

ได้ผ่านการตรวจประเมินคุณภาพหนังสือเรียนอาชีวศึกษา หลักสูตรประกาศนียบัตรวิชาชีพ พุทธศักราช ๒๕๖๒
ประจำปีงบประมาณ พ.ศ. ๒๕๖๔ ครั้งที่ ๑ ประกาศลำดับที่ ๔๗๘

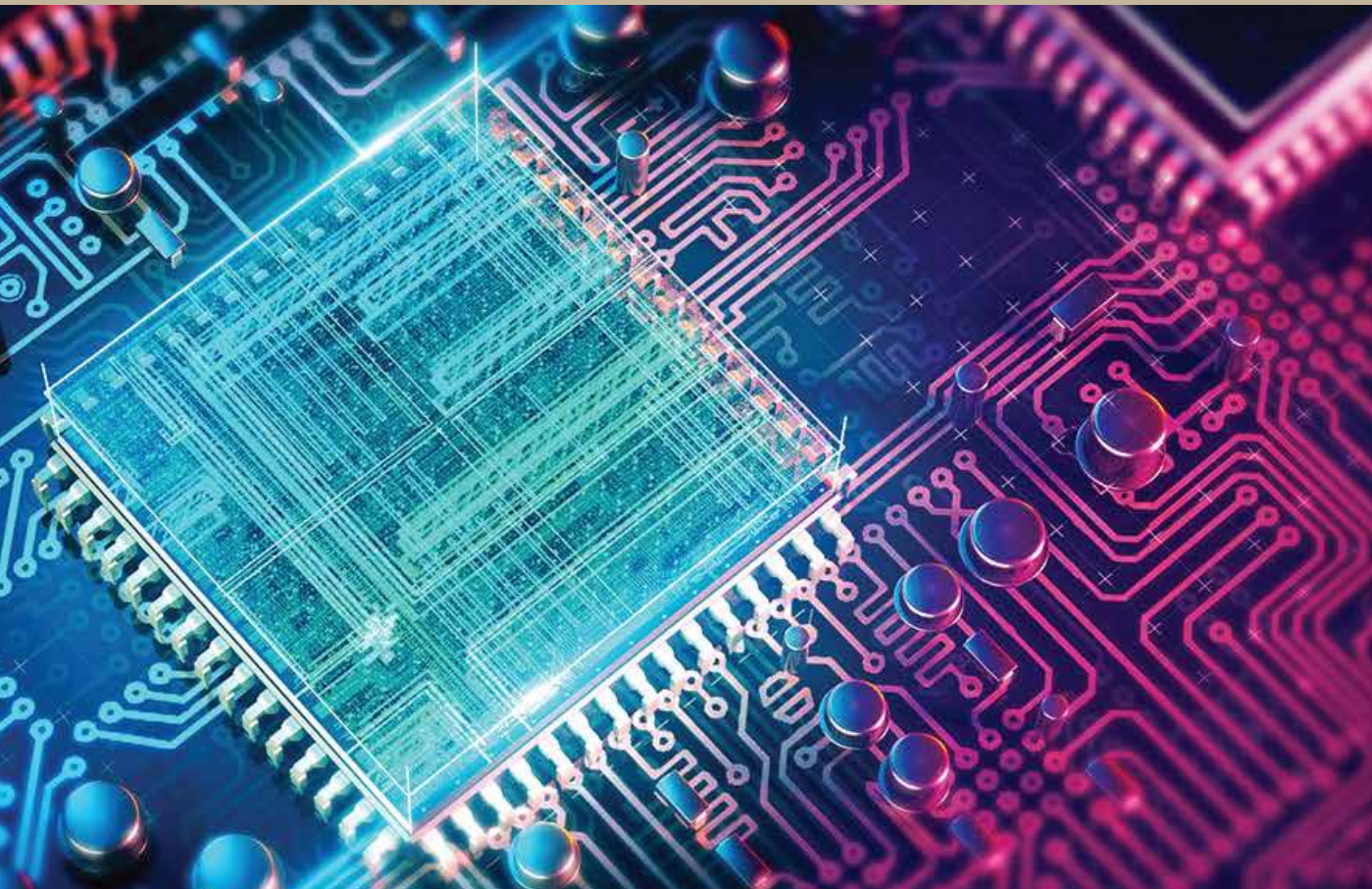


รหัสวิชา 20127-2006

หนังสือเล่มนี้เรียบเรียงตามจุดประสงค์รายวิชา สมรรถนะรายวิชาและคำอธิบายรายวิชา หลักสูตรประกาศนียบัตรวิชาชีพ
พุทธศักราช ๒๕๖๒ ของสำนักงานคณะกรรมการการอาชีวศึกษา กระทรวงศึกษาธิการ

อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์และวงจร

Electronic Devices and Circuits



พ.ด.ร. เปรชบุษย์ ชัยสนิก

147.-

The background of the cover is a collage of various electronic components and circuit boards. It includes a green printed circuit board (PCB) with numerous surface-mount components, a black integrated circuit (IC) package, a black multi-pin connector, and a black IC package with a silver heat spreader. There are also images of hands working on a circuit board with a soldering iron and a pair of wire cutters.

อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์และวงจร (Electronic Devices and Circuits) รหัสวิชา 20127-2006

หมวดวิชาสมรรถนะวิชาชีพ กลุ่มสมรรถนะวิชาชีพเฉพาะ
ประเภทวิชาอุตสาหกรรม สาขาวิชาเมคคาทรอนิกส์
หลักสูตรประกาศนียบัตรวิชาชีพ พุทธศักราช 2562
สำนักงานคณะกรรมการการอาชีวศึกษา (สอศ.) กระทรวงศึกษาธิการ

เรียบเรียงโดย
ผศ.ดร. เศรษฐชัย ชัยสนธิ

อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์และวงจร (Electronic Devices and Circuits)

ISBN 978-616-495-181-5

จัดพิมพ์และจัดจำหน่าย โดย...



บริษัทวังอักษร จำกัด

69/3 ถนนอรุณอมรินทร์ แขวงวัดอรุณ เขตบางกอกใหญ่ กรุงเทพฯ 10600

Tel. 0-2472-3293-5 Fax 0-2891-0742 Mobile 08-8585-1521

e-Mail : wangaksorn9@gmail.com Facebook : สำนักพิมพ์ วังอักษร

<http://www.wangaksorn.com>

ID Line : @wangaksorn



พิมพ์ครั้งที่ 1 พ.ศ. 2563

จำนวนที่พิมพ์ 3,000 เล่ม

สงวนลิขสิทธิ์ตามพระราชบัญญัติลิขสิทธิ์ พ.ศ. 2561

โดยบริษัทวังอักษร จำกัด ห้ามนำส่วนใดส่วนหนึ่งของหนังสือเล่มนี้
ไปทำซ้ำ ดัดแปลง หรือเผยแพร่ต่อสาธารณชน ไม่ว่ารูปแบบใด ๆ
นอกจากได้รับอนุญาตเป็นลายลักษณ์อักษรจากทางบริษัทฯ เท่านั้น

ชื่อและเครื่องหมายการค้าอื่น ๆ ที่อ้างอิงในหนังสือฉบับนี้

เป็นสิทธิโดยชอบด้วยกฎหมายของเจ้าของแต่ละราย

โดยบริษัทวังอักษร จำกัด มิได้อ้างความเป็นเจ้าของแต่อย่างใด

อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์และวงจร (Electronic Devices and Circuits)

รหัสวิชา 20127-2006

จุดประสงค์รายวิชา เพื่อให้

1. เข้าใจโครงสร้างและหลักการทำงานของอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์
2. มีทักษะเกี่ยวกับการวัด การต่อวงจรและทดสอบอุปกรณ์ในวงจรอิเล็กทรอนิกส์
3. มีเจตคติและกิจนิสัยที่ดีในการทำงานด้วยความรับผิดชอบ รอบคอบปลอดภัย

