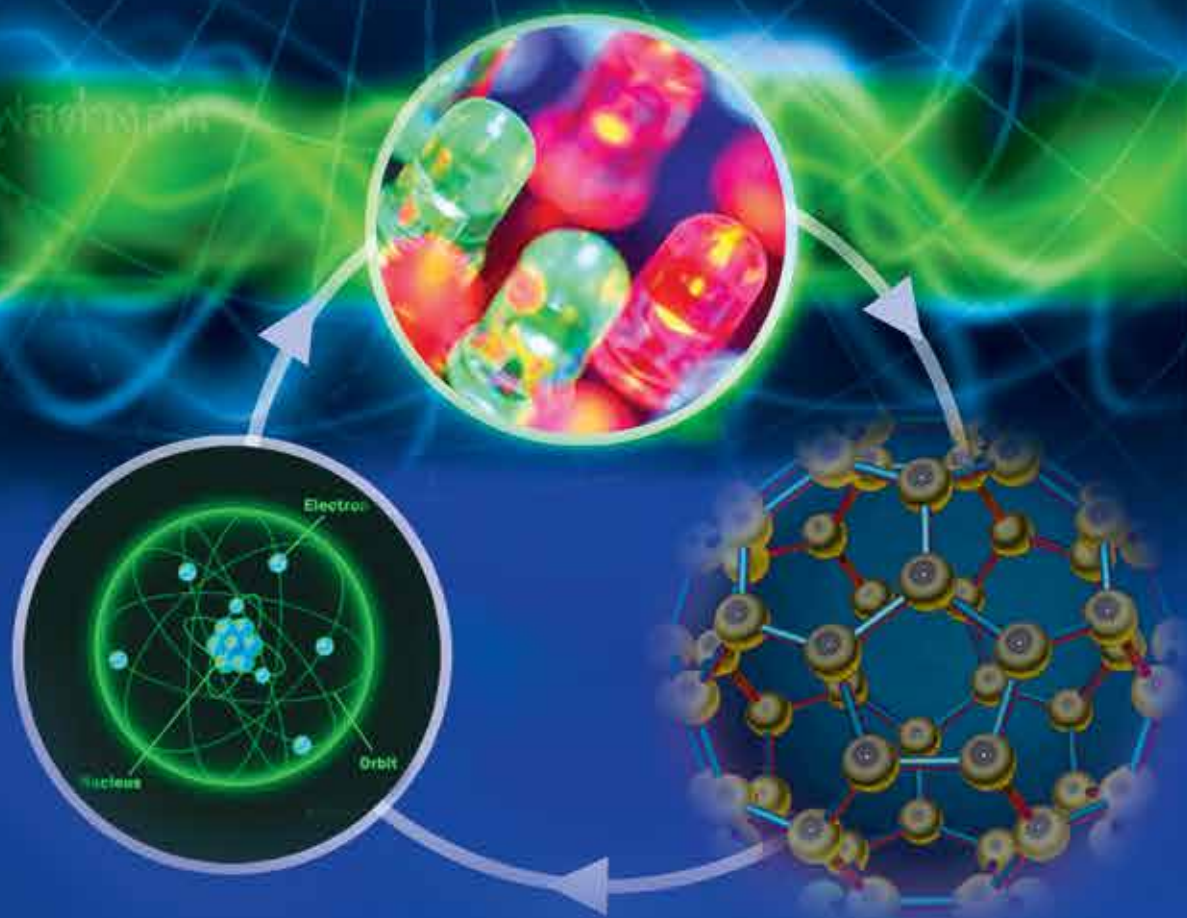




งานพื้นฐาน วงจรรีเลกทรอนิกส์



สาขานต์ ชื่นอารมย์



งานพื้นฐานวงจรอิเล็กทรอนิกส์ (Basic Electronic Circuits)

รหัสวิชา 30105 - 0003

รายวิชาปรับปรุงพื้นฐานวิชาชีพ

ประเภทวิชาอุตสาหกรรม สาขาวิชาอิเล็กทรอนิกส์

หลักสูตรประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูง พุทธศักราช 2563

กระทรวงศึกษาธิการ

และใช้ได้กับหลักสูตรปริญญาตรี หรือผู้ที่สนใจในงานอิเล็กทรอนิกส์

เรียบเรียงโดย
สายัณต์ ชื่นอารมย์

งานพื้นฐานวงจรอิเล็กทรอนิกส์ (Basic Electronic Circuits)

คำอธิบายรายวิชา

ศึกษาและปฏิบัติเกี่ยวกับโครงสร้าง สัญลักษณ์ คุณลักษณะทางไฟฟ้า วัดทดสอบวงจร การใช้คู่มือ และการประยุกต์ใช้งานไดโอด ซีเนอร์ไดโอด ทรานซิสเตอร์ เฟต ไอซีออปแอมป์ เอสซีอาร์ ไตรแอก ไดแอก และอุปกรณ์ออปโตอิเล็กทรอนิกส์

พิมพ์ครั้งที่ 1 พ.ศ. 2563

ข้อมูลทางบรรณานุกรมของสำนักหอสมุดแห่งชาติ

สายันต์ ชื่นอารมย์.

งานพื้นฐานวงจรอิเล็กทรอนิกส์.--กรุงเทพฯ : วังอักษร, 2563.

220 หน้า

1.วงจรอิเล็กทรอนิกส์. I. ชื่อเรื่อง.

621.38151

ISBN 978-616-211-887-6



จัดพิมพ์และจัดจำหน่ายโดย...

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

ID Line : @wangaksorn

<http://www.wangaksorn.com>



สงวนลิขสิทธิ์ตามพระราชบัญญัติลิขสิทธิ์ พ.ศ. 2537

โดยบริษัทวังอักษร จำกัด ห้ามนำส่วนใดส่วนหนึ่งของหนังสือเล่มนี้ไปทำซ้ำ
ดัดแปลง หรือเผยแพร่ต่อสาธารณชน ไม่ว่ารูปแบบใด ๆ นอกจากได้รับอนุญาต

