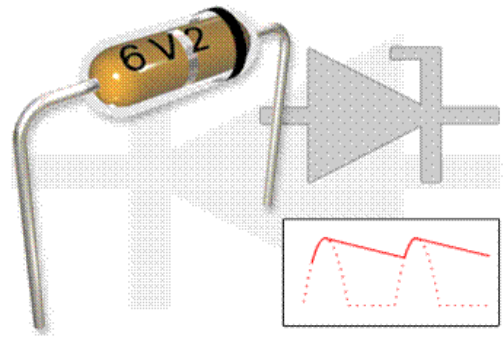


บทที่ 1

สารกึ่งตัวนำ และไดโอด

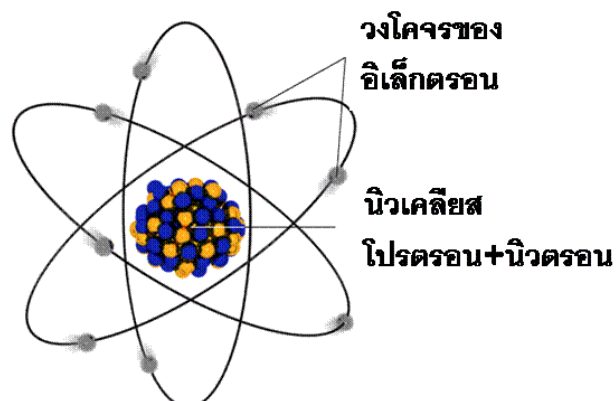


วัตถุประสงค์

1. เข้าใจอะตอมของฉนวน ตัวนำ และสารกึ่งตัวนำ
2. อธิบายสารกึ่งตัวนำ ชนิดต่างๆ ได้
3. เข้าใจการไบแอส รอยต่อ พี-เอ็น ของสารกึ่งตัวนำ
4. อธิบายไดโอด และคุณสมบัติทางกระแสและแรงดันของไดโอดได้

1.1 อะตอมของวัสดุ

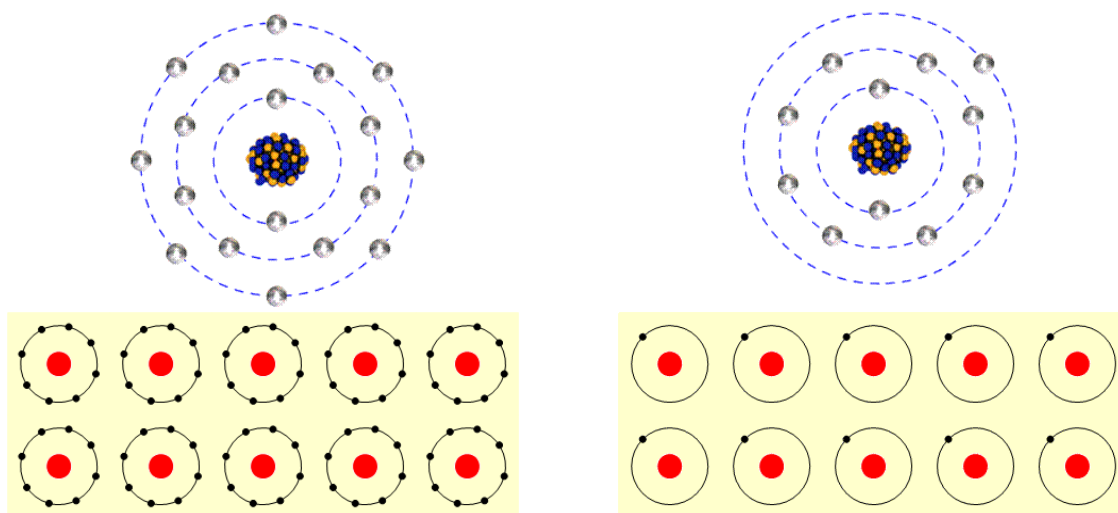
วัสดุทุกชนิดในโลก เกิดจากการรวมตัวของอะตอมหลายๆ อะตอม (Atom) อะตอมคือ อนุภาคขนาดเล็กมาก ไม่สามารถมองเห็นได้ด้วยตามเปล่า โครงสร้างของอะตอมประกอบไปด้วย (1) แกนกลาง หรือนิวเคลียส (Nucleus) ซึ่งมีประจุไฟฟ้าบวก ในนิวเคลียสจะประกอบไปด้วยอนุภาค อีก 2 ชนิด คือ นิวตรอน (Neutron) และโปรตอน (Proton) ซึ่งมีจำนวนเท่ากัน และเท่ากับจำนวนของอิเล็กตรอน (2)อิเล็กตรอน (Electron) ซึ่งโคจรรอบๆ นิวเคลียส อิเล็กตรอนจะมีประจุไฟฟ้าลบอยู่ที่ตัวของมัน ดังรูปที่ 1-1