สมรรถนะรายวิชา : 1. แสดงความรู้เกี่ยวกับโครงสร้างและหลักการทำงานของอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์
2. ต่อวงจรอิเล็กทรอนิกส์ถูกต้องตามหลักวิชาการ
3. วัดและทดสอบวงจรอิเล็กทรอนิกส์ถูกต้องตามหลักวิชาการ

คำอธิบายรายวิชา : ศึกษาและปฏิบัติเกี่ยวกับโครงสร้าง สัญลักษณ์ คุณสมบัติ หลักการทำงานของอุปกรณ์และวงจรอิเล็กทรอนิกส์ วงจรแหล่งจ่ายไฟฟ้า วงจรขยายสัญญาณ วงจรเชื่อมต่อ วงจรกำเนิดสัญญาณ วงจรทรานซิสเตอร์ วงจรขับเคลื่อน การวัด ประกอบ ทดสอบอุปกรณ์และวงจรอิเล็กทรอนิกส์ การอ่านคู่มืออุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์

ตารางวิเคราะห์สมรรถนะรายวิชา

วิชาอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์และวงจร รหัสวิชา 20127-2006

ท-ป-น 2-3-3 จำนวน 5 คาบ/สัปดาห์ รวม 90 คาบ

หน่วยที่	สมรรถนะรายวิชา	แสดงความรู้เกี่ยวกับโครงสร้างและหลักการทำงานของอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์	ต่อวงจรอิเล็กทรอนิกส์ถูกต้องตามหลักวิชาการ	วัดและทดสอบวงจรอิเล็กทรอนิกส์ถูกต้องตามหลักวิชาการ
1.	โครงสร้างอะตอม สารกึ่งตัวนำ ไดโอดและซีเนอร์ไดโอด	✓	✓	✓
2.	ทรานซิสเตอร์	✓	✓	✓
3.	เฟตและไอจีบีที	✓	✓	✓
4.	อุปกรณ์ไทรสเตอร์	✓	✓	✓
5.	การจัดคลาสของวงจรขยายและวงจรเชื่อมต่อสัญญาณ	✓	✓	✓
6.	ประเภทของวงจรขยาย	✓	✓	✓
7.	อุปกรณ์ตรวจจับ	✓	✓	✓
8.	การใช้งานของอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์	✓	✓	✓
9.	การทดสอบอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์	✓	✓	✓
10.	การประกอบวงจรอิเล็กทรอนิกส์เบื้องต้น	✓	✓	✓
11.	การอ่านคู่มือและแปลความหมายคุณลักษณะทางไฟฟ้าของอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์	✓		

คำนำ

วิชาอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์และวงจร รหัสวิชา 20127 - 2006 จัดอยู่ในหมวดวิชาสมรรถนะวิชาชีพ กลุ่มสมรรถนะวิชาชีพเฉพาะ ประเภทวิชาอุตสาหกรรม สาขาวิชาเมคคาทรอนิกส์ **ตามหลักสูตรประกาศนียบัตรวิชาชีพ พุทธศักราช 2562** สำนักงานคณะกรรมการการอาชีวศึกษา (สอศ.) กระทรวงศึกษาธิการ ผู้เขียนได้บริหารสาระการเรียนรู้แบ่งเป็น 11 บท ได้จัดแผนการจัดการเรียนรู้/แผนการสอนที่เน้นฐานสมรรถนะ (Competency Based) และการบูรณาการ (Integrated) ตรงตามจุดประสงค์รายวิชา สมรรถนะรายวิชา คำอธิบายรายวิชา ในแต่ละบทเรียน มุ่งให้ความสำคัญส่วนที่เป็นความรู้ ทฤษฎี หลักการ กระบวนการ ตัวอย่าง แบบฝึกปฏิบัติ และคำถามเพื่อการทบทวน เพื่อฝึกทักษะประสบการณ์เร่งพัฒนาบทบาทของผู้เรียนเป็นผู้จัดการแสวงหาความรู้ (Explorer) เป็นผู้สอนตนเอง ได้สร้างองค์ความรู้ใหม่ และบทบาทของผู้สอนเปลี่ยนจากผู้ให้ความรู้เป็นผู้ชี้แนะ (Teacher Role) จัดสิ่งแวดล้อมเอื้ออำนวยต่อความสนใจเรียนรู้และเป็นผู้ร่วมเรียนรู้ (Co-investigator) จัดห้องเรียนเป็นสถานที่ทำงานร่วมกัน (Learning Context) จัดกลุ่มเรียนรู้ให้รู้จักทำงานร่วมกัน (Grouping) ฝึกความใจกว้าง มุ่งสร้างสรรค์คนรุ่นใหม่ สอนความสามารถที่นำไปใช้งานได้ (Competency) สอนความรัก ความเมตตา (Compassion) ความเชื่อมั่น ความซื่อสัตย์ (Trust) เป้าหมายอาชีพอันยังประโยชน์ (Productive Career) และชีวิตที่มีศักดิ์ศรี (Noble Life) เหนือสิ่งอื่นใด เป็นคนดีทั้งกาย วาจา ใจ มีคุณธรรม จรรยาบรรณทางธุรกิจและวิชาชีพ

ส่งเสริมสนับสนุนยุทธศาสตร์การพัฒนาระบบคุณวุฒิวิชาชีพ (Vocational Qualification System) สอดคล้องตามมาตรฐานอาชีพ (Occupational Standard) สร้างภูมิคุ้มกัน เพิ่มขีดความสามารถในการแข่งขันของประเทศ กำลังแรงงาน การพัฒนามาตรฐานการปฏิบัติงานระดับชาติ (National Benchmarking) และการวิเคราะห์หน้าที่การงาน (Functional Analysis) เพื่อให้เกิดผลสำเร็จในภาคธุรกิจ อุตสาหกรรม ทุกสาขาอาชีพ เป็นการเตรียมความพร้อมของผู้เรียนเข้าสู่สนามการแข่งขันในประชาคมอาเซียน

ผศ.ดร. เศรษฐชัย ชัยสนธิ

สารบัญ

บทที่ 1	โครงสร้างอะตอม สารกึ่งตัวนำ ไดโอดและซีเนอร์ไดโอด	1
	โครงสร้างอะตอม	2
	ทฤษฎีอิเล็กทรอนิกส์	4
	สารกึ่งตัวนำ	5
	ไดโอด	8
	การประยุกต์ใช้งานไดโอด	12
	ไดโอดเปล่งแสง	21
	ซีเนอร์ไดโอด	23
	แบบทดสอบและกิจกรรมการฝึกทักษะบทที่ 1	30
	ใบงานที่ 1.1 คุณสมบัติไดโอด	35
	ใบงานที่ 1.2 วงจรใช้งานไดโอดเปล่งแสง	38
	ใบงานที่ 1.3 คุณสมบัติซีเนอร์ไดโอด	40
	ใบงานที่ 1.4 วงจรภาคจ่ายไฟฟ้า	43
บทที่ 2	ทรานซิสเตอร์	46
	ความรู้พื้นฐานเกี่ยวกับทรานซิสเตอร์	47
	โครงสร้างและสัญลักษณ์ทรานซิสเตอร์	47
	การไบแอสทรานซิสเตอร์	48
	การทำงานของวงจรคอมมอนแบบต่าง ๆ ของทรานซิสเตอร์	51
	วงจรไบแอสทรานซิสเตอร์	57
	พื้นฐานการทำงานของวงจรทรานซิสเตอร์	62
	แบบทดสอบและกิจกรรมการฝึกทักษะบทที่ 2	66
	ใบงานที่ 2.1 วงจรคอมมอนเบสของทรานซิสเตอร์	71
	ใบงานที่ 2.2 วงจรคอมมอนคอลเล็กเตอร์ของทรานซิสเตอร์	74
	ใบงานที่ 2.3 วงจรคอมมอนอีมิเตอร์ของทรานซิสเตอร์	77
	ใบงานที่ 2.4 วงจรประยุกต์ใช้งานทรานซิสเตอร์	80
บทที่ 3	เฟตและไอจีบีที	83
	ความรู้พื้นฐานเกี่ยวกับเฟต	84
	โครงสร้างและสัญลักษณ์ของเจเฟต	84
	การไบแอสเจเฟต	86