เป็นลายลักษณ์อักษรล่วงหน้าจากทางบริษัทฯ เท่านั้น

ชื่อและเครื่องหมายการค้าอื่น ๆ ที่อ้างอิงในหนังสือฉบับนี้

เป็นสิทธิโดยชอบด้วยกฎหมายของเจ้าของแต่ละราย

โดยบริษัทวังอักษร จำกัด มิได้อ้างความเป็นเจ้าของแต่อย่างใด



คำนำ

วิชาการพื้นฐานวงจรอิเล็กทรอนิกส์ รหัสวิชา 30105-0003 จัดอยู่ในรายวิชาปรับปรุงพื้นฐานวิชาชีพ ประเภทวิชาอุตสาหกรรม สาขาวิชาอิเล็กทรอนิกส์ หลักสูตรประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูง พุทธศักราช 2563 และใช้ได้ระดับปริญญาตรี นำเสนอเนื้อหาที่เข้าใจง่าย มีลำดับขั้นตอน มีภาพประกอบ และแบบฝึกหัดท้ายบทเพื่อให้นักศึกษาค้นคว้า และทำความเข้าใจเพิ่มเติม โดยผู้เขียนได้บริหารสาระการเรียนรู้แบ่งเป็น 7 บทเรียน และได้จัดแผนการจัดการเรียนรู้/แผนการสอนที่มุ่งเน้นฐานสมรรถนะ (Competency Based) และการบูรณาการ (Integrated) ตรงตามจุดประสงค์รายวิชา มาตรฐานรายวิชา คำอธิบายรายวิชา ในแต่ละบทเรียน มุ่งให้ความสำคัญส่วนที่เป็นความรู้ ทฤษฎี หลักการ กระบวนการ และส่วนที่เป็นทักษะประสบการณ์ เร่งพัฒนาบทบาทของผู้เรียนเป็นผู้จัดการแสวงหาความรู้ (Explorer) เป็นผู้สอนตนเองได้ สร้างองค์ความรู้ใหม่ และบทบาทของผู้สอนเปลี่ยนจากผู้ให้ความรู้ มาเป็นผู้จัดการชี้แนะ (Teacher Roles) จัดสิ่งแวดล้อมเอื้ออำนวยต่อความสนใจเรียนรู้ และเป็นผู้ร่วมเรียนรู้ (Co-investigator) จัดห้องเรียนเป็นสถานที่ทำงานร่วมกัน (Learning Context) จัดกลุ่มเรียนรู้ให้รู้จักทำงานร่วมกัน (Grouping) ฝึกการยอมรับความคิดเห็นร่วมกัน สามารถนำไปความรู้ไปประยุกต์ใช้ในการทำงานได้โดยจะต้องมีความเชื่อมั่น ความซื่อสัตย์ (Trust) และเหนือสิ่งอื่นใด เป็นคนดีทั้งกาย วาจา ใจ มีคุณธรรม จริยธรรม และมีจรรยาบรรณต่อวิชาชีพ

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

หากหนังสือเล่มนี้เป็นประโยชน์สำหรับนักศึกษาและบุคคลทั่วไปที่สนใจ ผู้เขียนขอมอบด้วยความระลึกถึงพระคุณของบิดา มารดา ครู อาจารย์ผู้สอนทุกท่านที่ประสาทวิชาความรู้ให้กับผู้เขียนไว้ ณ โอกาสนี้

สายัณต์ ชื่นอารมย์





สารบัญ

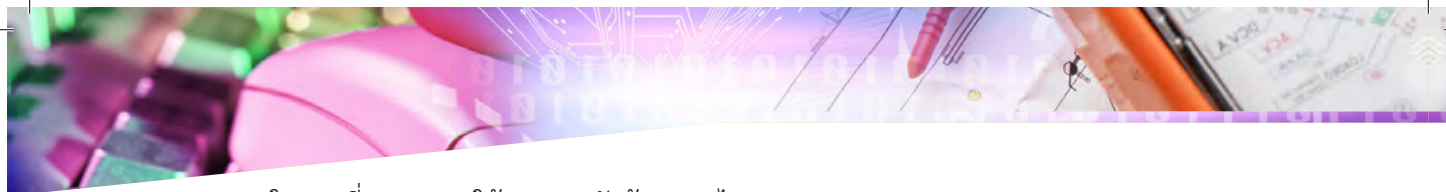
บทที่ 1 โครงสร้างอะตอม สารกึ่งตัวนำ ไดโอดและซีเนอร์ไดโอด	1
โครงสร้างอะตอม	2
ทฤษฎีอิเล็กทรอนิกส์	4
สารกึ่งตัวนำ	5
ไดโอด	10
การประยุกต์ใช้งานไดโอด	14
ไดโอดเปล่งแสง	20
ซีเนอร์ไดโอด	22
แบบทดสอบและกิจกรรมการฝึกทักษะ	29
ใบงานที่ 1.1 คุณสมบัติไดโอด	34
ใบงานที่ 1.2 วงจรใช้งานไดโอดเปล่งแสง	37
ใบงานที่ 1.3 คุณสมบัติซีเนอร์ไดโอด	39
ใบงานที่ 1.4 วงจรภาคจ่ายไฟฟ้า	42
 บทที่ 2 ทรานซิสเตอร์	 45
ความรู้พื้นฐานเกี่ยวกับทรานซิสเตอร์	46
โครงสร้างและสัญลักษณ์ทรานซิสเตอร์	46
การไบแอสทรานซิสเตอร์	48
การทำงานของวงจรคอมมอนแบบต่าง ๆ ของทรานซิสเตอร์	51
วงจรไบแอสทรานซิสเตอร์	56
วงจรใช้งานของทรานซิสเตอร์	62
แบบทดสอบและกิจกรรมการฝึกทักษะ	66
ใบงานที่ 2.1 วงจรคอมมอนเบสของทรานซิสเตอร์	71
ใบงานที่ 2.2 วงจรคอมมอนคอลเล็กเตอร์ของทรานซิสเตอร์	74
ใบงานที่ 2.3 วงจรคอมมอนอีมิเตอร์ของทรานซิสเตอร์	77
ใบงานที่ 2.4 วงจรใช้งานทรานซิสเตอร์	80





บทที่ 3 เฟต	83
ความรู้พื้นฐานเกี่ยวกับเฟต	84
โครงสร้างและสัญลักษณ์เจเฟต	84
การไบแอสเจเฟต	86
คุณลักษณะทางไฟฟ้าของเจเฟต	88
วงจรคอมมอนแบบต่าง ๆ ของเฟต	89
วงจรไบแอสแบบแบ่งแรงดันไฟฟ้าของเจเฟตชนิดเอ็นแชนเนล	92
มอสเฟต	94
วงจรใช้งานของเฟต	100
แบบทดสอบและกิจกรรมการฝึกทักษะ	103
ใบงานที่ 3.1 การทดสอบเจเฟตชนิดเอ็นแชนเนล	106
ใบงานที่ 3.2 วงจรขยายสัญญาณเสียงแบบคอมมอนซอร์สของเจเฟต	108
ใบงานที่ 3.3 วงจรหรีลลวดไฟฟ้าโดยใช้มอสเฟต	111
 บทที่ 4 อุปกรณ์ไทรสเตอร์	 113
บทนำ	114
เอสซีอาร์	114
ไตรแอก	123
ไดแอก	130
แบบทดสอบและกิจกรรมการฝึกทักษะ	134
ใบงานที่ 4.1 วงจรไฟฟ้ากระแสตรงของเอสซีอาร์	137
ใบงานที่ 4.2 วงจรหรีลลวดไฟฟ้า	139
 บทที่ 5 อุปกรณ์ตรวจจับ	 141
บทนำ	142
ตัวต้านทานไวแสง	142
เทอร์มิสเตอร์	144
โฟโตไดโอด	145
โฟโตทรานซิสเตอร์	146
โฟโตทรานซิสเตอร์ดาร์ลิ่งตัน	147
อุปกรณ์เชื่อมต่อทางแสง	148
แบบทดสอบและกิจกรรมการฝึกทักษะ	151





ใบงานที่ 5.1 วงจรใช้งานของตัวต้านทานไวแสง	155
ใบงานที่ 5.2 คุณสมบัติโฟโตไดโอดและโฟโตทรานซิสเตอร์	157
ใบงานที่ 5.3 วงจรทดสอบเครื่องส่งรีโมทคอนโทรล	160
ใบงานที่ 5.4 คุณสมบัติของอุปกรณ์เชื่อมต่อทางแสง	162

