฟ (Trick Off) เพื่อเป็นการไบอัสให้กับขาเกต

แบบ E-MOSFET

ชนิด N แชนแนล ใช้การไบอัสตรงให้กับขาเกต มอสเฟตจึงจะสามารถทำงานได้

ชนิด P แชนแนล ใช้การไบอัสกลับให้กับขาเกต มอสเฟตจึงจะสามารถทำงานได้

จิ๋วโรจน์ เลิศอนเบียมสุข สาขาวิชาช่างยนต์ วิทยาลัยเทคนิคศรีสะเกษ

ตารางที่ 4.2 วิธีการทดสอบการทำงานของมอสเฟตแบบ E-MOSFET

E-MOSFET	การ Trick On	การ Trick Off
ชนิด N แชนแนล	ใช้โพรบวัดสีดำ	ใช้โพรบวัดสีแดง
ชนิด P แชนแนล	ใช้โพรบวัดสีแดง	ใช้โพรบวัดสีดำ

จิ๋วโรจน์ เลิศอนเบียมสุข สาขาวิชาช่างยนต์ วิทยาลัยเทคนิคศรีสะเกษ

ขั้นตอนการทดสอบการทำงานของมอสเฟต

1. ทำการคายประจุออกจากตัวของมอสเฟต
2. ถ้าเป็นชนิด N แชนแนล ใช้โพรบวัดมัลติมิเตอร์ดำแตะที่ขาเดรน โพรบสีแดงแตะที่ขาซอส แล้วย้ายโพรบวัดสีดำไปแตะที่ขาเกต และย้ายโพรบวัดสีดำกลับมาแตะที่ขาเดรนอีกครั้งหนึ่ง จะเป็นการ Trick On ให้มอสเฟตทำงาน ถ้าต้องการให้หยุดทำงานให้ย้ายโพรบสีแดงมาแตะที่ขาเกต แล้วย้ายกลับไปแตะที่ขาซอสอีกครั้ง จะเป็นการ Trick Off ให้มอสเฟตหยุดทำงาน

จิ๋วโรจน์ เลิศอนเบียมสุข สาขาวิชาช่างยนต์ วิทยาลัยเทคนิคศรีสะเกษ

ขั้นตอนการทดสอบการทำงานของมอสเฟต (ต่อ)

3. ถ้าเป็นชนิด P แชลแนล ใช้โพรบวัดแรงดันมัลติมิเตอร์แตะที่ขาเดรน โพรบสีดำแตะที่ขาซอส แล้วย้ายโพรบวัดสีแดงไปแตะที่ขาเกต จากนั้นย้ายโพรบสีแดงกลับมาแตะที่ขาเดรนอีกครั้งหนึ่ง จะเป็นการ Trick On ให้มอสเฟตทำงาน ถ้าต้องการให้หยุดทำงาน ให้ย้ายโพรบสีดำมาแตะที่ขาเกต แล้วย้ายกลับไปแตะที่ขาซอสอีกครั้ง จะเป็นการ Trick Off ให้มอสเฟตหยุดทำงาน

จิรโรจน์ เลิศอนันต์มสุข สาขาวิชาช่างยนต์ วิทยาลัยเทคนิคศรีสะเกษ

5.4.5 การวัดและทดสอบมอสเฟตแบบ D-MOSFET

มอสเฟตแบบ D-MOSFET ชนิด N แชลแนล และชนิด P แชลแนล มีวิธีการวัดและทดสอบมอสเฟต ดังนี้

1. คายประจุออกจากตัวมอสเฟต สามารถปฏิบัติได้โดยใช้โลหะที่เป็นตัวนำไฟฟ้านำมาแตะให้ขาทั้ง 3 ถึงกัน
2. ปรับมัลติมิเตอร์ไปที่ย่านการวัดความต้านทาน โดยปรับสวิตช์ย่านการวัดไปที่ $R \times 10$ แล้วปรับให้เข็มมัลติมิเตอร์ตรงกับเลขศูนย์ (0)
3. ทำการวัดระหว่างขาเดรน (D) กับขาซอส (S) แล้วสลับโพรบวัดของมัลติมิเตอร์ ที่วัดระหว่างขาเดรน (D) กับขาซอส (S) โดยให้สังเกต ดังตารางที่ 4.3