คุณลักษณะทางไฟฟ้าของเจเพต	88
วงจรคอมมอนแบบต่าง ๆ ของเพต	89
วงจรไบแอสแบบแบ่งแรงดันไฟฟ้าของเจเพตชนิดเอ็น แชนเนล	92
มอสเฟต	94
พื้นฐานการทำงานของวงจรเพต	100
ไอจีบีที	102
แบบทดสอบและกิจกรรมการฝึกทักษะบทที่ 3	106
ใบงานที่ 3.1 การทดสอบเจเพตชนิดเอ็น แชนเนล	109
ใบงานที่ 3.2 วงจรขยายสัญญาณเสียงแบบคอมมอนซอร์สของเจเพต	111
ใบงานที่ 3.3 วงจรหรีลลดไฟฟ้าโดยใช้มอสเฟต	114
บทที่ 4 อุปกรณ์ไทรสเตอร์	116
เอสซีอาร์	117
ไตรแอก	126
ไดแอก	133
แบบทดสอบและกิจกรรมการฝึกทักษะบทที่ 4	137
ใบงานที่ 4.1 วงจรไฟฟ้ากระแสตรงของเอสซีอาร์	140
ใบงานที่ 4.2 วงจรหรีลลดไฟฟ้า	142
บทที่ 5 การจัดคลาสของวงจรขยายและวงจรเชื่อมต่อสัญญาณ	144
คลาสของวงจรขยายเสียง	145
วงจรเชื่อมต่อสัญญาณ	150
แบบทดสอบและกิจกรรมการฝึกทักษะบทที่ 5	152
ใบงานที่ 5.1 วงจรขยายเสียงคลาส A	155
ใบงานที่ 5.2 วงจรขยายเสียงคลาส AB	158
ใบงานที่ 5.3 วงจรเชื่อมต่อสัญญาณเสียงโดยใช้ตัวต้านทานกับตัวเก็บประจุไฟฟ้า	161
บทที่ 6 ประเภทของวงจรขยาย	164
วงจรขยายแบบคาสเคด	165
วงจรดาร์ลิ่งตัน	167
วงจรคอมพลิเมนตารี	171
แบบทดสอบและกิจกรรมการฝึกทักษะบทที่ 6	175
ใบงานที่ 6.1 วงจรขยายแบบคาสเคดและวงจรดาร์ลิ่งตัน	180
ใบงานที่ 6.2 วงจรขยายเสียงคอมพลิเมนตารี	185



บทที่ 7 อุปกรณ์ตรวจจذب

188

บทนำ	189
ตัวต้านทานไวแสง	189
เทอร์มิสเตอร์	191
โฟโตไดโอด	192
โฟโตทรานซิสเตอร์	192
โฟโตทรานซิสเตอร์ดาร์ลิ่งตัน	194
อุปกรณ์เชื่อมต่อทางแสง	194
แบบทดสอบและกิจกรรมการฝึกทักษะบทที่ 7	197
ใบงานที่ 7.1 วงจรใช้งานของตัวต้านทานไวแสง	201
ใบงานที่ 7.2 คุณสมบัติโฟโตไดโอดและโฟโตทรานซิสเตอร์	203
ใบงานที่ 7.3 วงจรทดสอบเครื่องส่งรีโมทคอนโทรล	206
ใบงานที่ 7.4 คุณสมบัติของอุปกรณ์เชื่อมต่อทางแสง	208

บทที่ 8 การใช้งานของอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์

210

บทนำ	211
วงจรแหล่งจ่ายไฟฟ้า	211
วงจรขยายสัญญาณ	213
วงจรขับเคลื่อน	215
วงจรกำหนดสัญญาณ	218
วงจรทริก	221
วงจรไฟฟ้าฉุกเฉิน	222
แบบทดสอบและกิจกรรมการฝึกทักษะบทที่ 8	225
ใบงานที่ 8.1 วงจรขยายสัญญาณจากไมโครโฟน	230
ใบงานที่ 8.2 วงจรเพาเวอร์ซัพพลาย	233
ใบงานที่ 8.3 วงจรออสซิลเลเตอร์ที่มีการเลื่อนเฟส	236
ใบงานที่ 8.4 วงจรไฟฟ้าฉุกเฉิน	239

บทที่ 9 การทดสอบอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์

241

บทนำ	242
ทดสอบไดโอดทั่วไป	242
ทดสอบซีเนอร์ไดโอด	243
ทดสอบทรานซิสเตอร์	244
ทดสอบเอสซีอาร์	245





ทดสอบไทรแอด	246
ทดสอบไดแอด	247
การใช้มัลติมิเตอร์ตรวจสอบอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์	248
แบบทดสอบและกิจกรรมการฝึกทักษะบทที่ 9	254
ใบงานที่ 9.1 การทดสอบไดโอดทั่วไปและซีเนอร์ไดโอด	259
ใบงานที่ 9.2 การทดสอบทรานซิสเตอร์	261
ใบงานที่ 9.3 การทดสอบเอสซีอาร์ ไทรแอดและไดแอด	263

บทที่ 10 การประกอบวงจรอิเล็กทรอนิกส์เบื้องต้น **266**

บทนำ	267
การทำแผ่นพริ้นต์	267
การบัดกรี	269
การประกอบวงจรอิเล็กทรอนิกส์เบื้องต้น	271
แบบทดสอบและกิจกรรมการฝึกทักษะบทที่ 10	273
ใบงานที่ 10.1 การประกอบวงจรอิเล็กทรอนิกส์เบื้องต้น	276

บทที่ 11 การอ่านคู่มือและแปลความหมายคุณลักษณะทางไฟฟ้าของอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ **279**

การอ่านคู่มืออุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์	280
การแปลความหมายคุณลักษณะทางไฟฟ้าของอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์	282
แบบทดสอบและกิจกรรมการฝึกทักษะบทที่ 11	290
ใบงานที่ 11.1 การอ่านคู่มือและแปลความหมายคุณลักษณะทางไฟฟ้าของอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์	293

บรรณานุกรม **296**

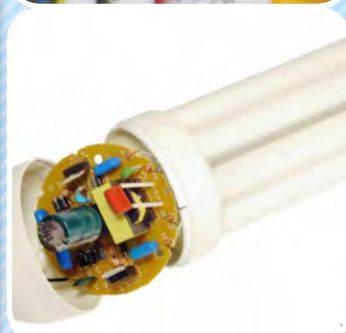


บทที่ 1

โครงสร้างอะตอม สารกึ่งตัวนำ ไดโอดและซีเนอร์ไดโอด

จุดประสงค์เชิงพฤติกรรม (Behavioral Objectives)
หลังจากศึกษาจบบทเรียนนี้แล้ว นักเรียนจะมีความสามารถดังนี้

1. อธิบายโครงสร้างอะตอมและทฤษฎีอิเล็กทรอนิกส์
2. จำแนกสารกึ่งตัวนำชนิดพีออกจากสารกึ่งตัวนำชนิดเอ็น
3. อธิบายโครงสร้าง สัญลักษณ์ และการไบแอสของไดโอด
4. เขียนกราฟแสดงคุณลักษณะทางไฟฟ้าของไดโอด
5. ทดสอบวงจรเรียงกระแสไฟฟ้าแบบครึ่งคลื่นและวงจรเรียงกระแสไฟฟ้าแบบเต็มคลื่น
6. ทดสอบการทำงานของไดโอดเปล่งแสงและซีเนอร์ไดโอด
7. ทดสอบวงจรรักษาแรงดันไฟฟ้าอย่างคงที่โดยใช้ซีเนอร์ไดโอด