บทที่ 6 คุณสมบัติสมบัติพื้นฐานของไอซีออปแอมป์ **165**

บทนำ	166
สัญลักษณ์และวงจรภายในของไอซีออปแอมป์	166
ไอซีออปแอมป์ทางอุดมคติ	168
รายละเอียดไอซีออปแอมป์เบอร์ LM741	169
ตำแหน่งขาไอซีออปแอมป์เบอร์ LM741	170
แหล่งจ่ายแรงดันไฟฟ้าของไอซีออปแอมป์เบอร์ LM741	170
วงจรเปรียบเทียบแรงดันไฟฟ้าของไอซีออปแอมป์	172
แบบทดสอบและกิจกรรมการฝึกทักษะ	175
ใบงานที่ 6.1 วงจรเปรียบเทียบแรงดันไฟฟ้า	179

บทที่ 7 การใช้งานอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ **181**

บทนำ	182
วงจรขยายสัญญาณ	182
วงจรเพาเวอร์ซัพพลาย	184
วงจรออสซิลเลเตอร์และวงจรอื่น ๆ	185
แบบทดสอบและกิจกรรมการฝึกทักษะ	190
ใบงานที่ 7.1 วงจรขยายสัญญาณจากไมโครโฟน	195
ใบงานที่ 7.2 วงจรเพาเวอร์ซัพพลาย	198
ใบงานที่ 7.3 วงจรออสซิลเลเตอร์ที่มีการเลื่อนเฟส	201
ใบงานที่ 7.4 วงจรไฟฟ้าฉุกเฉิน	204

คำถามเพื่อการทบทวน **206**

คำศัพท์ **209**

บรรณานุกรม **214**





บทที่ 1

โครงสร้างอะตอม สารกึ่งตัวนำ ไดโอดและซีเนอร์ไดโอด

จุดประสงค์เชิงพฤติกรรม (Behavioral Objectives)

หลังจากศึกษาจบบทเรียนนี้แล้ว นักศึกษาจะมีความสามารถดังนี้

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

บทที่ 1

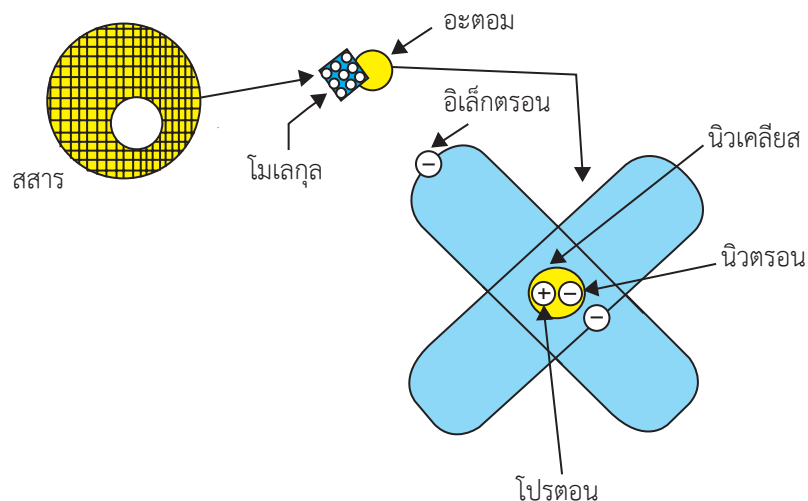
โครงสร้างอะตอม สารกึ่งตัวนำ ไดโอดและซีเนอร์ไดโอด



โครงสร้างอะตอม

สสาร (Matter) คือวัตถุต่างๆ ที่อยู่รอบตัวเรา เช่น อากาศ ดิน น้ำ หิน สัตว์ พืช เป็นต้น คุณสมบัติสสารจะต้องมีน้ำหนักและต้องการที่อยู่ มี 3 สถานะ คือ ของแข็ง ของเหลว และ แก๊ส

โมเลกุล (Molecule) คือส่วนที่เล็กที่สุดของสสาร สามารถดำรงอยู่ได้ตามลำพังและยังคงความเป็นสสารดังกล่าวไว้ได้ โดยโมเลกุลประกอบด้วยอะตอมของธาตุที่เกิดพันธะเคมีกัน แล้วทำให้เกิดสารประกอบ

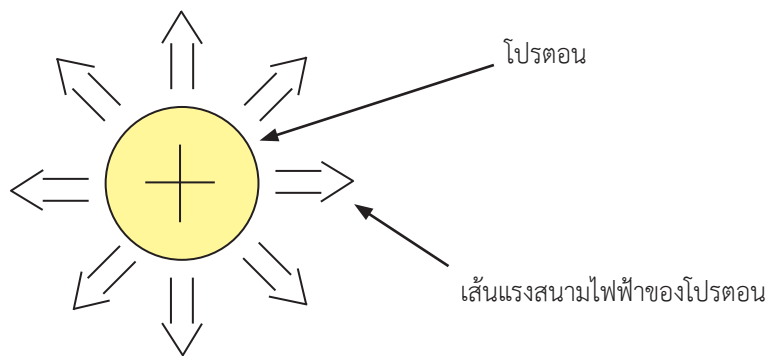


รูปที่ 1.1 โครงสร้างอะตอม

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

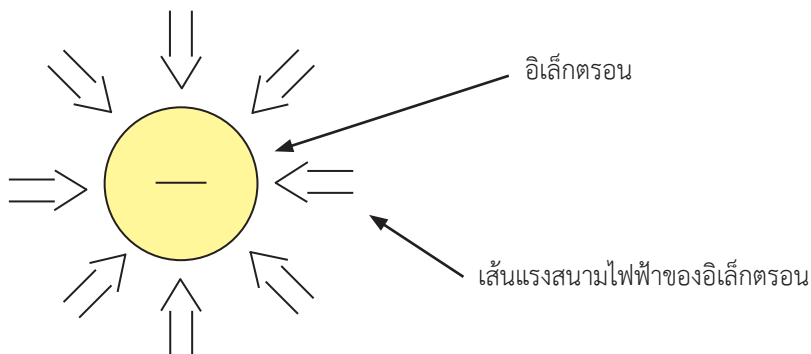
ภายในโมเลกุลประกอบด้วยอนุภาคที่เล็กลงอีก เรียกว่า **อะตอม (Atom)** แสดงดังรูปที่ 1.1 ซึ่งอะตอมเป็นอนุภาคที่เล็กที่สุดของธาตุที่แยกออกได้ อธิบายรายละเอียดดังนี้

1. โปรตอน เป็นประจุไฟฟ้าบวกที่มีขนาดเล็กที่สุดอยู่ในแกนกลางของอะตอม เกาะกลุ่มรวมกันอยู่กับนิวตรอน (Neutron) และอยู่ภายในนิวเคลียส (Nucleus) โดยที่เส้นแรงของโปรตอนจะพุ่งออกจากโปรตอน



รูปที่ 1.2 รูปโปรตอน

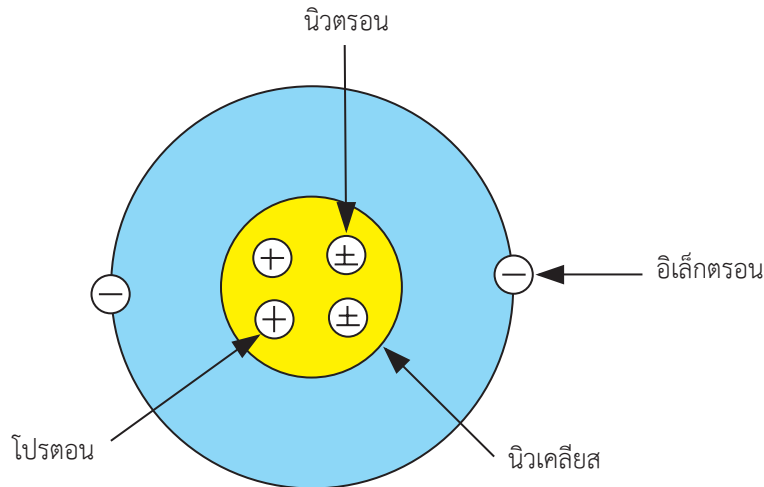
2. อิเล็กตรอน เป็นประจุไฟฟ้าลบที่มีน้ำหนักเบาว่าโปรตอน 1,840 เท่า แต่มีขนาดโตกว่าโปรตอน 3 เท่า ซึ่งอิเล็กตรอนนี้จะเคลื่อนที่รอบนิวเคลียส และจะมีทิศทางของเส้นแรงสนามไฟฟ้าพุ่งเข้าหาตัวอิเล็กตรอน



