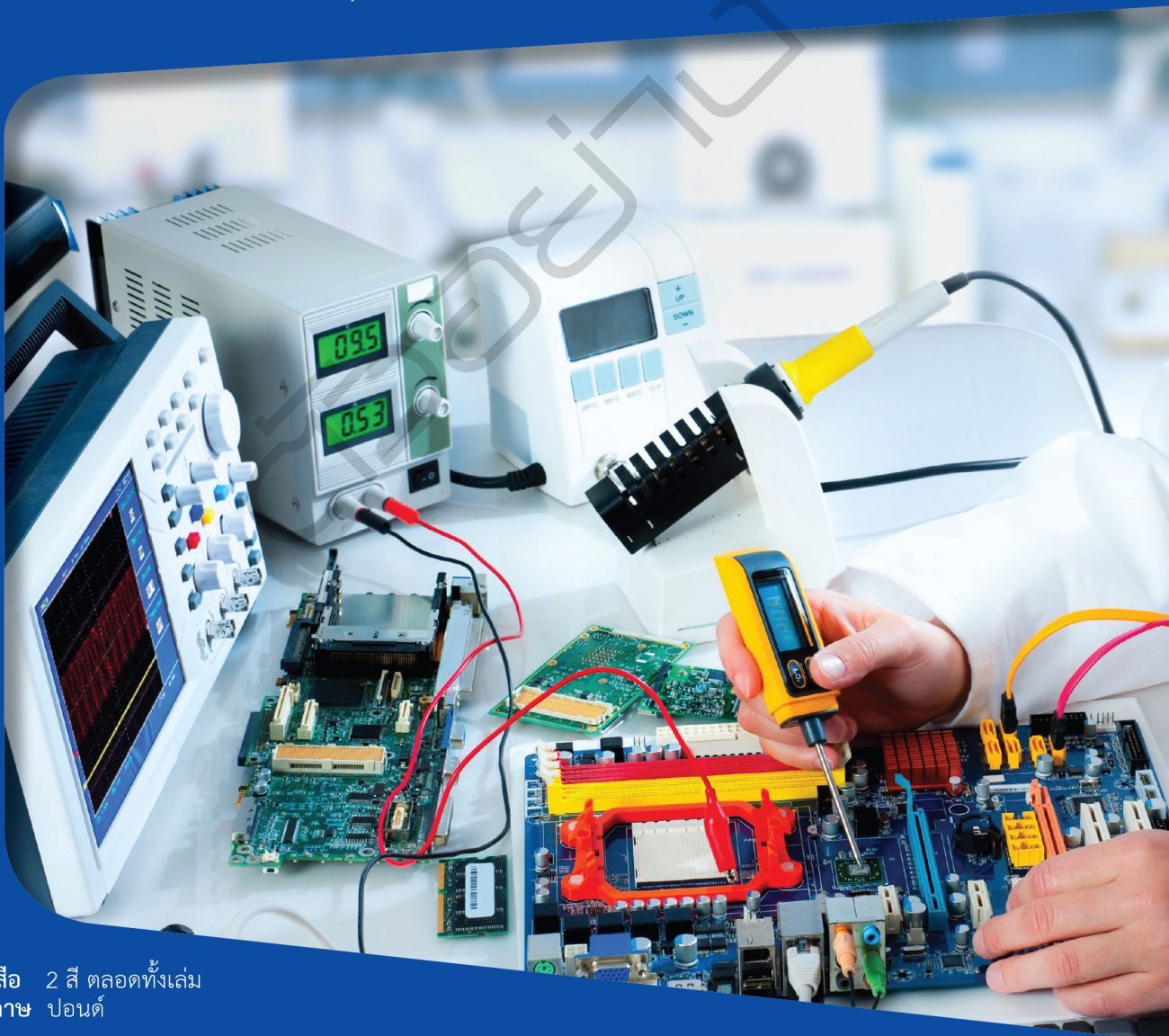


อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์และวงจร

หนังสือเล่มนี้เรียบเรียงตามจุดประสงค์รายวิชา สมรรถนะรายวิชา และคำอธิบายรายวิชา
หลักสูตรประกาศนียบัตรวิชาชีพ (ปวช.) พุทธศักราช 2556
ของสำนักงานคณะกรรมการการอาชีวศึกษา กระทรวงศึกษาธิการ

ได้ผ่านการตรวจประเมินคุณภาพจากสำนักงานคณะกรรมการการอาชีวศึกษา ประจำปีงบประมาณ พ.ศ. 2558 ครั้งที่ 1
ประเภทวิชา อุตสาหกรรม สาขาวิชา ช่างไฟฟ้ากำลัง ลำดับที่ 61

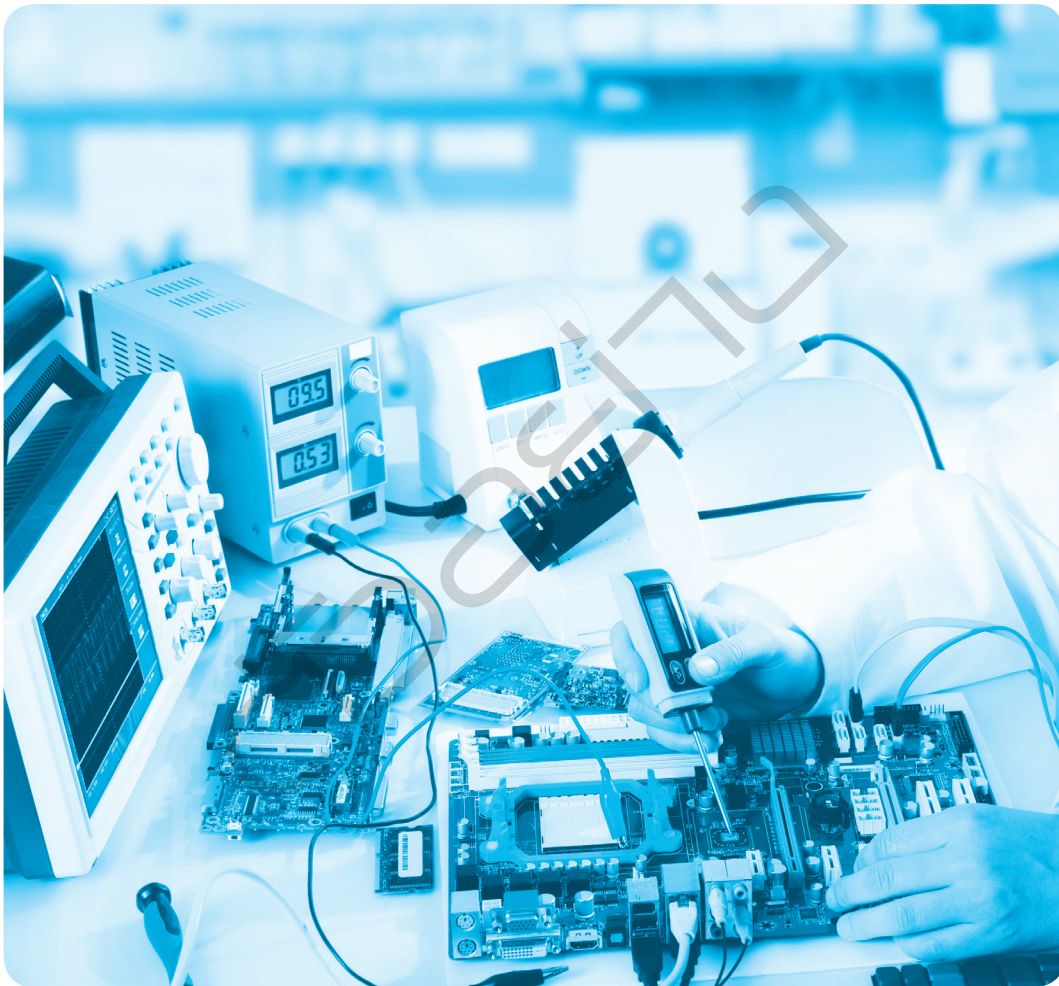
2104-2102



- หนังสือ 2 สี ตลอดทั้งเล่ม
- กระดาษ ปอนด์

ซีรี่ย์รรณ คำภักดี

อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์และวงจร 2104-2102



หมวดวิชาทักษะวิชาชีพ

กลุ่มทักษะวิชาชีพเลือก (สาขาวิชาช่างไฟฟ้ากำลัง)
หลักสูตรประกาศนียบัตรวิชาชีพ พุทธศักราช 2556

ศิริวรรณ คำภักดี

บรรณาธิการ : อภิชาติ อนุกุลเวช

ข้อมูลทางบรรณานุกรมของสำนักหอสมุดแห่งชาติ

ศิริวรรณ คำภักดี.

อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์และวงจร.-- กรุงเทพฯ : แม็คเ็ดดูเคชั่น, 2558.
272 หน้า.

1. เครื่องมืออิเล็กทรอนิกส์. 2. วงจรอิเล็กทรอนิกส์. I. ชื่อเรื่อง.

621.3815

ISBN 978-616-274-547-8

จัดพิมพ์และจำหน่ายโดย

 **IMACEDUCATION**

ผู้เขียน : ศิริวรรณ คำภักดี

การสั่งซื้อ : ส่งธนาคิตสั่งจ่าย **ไพรชณียลาดพร้าว** ในนาม **บริษัท แม็คเ็ดดูเคชั่น จำกัด**
เลขที่ 9/99 อาคารแม็ค ซอยลาดพร้าว 38 ถนนลาดพร้าว แขวงจันทระเกษม
เขตจตุจักร กรุงเทพฯ 10900

☎ : 0-2938-2022-7 FAX : 0-2938-2028

www.MACeducation.com

ราคาจำหน่าย : 150 บาท

สงวนลิขสิทธิ์ : มีนาคม 2558

พิมพ์ที่ : บริษัท ฐานการพิมพ์ จำกัด

(สงวนลิขสิทธิ์ตามกฎหมาย ห้ามลอกเลียน ไม่ว่าจะเป็นส่วนหนึ่งส่วนใดของหนังสือเล่มนี้นอกจากจะได้รับอนุญาตเป็นลายลักษณ์อักษร)

คำนำ

ตามที่กระทรวงศึกษาธิการได้ประกาศใช้หลักสูตรประกาศนียบัตรวิชาชีพ พุทธศักราช 2556 ทั้งนี้เพื่อให้สอดคล้องกับแผนพัฒนาเศรษฐกิจและสังคมแห่งชาติ ฉบับที่ 11 (พ.ศ. 2555-2559) แผนการศึกษาแห่งชาติ ฉบับปรับปรุง (พ.ศ. 2552-2559) และแผนปฏิบัติการการเตรียมความพร้อมพลเมืองเพื่อเข้าสู่ประชาคมอาเซียนในปี พ.ศ. 2558 ทั้งนี้หลักสูตรดังกล่าวมุ่งผลิตและพัฒนากำลังคนระดับฝีมือให้มีความรู้ มีคุณธรรม จริยธรรม และจรรยาบรรณวิชาชีพ สามารถประกอบอาชีพอิสระ เป็นผู้ประกอบการที่มีคุณภาพ หรือประกอบอาชีพอื่นๆ ได้ตรงตามความต้องการของสถานประกอบการทั้งในประเทศและในภูมิภาคอาเซียน

บริษัท แม็คเอ็ดดูเคชั่น จำกัด ผู้ผลิตและจำหน่ายหนังสือเรียน สื่อการเรียนรู้ และวารสารทางการศึกษาทั้งในระดับการศึกษาขั้นพื้นฐาน ระดับอาชีวศึกษา ตระหนักถึงภารกิจสำคัญในการมีส่วนร่วมในการสนับสนุนส่งเสริมการศึกษาระดับอาชีวศึกษาให้บรรลุผลสัมฤทธิ์ตามเจตนารมณ์ที่ตั้งไว้ จึงได้แต่งตั้งคณะทำงานซึ่งประกอบด้วยนักวิชาการ และผู้สอนทั้งในระดับอาชีวศึกษาและระดับอุดมศึกษาที่มีความเชี่ยวชาญด้านหลักสูตรและการจัดการเรียนรู้ ดำเนินการวิเคราะห์หลักสูตรประกาศนียบัตรวิชาชีพ พุทธศักราช 2556 ในแต่ละสาขาวิชาเพื่อจัดทำสื่อการเรียนรู้ อันประกอบด้วย

1. หนังสือเรียนที่จัดทำให้ตรงกับจุดประสงค์รายวิชา สมรรถนะรายวิชา และคำอธิบายรายวิชา ทั้งนี้โดยคำนึงถึงความสอดคล้องกับมาตรฐานการศึกษาวิชาชีพทั้ง 3 ด้าน คือ ด้านคุณลักษณะที่พึงประสงค์ ด้านสมรรถนะหลักและสมรรถนะทั่วไป และด้านสมรรถนะวิชาชีพ
2. แผนการจัดการเรียนรู้ที่มุ่งเน้นการพัฒนาสมรรถนะของผู้เรียนผ่านกิจกรรมเพื่อเป็นแนวทางให้ผู้สอนนำไปปรับให้เหมาะสมกับธรรมชาติของผู้เรียนและจุดเน้นของสถานศึกษา
3. คู่มือครูสำหรับผู้สอนใช้เป็นแนวทางในการวางแผนการจัดการเรียนรู้ และการฝึกประสบการณ์ให้แก่ผู้เรียนให้สอดคล้องกับหลักสูตร

จุดเด่นของหนังสือเรียนชุดใหม่มีดังนี้

1. นำเสนอในรูปแบบหน่วยการเรียนรู้ ที่มีเนื้อหาง่ายต่อการเรียนรู้ แต่ยังคงไว้ซึ่งความเข้มข้นและทันสมัย ทั้งนี้เนื้อหาในหนังสือเรียนมุ่งเน้นให้สัมพันธ์กับจุดประสงค์การเรียนรู้ หลักการเรียนรู้ตามสภาพจริง (Authentic Learning) และการประเมินผลตามสภาพจริง (Authentic Assessment)
2. แทรกกิจกรรมตรวจสอบความเข้าใจ กิจกรรมการฝึกกระบวนการคิด (Thinking Skills) และกิจกรรมเตรียมความพร้อมสู่ประชาคมอาเซียนให้แก่ผู้เรียน

3. พัฒนาสมรรถนะหลักและสมรรถนะวิชาชีพผ่านกระบวนการปฏิบัติงานโดยใช้ใบช่วยสอน เป็นสื่อสำหรับการฝึกกระบวนการเรียนรู้ที่สำคัญ เช่น การเรียนรู้จากโครงงาน (Project-Based Learning) การพัฒนาเทคโนโลยีให้เป็นเทคโนโลยีสะอาด (Green Technology) และการสร้างสรรค์ นวัตกรรมหรือผลิตภัณฑ์ตามแนวคิดเศรษฐกิจเชิงสร้างสรรค์ (Creative Economy) เป็นต้น

4. มีแบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน โดยจัดทำแบบทดสอบให้สอดคล้องกับจุดประสงค์ การเรียนรู้ประจำหน่วยการเรียนนั้นๆ ทำยหน่วยการเรียนรู้ทุกหน่วย

บริษัท แม็คเอดูเคชั่น จำกัด ขอขอบพระคุณสถานศึกษา ผู้สอน ผู้เรียน และผู้ที่สนใจทุกท่าน ที่ให้ความไว้วางใจในสื่อการเรียนรู้ของบริษัท บริษัทหวังเป็นอย่างยิ่งว่าสื่อการเรียนรู้ชุดนี้จะมีส่วนช่วย ให้การจัดการเรียนรู้มีประสิทธิภาพและประสิทธิผล เพื่อพัฒนาผู้เรียนให้มีคุณภาพทัดเทียมระดับสากล ต่อไป

บริษัท แม็คเอดูเคชั่น จำกัด

รหัส 2104-2102

วิชาอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์และวงจร
ทฤษฎี 1 ชั่วโมง ปฏิบัติ 3 ชั่วโมง 2 หน่วยกิต

จุดประสงค์รายวิชา เพื่อให้

1. รู้เข้าใจ โครงสร้างการทำงานและลักษณะสมบัติทางไฟฟ้าของอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์
2. มีทักษะการอ่านสัญลักษณ์ การต่อ การวัดและตรวจสอบ วงจรอิเล็กทรอนิกส์
3. มีทักษะเกี่ยวกับการทำแผ่นลายวงจรพิมพ์ ประกอบ บัดกรีอุปกรณ์ แกะไขจุดบกพร่องของวงจรอิเล็กทรอนิกส์ต่างๆ
4. มีเจตคติและกิจนิสัยที่ดีในการปฏิบัติงาน มีความละเอียดรอบคอบ ปลอดภัย เป็นระเบียบ สะอาด ตรงต่อเวลา มีความซื่อสัตย์และมีความรับผิดชอบ