บทที่ 1

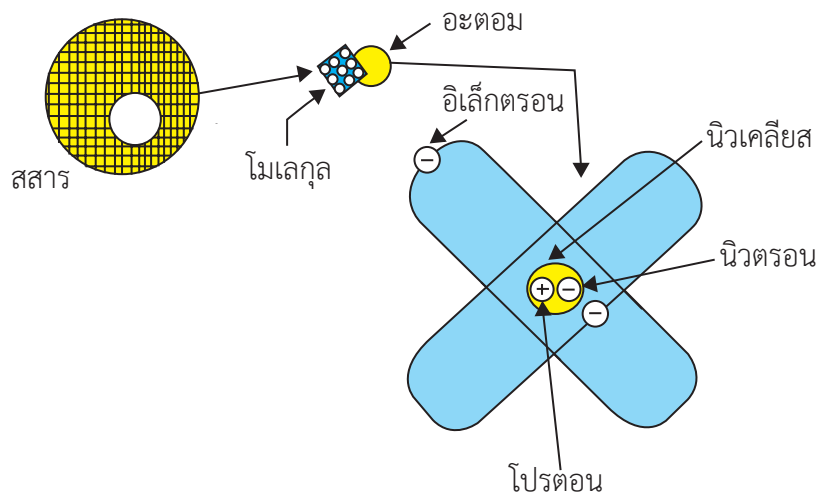
โครงสร้างอะตอม สารกึ่งตัวนำ ไดโอดและซีเนอร์ไดโอด



โครงสร้างอะตอม

สสาร (Matter) คือ วัตถุต่าง ๆ ที่อยู่รอบตัวเรา เช่น อากาศ ดิน น้ำ หิน สัตว์ พืช เป็นต้น คุณสมบัติสสารจะต้องมีน้ำหนักและต้องการที่อยู่มี 3 สถานะ คือ ของแข็ง ของเหลว และแก๊ส

โมเลกุล (Molecule) คือ ส่วนที่เล็กที่สุดของสสาร สามารถดำรงอยู่ได้ตามลำพังและยังคงความเป็นสสารดังกล่าวไว้ได้ โดยโมเลกุลประกอบด้วยอะตอมของธาตุที่เกิดพันธะเคมีกันแล้วทำให้เกิดสารประกอบ

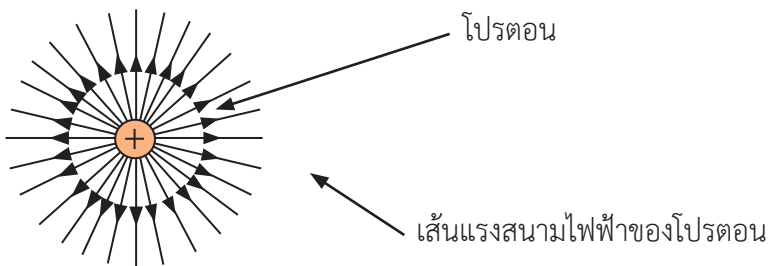


รูปที่ 1.1 โครงสร้างอะตอม

ธาตุ คือ สารซึ่งประกอบด้วยอะตอมชนิดเดียวกัน ปัจจุบันค้นพบ 109 ธาตุ เช่น ธาตุซิลิกอน (Silicon, Si) ธาตุเจอร์เมเนียม (Germanium, Ge) เป็นต้น

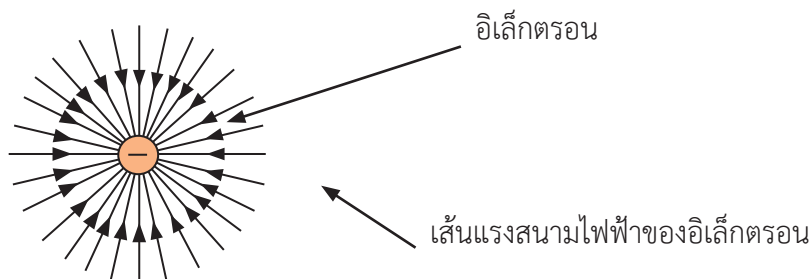
ภายในโมเลกุลประกอบด้วยอนุภาคที่เล็กลงอีก เรียกว่า **อะตอม (Atom)** แสดงดังรูปที่ 1.1 ซึ่งอะตอมเป็นอนุภาคที่เล็กที่สุดของธาตุที่แยกออกได้ อธิบายรายละเอียดดังนี้

1. โปรตอน เป็นประจุไฟฟ้าบวกที่มีขนาดเล็กที่สุดอยู่ในแกนกลางของอะตอม เกาะกลุ่มรวมกันอยู่กับนิวตรอน (Neutron) และอยู่ในนิวเคลียส (Nucleus) โดยที่เส้นแรงสนามไฟฟ้าของโปรตอนจะพุ่งออกจากโปรตอน



รูปที่ 1.2 โปรตอน

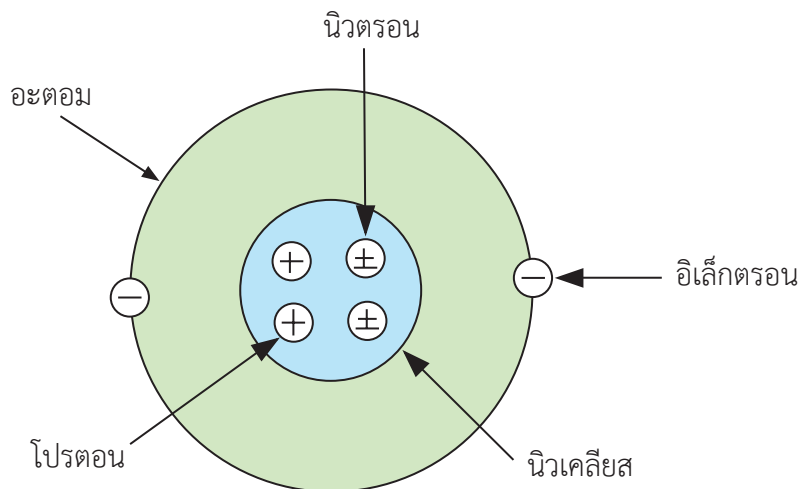
2. อิเล็กตรอน เป็นประจุไฟฟ้าลบที่มีน้ำหนักเบากว่าโปรตอน 1,840 เท่า แต่มีขนาดโตกว่าโปรตอน 3 เท่า ซึ่งอิเล็กตรอนนี้จะเคลื่อนที่รอบนิวเคลียสและจะมีทิศทางของเส้นแรงสนามไฟฟ้าพุ่งเข้าหาตัวอิเล็กตรอน



รูปที่ 1.3 อิเล็กตรอน

3. นิวตรอน มีสถานะเป็นกลางทางไฟฟ้า จึงไม่มีผลทางไฟฟ้าแต่อย่างใดและเป็นอนุภาคหนึ่ง ที่รวมกันอยู่กับโปรตรอนภายในนิวเคลียส

4. นิวเคลียส เป็นอนุภาคที่อยู่ตรงศูนย์กลางของอะตอม ประกอบด้วย นิวตรอนและโปรตรอน ซึ่งรวมเกาะกลุ่มกันอยู่ ซึ่งรูปที่ 1.4 แสดงองค์ประกอบของนิวเคลียสและการเคลื่อนที่ของอิเล็กตรอน