จิรโรจน์ เลิศอนันต์มสุข สาขาวิชาช่างยนต์ วิทยาลัยเทคนิคศรีสะเกษ

ตารางที่ 4.3 การวัดมอสเฟตแบบ D-MOSFET ด้วยมัลติมิเตอร์แอนะล็อก

โพรบวัดของมัลติมิเตอร์	ชนิด N แชลแนล		ชนิด P แชลแนล	
	อาการเข็มมัลติมิเตอร์			
	ขึ้น	ไม่ขึ้น	ขึ้น	ไม่ขึ้น
	โพรบสีดำแตะขา S โพรบสีแดงแตะขา D	ขึ้นมาก	ขาด	ขึ้นน้อย	ขาด
โพรบสีดำแตะขา D โพรบสีแดงแตะขา S	ขึ้นน้อย	ขาด	ขึ้นมาก	ขาด
โพรบสีดำแตะขา D โพรบสีแดงแตะขา S	ถ้าขึ้นถึงเลขศูนย์ (0) คือลัดวงจร		ถ้าขึ้นถึงเลขศูนย์ (0) คือลัดวงจร	
และสลับโพรบวัดของมัลติมิเตอร์				

จิรโรจน์ เลิศอนันต์มสุข สาขาวิชาช่างยนต์ วิทยาลัยเทคนิคศรีสะเกษ

ตารางที่ 4.3 การวัดมอสเฟตแบบ D-MOSFET ด้วยมัลติมิเตอร์แอนะล็อก (ต่อ)

โพรบวัดของมัลติมิเตอร์	ชนิด N แชนแนล		ชนิด P แชนแนล	
	อาการเข็มมัลติเตอร์			
	ขึ้น	ไม่ขึ้น	ขึ้น	ไม่ขึ้น
โพรบสีดำแตะขา G สีแดงแตะขา D และสลับโพรบวัดของมัลติมิเตอร์	-	✓	-	✓
โพรบสีดำแตะขา G โพรบสีแดงแตะขา S และสลับโพรบวัดของมัลติมิเตอร์	-	✓	-	✓
ถ้าวัดระหว่างขา D กับขา S เมื่อสลับโพรบมัลติมิเตอร์ เข็มตีสขึ้นทั้ง 2 ครั้ง แสดงว่ามอสเฟตลัดวงจร				
ถ้าวัดระหว่างขา G กับขา D และขา G กับขา S ไม่ว่าจะวัดคู่ไหนถ้าเข็มตีสขึ้นแสดงว่ามอสเฟตลัดวงจร				
ถ้าวัดระหว่างขา G กับขา D และขา G กับขา S ไม่ว่าจะวัดคู่ไหนถ้าเข็มไม่ตีสขึ้นแสดงว่ามอสเฟตขาด				

จิโรจน์ เลิศอนเนียมสุข สาขาวิชาช่างยนต์ วิทยาลัยเทคนิคศรีสะเกษ

5.4.6 การวัดและทดสอบเอสซีอาร์

ขั้นตอนการวัดและทดสอบเอสซีอาร์

1. ตั้งย่านการวัดมัลติมิเตอร์ไปที่การวัดไดโอด ใช้โพรบวัดสีแดงแตะขา G โพรบวัดสีดำแตะขา K ถ้าเอสซีอาร์ดี หน้าจอมัลติมิเตอร์จะแสดงค่าขึ้นมา 1 ครั้ง เมื่อสลับโพรบวัดจะแสดงค่าเป็น OL



รูปที่ 4.52 การวัดระหว่างขา G กับขา K ของเอสซีอาร์

จิโรจน์ เลิศอนเนียมสุข สาขาวิชาช่างยนต์ วิทยาลัยเทคนิคศรีสะเกษ

ขั้นตอนการวัดและทดสอบเอสซีอาร์ (ต่อ)

2. วัดระหว่างขา A กับขา K และสลับโพรบวัดมัลติมิเตอร์ ถ้าเอสซีอาร์ดี หน้าจอจะแสดงผลเป็น OL ทั้ง 2 ครั้ง หรือแสดงค่าความต้านทานต่ำมาก ๆ เช่น 0 Ω แสดงว่าเอสซีอาร์ลัดวงจร