สมรรถนะรายวิชา

1. แสดงความรู้เกี่ยวกับโครงสร้างและหลักการทำงานของอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์
2. ต่อวงจรและวัดค่าของวงจรอิเล็กทรอนิกส์
3. ทดสอบและแก้ไขจุดบกพร่องอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์และวงจร

คำอธิบายรายวิชา

ศึกษาและปฏิบัติเกี่ยวกับโครงสร้างของสารกึ่งตัวนำชนิด P ชนิด N โครงสร้างหลักการทำงาน สัญลักษณ์ ลักษณะสมบัติทางไฟฟ้า การต่อ การวัดและทดสอบไดโอด ไทริสเตอร์ วงจรรวม ตั้งเวลา รักษาแรงดันให้คงที่ และอุปกรณ์เชื่อมโยงทางแสง วงจรเรียงกระแสด้วยไดโอด วงจรควบคุมแรงดันให้คงที่ วงจรกำเนิดสัญญาณการประยุกต์ใช้งานอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ การทำแผ่นวงจรพิมพ์ ประกอบและบัดกรีอุปกรณ์ทดสอบและแก้ไขจุดบกพร่อง

ตารางวิเคราะห์สมรรถนะประจำหน่วย

หน่วยการเรียนรู้ที่	ชื่อหน่วยการเรียนรู้	สมรรถนะประจำหน่วย
1	ความรู้พื้นฐานเกี่ยวกับสารกึ่งตัวนำ	แสดงความรู้เกี่ยวกับโครงสร้างของอะตอม สารกึ่งตัวนำชนิดพีและสารกึ่งตัวนำชนิดเอ็น
2	ไดโอด	แสดงความรู้เกี่ยวกับการไบแอสไดโอดและกราฟแสดงลักษณะสมบัติของไดโอด
3	ทรานซิสเตอร์	1. แสดงความรู้เกี่ยวกับโครงสร้างและชนิดของทรานซิสเตอร์ 2. แสดงความรู้เกี่ยวกับการไบแอสให้อุปกรณ์ทรานซิสเตอร์ 3. แสดงความรู้เกี่ยวกับวงจรพื้นฐานของทรานซิสเตอร์
4	ทรานซิสเตอร์สนามไฟฟ้า	แสดงความรู้เกี่ยวกับอุปกรณ์ทรานซิสเตอร์สนามไฟฟ้า
5	เอสซีอาร์	แสดงความรู้เกี่ยวกับคุณลักษณะโครงสร้างและการนำอุปกรณ์เอสซีอาร์ไปใช้งาน
6	ไอซีตั้งเวลา 555	แสดงความรู้เกี่ยวกับคุณลักษณะโครงสร้างและหลักการทำงานของไอซีตั้งเวลา 555
7	วงจรรักษาแรงดันไฟฟ้าให้คงที่ด้วยซีเนอร์ไดโอด	แสดงความรู้เกี่ยวกับอุปกรณ์ซีเนอร์ไดโอดและวงจรรักษาแรงดันไฟฟ้าให้คงที่ด้วยอุปกรณ์ซีเนอร์ไดโอด
8	อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ทางแสง	1. แสดงความรู้เกี่ยวกับคุณลักษณะทางไฟฟ้าและจำแนกประเภทการทำงานของอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ทางแสง 2. ใช้เครื่องมือวัดและทดสอบการทำงานของอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ทางแสง

หน่วยการเรียนรู้ที่	ชื่อหน่วยการเรียนรู้	สมรรถนะประจำหน่วย
9	วงจรเรียงกระแสแบบครึ่งคลื่นและวงจรเรียงกระแสแบบเต็มคลื่นด้วยไดโอด	1. แสดงความรู้เกี่ยวกับวงจรเรียงกระแสแบบครึ่งคลื่นและวงจรเรียงกระแสแบบเต็มคลื่น 2. ปฏิบัติต่อวงจรเรียงกระแสแบบครึ่งคลื่นและวงจรเรียงกระแสแบบเต็มคลื่น
10	วงจรเรียงกระแสเต็มคลื่นแบบบริดจ์	1. แสดงความรู้เกี่ยวกับคุณลักษณะการทำงานของวงจรเรียงกระแสเต็มคลื่นแบบบริดจ์ 2. แสดงความรู้เกี่ยวกับการต่อวงจรและวัดค่าวงจรเรียงกระแสเต็มคลื่นแบบบริดจ์
11	การออกแบบวงจรควบคุมแรงดันไฟฟ้าให้คงที่ด้วยซีเนอร์ไดโอด	1. แสดงความรู้เกี่ยวกับการออกแบบวงจรควบคุมแรงดันไฟฟ้าให้คงที่ด้วยซีเนอร์ไดโอด 2. ปฏิบัติการต่อวงจรควบคุมแรงดันไฟฟ้าให้คงที่ด้วยซีเนอร์ไดโอด
12	วงจรกำเนิดสัญญาณ	1. แสดงความรู้เกี่ยวกับวงจรกำเนิดสัญญาณ 2. ปฏิบัติการต่อและวัดค่าวงจรกำเนิดสัญญาณ
13	การประยุกต์ใช้งานอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์	1. แสดงความรู้เกี่ยวกับการประยุกต์ใช้งานอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ 2. ใช้เครื่องมือวัดและทดสอบการทำงานของอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์
14	ความรู้เบื้องต้นของแผ่นวงจรพิมพ์	1. แสดงความรู้เกี่ยวกับการใช้งานและจำแนกแผ่นวงจรพิมพ์ 2. แสดงความรู้เกี่ยวกับกระบวนการสร้างแผ่นวงจรอิเล็กทรอนิกส์
15	การประกอบและบัดกรีอุปกรณ์	1. แสดงความรู้เกี่ยวกับเทคนิคการประกอบวงจรและการบัดกรี 2. ปฏิบัติการบัดกรีอุปกรณ์ลงแผ่นปริ้นท์
16	การทดสอบและแก้ไขจุดบกพร่อง	1. แสดงความรู้เกี่ยวกับการใช้เครื่องมือวัดมัลติมิเตอร์ 2. แสดงความรู้เกี่ยวกับการวัดและทดสอบอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ด้วยโอห์มมิเตอร์ 3. ปฏิบัติการตรวจสอบอุปกรณ์และวงจรไฟฟ้าที่ชำรุด

สารบัญ

	หน้า
หน่วยการเรียนรู้ที่ 1 ความรู้พื้นฐานเกี่ยวกับสารกึ่งตัวนำ	1
1. อะตอม	2
2. สารกึ่งตัวนำชนิดพีและสารกึ่งตัวนำชนิดเอ็น	5
แบบทดสอบเพื่อประเมินผลหลังการเรียนรู้	11
หน่วยการเรียนรู้ที่ 2 ไดโอด	13
1. การไบแอสไดโอด	15
2. กราฟแสดงลักษณะสมบัติของไดโอด	16
แบบทดสอบเพื่อประเมินผลหลังการเรียนรู้	24
หน่วยการเรียนรู้ที่ 3 ทรานซิสเตอร์	26
1. โครงสร้างและชนิดของทรานซิสเตอร์	27
2. การไบแอสให้อุปกรณ์ทรานซิสเตอร์	28
3. วงจรพื้นฐานของทรานซิสเตอร์	28
แบบทดสอบเพื่อประเมินผลหลังการเรียนรู้	40
หน่วยการเรียนรู้ที่ 4 ทรานซิสเตอร์สนามไฟฟ้า	42
1. ทรานซิสเตอร์สนามไฟฟ้าชนิดรอยต่อเจเฟต	43
2. เฟตชนิดออกไซด์ของโลหะ (มอสเฟต)	47
แบบทดสอบเพื่อประเมินผลหลังการเรียนรู้	58
หน่วยการเรียนรู้ที่ 5 เอสซีอาร์	60
1. การทำงานของเอสซีอาร์	61
2. การนำเอสซีอาร์ไปใช้งาน	63
แบบทดสอบเพื่อประเมินผลหลังการเรียนรู้	70
หน่วยการเรียนรู้ที่ 6 ไอซีตั้งเวลา 555	72
1. คุณสมบัติของไอซีตั้งเวลา 555	73
2. หลักการทำงานของไอซีตั้งเวลา 555	75