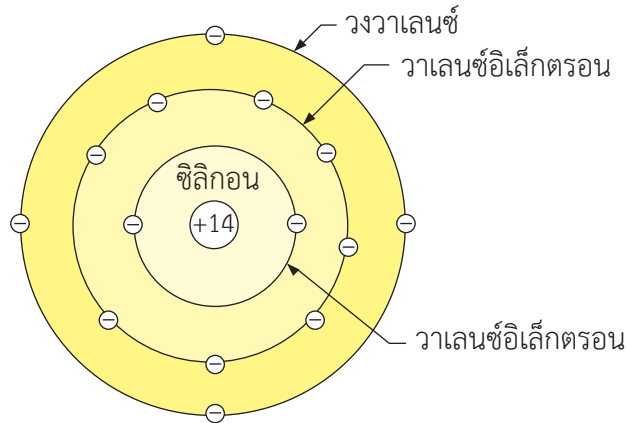


รูปที่ 1.4 องค์ประกอบของนิวเคลียสและการเคลื่อนที่ของอิเล็กตรอน



ทฤษฎีอิเล็กตรอน

อิเล็กตรอนซึ่งมีประจุไฟฟ้าลบมีน้ำหนักเบากว่าโปรตรอนแต่มีขนาดใหญ่กว่าโปรตรอนถึง 3 เท่า จะโคจรรอบบริเวณรอบๆ นิวเคลียส ซึ่งมีอิเล็กตรอนจำนวนเท่ากับโปรตรอนที่บรรจุอยู่ในนิวเคลียสในอะตอมของสารจึงดำรงสภาพเป็นกลางทางไฟฟ้า แต่อะตอมของสารจะสามารถแสดงจำนวนของประจุไฟฟ้าบวกหรือลบ ถ้าหากว่าเกิดการขาดความสมดุลระหว่างจำนวนอิเล็กตรอนและโปรตรอนที่บรรจุภายในอะตอม ซึ่งการขาดความสมดุลทางไฟฟ้าของอะตอมนี้เกิดขึ้นจากการขาดจำนวนอิเล็กตรอนหรือการรับอิเล็กตรอนเข้ามาภายในอะตอม ดังนั้น จึงสามารถที่จะหลุดเป็นอิเล็กตรอนอิสระจากวงโคจรของอะตอมได้ วงอิเล็กตรอน วงนอกสุดนี้มีความสำคัญมากเพราะจะเป็นตัวบ่งบอกว่าสารนั้นมีความสามารถในการนำไฟฟ้าได้ดีเพียงใดซึ่งวงอิเล็กตรอนวงนอกสุดนี้เรียกว่า **วงวาเลนซ์ (Valence Shell)** และอิเล็กตรอนที่อยู่วงใน เรียกว่า **วาเลนซ์อิเล็กตรอน (Valence Electron)** แสดงในรูปที่ 1.5



รูปที่ 1.5 โครงสร้างของสารซิลิกอนซึ่งมีอิเล็กตรอน 14 ตัว

วงจรีเล็กตรอนวงนอกสุดหรือวงวาเลนซ์นี้ จะมีอิเล็กตรอนได้ไม่เกิน 8 ตัว ซึ่งโดยธรรมชาติของอะตอมแล้วจะพยายามจัดกลุ่มรวมกันเป็นโมเลกุล เพื่อให้อยู่ในสภาวะเสถียรภาพ ดังนั้น หากสารใดมีวาเลนซ์อิเล็กตรอนไม่ครบ 8 ตัว ก็จะพยายามจับคู่ให้ครบ วิธีการที่ทำให้อะตอมมีวาเลนซ์อิเล็กตรอนครบ 8 ตัวนั้นมีด้วยกัน 3 วิธี คือ ให้อิเล็กตรอนไปกับอะตอมอื่น หรือรับอิเล็กตรอนจากอะตอมอื่น และใช้อิเล็กตรอนร่วมกับอะตอมอื่น วิธีการนี้เรียกว่า **โควาเลนต์บอนด์ (Covalence Bond)**



สารกึ่งตัวนำ

สารกึ่งตัวนำ (Semiconductor) คือสารที่มีค่าความต้านทานอยู่ระหว่างค่าความต้านทานของฉนวนกับค่าความต้านทานของตัวนำแล้วนำมาผลิตเป็นอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ ได้แก่ ไดโอด (Diode) ซีเนอร์ไดโอด (Zener Diode) ทรานซิสเตอร์ (Transistor) เฟต (Field Effect Transistor, FET) เอสซีอาร์ (Silicon Control Rectifier, SCR) ไตรแอด (Triac) ไดแอด (Diac) เป็นต้น อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ดังกล่าวถูกใช้ในงานไฟฟ้า อิเล็กทรอนิกส์ โทรคมนาคมและเมคคาทรอนิกส์ เป็นต้น

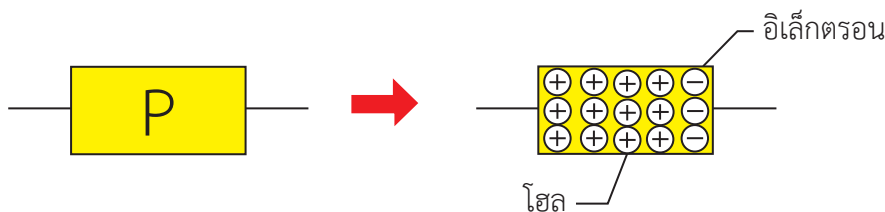
ธาตุที่นำมาทำเป็นอุปกรณ์สารกึ่งตัวนำหรืออุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์นี้ ได้แก่ ธาตุซิลิกอนกับธาตุเจอร์เมเนียม เหตุผลที่จำเป็นต้องใช้อุปกรณ์สารกึ่งตัวนำ คือ มีขนาดเล็ก น้ำหนักเบา ใช้กระแสไฟฟ้ากับแรงดันไฟฟ้าที่มีค่าต่ำ ๆ ก็สามารถควบคุมระบบไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์ขนาดใหญ่ ได้ ทำให้การแพร่กระจายความร้อนลดลง

เมื่ออยู่ในสภาวะปกติ สารกึ่งตัวนำจะไม่สามารถนำกระแสไฟฟ้าได้ แต่เมื่อได้รับพลังงานภายนอกมากระตุ้นอย่างเหมาะสม สารกึ่งตัวนำก็จะนำกระแสไฟฟ้าได้ ซึ่งสารกึ่งตัวนำจะแบ่งออกเป็น 2 ชนิด คือ สารกึ่งตัวนำชนิดพี (P - Type Semiconductor) และสารกึ่งตัวนำชนิดเอ็น (N - Type Semiconductor)