รูปที่ 4.53 การวัดระหว่างขา A กับขา K ของเอสซีอาร์

จิโรจน์ เลิศอนเนียมสุข สาขาวิชาช่างยนต์ วิทยาลัยเทคนิคศรีสะเกษ

สรุป เรื่อง อุปกรณ์สารกึ่งตัวนำ

คุณสมบัติของธาตุที่เป็นสารกึ่งตัวนำ มีส่วนประกอบเล็ก ๆ เรียกว่า โมเลกุล มารวมตัวกัน แต่ละโมเลกุล ประกอบด้วยส่วนที่เล็กที่สุดเรียกว่าอะตอม โดยอะตอมแต่ละอะตอมจะมีแกนกลางประกอบด้วยนิวตรอนและโปรตอนอยู่รวมกัน เรียกว่านิวเคลียส และมีอิเล็กตรอนวิ่งอยู่รอบนิวเคลียสหลาย ๆ วง ในอะตอมเดียว อิเล็กตรอนมีวงโคจรเป็นชั้น ๆ แต่ละชั้นมีระดับค่าพลังงานที่แน่นอน อิเล็กตรอนที่อยู่วงนอกสุดเรียกว่า วาเลนซ์อิเล็กตรอน (Valence Electron) จะมีระดับพลังงานมากที่สุด โปรตอนมีศักย์ทางไฟฟ้าเป็นบวก นิวตรอนมีศักย์ทางไฟฟ้าเป็นกลางและ อิเล็กตรอนมีศักย์ทางไฟฟ้าเป็นลบ

จิรโรจน์ เลิศธนเปี่ยมสุข สาขาวิชาช่างยนต์ วิทยาลัยเทคนิคศรีสะเกษ

สรุป เรื่อง อุปกรณ์สารกึ่งตัวนำ (ต่อ)

วัสดุจะมีคุณสมบัติอยู่ 3 ชนิด คือ ตัวนำ ฉนวน และสารกึ่งตัวนำ แต่ละชนิดมีคุณสมบัติที่แตกต่างกัน ดังนี้

ตัวนำ คือ วัสดุที่มีคุณสมบัติยอมให้กระแสไฟฟ้าไหลผ่านไปได้ เช่น เงิน ทองแดง ทองเหลือง อลูมิเนียม สังกะสี นิกเกิล ตะกั่ว แพลทินัม วัสดุที่เป็นตัวนำเมื่อเรียงตามความสามารถในการนำไฟฟ้าที่ดี ได้แก่ เงิน ทองแดง ทอง อลูมิเนียม

ฉนวน คือ วัสดุที่มีคุณสมบัติไม่ให้อิทธิพลไฟฟ้าไหลผ่านได้หรือมีความต้านทานไฟฟ้าสูง หรือไม่ยอมให้อิทธิพลไฟฟ้าไหลผ่าน วัสดุที่เป็นฉนวนไฟฟ้าได้แก่ พลาสติก กระเบื้อง ยาง แก้ว ผ้า เทปพันสายไฟ กระดาษ ไม้แห้ง พลาสติก และวัสดุที่เป็น

จิรโรจน์ เลิศธนเปี่ยมสุข สาขาวิชาช่างยนต์ วิทยาลัยเทคนิคศรีสะเกษ

สรุป เรื่อง อุปกรณ์สารกึ่งตัวนำ (ต่อ)

สารกึ่งตัวนำ คือ วัสดุที่มีคุณสมบัติในการนำไฟฟ้ามีความเป็นกลางระหว่างตัวนำกับ **ฉนวน** มีส่วนประกอบของเจอร์เมเนียม (Germanium) ซิลิคอน (Silicon) ซีลีเนียม (Selenium) และ **ตะกั่วเทลลูไรด์** สารดังกล่าวมีอิเล็กตรอนอิสระอยู่น้อย ไม่สามารถให้กระแสไฟฟ้าไหลเป็นจำนวนมากได้ ต้องปรุงแต่ง โดยการเจือปนอะตอมของธาตุอื่นลงไป ในเนื้อสารทำปฏิกิริยากันให้ได้สารประกอบที่มีคุณสมบัติตามที่ต้องการ ได้สารกึ่งตัวนำ เรียกว่า สารกึ่งตัวนำไม่บริสุทธิ์ ที่ใช้ทำอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ เช่น ไดโอด ซีเนอร์ไดโอด ทรานซิสเตอร์ เฟต และอื่น ๆ สำหรับสารกึ่งตัวนำ ความเป็น **ตัวนำไฟฟ้า** ขึ้นอยู่กับ **อุณหภูมิ** และสารไม่บริสุทธิ์ที่เจือปน สารกึ่งตัวนำจะมีความต้านทานไฟฟ้าลดลงเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น