รูปที่ 1-1 อะตอมของวัสดุ

1.2 ฉนวน ตัวนำ และสารกึ่งตัวนำ

ฉนวน (Insulator) หมายถึง วัสดุที่มีความต้านทานไฟฟ้าสูง วัสดุที่มีคุณสมบัติเป็นฉนวน คือวัสดุที่อะตอมของมันมีอิเล็กตรอนวงนอกสุด จำนวน 8 ตัว วัสดุกลุ่มนี้จะมีแรงยึดเหนี่ยวระหว่างอะตอมของวัสดุที่แน่นหนามาก พลังงานจากภายนอกไม่สามารถทำให้อิเล็กตรอน (Electron) ทั้ง 8 ตัว ที่เกาะเกี่ยวกันอยู่หลุดออกไปได้ กระแสไฟฟ้า (อิเล็กตรอน) จึงไม่สามารถไหลผ่านฉนวนได้ โครงสร้างอะตอมของฉนวนแสดงในรูปที่ 1-2

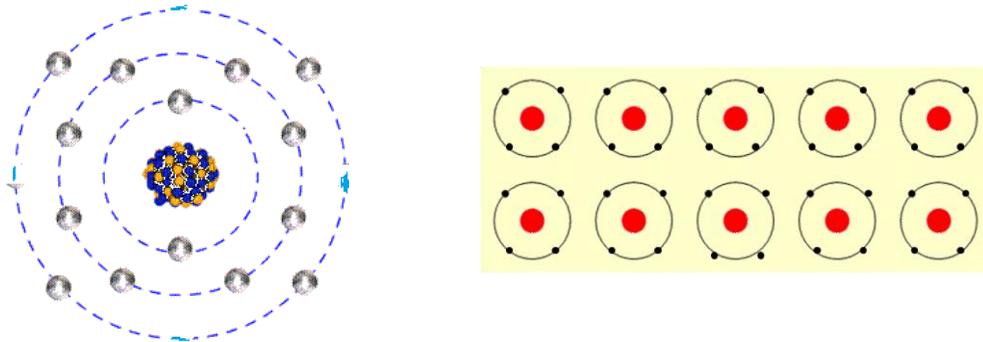


รูปที่ 1-2 โครงสร้างอะตอมของฉนวน รูปที่ 1-3 โครงสร้างอะตอมของตัวนำ

ตัวนำ (Conductor) หมายถึง วัสดุที่มีความต้านทานไฟฟ้าต่ำมาก หรือมีค่าความนำไฟฟ้า (Conductor) สูงมาก กระแสไฟฟ้าจะไหลผ่านวัสดุตัวนำได้ดี วัสดุที่มีคุณสมบัติเป็นตัวนำ อะตอมของมันจะมีอิเล็กตรอนวงนอกสุดน้อยที่สุด คือมีเพียง 1 ตัว เท่านั้น แรงยึดเหนี่ยวระหว่างอะตอม ของมันจึงต่ำมาก พลังงานจากภายนอกเพียงเล็กน้อย จะทำให้อิเล็กตรอนวงนอกสุด หลุดออกมาจากการเกาะเกี่ยว ทำให้เกิดกระแสไฟฟ้าไหลได้ โดยง่าย โครงสร้างอะตอมของตัวนำแสดงในรูปที่ 1-3

สารกึ่งตัวนำ (Semiconductor) หมายถึง วัสดุที่มีคุณสมบัติกึ่งฉนวน และกึ่งตัวนำ แสดงว่ามีอิเล็กตรอนวงนอกสุด (Valance Electron) จำนวน 4 ตัว จึงมีแรงยึดเหนี่ยวระหว่างอะตอมปานกลาง เมื่อมีพลังงานไฟฟ้าจำนวนหนึ่ง จ่ายให้กับมันในชั่วที่ถูกต้อง มันจะนำกระแสได้ (เป็นตัวนำ) และหากจ่ายไฟฟ้าในชั่วที่กลับกัน มันจะไม่นำไฟฟ้า (เป็นฉนวน) โครงสร้าง

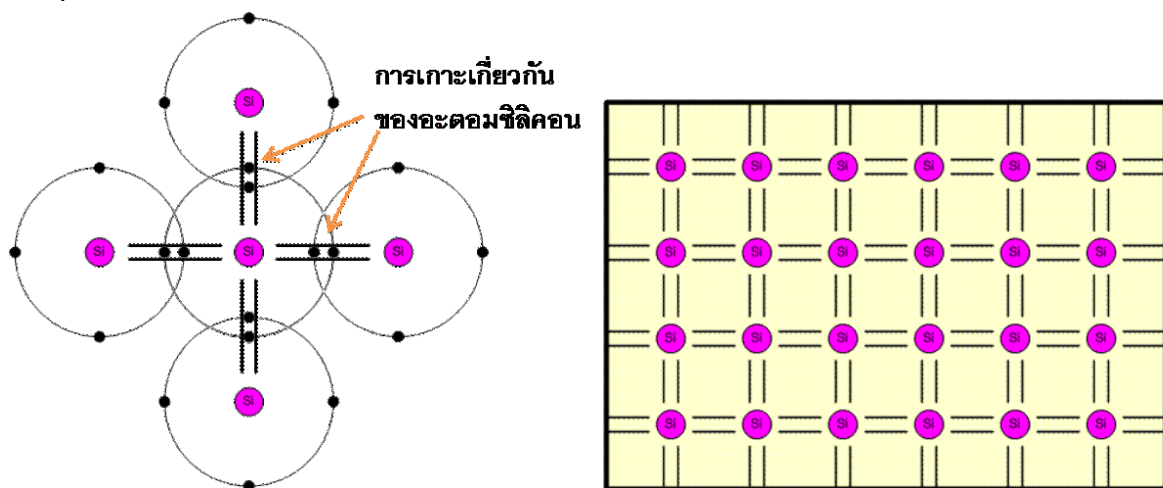
อะตอมของวัสดุที่เป็นสารกึ่งตัวนำแสดงในรูปที่ 1-4 สารกึ่งตัวนำที่นิยมใช้กันอย่างแพร่หลาย เช่น ซิลิคอน (Silicon) และเยอรมาเนียม (Germanium) เป็นต้น