รูปที่ 1.3 รูปอิเล็กตรอน

3. นิวตรอน มีสถานะเป็นกลางทางไฟฟ้า จึงไม่มีผลทางไฟฟ้าแต่อย่างใด และเป็นอนุภาคหนึ่ง ที่รวมกันอยู่กับโปรตรอนภายในนิวเคลียส

4. นิวเคลียส เป็นอนุภาคที่อยู่ตรงศูนย์กลางของอะตอม ประกอบด้วย นิวตรอนและโปรตรอน ซึ่งรวมเกาะกลุ่มกันอยู่ ซึ่งรูปที่ 1.4 แสดงองค์ประกอบของนิวเคลียสและการเคลื่อนที่ของอิเล็กตรอน

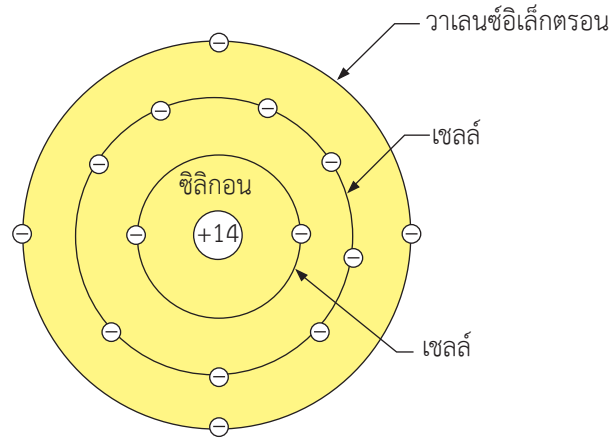


รูปที่ 1.4 องค์ประกอบของนิวเคลียสและการเคลื่อนที่ของอิเล็กตรอน



ทฤษฎีอิเล็กตรอน

อิเล็กตรอนซึ่งมีประจุไฟฟ้าลบมีน้ำหนักเบากว่าโปรตรอนแต่มีขนาดใหญ่กว่าโปรตรอนถึง 3 เท่า จะโคจรรอบบริเวณรอบ ๆ นิวเคลียส ซึ่งมีจำนวนเท่ากับโปรตรอนที่บรรจุอยู่ในนิวเคลียสในอะตอมของสาร จึงดำรงสภาพเป็นกลางทางไฟฟ้า แต่อะตอมของสารจะสามารถแสดงจำนวนของประจุไฟฟ้าบวกหรือลบ ออกมาได้ ถ้าหากว่าเกิดการขาดความสมดุลระหว่างจำนวนอิเล็กตรอนและโปรตรอนที่บรรจุภายในอะตอม ซึ่งการขาดความสมดุลทางไฟฟ้าของอะตอมนี้ เกิดขึ้นจากการขาดจำนวนอิเล็กตรอนหรือการรับ อิเล็กตรอนเข้ามาภายในอะตอม ดังนั้นจึงสามารถที่จะหลุดเป็นอิสระจากวงโคจรของอะตอมได้ วงอิเล็กตรอน วงนอกสุดนี้มีความสำคัญมาก เพราะจะเป็นตัวบ่งบอกว่าสารนั้นมีความสามารถในการนำไฟฟ้าได้ดีเพียงใด ซึ่งวงอิเล็กตรอนวงนอกสุดนี้เรียกว่า **วาเลนซ์อิเล็กตรอน (Valence Electron)** ส่วนอิเล็กตรอน ที่อยู่ภายใน เรียกว่า **เชลล์ (Shells)** หรือ **ชั้นวงโคจร** แสดงในรูปที่ 1.5



รูปที่ 1.5 วาเลนซ์อิเล็กตรอนกับเชลล์ของธาตุซิลิกอน

วงจรีเล็กทรอนิกส์วงนอกสุด จะมีอิเล็กตรอนได้ไม่เกิน 8 ตัว ซึ่งโดยธรรมชาติของอะตอมแล้ว จะพยายามจัดกลุ่มรวมกันเป็นโมเลกุล เพื่อให้อยู่ในสภาวะเสถียรภาพ ดังนั้น หากสารใดมีวาเลนซ์อิเล็กตรอนไม่ครบ 8 ตัว ก็จะพยายามหาทางทำให้ครบ วิธีการที่ทำให้อะตอมมีวาเลนซ์อิเล็กตรอนครบ 8 ตัวนั้นมีด้วยกัน 3 วิธี คือ ให้อิเล็กตรอนไปกับอะตอมอื่น หรือรับอิเล็กตรอนจากอะตอมอื่น และใช้อิเล็กตรอนร่วมกับอะตอมอื่น วิธีการนี้เรียกว่า **พันธะโควาเลนต์หรือโควาเลนต์บอนด์ (Covalence Bond)**



สารกึ่งตัวนำ

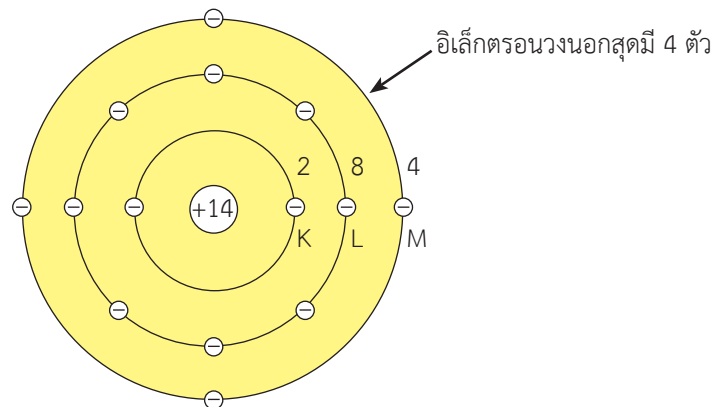
สารกึ่งตัวนำ (Semiconductor) คือ สารที่มีค่าความต้านทานอยู่ระหว่างค่าความต้านทานของฉนวนกับค่าความต้านทานของตัวนำ แล้วนำมาผลิตเป็นอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ ได้แก่ ไดโอด (Diode) ซีเนอร์ไดโอด (Zener Diode) ทรานซิสเตอร์ (Transistor) เฟต (Field Effect Transistor, FET) เอสซีอาร์ (Silicon Control Rectifier, SCR) ไตรแอค (Triac) ไดแอค (Diac) เป็นต้น อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ดังกล่าวถูกใช้ในงานไฟฟ้า อิเล็กทรอนิกส์ โทรคมนาคมและเมคคาทรอนิกส์