3. การนำไอซีตั้งเวลา 555 ประยุกต์ใช้งาน	75
4. การเลือกใช้ตัวต้านทานและตัวเก็บประจุในวงจรตั้งเวลา	77
5. ไอซีเบอร์ 555 ที่ใช้ในการการค้า	78

แบบทดสอบเพื่อประเมินผลหลังการเรียนรู้	88
---------------------------------------	----

หน่วยการเรียนรู้ที่ 7 วงจรรักษาแรงดันไฟฟ้าให้คงที่ด้วยซีเนอร์ไดโอด 90

1. โครงสร้างและสัญลักษณ์ของซีเนอร์ไดโอด	91
2. การทำงานของซีเนอร์ไดโอด	92
3. วงจรรักษาแรงดันไฟฟ้าให้คงที่ด้วยอุปกรณ์ซีเนอร์ไดโอด	94
4. ไอซีเร็กกูเลเตอร์	95

แบบทดสอบเพื่อประเมินผลหลังการเรียนรู้	102
---------------------------------------	-----

หน่วยการเรียนรู้ที่ 8 อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ทางแสง 104

1. คุณสมบัติของแสง	105
2. โฟโตไดโอด	106
3. โฟโตทรานซิสเตอร์	107
4. ตัวเชื่อมโยงทางแสง	109

แบบทดสอบเพื่อประเมินผลหลังการเรียนรู้	122
---------------------------------------	-----

หน่วยการเรียนรู้ที่ 9 วงจรกระแสแบบครึ่งคลื่นและวงจรเรียงกระแสแบบเต็มคลื่นด้วยไดโอด 124

1. วงจรเรียงกระแส	125
2. วงจรเรียงกระแสแบบครึ่งคลื่น	126
3. วงจรเรียงกระแสแบบเต็มคลื่น	127

แบบทดสอบเพื่อประเมินผลหลังการเรียนรู้	139
---------------------------------------	-----

หน่วยการเรียนรู้ที่ 10 วงจรเรียงกระแสเต็มคลื่นแบบบริดจ์ 141

1. การทำงานของวงจรเรียงกระแสเต็มคลื่นแบบบริดจ์	142
2. แรงดันเอาต์พุตของวงจร	143
3. แรงดันไฟฟ้าสูงสุดด้านกลับ	143
4. ไดโอดบริดจ์แบบต่างๆ	144

แบบทดสอบเพื่อประเมินผลหลังการเรียนรู้	153
---------------------------------------	-----

หน่วยการเรียนรู้ที่ 11 การออกแบบวงจรควบคุมแรงดันไฟฟ้าให้คงที่ด้วยซีเนอร์ไดโอด 155

1. การควบคุมแรงดันไฟฟ้าให้คงที่ด้วยซีเนอร์ไดโอด	156
2. การออกแบบวงจรควบคุมแรงดันไฟฟ้าให้คงที่ด้วยซีเนอร์ไดโอด	157

แบบทดสอบเพื่อประเมินผลหลังการเรียนรู้	164
---------------------------------------	-----

หน่วยการเรียนรู้ที่ 12 วงจรกำเนิดสัญญาณ

166

1. คุณสมบัติของออปแอมป์ 167
2. วงจรกำเนิดสัญญาณไซน์ 168
3. วงจรกำเนิดสัญญาณสี่เหลี่ยม 169
4. วงจรกำเนิดสัญญาณฟันเลื่อย 171
5. วงจรกำเนิดสัญญาณรูปสามเหลี่ยม 172
6. วงจรกำเนิดคลื่นไซน์ต่างเฟส 90 องศา 173

แบบทดสอบเพื่อประเมินผลหลังการเรียนรู้

185

หน่วยการเรียนรู้ที่ 13 การประยุกต์ใช้งานอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์

187

1. อุปกรณ์เทอร์มิสเตอร์ 188
2. อุปกรณ์วาริสเตอร์ 191
3. อุปกรณ์ไดแอค 193
4. อุปกรณ์ไทรแอค 194
5. อุปกรณ์ยูเจที 197

แบบทดสอบเพื่อประเมินผลหลังการเรียนรู้

209

หน่วยการเรียนรู้ที่ 14 ความรู้เบื้องต้นของแผ่นวงจรพิมพ์

211

1. แผ่นวงจรพิมพ์ 212
2. ประเภทแผ่นวงจรพิมพ์ 213
3. ลักษณะการใช้งานแผ่นวงจรพิมพ์ 215
4. กระบวนการสร้างแผ่นวงจรพิมพ์ 217
5. ตัวอย่างการทำแผ่นวงจรพิมพ์ชนิด Single Sided Boards 218

แบบทดสอบเพื่อประเมินผลหลังการเรียนรู้

225

หน่วยการเรียนรู้ที่ 15 การประกอบและบัดกรีอุปกรณ์

227

1. เทคนิคการประกอบวงจร 228
2. การบัดกรี 229

แบบทดสอบเพื่อประเมินผลหลังการเรียนรู้

239

หน่วยการเรียนรู้ที่ 16 การทดสอบและแก้ไขจุดบกพร่อง

241

1. เครื่องมือวัดมัลติมิเตอร์ 242
2. การวัดและทดสอบอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ด้วยโอห์มมิเตอร์ 244
3. การตรวจสอบอุปกรณ์และวงจรไฟฟ้าที่ชำรุด 250

แบบทดสอบเพื่อประเมินผลหลังการเรียนรู้

259

บรรณานุกรม

261

ความรู้พื้นฐานเกี่ยวกับสารกึ่งตัวนำ

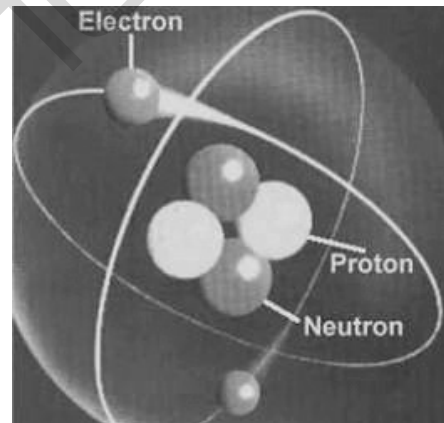


ความรู้พื้นฐานเกี่ยวกับสารกึ่งตัวนำ

อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์โดยทั่วไปจะใช้หลักการควบคุมการไหลของอิเล็กตรอน การที่จะศึกษารายละเอียดการทำงานของอุปกรณ์ทางด้านอิเล็กทรอนิกส์จำเป็นต้องศึกษาส่วนประกอบของอะตอม การเคลื่อนที่ของอิเล็กตรอน แถบพลังงานที่เกิดขึ้นระหว่างตัวนำ ฉนวน และสารกึ่งตัวนำ โครงสร้างของสารกึ่งตัวนำชนิดพี (P) และสารกึ่งตัวนำชนิดเอ็น (N) แล้วจึงศึกษาโครงสร้างของหัวต่อพีเอ็นต่อไป

1. อะตอม

ตามที่ได้ศึกษามาแล้วว่า สารทุกชนิดประกอบด้วยอนุภาคที่เล็กที่สุดเรียกว่า อะตอม ซึ่งจะแบ่งออกหรือสร้างขึ้นหรือทำลายให้สูญไปไม่ได้ อะตอมแต่ละชนิดประกอบด้วยอนุภาคมูลฐานสำคัญ 3 ชนิด คือ โปรตอน (Proton) นิวตรอน (Neutron) และอิเล็กตรอน (Electron) โดยโปรตอนจะมีจำนวนเท่ากับประจุอิเล็กตรอน ส่วนนิวตรอนจะไม่มีค่าประจุ ประจุของอิเล็กตรอนแต่ละตัวจะมีค่าประจุเท่ากับ 1.602×10^{-19} คูโลมบ์ (Coulomb) โครงสร้างของอะตอม ดังนี้