รูปที่ 1-4 โครงสร้างอะตอมของสารกึ่งตัวนำ

1.3 สารกึ่งตัวนำซิลิคอน (Silicon Semiconductor)

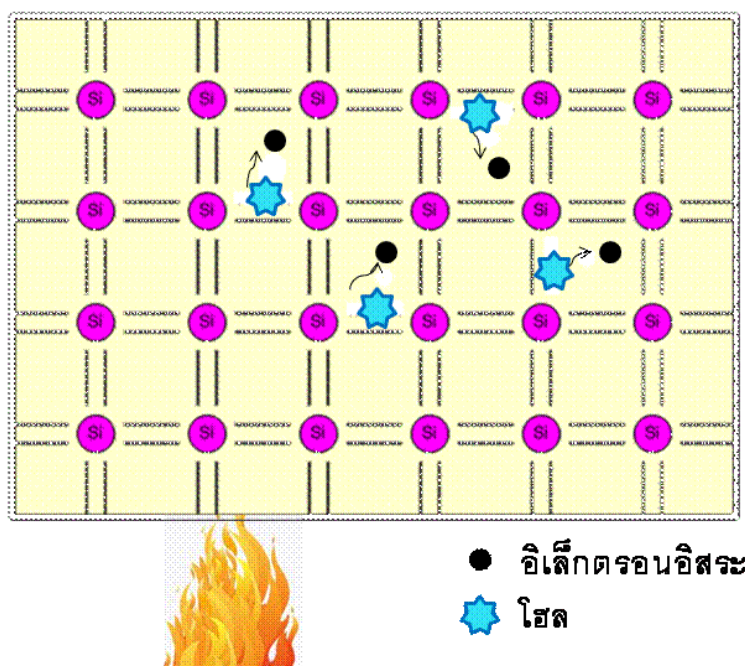
ซิลิคอน อะตอม (Silicon atom ; Si) เป็นอะตอมของสารกึ่งตัวนำชนิดหนึ่งที่สำคัญและนำมาใช้สร้างเป็นอุปกรณ์สารกึ่งตัวนำเกือบทุกชนิด อะตอมของซิลิคอนจะมีอิเล็กตรอนวงนอกสุด จำนวน 4 ตัว แต่ละอะตอมจะแบ่งปันการเกาะเกี่ยวกัน กับซิลิคอนอะตอมอื่น ๆ ทำให้เกิดแถบยึดเหนี่ยว (Bond) ในแนวดิ่ง และแนวนอน ทำให้วัสดุสารกึ่งตัวนำรวมกันเป็นชิ้น หรือเป็นผลึกได้ ดังรูปที่ 1-6 ส่วนภาพ 1-5 แสดงการเกาะเกี่ยวกันของอะตอม ซิลิคอนบริสุทธิ์ (Intrinsic Silicon)



รูปที่ 1-5 แสดงการเกาะเกี่ยวกันของอิเล็กตรอนวงนอกสุดของอะตอมซิลิคอน

รูปที่ 1-6 แสดงโครงสร้างอะตอมของผลึกซิลิคอนบริสุทธิ์

เมื่อมีพลังงานจากภายนอก เช่น ไฟฟ้า ความร้อน หรือพลังงานจากแสงอาทิตย์ (พลังงานเหล่านี้ส่งคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าออกมา) มากระทบต่อสารกึ่งตัวนำ หากพลังงานมีค่ามากกว่าแรงยึดเหนี่ยวของอิเล็กตรอนวงนอกสุดของอะตอมซิลิคอน จะทำให้อิเล็กตรอนหลุดออกมา เรียกว่า อิเล็กตรอนอิสระ (Free Electron) ซึ่งก็คือกระแสไฟฟ้า มีประจุเป็นลบ(-) และตำแหน่งที่มันหลุดออกมาจะเกิดช่องว่าง หรือโฮล (Hole) มีประจุไฟฟ้าเป็นบวก(+) ดังรูปที่ 1-7