จิรโรจน์ เลิศธนเปี่ยมสุข สาขาวิชาช่างยนต์ วิทยาลัยเทคนิคศรีสะเกษ

สรุป เรื่อง อุปกรณ์สารกึ่งตัวนำ (ต่อ)

สารกึ่งตัวนำไม่บริสุทธิ์แบ่งออกเป็น 2 ชนิด คือ สารกึ่งตัวนำชนิดพี (P-type Semiconductor) และสารกึ่งตัวนำชนิดเอ็น (N-type Semiconductor) แต่ละชนิดมีคุณสมบัติแตกต่างกัน ดังนี้

1. สารกึ่งตัวนำชนิด P ได้จากการเติมสารที่มีอิเล็กตรอนวงนอก 3 ตัว ลงไปในสารกึ่งตัวนำบริสุทธิ์ ที่มีจำนวนอิเล็กตรอนวงนอกสุด 4 ตัว ทำให้เกิดสภาวะขาดอิเล็กตรอน จึงมีที่ว่างของอิเล็กตรอนเรียกว่า โฮล (Hole) มากกว่าจำนวนอิเล็กตรอนอิสระ ซึ่งเป็นพาหะส่วนใหญ่ของสาร จึงมีสภาพเป็นประจุไฟฟ้าบวก และอิเล็กตรอนจะเป็นพาหะส่วนน้อย

จิรโรจน์ เลิศธนเปี่ยมสุข สาขาวิชาช่างยนต์ วิทยาลัยเทคนิคศรีสะเกษ

สรุป เรื่อง อุปกรณ์สารกึ่งตัวนำ (ต่อ)

2. สารกึ่งตัวนำชนิด N ได้จากการเติมสารเจือปนที่มีจำนวนอิเล็กตรอนวงนอกสุด 5 ตัว ลงในสารกึ่งตัวนำบริสุทธิ์ที่มีจำนวนอิเล็กตรอนวงนอกสุด 4 ตัว จะทำให้อิเล็กตรอนวงนอกสุด ของแต่ละอะตอมใช้อิเล็กตรอนร่วมกันเพื่อให้ได้ครบ 8 ตัว คุณสมบัติของสารกึ่งตัวนำชนิด N คือ ผลจากการรวมตัวกันของอิเล็กตรอนทำให้เกิดอิเล็กตรอนวงนอกสุด 1 ตัว เพราะสารเจือปนมีอิเล็กตรอนวงนอกสุด 5 ตัว จึงมีอิเล็กตรอนรวมเป็น 9 ตัว เรียกอิเล็กตรอนที่อยู่นอกวงโคจรจำนวน 1 ตัวว่า อิเล็กตรอนอิสระ ซึ่งจะแสดงประจุลบออกมา จึงเรียกอิเล็กตรอนว่าเป็นพาหะข้างมาก และเรียกโฮลว่าเป็นพาหะข้างน้อย

จิรโรจน์ เลิศธนเปี่ยมสุข สาขาวิชาช่างยนต์ วิทยาลัยเทคนิคศรีสะเกษ

สรุป เรื่อง อุปกรณ์สารกึ่งตัวนำ (ต่อ)

เมื่อนำสารกึ่งตัวนำทั้ง 2 ชนิด คือ ชนิด N และชนิด P มาต่อกัน จะมีรอยต่อเกิดขึ้น เรียกว่า รอยต่อ PN (PN Junctions) ซึ่งเป็นการนำเอาสารกึ่งตัวนำทั้งสองชนิดมาผลิตเป็นอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ ได้แก่ ไดโอด ซีเนอร์ไดโอด ทรานซิสเตอร์ เฟต เป็นต้น ซึ่งอุปกรณ์ต่าง ๆ เหล่านี้ จะมีหน้าที่และหลักการทำงานที่แตกต่างกันไป สำหรับการวัดและทดสอบอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์สามารถใช้มัลติมิเตอร์ใช้ในการวัดและทดสอบอาการดีหรือเสียของอุปกรณ์ได้

จิรโรจน์ เลิศธนเปี่ยมสุข สาขาวิชาช่างยนต์ วิทยาลัยเทคนิคศรีสะเกษ