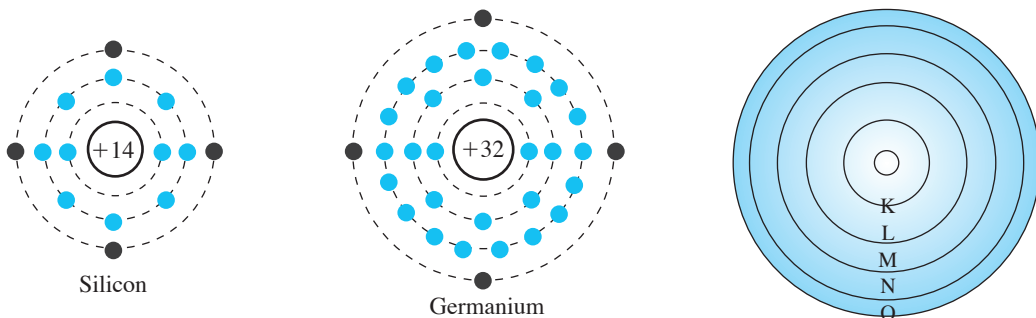


รูปที่ 1.1 แสดงโครงสร้างของอะตอม

1.1 อะตอมมิกนัมเบอร์ (Atomic Number) สิ่งที่จะทำให้รู้ว่าอะตอมธาตุในหนึ่งธาตุมีจำนวนของโปรตอนและอิเล็กตรอนเท่าไร จะต้องรู้อะตอมมิกนัมเบอร์ซึ่งเป็นตัวเลขที่บอกให้ทราบถึงจำนวนของโปรตอนและอิเล็กตรอนที่อยู่ภายในอะตอมของธาตุนั้นว่ามีจำนวนเท่าไร ตัวอย่างเช่น อะตอมมิกนัมเบอร์ของเจอร์เมเนียมมีจำนวน 32 หมายความว่า ภายในอะตอมของแต่ละอะตอมของเจอร์เมเนียมจะมีจำนวนของโปรตอนอยู่ในนิวเคลียสถึง 32 ตัว และมีอิเล็กตรอนที่วิ่งอยู่รอบๆ นิวเคลียสอยู่ 32 ตัว

1.2 วงโคจรของอิเล็กตรอนและระดับพลังงาน ภายในอะตอมของวัตถุหรือสสารมีอิเล็กตรอนวิ่งเคลื่อนที่อยู่รอบๆ นิวเคลียส โดยอิเล็กตรอนจะมีการเคลื่อนที่ในแต่ละวงตามระดับพลังงาน อิเล็กตรอนที่มีระดับพลังงานน้อยที่สุดจะอยู่ใกล้นิวเคลียส อิเล็กตรอนที่อยู่วงนอกสุดนี้เรียกว่า วงวาเลนซ์ (Valance Shell) และอิเล็กตรอนที่อยู่ในวงนี้เรียกว่า วาเลนซ์อิเล็กตรอน (Valance Electron) ซึ่งในวงวาเลนซ์ของสาร

ซิลิคอนและเจอร์เมเนียมจะมีอิเล็กตรอน 4 ตัว และมีจำนวนโฮล (Hole) 4 หลุม ในข้อกำหนดในการบรรจุอิเล็กตรอนลงในวงจรโคจรนี้ อิเล็กตรอนที่โคจรในวงนอกสุดจะมีจำนวนอิเล็กตรอนได้มากที่สุดไม่เกิน 8 ตัว



รูปที่ 1.2 แสดงโครงสร้างของอะตอมของสารซิลิคอนกับเจอร์เมเนียม และวงโคจรรีอิเล็กตรอนรอบนิวเคลียส

ภายในอะตอมของสารที่มีอิเล็กตรอนวิ่งเคลื่อนที่อยู่โดยรอบ อิเล็กตรอนแต่ละตัวจะมีระดับพลังงานขึ้นอยู่กับค่า n ซึ่งค่า n เป็นเลขจำนวนเต็ม เช่น 1, 2 ระดับพลังงานต่ำสุดคือ $n = 1$ ระดับพลังงานสูงขึ้นไปคือ $n = 2, 3$ ขึ้นไปตามลำดับ ระดับพลังงานนี้แบ่งเป็นวง (Shell) ซึ่งให้ชื่อเป็นตัวอักษรเรียงกันดังนี้ K, L, M, N, O, P, Q ซึ่งระดับพลังงานถ้ามีค่า n น้อยสุด หมายถึง วงอิเล็กตรอนที่อยู่ใกล้นิวเคลียสมากที่สุด ดังนั้นจะใช้พลังงานจากภายนอกมาก เพื่อที่จะเอาชนะแรงดึงดูดระหว่างนิวเคลียสกับอิเล็กตรอนนี้ได้ ค่าแรงดึงดูดจะแปรตามกำลังของระยะห่างระหว่างวงนั้นกับนิวเคลียส การหาจำนวนอิเล็กตรอนในแต่ละวง (Shell) หาได้จากสูตรด้านล่าง เช่น ในระดับ $n = 1$ หรือชั้น K จะมีอิเล็กตรอนได้เท่ากับ $2(1)$ เท่ากับ 2 ตัว

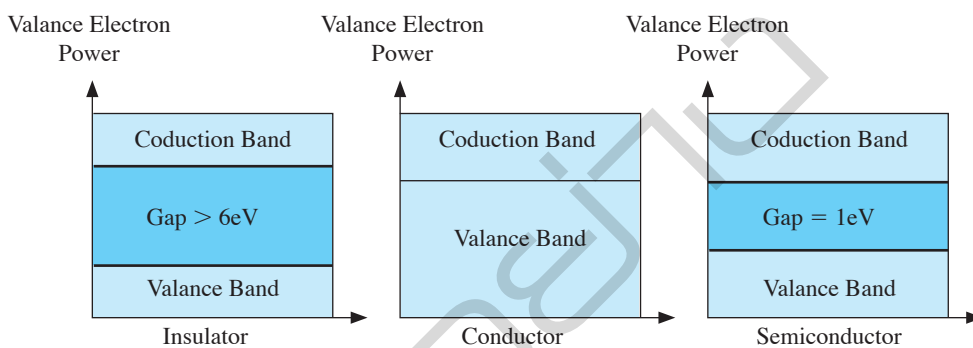
สูตร การหาจำนวนอิเล็กตรอนในแต่ละวง

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

1.3 แลပ်พลังงาน ตามที่ได้ทราบว่าจะอะตอมจะประกอบด้วยนิวเคลียสและมีอิเล็กตรอนวิ่งรอบนิวเคลียส ภายในนิวเคลียสจะประกอบไปด้วยโปรตอนและนิวตรอน อิเล็กตรอนมีประจุเป็นลบ ซึ่งถูกดึงดูดโดยโปรตอนซึ่งมีประจุเป็นบวก ทำให้อิเล็กตรอนโคจรรอบนิวเคลียส และเนื่องจากอิเล็กตรอนแต่ละตัวจะมีระดับพลังงานเป็นระดับๆ ตามจำนวนค่าของ n ดังที่ได้กล่าวมาแล้ว ดังนั้น ถ้าให้พลังงานแก่อิเล็กตรอนตัวที่อยู่ในวงนอกสุดหรือวงวาเลนซ์ก็อาจทำให้อิเล็กตรอนเคลื่อนหลุดออกนอกวงโคจรได้เช่นเดียวกัน

ในกรณีที่ให้พลังงานแก่อิเล็กตรอนไม่ว่าจะเป็นการให้ความร้อน แสง แรงแดันไฟฟ้า รังสี พลังงานที่จ่ายให้อะตอมของสารจะเข้าไปถึงวาเลนซ์อิเล็กตรอนได้ก่อน ซึ่งพลังงานเหล่านี้จะทำให้อิเล็กตรอนที่

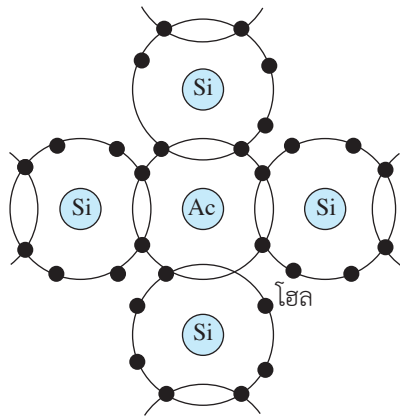
อยู่นอกสุดหลุดออกจากวงโคจรเป็น “อิเล็กตรอนอิสระ (Free Electron)” ดังนั้นวาเลนซ์อิเล็กตรอนจึงมีบทบาทต่อคุณสมบัติทางไฟฟ้าของสารแต่ละชนิด เช่น โลหะที่มีคุณสมบัติเป็นตัวนำไฟฟ้า (Conductor) ที่ดีกล่าวคือ เมื่อให้พลังงานแก่วาเลนซ์อิเล็กตรอนเพียงเล็กน้อยก็สามารถที่จะให้วาเลนซ์อิเล็กตรอนหลุดออกจากวงโคจรได้ เป็นผลทำให้โลหะสามารถนำไฟฟ้าได้ ถ้าในกรณีวาเลนซ์อิเล็กตรอนได้รับพลังงานเป็นจำนวนมากแล้วยังไม่สามารถทำให้วาเลนซ์อิเล็กตรอนหลุดออกจากวงโคจรได้ คุณสมบัติไฟฟ้าของสารชนิดดังกล่าวจะแสดงออกในรูปของฉนวน (Insulator) คือ ไม่ยอมให้กระแสไฟฟ้าไหลผ่านไปได้ สำหรับสารกึ่งตัวนำ (Semiconductor) นั้น เมื่อจ่ายพลังงานให้แก่วาเลนซ์ของสารกึ่งตัวนำที่ระดับแรงดันตั้งแต่ศูนย์โวลต์ และเพิ่มพลังงานไฟฟ้าสูงขึ้นจนกระทั่งระดับแรงดันหนึ่ง สารกึ่งตัวนำจะนำกระแสผ่านแถบช่องว่างไปสู่แถบนำกระแสได้