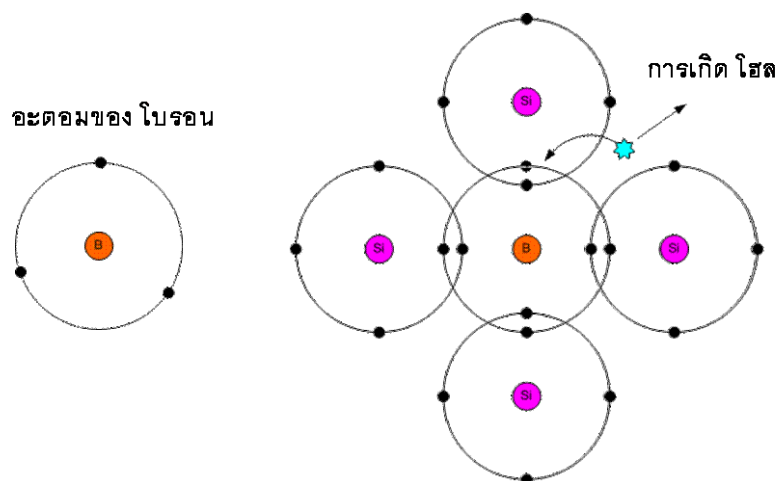


รูปที่ 1-7 การเกิดอิเล็กตรอนอิสระ และโฮลในสารกึ่งตัวนำซิลิคอน

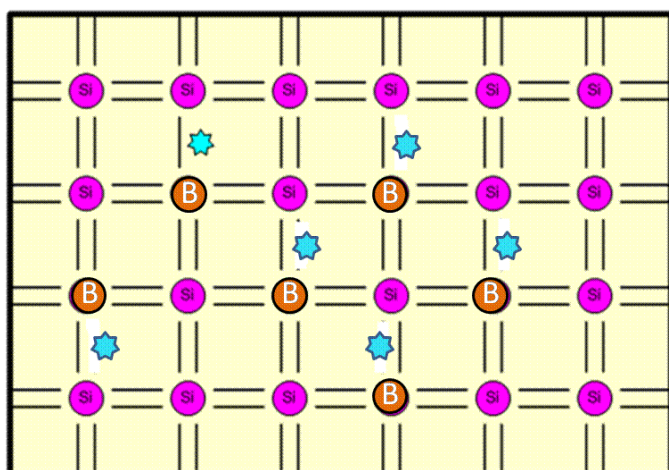
1-3-1 สารกึ่งตัวนำชนิดเอ็น (N-type Semiconductor)

เมื่อนำสารกึ่งตัวนำบริสุทธิ์ มาเติมด้วยธาตุชนิดอื่นที่มีอะตอมต่างกันเข้ามา เรียกว่าการโด๊ป (Doping) จะเปลี่ยนคุณสมบัติทางไฟฟ้าของสารกึ่งตัวนำบริสุทธิ์ ให้เป็นสารกึ่งตัวนำชนิด เอ็น หรือสารกึ่งตัวนำชนิดพี (P-type Semiconductor)

อะตอมของฟอสฟอรัส (Phosphorus atom : P) ฟอสฟอรัสเป็นธาตุลำดับที่ 15 ในตารางธาตุ มีจำนวนอิเล็กตรอนวงนอกสุด 5 ตัว เมื่อนำฟอสฟอรัส 1 อะตอม ไปเติมลงในผลึกซิลิคอนบริสุทธิ์ จะเกิดอิเล็กตรอนส่วนเกินมา 1 ตัว และหากเติมอะตอมฟอสฟอรัสเข้าไป 7 ตัวจะทำให้เกิดอิเล็กตรอนส่วนเกิน 7 ตัว ดังรูปที่ 1-8



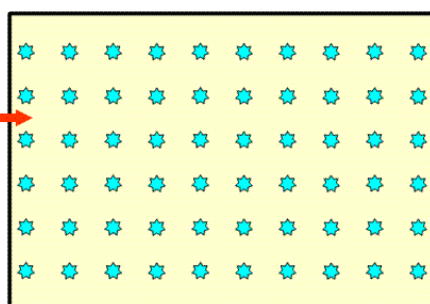
รูปที่ 1-10 อะตอมของโบรอนเติมในสารซิลิคอนบริสุทธิ์



เมื่อเติมอะตอมของโบรอน
จำนวนมาก ๆ จะทำให้สารกึ่ง
ตัวนำบริสุทธิ์กลายเป็นสารกึ่ง
ตัวนำชนิด-พี ภายในสารกึ่งตัวนำ
ชนิด-พี จะมีประจุข้างมากเป็น
บวก (+) เพราะมีโฮล จำนวนมาก
นั่นเอง รูปของผลึกสารกึ่งตัวนำ
ชนิด-พี (ซิลิคอน) แสดงในรูปที่
1-11