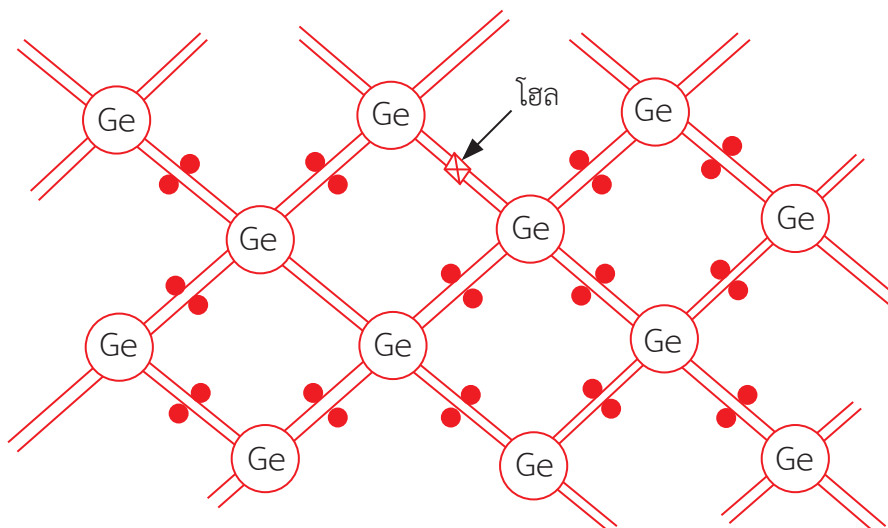
สารกึ่งตัวนำชนิดพี

สารกึ่งตัวนำชนิดพี มีคุณสมบัติทางไฟฟ้าเป็นบวก (Positive, P) เนื่องจากเติมสารเจือปนที่มีวาเลนซ์อิเล็กตรอน (อิเล็กตรอนที่อยู่วงใน) จำนวน 3 ตัว ลงในธาตุซิลิกอนบริสุทธิ์หรือธาตุเจอร์เมเนียมบริสุทธิ์ สารเจือปนดังกล่าวจะทำการจับตัวกันด้วยกระบวนการโคเวเลนต์ ซึ่งธาตุซิลิกอนบริสุทธิ์และธาตุเจอร์เมเนียมบริสุทธิ์มีวาเลนซ์อิเล็กตรอน 4 ตัว ส่วนสารเจือปนมีวาเลนซ์อิเล็กตรอน 3 ตัว เมื่อรวมกันแล้วจะมีวาเลนซ์อิเล็กตรอน 7 ตัว ทำให้ขาดไป 1 ตัว จึงเกิดเป็นโฮล (Hole) ขึ้น (โฮลเป็นช่องว่างเสมือนมีศักย์ไฟฟ้าเป็นบวก) ทำให้รับอิเล็กตรอนได้เพิ่มอีก 1 ตัว ดังนั้น สารกึ่งตัวนำที่ได้รับสารเจือปนหรือการโด๊ป (Dope) สารที่มีวาเลนซ์อิเล็กตรอน 3 ตัว (สารที่มีวาเลนซ์อิเล็กตรอน 3 ตัว ได้แก่ โบรอน อะลูมิเนียม แกลเลียม เป็นต้น) จึงกลายเป็นสารกึ่งตัวนำชนิดพี

ลักษณะเด่นของสารกึ่งตัวนำชนิดพี คือ จะเพิ่มโฮลเป็นประจุไฟฟ้าบวกให้มีค่ามากขึ้น ขณะเดียวกันจะไปลดประจุไฟฟ้าลบ (อิเล็กตรอน) ให้มีค่าน้อยลง จึงเรียกโฮลว่า **พาหะส่วนใหญ่ (Majority Carrier)** และเรียกอิเล็กตรอนว่า **พาหะส่วนน้อย (Minority Carrier)** แสดงดังรูปที่ 1.6 และรูปที่ 1.7



รูปที่ 1.6 สารกึ่งตัวนำชนิดพีมีประจุไฟฟ้าบวกมากกว่าประจุไฟฟ้าลบ

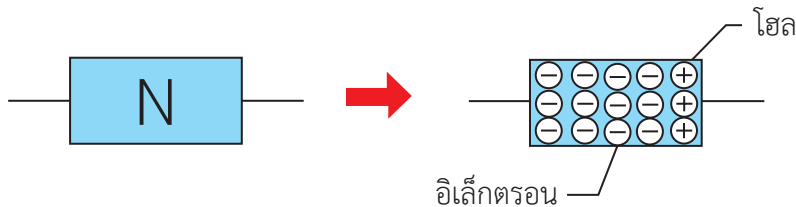


รูปที่ 1.7 สารกึ่งตัวนำชนิดพี (P - Type) ที่เพิ่มโฮล (แบบเจอร์เมเนียม)

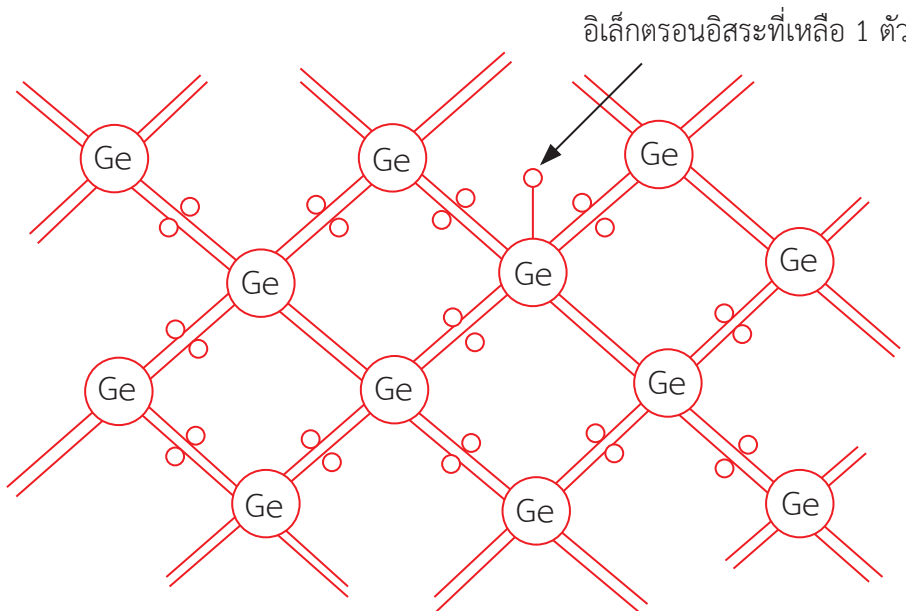
สารกึ่งตัวนำชนิดเอ็น

สารกึ่งตัวนำชนิดเอ็น มีคุณสมบัติทางไฟฟ้าเป็นลบ (Negative, N) เนื่องจากเติมสารเจือปนที่มีวาเลนซ์อิเล็กตรอน 5 ตัว (สารที่มีวาเลนซ์อิเล็กตรอน 5 ตัว ได้แก่ สารหนู ฟอสฟอรัส เป็นต้น) ลงไปในธาตุซิลิกอนบริสุทธิ์และธาตุเจอร์เมเนียมบริสุทธิ์ สารดังกล่าวจะจับตัวกันด้วยกระบวนการโคเวเลนต์ ซึ่งธาตุซิลิกอนบริสุทธิ์และธาตุเจอร์เมเนียมบริสุทธิ์มีวาเลนซ์อิเล็กตรอน 4 ตัว เมื่อรวมกันแล้วจะมีวาเลนซ์อิเล็กตรอน 9 ตัว ทำให้อิเล็กตรอนอิสระเหลืออยู่ 1 ตัว จึงทำให้สารกึ่งตัวนำชนิดเอ็นนี้พร้อมที่จะนำกระแสไฟฟ้าได้ถ้ามีการกระตุ้นจากภายนอก

ลักษณะเด่นของสารกึ่งตัวนำชนิดเอ็นจะมีจำนวนอิเล็กตรอนมากขึ้น (ประจุไฟฟ้าลบมีค่ามากขึ้น) ขณะเดียวกันโฮลซึ่งมีประจุไฟฟ้าบวกจะมีค่าลดลง จึงเรียกโฮลนี้ว่า **พาหะส่วนน้อย (Minority Carrier)** และเรียกอิเล็กตรอนว่า **พาหะส่วนใหญ่ (Majority Carrier)** แสดงดังรูปที่ 1.8 และรูปที่ 1.9



รูปที่ 1.8 สารกึ่งตัวนำชนิดเอ็นมีประจุไฟฟ้าลบมากกว่าประจุไฟฟ้าบวก

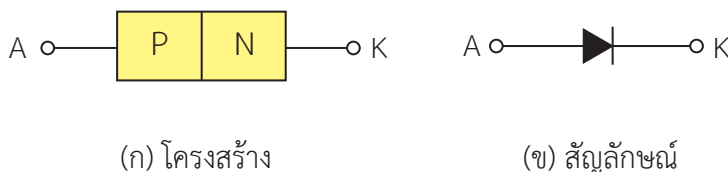


รูปที่ 1.9 สารกึ่งตัวนำชนิดเอ็น (N - Type) ที่เหลืออิเล็กตรอนอิสระ 1 ตัว (แบบซิลิกอน)