รูปที่ 1.3 แสดงแถบพลังงานในสารชนิดต่างๆ

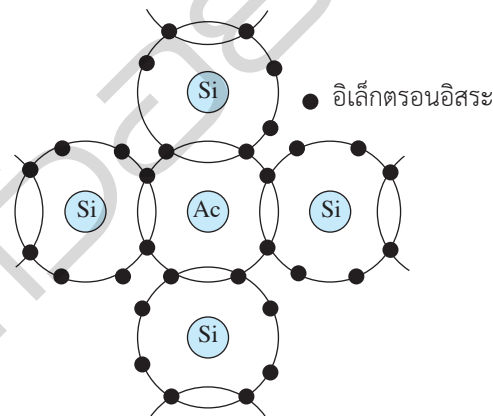
1.4 การโด๊ปสารกึ่งตัวนำ จำนวนโฮลและอิเล็กตรอนที่เกิดขึ้นในสารกึ่งตัวนำบริสุทธิ์ (Purity Semiconductor) จะมีจำนวนน้อยกว่าที่จะนำมาใช้ประโยชน์ได้อย่างแท้จริง วิธีการที่จะให้อิเล็กตรอนและโฮลเพิ่มขึ้นอย่างมากโดยใช้กระบวนการที่เรียกว่า การโด๊ป ซึ่งหมายถึง การเติมอะตอมของสารเจือปน (Impurity) ลงในผลึกสารกึ่งตัวนำเจอร์เมเนียมหรือสารซิลิคอนที่บริสุทธิ์ สารกึ่งตัวนำที่ถูกโด๊ปแล้วเรียกว่า “สารกึ่งตัวนำไม่บริสุทธิ์ (Extrinsic Semiconductor)” ส่วนสารกึ่งตัวนำที่ไม่ถูกโด๊ปเรียกว่า “สารกึ่งตัวนำบริสุทธิ์ (Intrinsic Semiconductor)”

การโด๊ปทำได้โดยการหลอมสารเจอร์เมเนียมหรือสารซิลิคอนบริสุทธิ์ให้ละลายแล้วจึงเติมสารเจือปนให้ผสมลงในเนื้อเดียวกัน สารเจือปนนี้จะต้องมีวาเลนซ์อิเล็กตรอน 3 ตัว หรือ 5 ตัว ถ้าเติมสารเจือปนที่มีวาเลนซ์อิเล็กตรอน 3 ตัว อะตอมของสารเจือปนจะใช้วงโคจรร่วมกับอะตอมของเจอร์เมเนียมหรือซิลิคอนจำนวน 4 ตัว โดยการใช้อิเล็กตรอนร่วมกับอะตอมที่อยู่ใกล้เคียงกัน (Covalent) และทำให้ขาดอิเล็กตรอนไปตัวหนึ่งจึงเกิดเป็นที่ว่างเรียกว่า โฮล ลักษณะของสารกึ่งตัวนำจะสามารถรับอิเล็กตรอนจากภายนอกได้อีกเพื่อให้จำนวนอิเล็กตรอนมีครบจำนวน 8 ตัว สารเจือปนนี้เรียกว่า “สารเจือปนผู้รับ (Acceptor Impurity)”



รูปที่ 1.4 แสดงการโด๊ปด้วยสารเจือปนที่มีจำนวนวาเลนซ์อิเล็กตรอน 3 ตัว

เมื่อเติมสารเจือปนที่มีจำนวนวาเลนซ์อิเล็กตรอนจำนวน 5 ตัว อะตอมของสารตัวหนึ่งจะยึดเกาะกับอะตอมข้างเคียงเช่นกัน แต่ในกรณีนี้จะทำให้อิเล็กตรอนเหลืออยู่อีกตัวหนึ่งที่ไม่สามารถเข้าร่วมกันได้ อิเล็กตรอนที่เกิดขึ้นเรียกว่า “อิเล็กตรอนอิสระ” อะตอมของสารเจือปนที่เติมให้เรียกว่า “สารเจือปนผู้ให้ (Donor Impurity)”



รูปที่ 1.5 แสดงการโด๊ปด้วยสารเจือปนที่มีจำนวนวาเลนซ์อิเล็กตรอน 5 ตัว

2. สารกึ่งตัวนำชนิดพีและสารกึ่งตัวนำชนิดเอ็น

กระบวนการผสมหรือเติมสารอื่นลงไปเจือปนในเจอร์เมเนียมหรือซิลิคอนบริสุทธิ์ คือ การโด๊ปหรือจะกล่าวอีกอย่างหนึ่งว่า การโด๊ป คือ กระบวนการทำให้เจอร์เมเนียมหรือซิลิคอนบริสุทธิ์ให้เป็นสารกึ่งตัวนำที่ไม่บริสุทธิ์ สารกึ่งตัวนำที่ไม่บริสุทธิ์มีอยู่ 2 ชนิด คือ สารกึ่งตัวนำชนิดพี (P Type) และสารกึ่งตัวนำชนิดเอ็น (N Type)

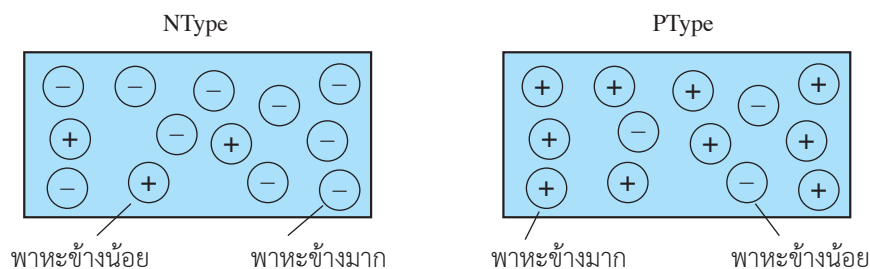
2.1 สารกึ่งตัวนำชนิดพี (P Type) ได้จากการเติมธาตุในกลุ่มที่ 3 ลงในเจอร์เมเนียมหรือซิลิคอนบริสุทธิ์ ตัวอย่างธาตุที่อยู่ในกลุ่มที่ 3 เช่น อะลูมิเนียม แกลเลียม และโบร

กลุ่ม 3	กลุ่ม 4	กลุ่ม 5
13 Al 26.98	24 Si 28.09	15 P 30.9
21 Sc 44.97	22 Ti 47.90	23 V 50.95
31 Ga 69.72	32 Ge 72.60	33 As 74.90

รูปที่ 1.6 แสดงตารางธาตุในกลุ่ม 3, 4 และ 5

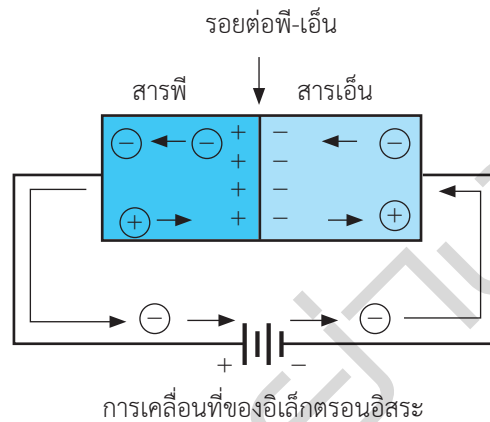
คุณสมบัติของเอกซ์ทรินซิกเซมิคอนดักเตอร์ (Extrinsic Semiconductor) ที่ผสมด้วยธาตุกลุ่มที่ 3 ดังกล่าวน้อยมากจะทำให้คุณสมบัติของเอกซ์ทรินซิกเซมิคอนดักเตอร์แตกต่างจากสารเจอร์เมเนียมหรือซิลิคอนบริสุทธิ์มาก กล่าวคือ มีสภาพการนำไฟฟ้าได้ดีกว่า คือ มีประจุอิสระคือโฮล และอิเล็กตรอนอิสระ ซึ่งนำมาเชื่อมติดกันระหว่างสารกึ่งตัวนำชนิดเอ็นกับสารกึ่งตัวนำชนิดพี ก็จะได้เป็นไดโอด ทรานซิสเตอร์ และอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์อื่นๆ มากมาย