ซิลิคอนชนิด-พี

p-type



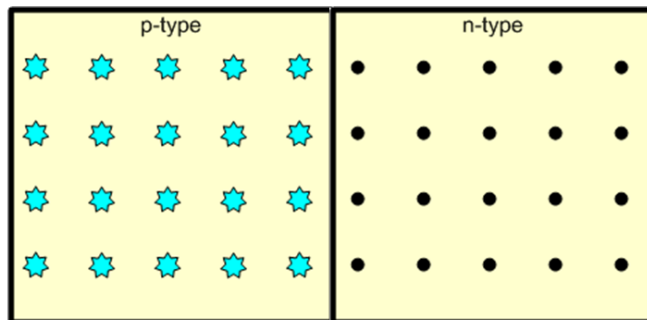
รูปที่ 1-11 สารกึ่งตัวนำซิลิคอนชนิด-พี

1.4 สารกึ่งตัวนำ พี-เอ็น และการไบแอส

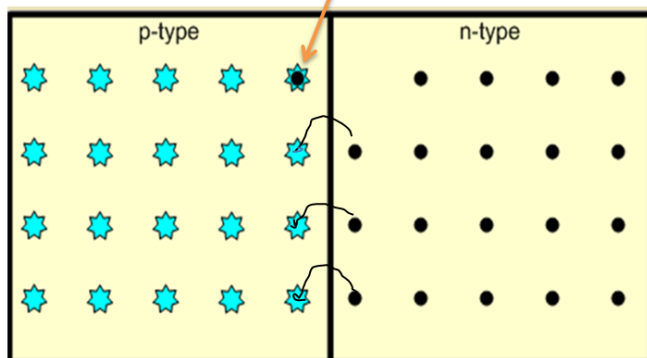
1-4-1 การเชื่อมต่อ พี-เอ็น (P-N Junction)

คือ การนำสารกึ่งตัวนำชนิด – พี มาต่อกับสารกึ่งตัวนำชนิด-เอ็น เมื่อเกิดการต่อกันจะเกิดปรากฏการณ์ตามลำดับดังนี้ เกิดการเคลื่อนที่ของอิเล็กตรอน จากสาร-เอ็น บริเวณใกล้เคียง

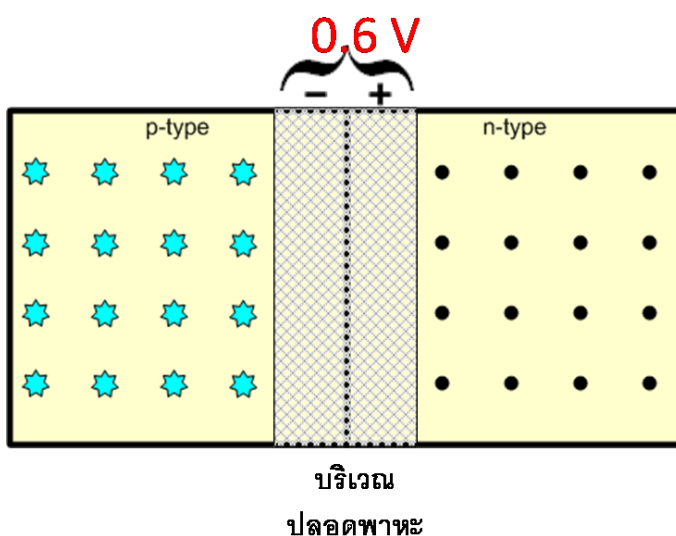
1. รอยต่อ พี-เอ็น



2. อิเล็กตรอนข้ามรอยต่อ ไปรวมกับโฮล



3. มีแรงดันตกคร่อมรอยต่อ 0.6V



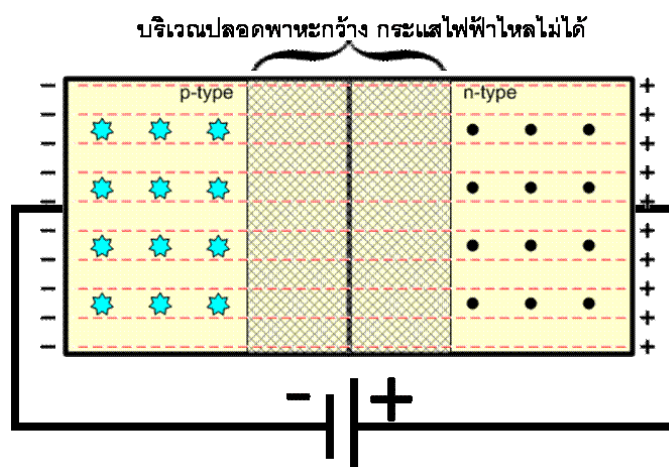
รอยต่อ ข้ามรอยต่อไปจับกับโฮลในสาร-พี ทำให้อิเล็กตรอนจับคู่กับโฮล ทำให้เกิดสถานะเป็นกลาง คือไม่มีประจุไฟฟ้าบริเวณรอยต่อ พี-เอ็น เพราะไม่มีประจุไฟฟ้าบวกหรือลบ อยู่เลยเราเรียกว่าบริเวณปลอดพาหะ (Depletion Layer) รอยต่อด้านสาร-พี จะสูญเสียโฮลไป จึงเกิดศักดาไฟฟ้าลบ ส่วนทางสาร-เอ็น สูญเสียอิเล็กตรอนไป จึงเกิดศักดาไฟฟ้าบวก จึงทำให้เกิดแรงดันไฟฟ้าตกคร่อมรอยต่อ พี-เอ็น ของสารกึ่งตัวนำชนิดซิลิคอน (Junction Voltage) มีค่าประมาณ 0.6 V ดังแสดงในรูปที่ 1-12

รูปที่ 1-12 การเชื่อมต่อของสารกึ่งตัวนำ พี-เอ็น และการเกิดบริเวณปลอดพาหะและแรงดันตกคร่อมรอยต่อ พี-เอ็น