ธาตุที่นำมาทำเป็นอุปกรณ์สารกึ่งตัวนำหรืออุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์นี้ ได้แก่ ธาตุซิลิกอนกับธาตุเจอร์เมเนียม เหตุผลที่จำเป็นต้องใช้อุปกรณ์สารกึ่งตัวนำ คือ มีขนาดเล็ก น้ำหนักเบา ใช้กระแสไฟฟ้ากับแรงดันไฟฟ้าเพียงเล็กน้อยก็สามารถควบคุมระบบไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์ใหญ่ ๆ ได้ ทำให้การแพร่กระจายความร้อนลดลง

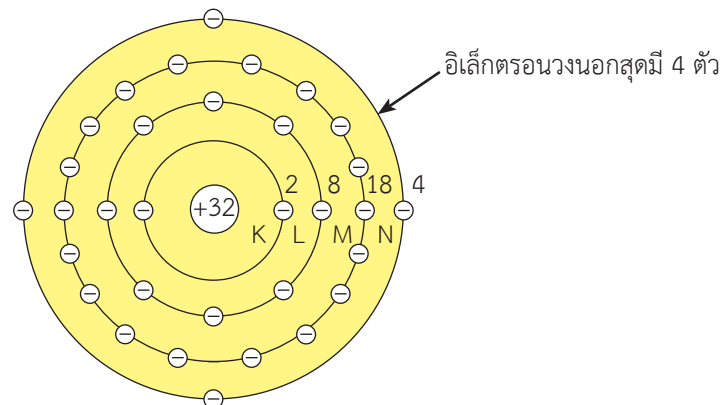
เมื่ออยู่ในสภาวะปกติ สารกึ่งตัวนำจะไม่สามารถนำกระแสไฟฟ้าได้ แต่เมื่อได้รับพลังงานภายนอกมากระตุ้นอย่างเหมาะสม สารกึ่งตัวนำก็จะนำกระแสไฟฟ้าได้ ซึ่งสารกึ่งตัวนำจะแบ่งออกเป็น 2 ชนิด คือ สารกึ่งตัวนำชนิดพี (P - Type Semiconductor) และ สารกึ่งตัวนำชนิดเอ็น (N - Type Semiconductor)

สารกึ่งตัวนำแบ่งออกเป็น 2 ชนิด คือ สารกึ่งตัวนำบริสุทธิ์ (Intrinsic Semiconductor) กับสารกึ่งตัวนำไม่บริสุทธิ์ (Extrinsic Semiconductor)

สารกึ่งตัวนำบริสุทธิ์ ได้แก่ ธาตุซิลิกอน (Silicon, Si) กับธาตุเจอร์เมเนียม (Germanium, Ge) ซึ่งอะตอมของธาตุซิลิกอนและอะตอมของธาตุเจอร์เมเนียม แสดงในรูปที่ 1.6



(ก) อะตอมของธาตุซิลิกอนมีโปรตอน 14 ตัว และอิเล็กตรอน 14 ตัว



(ข) อะตอมของธาตุเจอร์เมเนียมมีโปรตอน 32 ตัว และอิเล็กตรอน 32 ตัว

รูปที่ 1.6 อะตอมของธาตุซิลิกอนและเจอร์เมเนียม

อะตอมของธาตุซิลิกอนจำนวน 1 อะตอม มีโปรตอนและอิเล็กตรอนเท่ากัน คือ 14 ตัว ส่วนอะตอมของธาตุเจอร์เมเนียมจำนวน 1 อะตอม มีโปรตอนและอิเล็กตรอนเท่ากัน คือ 32 ตัว

จำนวนอิเล็กตรอนมากที่สุดในแต่ละวงโคจร = $2N^2$ เมื่อ N คือ ลำดับที่ของวงโคจรที่อยู่ห่างจากนิวเคลียส

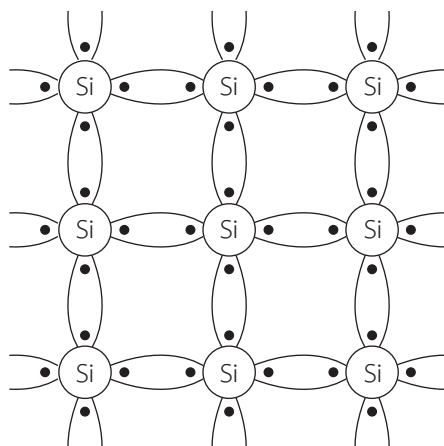
วงที่ 1 (วง K) มีจำนวนอิเล็กตรอนสูงสุด คือ $(2)(1)^2 = 2$ ตัว

วงที่ 2 (วง L) มีจำนวนอิเล็กตรอนสูงสุด คือ $(2)(2)^2 = 8$ ตัว

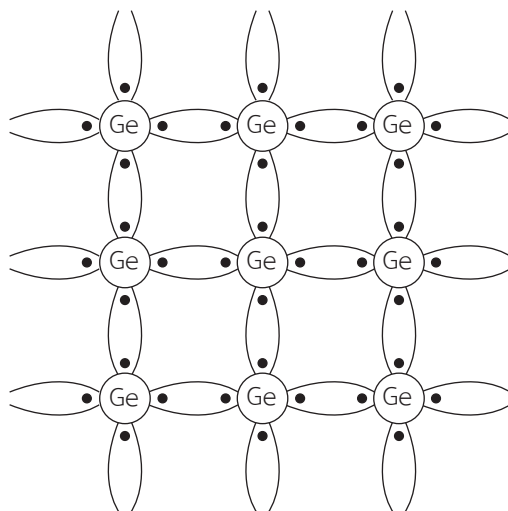
วงที่ 3 (วง M) มีจำนวนอิเล็กตรอนสูงสุด คือ $(2)(3)^2 = 18$ ตัว

วงที่ 4 (วง N) มีจำนวนอิเล็กตรอนสูงสุด คือ $(2)(4)^2 = 32$ ตัว

อย่างไรก็ตาม ธาตุซิลิกอนกับธาตุเจอร์เมเนียม จะมีอิเล็กตรอนวงนอกสุดเท่ากับ 4 ตัว การจับตัวอะตอมของธาตุทั้งสองมีลักษณะเป็นพันธะโควาเลนต์โดยอะตอม 1 ตัว จะใช้อิเล็กตรอนวงนอกสุดทั้ง 4 ตัว ร่วมกับอิเล็กตรอนจากอะตอมใกล้เคียงอีก 4 อะตอม เพื่อทำให้ได้อิเล็กตรอนวงนอกครบ 8 ตัว แสดงในรูปที่ 1.7