2.2 สารกึ่งตัวนำชนิดเอ็น (N Type) จะมีจำนวนอิเล็กตรอนอิสระมากกว่าโฮล อิเล็กตรอนเหล่านี้เรียกว่า “พาหะข้างมาก (Majority Carriers)” ส่วนโฮลที่มีจำนวนเล็กน้อยในเนื้อสารกึ่งตัวนำชนิดเอ็นเรียกว่า “พาหะข้างน้อย (Donor Ions)” ส่วนในสารกึ่งตัวนำชนิดพีจะมีโฮลเป็นพาหะข้างมาก และมีอิเล็กตรอนเป็นพาหะข้างน้อย



รูปที่ 1.7 แสดงลักษณะของพาหะข้างมากและพาหะข้างน้อยของสารกึ่งตัวนำ

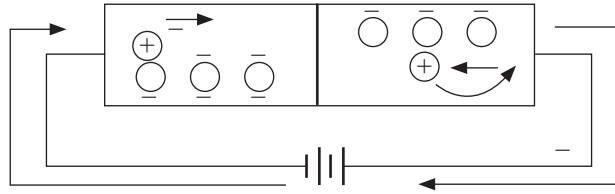
2.3 หัวต่อพีเอ็น (P-N Junction) เมื่อนำสารกึ่งตัวนำชนิดเอ็นและสารกึ่งตัวนำชนิดพีมาเชื่อมต่อกันจะเกิดปรากฏการณ์ใหม่ ทั้งนี้เพราะสารกึ่งตัวนำชนิดพีและสารกึ่งตัวนำชนิดเอ็นมีพาหะข้างมากที่ต่างกัน ในสารกึ่งตัวนำชนิดพีพาหะข้างมาก คือ โฮล ส่วนสารกึ่งตัวนำชนิดเอ็นพาหะข้างมาก คือ อิเล็กตรอนอิสระที่บริเวณรอยต่อเนื้อสารพีและสารเอ็นจะเกิดการเคลื่อนที่ของอิเล็กตรอนจับคู่กับโฮลตรงบริเวณรอยต่อ ซึ่งโดยธรรมชาติแล้วอิเล็กตรอนจะเคลื่อนที่เข้าหาโฮล และจะเกิดบริเวณช่วงรอยต่อซึ่งเป็นช่วงปลอดพาหะ (Depletion Region) ทำให้เกิดแบตเตอรี่สมมติ (Imaginary Battery) ขึ้นมา



รูปที่ 1.8 แสดงการเกิดรอยต่อช่วงปลอดพาหะ

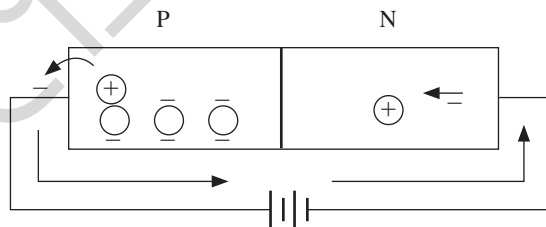
2.4 การให้ไบแอสหัวต่อพีเอ็น (P-N Junction) ตามที่ได้ศึกษาในเรื่องหัวต่อพีเอ็นมาแล้วนั้น ในหัวข้อเรื่องนี้จะได้ศึกษาวิธีการที่จะนำหัวต่อพีเอ็นนั้นมาบ่อนพลังงานไฟฟ้าให้แก่หัวต่อพีเอ็น และศึกษาถึงเรื่องการไหลของกระแสไฟฟ้าที่เกิดขึ้นในขณะที่ให้พลังงานไฟฟ้าให้แก่หัวต่อพีเอ็น ซึ่งลักษณะการจ่ายพลังงานไฟฟ้าหรือการให้ไบแอสให้หัวต่อพีเอ็นนี้มีอยู่ 2 สภาวะด้วยกัน คือ การให้ไบแอสแบบกลับและการให้ไบแอสแบบตรง

2.4.1 การให้ไบแอสแบบกลับ (Reverse Bias Condition) แรงดันที่จ่ายให้หัวต่อพีเอ็นเป็นดังนี้ ขั้วบวกต่ออยู่กับสารกึ่งตัวนำชนิดเอ็น และขั้วลบต่ออยู่กับสารกึ่งตัวนำชนิดพี จะเกิดความต่างศักย์ขึ้นที่สารกึ่งตัวนำชนิดพีเป็นบวก และความต่างศักย์ที่สารกึ่งตัวนำชนิดเอ็นเป็นลบ ซึ่งจะมีผลทำให้โฮลในสารกึ่งตัวนำชนิดพีเกิดการเคลื่อนที่เข้าหาแหล่งจ่ายไฟฟ้าที่ขั้วที่มีความต่างศักย์ลบ และจะทำให้อิเล็กตรอนอิสระในสารกึ่งตัวนำชนิดเอ็นเกิดการเคลื่อนที่เข้าหาแหล่งจ่ายไฟฟ้าที่ขั้วที่มีความต่างศักย์บวก จะส่งผลให้ช่วงของรอยต่อของสารพีเอ็นกว้างขึ้น จึงทำให้กระแสจากแหล่งจ่ายไฟฟ้าไม่สามารถไหลผ่านหัวต่อพีเอ็นได้ และถ้าเพิ่มพลังงานจากแหล่งจ่ายไฟฟ้ามากขึ้น จนกระทั่งเกิดกระแสรั่ว (Leakage Current) หรือ I_s มีค่าเป็นกระแสเป็นไมโครแอมป์ ซึ่งมีค่าน้อยมาก ลักษณะการให้ไบแอสแบบนี้ถูกเรียกว่า “การให้ไบแอสแบบกลับ”



รูปที่ 1.9 แสดงการให้ไบแอสกลับ

2.4.2 การให้ไบแอสแบบตรง (Forward Bias Condition) คือ การจ่ายแรงดันไฟฟ้าจากแบตเตอรี่ ขั้วบวกจ่ายให้สารกึ่งตัวนำชนิดพีและจ่ายแรงดันไฟฟ้าจากแบตเตอรี่ขั้วลบให้กับสารกึ่งตัวนำชนิดเอ็น การให้ไบแอสแบบนี้จะทำให้ความต้านทานของไดโอดต่ำสุด ไดโอดจะยอมให้กระแสไหลผ่านได้ เมื่อจ่ายแรงดันไฟฟ้าให้กับหัวต่อพีเอ็น ให้พิจารณาพาหะข้างน้อย จะเห็นได้ว่าเมื่อหัวต่อพีเอ็นได้รับพลังงานจากแบตเตอรี่จะเกิดการเคลื่อนที่ของอิเล็กตรอนอิสระจากสารกึ่งตัวนำชนิดเอ็นข้ามช่วงบริเวณปลอดพาหะไปหาโฮล ทำให้ตำแหน่งที่อิเล็กตรอนอิสระในสารกึ่งตัวนำชนิดเอ็นว่างลง เมื่อให้พลังงานจากแบตเตอรี่ต่อไป ทำให้อิเล็กตรอนอิสระของอะตอมถัดไปเคลื่อนที่เข้าแทนที่ในช่องว่างของอิเล็กตรอนอิสระตัวแรก ที่เคลื่อนที่ข้ามช่วงบริเวณปลอดพาหะเมื่อให้พลังงานต่อไปอีก อิเล็กตรอนอิสระที่อยู่ใกล้ช่วงปลอดพาหะก็จะกระโดดข้ามช่วงปลอดพาหะไปผลักให้อิเล็กตรอนอิสระที่อยู่ในโฮลตัวแรกเคลื่อนที่ผ่านโฮลตัวที่ 2 และตัวถัดไป จะเห็นว่าอิเล็กตรอนอิสระจะเคลื่อนที่เข้าหาแหล่งจ่ายไฟฟ้าขั้วบวก ซึ่งจะทำให้เกิดการไหลของกระแส อิเล็กตรอนจากแหล่งจ่ายไฟฟ้าขั้วลบไปยังแหล่งจ่ายไฟฟ้าขั้วบวก กระแสนี้จะเรียกว่า “กระแสนิยม” ส่วนกระแสไฟฟ้าจะมีการไหลของกระแสไฟฟ้าจากแหล่งจ่ายไฟฟ้าขั้วบวกไปหาแหล่งจ่ายไฟฟ้าขั้วลบ



รูปที่ 1.10 แสดงการให้ไบแอสตรง

กิจกรรมตรวจสอบความเข้าใจ

จงตอบคำถามต่อไปนี้

1. จงอธิบายลักษณะของสารเจือปนผู้รับ (Acceptor Impurity)

.....