1-4-2 การไบแอส (Bias)

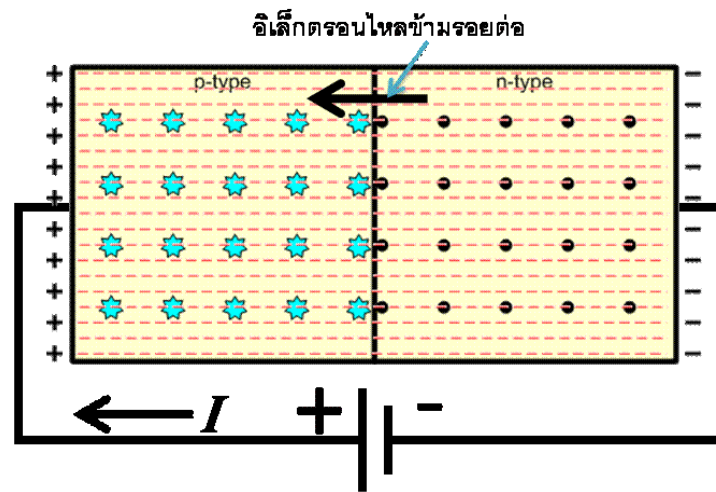
การไบแอส ใหัรยต่อ พี-เอ็น ทำได้ 2 วิธี คือ การให้ไบแอสตรง (Forward Bias) และการให้ไบแอสกลับ (Reverse Bias) การไบแอส หมายถึง การป้อนแรงดันไฟฟ้าเข้าที่สารกึ่งตัวนำชนิดพีและเอ็น

การไบแอสกลับ คือ การจ่ายแรงดันไฟฟ้าขั้วบวก (+) เข้าที่สารกึ่งตัวนำชนิดเอ็น (N-type to positive) และจ่ายขั้วลบ (-) ของแหล่งจ่ายไฟฟ้าเข้าที่สารกึ่งตัวนำชนิดพี (P-type to negative) เมื่อต่อไบแอสกลับให้กับรยต่อ พี-เอ็น จะทำให้บริเวณปลอดพาหะกว้างมากขึ้น จะมีกระแสไฟฟ้าไหลเข้ารยต่อได้ เปรียบเหมือนสภาวะที่รยต่อ พี-เอ็น ทำงานคล้ายฉนวน “สรุปได้ว่า เมื่อรยต่อ พี-เอ็น ได้รับไบแอสกลับจะไม่มีกระแสไฟฟ้าไหลผ่านตัวมัน” แต่ในทางปฏิบัติจะมีกระแสรั่วไหล (Leakage Current) ไหลผ่านจำนวนน้อยมาก มีค่าเพียงไมโครแอมแปร์เท่านั้น ดังแสดงในรูปที่ 1-13



รูปที่ 1-13 การไบแอสกลับรยต่อ พี-เอ็น

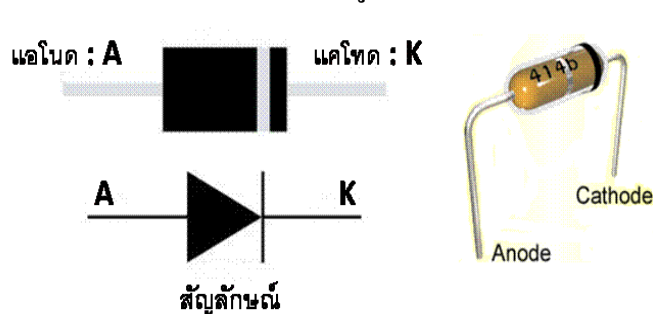
การไบแอสตรง คือการจ่ายไฟฟ้าขั้วบวก (+) ให้กับสารกึ่งตัวนำชนิดพี และแหล่งจ่ายไฟฟ้าขั้วลบ (-) ให้กับสารกึ่งตัวนำชนิดเอ็น จะทำให้อิเล็กตรอนที่มีอยู่จำนวนมาก (Majority) ในชั้นสารกึ่งตัวนำชนิด-เอ็น เคลื่อนที่ข้ามรยต่อทันที เกิดกระแสไฟฟ้าจำนวนมากไหลผ่านรยต่อ พี-เอ็น ได้ อย่างไรก็ตามยังคงมีแรงดันตกคร่อมรยต่อประมาณ 0.6 V เมื่อมีกระแสไหลผ่านรยต่อ พี-เอ็น ดังรูปที่ 1-14 ให้ซิลิคอน อะตอม (Silicon atom ; Si) เป็นอะตอมของสารกึ่งตัวนำชนิดหนึ่งที่สำคัญและนำมาใช้สร้างเป็นอุปกรณ์สารกึ่งตัวนำเกือบทุกชนิด อะตอมของซิลิคอนจะมี



รูปที่ 1-14 การไบแอสตรง ที่รอยต่อ พี-เอ็น

1-5 ไดโอด (Diode)