(ก) การจับตัวอะตอมของธาตุซิลิกอน



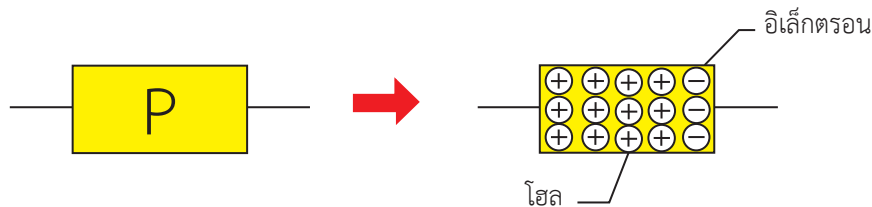
(ข) การจับตัวอะตอมของธาตุเจอร์เมเนียม

รูปที่ 1.7 การจับตัวอะตอมของธาตุซิลิกอนและเจอร์เมเนียม

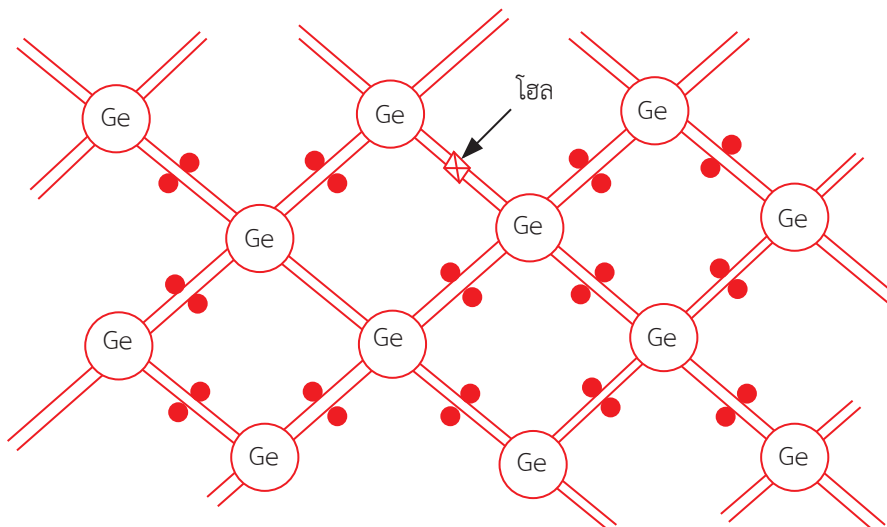
สารกึ่งตัวนำชนิดพี

สารกึ่งตัวนำชนิดพี มีคุณสมบัติทางไฟฟ้าเป็นบวก (Positive, P) เป็นสารกึ่งตัวนำที่ไม่บริสุทธิ์ เนื่องจากเติมสารเจือปนที่มีวาเลนซ์อิเล็กตรอน (อิเล็กตรอนที่อยู่วงนอกสุด) จำนวน 3 ตัว ลงในธาตุซิลิกอน บริสุทธิ์หรือธาตุเจอร์เมเนียมบริสุทธิ์ สารเจือปนดังกล่าวจะทำการจับตัวกันด้วยกระบวนการโคเวเลนต์ ซึ่งธาตุซิลิกอนบริสุทธิ์และธาตุเจอร์เมเนียมบริสุทธิ์มีวาเลนซ์อิเล็กตรอน 4 ตัว ส่วนสารเจือปนมีวาเลนซ์อิเล็กตรอน 3 ตัว เมื่อรวมกันแล้วจะมีวาเลนซ์อิเล็กตรอน 7 ตัว ทำให้ขาดไป 1 ตัว จึงเกิดเป็นโฮล (Hole) ขึ้น (โฮลเป็นช่องว่างเสมือนมีศักย์ไฟฟ้าเป็นบวก) ทำให้รับอิเล็กตรอนได้เพิ่มอีก 1 ตัว ดังนั้นสารกึ่งตัวนำที่ได้รับสารเจือปนหรือการโด๊ป (Dope) สารที่มีวาเลนซ์อิเล็กตรอน 3 ตัว (สารที่มีวาเลนซ์อิเล็กตรอน 3 ตัว ได้แก่ โบรอน อะลูมิเนียม แกลเลียม เป็นต้น) จึงกลายเป็นสารกึ่งตัวนำชนิดพี

ลักษณะเด่นของสารกึ่งตัวนำชนิดพี คือ จะเพิ่มโฮลเป็นประจุไฟฟ้าบวกให้มีค่ามากขึ้น ขณะเดียวกันจะปลดปล่อยอิเล็กตรอน (อิเล็กตรอน) ให้มีค่าน้อยลง จึงเรียกโฮลว่า **พาหะส่วนใหญ่ (Majority Carrier)** และเรียกอิเล็กตรอนว่า **พาหะส่วนน้อย (Minority Carrier)** แสดงดังรูปที่ 1.8 และรูปที่ 1.9



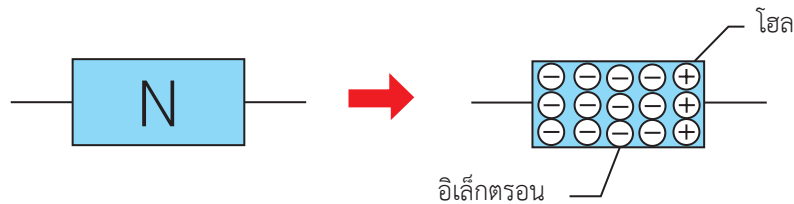
รูปที่ 1.8 สารกึ่งตัวนำชนิดพีมีประจุไฟฟ้าบวกมากกว่าประจุไฟฟ้าลบ



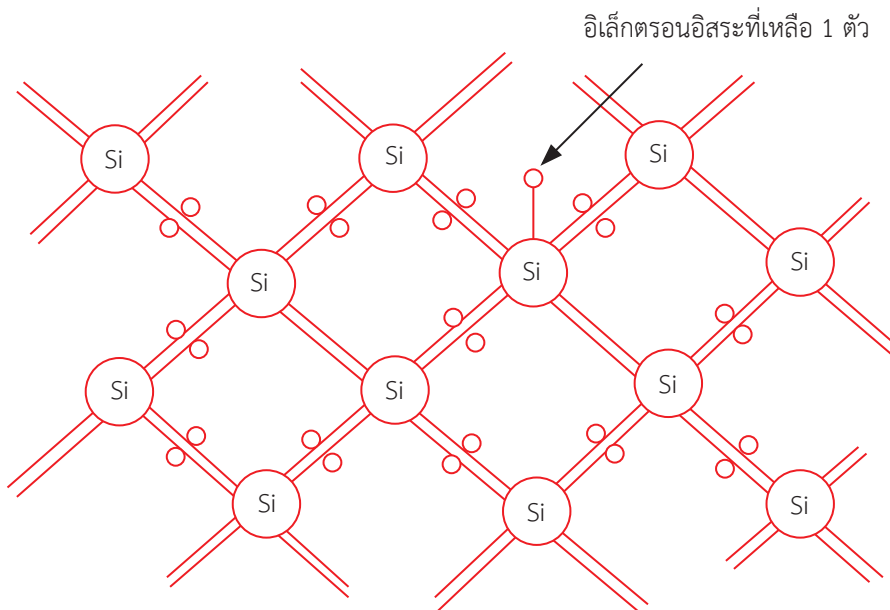
รูปที่ 1.9 สารกึ่งตัวนำชนิดพี (P - Type) ที่เพิ่มโฮล (แบบเจอร์เมเนียม)

สารกึ่งตัวนำชนิดเอ็น

สารกึ่งตัวนำชนิดเอ็น มีคุณสมบัติทางไฟฟ้าเป็นลบ (Negative, N) เป็นสารกึ่งตัวนำที่ไม่บริสุทธิ์ เนื่องจากเติมสารเจือปนที่มีวาเลนซ์อิเล็กตรอน 5 ตัว (สารที่มีวาเลนซ์อิเล็กตรอน 5 ตัว ได้แก่ สารหนู ฟอสฟอรัส เป็นต้น) ลงไปในธาตุซิลิกอนบริสุทธิ์และธาตุเจอร์เมเนียมบริสุทธิ์ สารดังกล่าวจะจับตัวกันด้วยกระบวนการโควาเลนต์ ซึ่งธาตุซิลิกอนบริสุทธิ์และธาตุเจอร์เมเนียมบริสุทธิ์มีวาเลนซ์อิเล็กตรอน 4 ตัว เมื่อรวมกันแล้วจะมีวาเลนซ์อิเล็กตรอน 9 ตัว ทำให้อิเล็กตรอนหรืออิเล็กตรอนอิสระเหลืออยู่ 1 ตัว จึงทำให้สารกึ่งตัวนำชนิดเอ็นนี้พร้อมที่จะนำกระแสไฟฟ้าได้ถ้ามีการกระตุ้นจากภายนอก ลักษณะเด่นของสารกึ่งตัวนำชนิดเอ็นจะมีจำนวนอิเล็กตรอนมากขึ้น (ประจุไฟฟ้าลบมีค่ามากขึ้น) ขณะเดียวกันโฮลซึ่งมีประจุไฟฟ้าบวกจะมีค่าลดลง จึงเรียกโฮลนี้ว่า **พาหะส่วนน้อย (Minority Carrier)** และเรียกอิเล็กตรอนว่า **พาหะส่วนใหญ่ (Majority Carrier)** แสดงดังรูปที่ 1.10 และรูปที่ 1.11