ไดโอด (Diode) เป็นอุปกรณ์สารกึ่งตัวนำที่นำสารกึ่งตัวนำชนิดพีมาต่อชนกันกับสารกึ่งตัวนำชนิดเอ็น ถูกใช้ในงานอิเล็กทรอนิกส์ต่าง ๆ อาทิ วงจรเรียงกระแสไฟฟ้า (Rectifier Circuit) ทำหน้าที่เปลี่ยนจากแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับให้เป็นแรงดันไฟฟ้ากระแสตรง วงจรแยกสัญญาณเสียงในเครื่องรับวิทยุ เอเอ็ม เรียกว่า **วงจรดีเทกเตอร์ (Detector Circuit)** เป็นต้น

โครงสร้างและสัญลักษณ์ไดโอด



รูปที่ 1.10 โครงสร้างและสัญลักษณ์ของไดโอด

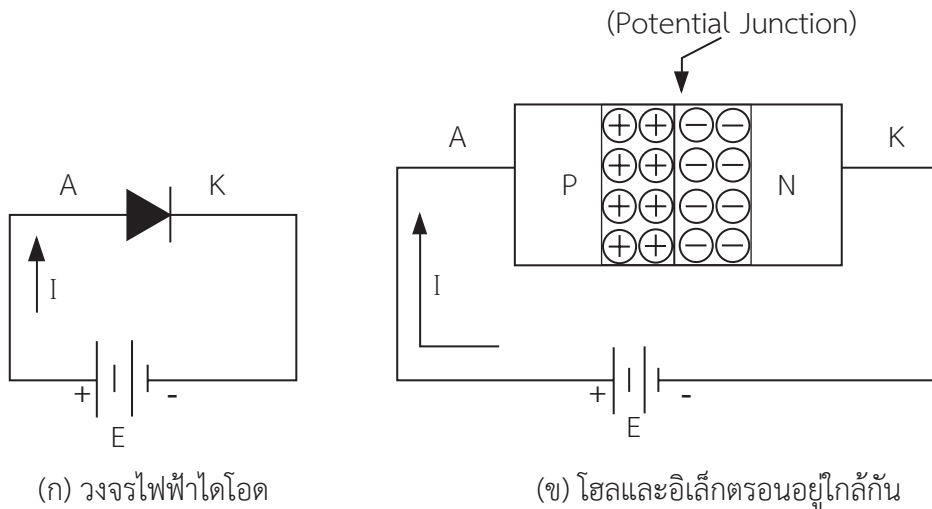
โครงสร้างและสัญลักษณ์ไดโอดแบบรอยต่อพีเอ็น (PN Junction Diode) แสดงในรูปที่ 1.10 อธิบายรายละเอียดดังนี้

1. เป็นไดโอดที่สร้างขึ้นโดยเชื่อมต่อแบบโกรน (Grown Junction) โดยนำสารกึ่งตัวนำที่บริสุทธิ์คือ ซิลิกอนหรือเจอร์เมเนียมใส่ลงในเต้าหลอม จากนั้นเติมสารเจือปนลงไป โดยเติมสารที่มีอิเล็กตรอนวงนอก 3 ตัว จากนั้นดึงสารกึ่งตัวนำที่กำลังหลอมเหลวนั้นขึ้นมาได้เป็นแท่งสารกึ่งตัวนำชนิดพี จากนั้นเติมสารเจือปนที่มีอิเล็กตรอนวงนอก 5 ตัวลงไปเพื่อให้สารกึ่งตัวนำที่กำลังหลอมละลายกลายเป็นสารกึ่งตัวนำชนิดเอ็น จากการกระทำดังกล่าว ทำให้ได้สารกึ่งตัวนำชนิดพีและสารกึ่งตัวนำชนิดเอ็นที่เชื่อมต่อแบบโกรน

2. ขาใช้งานไดโอด มี 2 ขา คือ แอโนด (Anode, A) กับแคโทด (Cathode, K) โดยขาแอโนดต่อมาจากสารกึ่งตัวนำชนิดพี ส่วนขาแคโทดต่อมาจากสารกึ่งตัวนำชนิดเอ็น

การไบแอสไดโอด

การไบแอสไดโอด คือ การกำหนดจุดทำงานไดโอดให้ทำงานเหมาะสมและใช้งานได้ต่อเนื่อง มี 2 วิธี คือ ไบแอสตรง (Forward Bias) และไบแอสกลับ (Reverse Bias) อธิบายรายละเอียดดังนี้

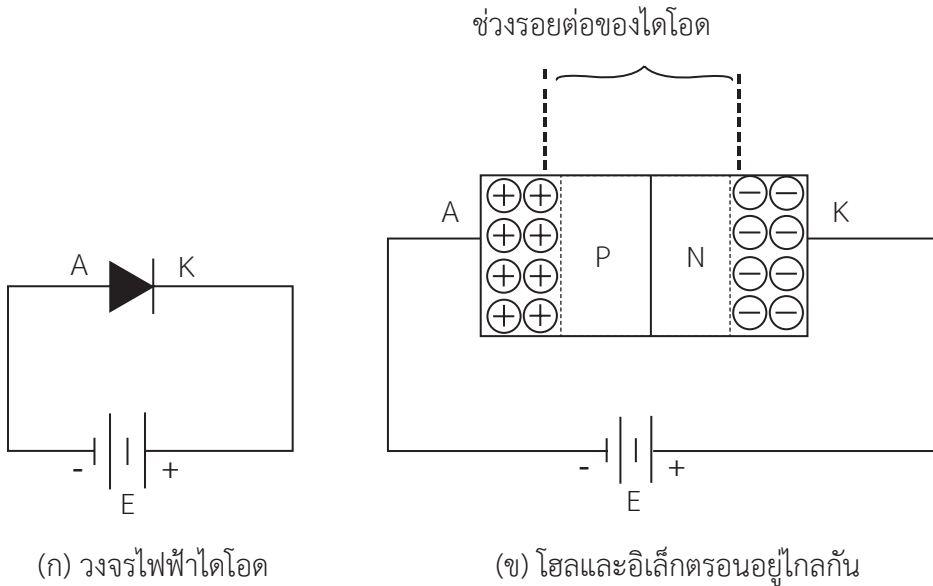


รูปที่ 1.11 การไบแอสตรงไดโอด

1. พิจารณารูปที่ 1.11 แสดงการไบแอสตรงของไดโอด

1.1 การไบแอสตรงไดโอดกระทำได้โดยนำขาคะโธดต่อเข้ากับขั้วบวก (+) ของแหล่งจ่ายแรงดันไฟฟ้า E ขณะที่ขาคะโธดต่อเข้ากับขั้วลบ (-) ของแหล่งจ่ายแรงดันไฟฟ้า E ลักษณะเช่นนี้ทำให้โฮล (+) ในสารกึ่งตัวนำชนิดพีอยู่ใกล้กับบริเวณรอยต่อกับอิเล็กตรอน (-) ในสารกึ่งตัวนำชนิดเอ็นช่วงรอยต่อของไดโอด (Depletion Region) มีค่าลดต่ำลง ค่าความต้านทานไดโอดจะลดลงด้วย