รอยต่อ พี-เอ็น ของสารกึ่งตัวนำซิลิคอน ได้พัฒนาเป็นอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ เรียกว่า ไดโอด ไดโอดมี 2 ขั้ว ขั้วที่ขึ้นสารชนิดพี เรียกว่า แอโนด Anode : (A) และขั้วที่ขึ้นสารชนิดเอ็นเรียกว่า แคโทด (Cathode : K) สัญลักษณ์ของไดโอดเปรียบเทียบกับสารกึ่งตัวนำ 1 รอยต่อ (พี-เอ็น) แสดงในรูปที่ 1-15

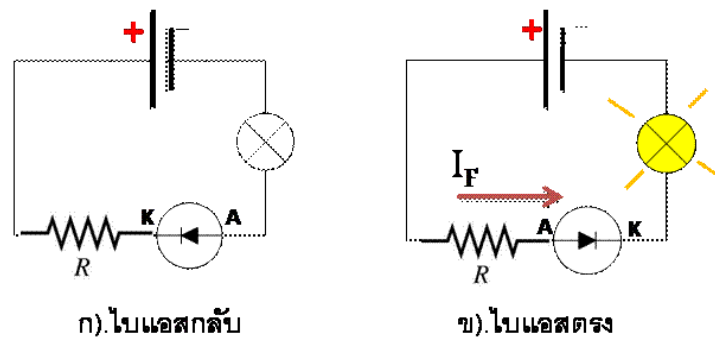


ดังนั้น แรงดันที่ตกคร่อมไดโอด เมื่อ ไดโอดนำกระแสจึงเท่ากับ 0.6V นั่นคือ แรงดันที่ตกคร่อมรอยต่อ พี-เอ็น นั่นเอง

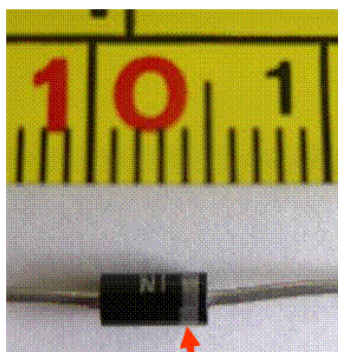
รูปที่ 1-15

1-5-1 คุณสมบัติของไดโอด

1. เมื่อได้รับไบแอสกลับไดโอดจะไม่นำกระแส
2. เมื่อได้รับไบแอสตรง ที่แรงดันมากกว่า 0.6V ไดโอดจะนำกระแสได้
3. โดยปกติในรวมไดโอดจะต้องต่อตัวต้านทานจำกัดกระแสเพื่อป้องกันไดโอดเสมอ



รูปที่ 1-16 การไบแอสไดโอด

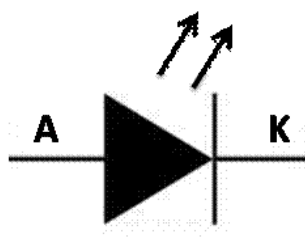
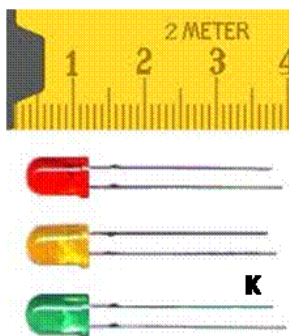


รูปที่ 1-17 ลักษณะของไดโอด

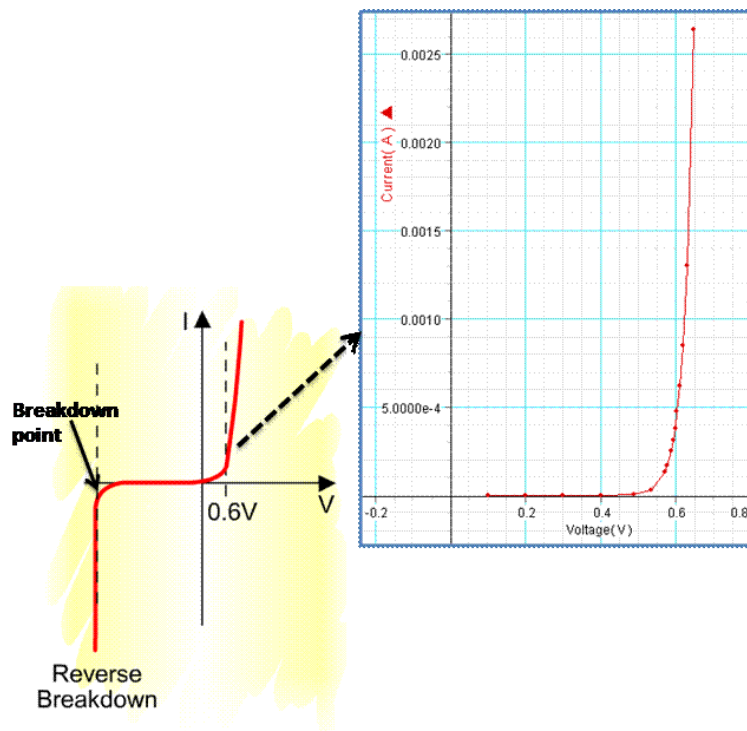
ลักษณะของไดโอดแสดงในรูปที่ 1-17 ที่ตัวถังไดโอดขนาดเล็กจะมีแถบสีเงิน ซึ่งแสดงว่าเป็นขั้วแคโทด (K) อีกขั้วหนึ่งของมันจึงเป็นขั้วแอโนด (A) โดยปกติไดโอดจะใช่วงจรเรียงกระแส (Rectifier Circuit) เพื่อแปลงกระแสไฟสลับให้เป็นกระแสไฟตรง