รูปที่ 1.10 สารกึ่งตัวนำชนิดเอ็นมีประจุไฟฟ้าลบมากกว่าประจุไฟฟ้าบวก



รูปที่ 1.11 สารกึ่งตัวนำชนิดเอ็น (N - Type) ที่เหลืออิเล็กตรอนอิสระ 1 ตัว (แบบซิลิกอน)



ไดโอด

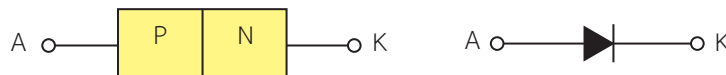
ไดโอด (Diode) เป็นอุปกรณ์สารกึ่งตัวนำที่นำสารกึ่งตัวนำชนิดพีมาต่อชนกันกับสารกึ่งตัวนำชนิดเอ็น ถูกใช้ในงานอิเล็กทรอนิกส์ต่างๆ อาทิ วงจรเรียงกระแสไฟฟ้า (Rectifier Circuit) ทำหน้าที่เปลี่ยนจากแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับให้เป็นแรงดันไฟฟ้ากระแสตรง วงจรแยกสัญญาณเสียงในเครื่องรับวิทยุเอเอ็ม เรียกว่า **วงจรดีเทกเตอร์ (Detector Circuit)** เป็นต้น



ไดโอดเบอร์ 1N4001

ที่มา : <http://www.tandyonline.co.uk/1n4001-rectifier-diodes.html>

โครงสร้างและสัญลักษณ์ไดโอด



(ก) โครงสร้าง

(ข) สัญลักษณ์

รูปที่ 1.12 ไดโอด

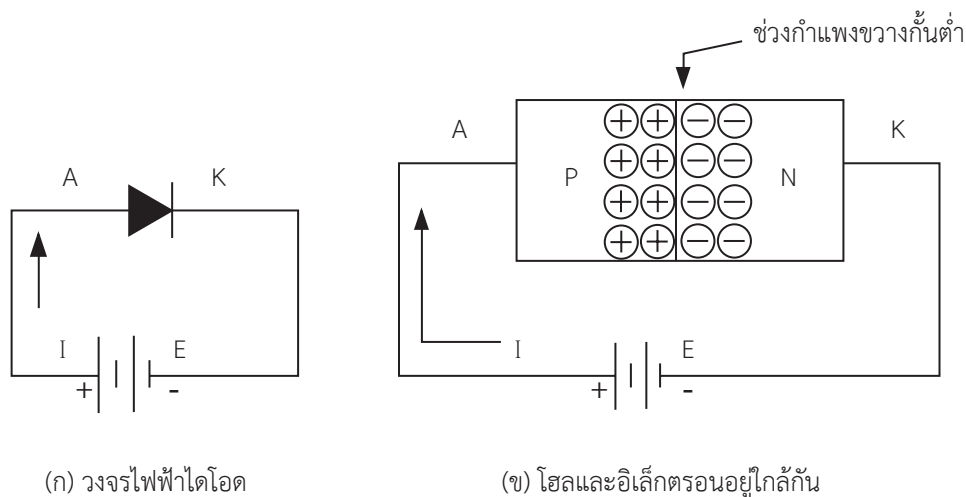
โครงสร้างและสัญลักษณ์ไดโอดแบบรอยต่อพีเอ็น (PN Junction Diode) แสดงในรูปที่ 1.12 อธิบายรายละเอียดดังนี้

1. เป็นไดโอดที่สร้างขึ้นโดยเชื่อมต่อแบบโกรน (Grown Junction) โดยนำสารกึ่งตัวนำที่บริสุทธิ์คือ ซิลิกอนหรือเจอร์เมเนียมใส่ลงในแท่งหลอด จากนั้นเติมสารเจือปนลงไป โดยเติมสารที่มีอิเล็กตรอนวงนอก 3 ตัว จากนั้นดึงสารกึ่งตัวนำที่กำลังหลอมเหลวนั้นขึ้นมาได้เป็นแท่งสารกึ่งตัวนำชนิดพี หลังจากนั้นเติมสารเจือปนที่มีอิเล็กตรอนวงนอก 5 ตัว ลงไปเพื่อให้สารกึ่งตัวนำที่กำลังหลอมละลายกลายเป็นสารกึ่งตัวนำชนิดเอ็น จากการกระทำดังกล่าว ทำให้ได้สารกึ่งตัวนำชนิดพีและสารกึ่งตัวนำชนิดเอ็นที่เชื่อมต่อแบบโกรน

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

การไบแอสไดโอด

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

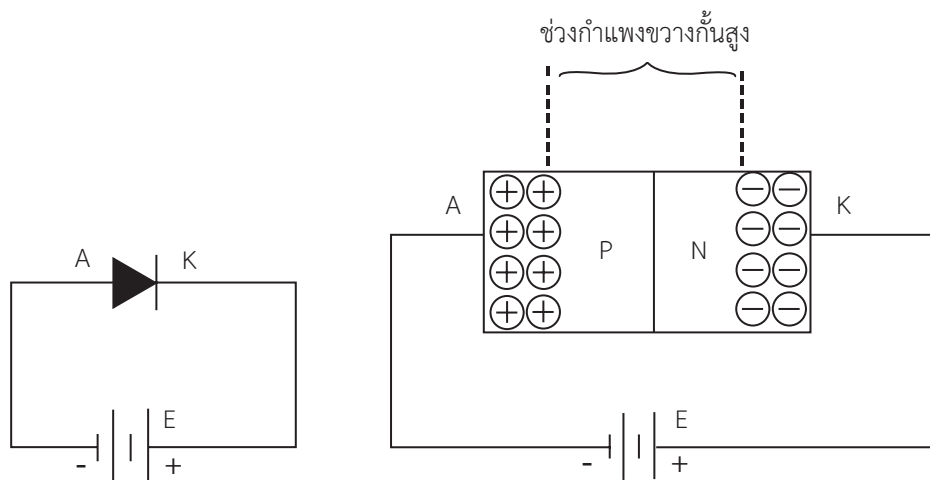


รูปที่ 1.13 การไบแอสตรงไดโอด

1. พิจารณารูปที่ 1.13 แสดงการไบแอสตรงของไดโอด

1.1 การไบแอสตรงไดโอด กระทำได้โดยนำขาแอโนดต่อเข้ากับขั้วบวกของแหล่งจ่ายแรงดันไฟฟ้า E ขณะที่ขาแคโทดต่อเข้ากับขั้วลบของแหล่งจ่ายแรงดันไฟฟ้า E ลักษณะเช่นนี้ทำให้โพล (+) ในสารกึ่งตัวนำชนิดพีอยู่ใกล้กับบริเวณรอยต่อกับอิเล็กตรอน (-) ในสารกึ่งตัวนำชนิดเอ็น ช่วงกำแพงขวางกั้น (Depletion Region) มีค่าลดต่ำลง ค่าความต้านทานไดโอดจะลดลงด้วย