.....

.....

2. จงอธิบายความหมายของอิเล็กตรอนอิสระ

.....

.....

.....

3. จงอธิบายความหมายของสารเจือปนผู้ให้ (Donor Impurity)

.....

.....

.....

4. ในกระบวนการสร้างสารกึ่งตัวนำ การโด๊ปคืออะไร

.....

.....

.....

5. จงอธิบายลักษณะของสารกึ่งตัวนำชนิดพีและสารกึ่งตัวนำชนิดเอ็น

.....

.....

.....

6. พาหะข้างน้อย (Donor Ions) และพาหะข้างมาก (Majority Carriers) หมายถึงอะไร

.....

.....

.....

7. การให้ไบแอสแบบกลับ (Reverse Bias Condition) มีคุณสมบัติทางไฟฟ้าเป็นอย่างไร

.....

.....

.....

8. จงอธิบายความหมายของกระแสรั่ว (Leakage Current)

.....

.....

.....

9. จงอธิบายลักษณะของกระแสนิยม

.....

.....

.....

10. จงอธิบายลักษณะของการให้ไบแอสแบบตรง (Forward Bias Condition)

.....

.....

.....

สรุป

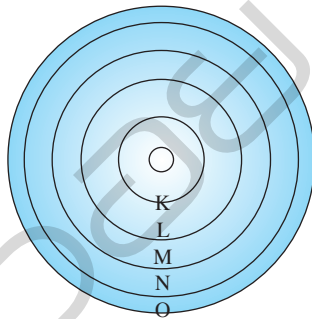
อะตอมประกอบอนุภาคมูลฐาน 3 ชนิด คือ โปรตอน นิวตรอน และอิเล็กตรอน จำนวนอิเล็กตรอนแต่ละวงหาได้จากสูตร คือ จำนวนอิเล็กตรอนเท่ากับ $2n^2$ การโคปสารกึ่งตัวนำ หมายถึง การเติมอะตอมของสารเจือปนลงไปในผลึกสารเจอร์เมเนียมหรือสารซิลิคอนบริสุทธิ์ การเจือปนสารที่มีจำนวนวาเลนซ์อิเล็กตรอน 3 ตัว จะทำให้เกิดโฮล หรือสารเจือปนผู้รับ ซึ่งทำให้เกิดสารกึ่งตัวนำชนิดพี การเจือปนสารที่มีจำนวนวาเลนซ์อิเล็กตรอน 5 ตัว จะทำให้เกิดอิเล็กตรอนอิสระ หรือสารเจือปนผู้ให้ ซึ่งทำให้เกิดสารกึ่งตัวนำชนิดเอ็น

แบบทดสอบเพื่อประเมินผลหลังการเรียนรู้

จงเลือกคำตอบที่ถูกต้องเพียงข้อเดียว

- ส่วนประกอบใดที่ไม่ใช่โครงสร้างของอะตอม
 1. โสไลต์
 2. โปรตอน
 3. นิวตรอน
 4. อิเล็กตรอน
- ส่วนประกอบใดมีความต่างศักย์เป็นบวก
 1. โสไลต์
 2. โปรตอน
 3. นิวตรอน
 4. อิเล็กตรอน

จากรูปต่อไปนี้ใช้ประกอบคำถามข้อ 3-4



- จากรูปโครงสร้างอะตอม จำนวนอิเล็กตรอนในชั้น L มีจำนวนเท่าไร
 1. 2 ตัว
 2. 8 ตัว
 3. 18 ตัว
 4. 32 ตัว
- จากรูปโครงสร้างอะตอม จำนวนอิเล็กตรอนในชั้น M มีจำนวนเท่าไร
 1. 2 ตัว
 2. 8 ตัว
 3. 18 ตัว
 4. 32 ตัว
- เมื่อให้พลังงานแก่วาเลนซ์อิเล็กตรอนเป็นจำนวนมาก วาเลนซ์อิเล็กตรอนไม่สามารถหลุดออกจากวงโคจรได้ เป็นคุณสมบัติทางไฟฟ้าของสารชนิดใด
 1. ตัวนำ
 2. ฉนวน
 3. สารกึ่งตัวนำ
 4. สารที่มีจำนวนอิเล็กตรอน 4 ตัว

6. สารชนิดใดเมื่อให้พลังงานไฟฟ้าระดับหนึ่งไม่นำกระแส และเมื่อเพิ่มพลังงานขึ้นถึงระดับแรงดันหนึ่งจึงนำกระแส
 1. ตัวนำ
 2. ฉนวน
 3. สารกึ่งตัวนำ
 4. สารที่มีจำนวนอิเล็กตรอน 4 ตัว
7. ตัวเลขที่บอกให้ทราบถึงจำนวนของโปรตอนและอิเล็กตรอนที่อยู่ภายในอะตอมของธาตุคือข้อใด
 1. อะตอมมิกนัมเบอร์
 2. อะตอม
 3. อะตอมนัมเบอร์
 4. มิกนัมเบอร์
8. ระดับพลังงานถ้ามีค่า n น้อยสุด หมายถึงอะไร
 1. วงอิเล็กตรอนที่อยู่ใกล้นิวเคลียสมากที่สุด
 2. วงอิเล็กตรอนที่อยู่ใกล้นิวเคลียสน้อยที่สุด
 3. วงอิเล็กตรอนที่อยู่ใกล้โปรตอนมากที่สุด
 4. วงอิเล็กตรอนที่อยู่ใกล้โปรตอนน้อยที่สุด
9. สารกึ่งตัวนำที่ถูกโด๊ปแล้วเรียกว่าอะไร
 1. สารกึ่งตัวนำไม่บริสุทธิ์
 2. สารกึ่งตัวนำบริสุทธิ์
 3. สารกึ่งตัวนำกึ่งบริสุทธิ์
 4. ถูกต้องทุกข้อ
10. สารกึ่งตัวนำที่ไม่ถูกโด๊ปเรียกว่าอะไร
 1. สารกึ่งตัวนำไม่บริสุทธิ์
 2. สารกึ่งตัวนำบริสุทธิ์
 3. สารกึ่งตัวนำกึ่งบริสุทธิ์
 4. ถูกต้องทุกข้อ

หนังสือเรียนอาชีวศึกษา

หลักสูตรใหม่

หลักสูตรประกาศนียบัตรวิชาชีพ (ปวช.)
พุทธศักราช 2556

สื่อการเรียนรู้แบบบูรณาการที่เน้นคุณลักษณะที่พึงประสงค์
สมรรถนะหลักและสมรรถนะทั่วไป และสมรรถนะวิชาชีพ

เนื้อหาดี มีคุณภาพ ตรงตามจุดประสงค์รายวิชา สมรรถนะรายวิชา และคำอธิบายรายวิชา
ของหลักสูตร เสริมกิจกรรมเตรียมความพร้อมสู่ประชาคมอาเซียนให้แก่ผู้เรียน และใบช่วยสอน
โดยเน้นกระบวนการเรียนรู้ผู้เรียนเป็นสำคัญตามนโยบายของสำนักงานคณะกรรมการการอาชีวศึกษา :-

 Project-based Learning

 Thinking Skills

 Green Technology

 Creative Economy

 MAC e-knowledge

 มีแผนการจัดการเรียนรู้ที่ทันสมัย สะดวก
และปรับได้ สำหรับผู้สอนใช้เป็นแนวทาง
ในการจัดการเรียนรู้



อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์
และวงจร



3306224 100

 IMAC EDUCATION

www.MACeducation.com



9 786162 745478

ราคา 150 บาท