1-5-2 ไดโอดเปล่งแสง (Light Emitting diode : LED)

ไดโอดบางชนิดเมื่อได้รับไบแอสตรง หรือเมื่อนำกระแส จะเปล่งแสงได้ เราเรียกว่า ไดโอดเปล่งแสง หรือ แอล.อี.ดี. (LED) ลักษณะของแอล.อี.ดี. แสดงในรูปที่ 1-19 ลักษณะของมันจะมีขายาว ๆ และตัวหลอดเป็นพลาสติก จะมีสีชัดเจน เช่น สีแดง สีเขียว สีเหลือง เป็นต้น

รูปที่ 1-18 ลักษณะของ
ไดโอดเปล่งแสง

1-5-3 กราฟคุณสมบัติของไดโอด



กราฟคุณสมบัติของไดโอด เป็นคุณสมบัติทางกระแสและแรงดัน (VI Curve) เมื่อไดโอดได้รับไบแอสตรงและไบแอสกลับ เมื่อไดโอดได้รับไบแอสตรงจะมีกระแสไหลผ่านไดโอดได้ และจะมีแรงดันตกคร่อมไดโอดเท่ากับ 0.6V เมื่อไดโอดได้รับไบแอสกลับ จะมีกระแสรั่วไหลผ่านไดโอดได้จำนวนน้อยมาก (น้อยกว่าไมโครแอมป์)

รูปที่ 1-19 กราฟคุณสมบัติทางกระแสและแรงดัน (VI Curve) ของไดโอด

(หรือ $\frac{1}{1,000,000}$ A) และถ้าไดโอดได้รับไบแอสกลับที่แรงดันสูงมาก ๆ จะมีกระแสไฟฟ้าจำนวนมากไหลทะลุผ่านไดโอด ไดโอดจะพังเสียหาย ที่จุดเบรกดาวน์ (Breakdown point) กราฟคุณลักษณะของไดโอดแสดงในรูปที่ 1-19

1-5-4 คาต้าชีท ของไดโอด (Diode Data Sheet)

คาต้าชีท จะแสดงข้อมูลพื้นฐานที่จำเป็นในการเลือกใช้งานไดโอดได้อย่างถูกต้อง ซึ่งควรอ่านและเข้าใจในตัวเลขที่สำคัญ 4 ค่า คือ

1. แรงดันตกคร่อมเมื่อนำกระแส (Forward Voltage Drop)
2. กระแสเฉลี่ยเมื่อไดโอดได้รับไบแอสตรง (Average forward Current)
3. กระแสไบแอสกลับสูงสุด (Peak Reverse Current)
4. แรงดันเบรกดาวน์ (Breakdown Voltage)

ตัวอย่างการอ่านค่าไดโอดจากคาต้าชีท แสดงในรูปที่ 1-20



1N4001 - 1N4007

1.0A RECTIFIER

Maximum Ratings and Electrical Characteristics @T_A = 25°C unless otherwise specified

Single phase, half wave, 60Hz, resistive or inductive load.
For capacitive load, derate current by 20%.

Characteristic	Symbol	1N4001	1N4002	1N4003	1N4004	1N4005	1N4006	1N4007	Unit
Peak Repetitive Reverse Voltage	V_{RRM}								
Working Peak Reverse Voltage	V_{RWM}	50	100	200	400	600	800	1000	V
DC Blocking Voltage	V_R								
RMS Reverse Voltage	$V_{R(RMS)}$	35	70	140	280	420	560	700	V
Average Rectified Output Current (Note 1) @ $T_A = 25^{\circ}C$	I_O	1.0							A
Non-Repetitive Peak Forward Surge Current 8.3ms single half sine-wave superimposed on rated load	I_{FSM}	30							A
Forward Voltage @ $I_F = 1.0A$	V_{FM}	1.0							V
Peak Reverse Current @ $T_A = 25^{\circ}C$	I_{RM}	5.0							μA
at Rated DC Blocking Voltage @ $T_A = 100^{\circ}C$		50							
Typical Junction Capacitance (Note 2)	C_j	15				8			pF
Typical Thermal Resistance Junction to Ambient	$R_{\theta JA}$	100							K/W
Maximum DC Blocking Voltage Temperature	T_A	+150							$^{\circ}C$
Operating and Storage Temperature Range	T_J, T_{STG}	-65 to +150							$^{\circ}C$

Notes: 1. Leads maintained at ambient temperature at a distance of 9.5mm from the case.
2. Measured at 1.0 MHz and applied reverse voltage of 4.0V DC.
3. EU Directive 2002/95/EC (RoHS). All applicable RoHS exemptions applied, see EU Directive 2002/95/EC Annex Notes.

รูปที่ 1-20 ค่าจำเพาะของไดโอด เบอร์ 1N4001-1N4007