1.2 เมื่อค่าความต้านทานของไดโอดลดลง จะทำให้เกิดกระแสไฟฟ้าไหลผ่านไดโอดได้ โดยกระแสไฟฟ้า (กระแสไฟฟ้านิยม) จะไหลจากขั้วบวกของแหล่งจ่ายแรงดันไฟฟ้า E ส่งผ่านขาแอโนดออกไปที่ขาแคโทดไปครบวงจรที่ขั้วลบของแหล่งจ่ายดังกล่าว ลักษณะเช่นนี้จึงทำให้เกิดแรงดันไฟฟ้าคัต - อิน (Cut - in Voltage) บริเวณรอยต่อมีค่าประมาณ 0.6 V ถึง 0.7 V เมื่อเป็นไดโอดชนิดซิลิกอน และจะมีแรงดันไฟฟ้าประมาณ 0.2 V ถึง 0.3 V เมื่อเป็นไดโอดชนิดเจอร์เมเนียม นั่นหมายความว่า เมื่อไดโอดได้รับไบแอสตรง จะทำให้ไดโอดทำงานเพื่อนำกระแสไฟฟ้าได้



(ก) วงจรไฟฟ้าไดโอด

(ข) โฮลและอิเล็กตรอนอยู่ใกล้กัน

รูปที่ 1.14 การไบแอสกลับไดโอด

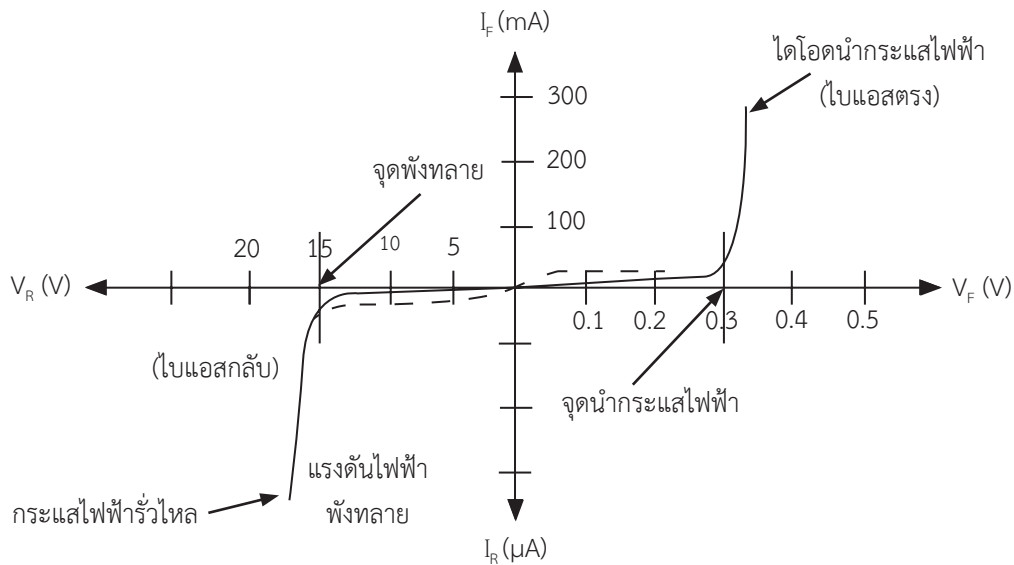
2. พิจารณารูปที่ 1.14 แสดงการไบแอสกลับของไดโอด

2.1 การไบแอสกลับไดโอด กระทำได้โดยนำขาแอนโอดต่อเข้ากับขั้วลบของแหล่งจ่ายแรงดันไฟฟ้า E ขณะที่ขาแคโทดต่อเข้ากับขั้วบวกของแหล่งจ่ายดังกล่าว ลักษณะเช่นนี้ทำให้โฮลในสารพีกับอิเล็กตรอนในสารเอ็นอยู่ไกลกันมาก ช่วงกำแพงขวางกั้นมีค่าสูงขึ้น ค่าความต้านทานไดโอดจะสูงขึ้นด้วย

2.2 เมื่อค่าความต้านทานของไดโอดสูงขึ้น จึงไม่มีกระแสไฟฟ้าไหลผ่านไดโอด ส่งผลให้ไดโอดหยุดนำกระแสไฟฟ้า

อย่างไรก็ตาม ถ้าเปรียบไดโอดเหมือนกับสวิตช์ พบว่า เมื่อไดโอดได้รับไบแอสตรงจะเหมือนกับสวิตช์ต่อวงจร (Close Circuit) และไดโอดได้รับไบแอสกลับก็จะเหมือนกับสวิตช์ที่ทำหน้าที่ตัดวงจรไฟฟ้า (Open Circuit)

คุณลักษณะทางไฟฟ้าของไดโอด



รูปที่ 1.15 ตัวอย่างกราฟแสดงคุณลักษณะทางไฟฟ้าของไดโอด
แบบเจอร์เมเนียม

คุณลักษณะทางไฟฟ้าของไดโอดแบบเจอร์เมเนียม แสดงในรูปที่ 1.15 อธิบายรายละเอียดดังนี้

1. กำหนดกราฟแนวนอนแสดงแรงดันไฟฟ้าไบแอสตรง (Forward Voltage; V_F) และแรงดันไฟฟ้าไบแอสกลับ (Reverse Voltage, V_R) มีหน่วยเป็นโวลต์ กราฟแนวตั้งแสดงกระแสไฟฟ้าไบแอสตรง (Forward Current, I_F) มีหน่วยเป็นมิลลิแอมแปร์ และกระแสไฟฟ้าไบแอสกลับ (Reverse Current, I_R) มีหน่วยเป็นไมโครแอมแปร์

2. เมื่อไดโอดได้รับไบแอสตรงซึ่งแรงดันไฟฟ้าไบแอสที่จ่ายให้กับไดโอดจะต้องมีค่ามากกว่าแรงดันไฟฟ้าคัท - อิน ของไดโอดแบบเจอร์เมเนียม คือ จะต้องมากกว่า 0.3 V จะทำให้ไดโอดนำกระแสไฟฟ้าเกิดกระแสไฟฟ้าไหลผ่านไดโอดในปริมาณที่สูง และถ้าหากแรงดันไฟฟ้าไบแอสของไดโอดแบบเจอร์เมเนียมมีค่าต่ำกว่า 0.3 V จะทำให้ไดโอดดังกล่าวไม่สามารถที่จะนำกระแสไฟฟ้าได้

3. เมื่อไดโอดได้รับไบแอสกลับ ทำให้ค่าความต้านทานไดโอดสูงมาก กระแสไฟฟ้าจึงไม่สามารถไหลผ่านไดโอดได้ แต่จะมีเพียงกระแสไฟฟ้ารั่วไหลเท่านั้น และถ้าหากให้แรงดันไฟฟ้าไบแอสกลับแก่ไดโอดมีค่าสูงขึ้นอีก จะทำให้ไดโอดพังและเสียหายได้ เรียกว่า **แรงดันไฟฟ้าพังทลาย (Breakdown Voltage)**