1.2 เมื่อค่าความต้านทานของไดโอดลดลง จะทำให้เกิดกระแสไฟฟ้าไหลผ่านไดโอดได้โดยกระแสไฟฟ้า (กระแสไฟฟ้านิยม) จะไหลจากขั้วบวกของแหล่งจ่ายแรงดันไฟฟ้า E ผ่านขาคะโธดออกไปที่ขาคะโธดไปครบวงจรที่ขั้วลบ (-) ของแหล่งจ่ายดังกล่าว ลักษณะเช่นนี้จึงทำให้เกิดแรงดันไฟฟ้าคัต - อิน (Cut - in Voltage) บริเวณรอยต่อมีค่าประมาณ 0.6 โวลต์ ถึง 0.7 โวลต์ เมื่อเป็นไดโอดชนิดซิลิกอน และจะมีแรงดันไฟฟ้าประมาณ 0.2 โวลต์ ถึง 0.3 โวลต์ เมื่อเป็นไดโอดชนิดเจอร์เมเนียม นั่นหมายความว่าเมื่อไดโอดได้รับไบแอสตรง จะทำให้ไดโอดทำงานเพื่อนำกระแสไฟฟ้าได้



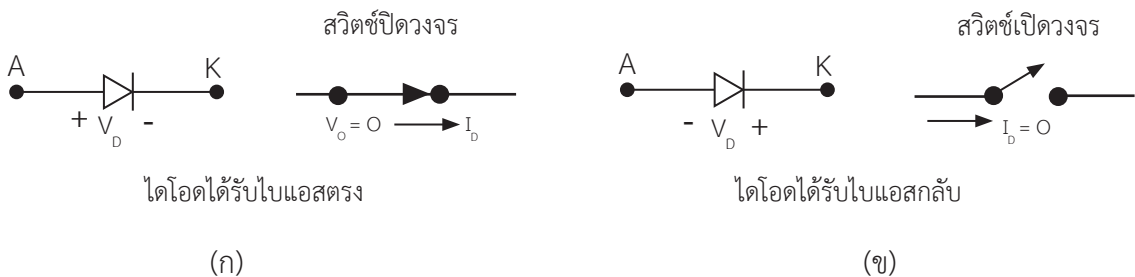
รูปที่ 1.12 การไบแอสกลับไดโอด

2. พิจารณารูปที่ 1.12 แสดงการไบแอสกลับของไดโอด

2.1 การไบแอสกลับไดโอด กระทำได้โดยนำขั้วแอโนดต่อเข้ากับขั้วลบ (-) ของแหล่งจ่ายแรงดันไฟฟ้า E ขณะที่ขั้วแคโทดต่อเข้ากับขั้วบวก (+) ของแหล่งจ่ายดังกล่าว ลักษณะเช่นนี้ทำให้โฮลในสารพีกับอิเล็กตรอนในสารเอ็นอยู่ใกล้กันมาก รอยต่อของไดโอดมีค่าสูงขึ้น ค่าความต้านทานไดโอดจะสูงขึ้นด้วย

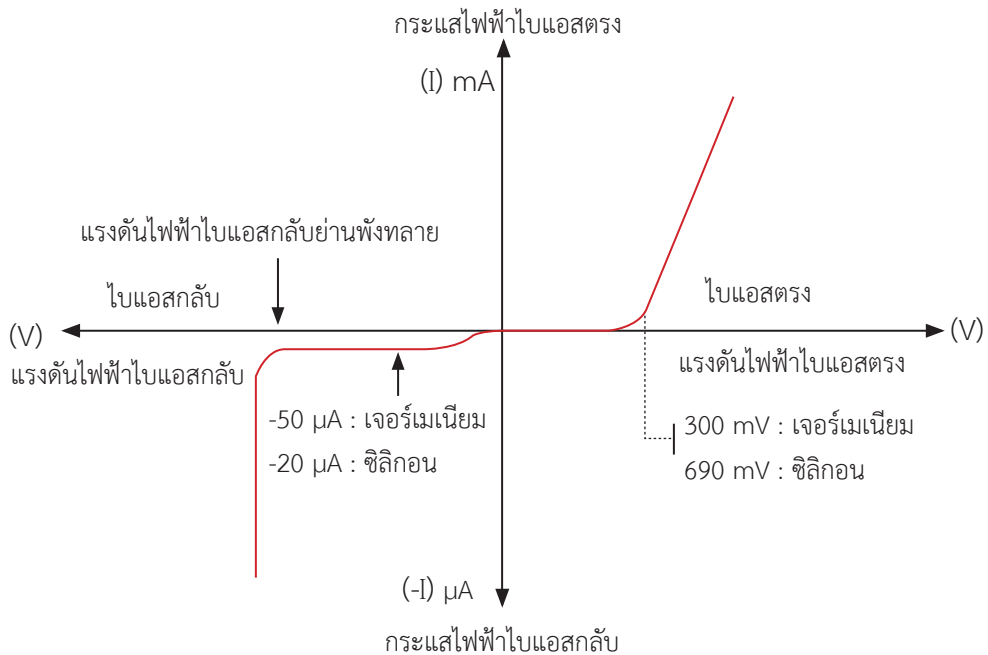
2.2 เมื่อค่าความต้านทานของไดโอดสูงขึ้น จึงไม่มีกระแสไฟฟ้าไหลผ่านไดโอด ส่งผลให้ไดโอดหยุดนำกระแสไฟฟ้า

อย่างไรก็ตาม ถ้าเปรียบไดโอดเหมือนกับสวิตช์ พบว่าเมื่อไดโอดได้รับไบแอสตรงจะเหมือนกับสวิตช์ต่อวงจร (Close Circuit) และไดโอดได้รับไบแอสกลับก็จะเหมือนกับสวิตช์ที่ทำหน้าที่ตัดวงจรไฟฟ้า (Open Circuit) ดังรูปที่ 1.13



รูปที่ 1.13 การเปรียบเทียบไดโอดเป็นสวิตช์ เมื่อไบแอสตรงและไบแอสกลับ ตามลำดับ

คุณลักษณะทางไฟฟ้าของไดโอด



รูปที่ 1.14 คุณลักษณะทางไฟฟ้าของไดโอด
แบบเจอร์เมเนียม

คุณลักษณะทางไฟฟ้าของไดโอดแบบเจอร์เมเนียม แสดงในรูปที่ 1.14 อธิบายรายละเอียดดังนี้

1. กำหนดกราฟแนวอนแสดงแรงดันไฟฟ้าไบแอสตรง (Forward Voltage; V_F) และแรงดันไฟฟ้าไบแอสกลับ (Reverse Voltage, V_R) มีหน่วยเป็นโวลต์ กราฟแนวตั้งแสดงกระแสไฟฟ้าไบแอสตรง (Forward Current, I_F) มีหน่วยเป็นมิลลิแอมแปร์และกระแสไฟฟ้าไบแอสกลับ (Reverse Current, I_R) มีหน่วยเป็นไมโครแอมแปร์
2. เมื่อไดโอดได้รับไบแอสตรงซึ่งแรงดันไฟฟ้าไบแอสที่จ่ายให้กับไดโอดจะต้องมีค่ามากกว่าแรงดันไฟฟ้าคัท - อิน ของไดโอดแบบเจอร์เมเนียม คือ ต้องมีค่ามากกว่า 0.3 โวลต์ จะทำให้ไดโอดนำกระแสไฟฟ้าเกิดกระแสไฟฟ้าไหลผ่านไดโอดในปริมาณที่สูงและถ้าหากแรงดันไฟฟ้าไบแอสของไดโอดแบบเจอร์เมเนียมมีค่าต่ำกว่า 0.3 โวลต์ จะทำให้ไดโอดดังกล่าวไม่สามารถที่จะนำกระแสไฟฟ้าได้
3. เมื่อไดโอดได้รับไบแอสกลับ ทำให้ค่าความต้านทานไดโอดสูงมาก กระแสไฟฟ้าจึงไม่สามารถไหลผ่านไดโอดได้ แต่จะมีเพียงกระแสไฟฟ้ารั่วไหลเท่านั้น และถ้าหากให้แรงดันไฟฟ้าไบแอสกลับแก่ไดโอดมีค่าสูงขึ้นอีก จะทำให้ไดโอดพังและเสียหายได้ เรียกว่า **แรงดันไฟฟ้าพังทลาย (Breakdown Voltage)**