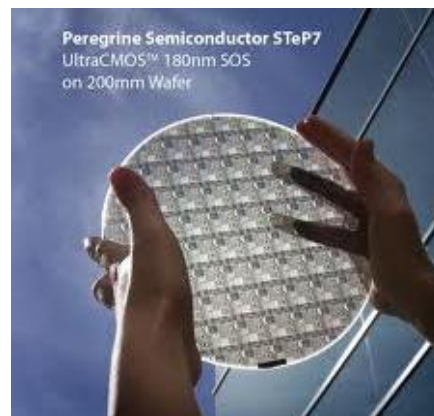


# บทที่ 1

## สารกึ่งตัวนำ

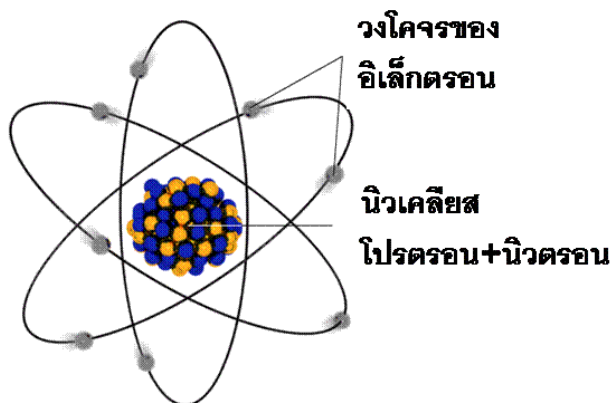


### วัตถุประสงค์

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

### 1.1 อะตอม

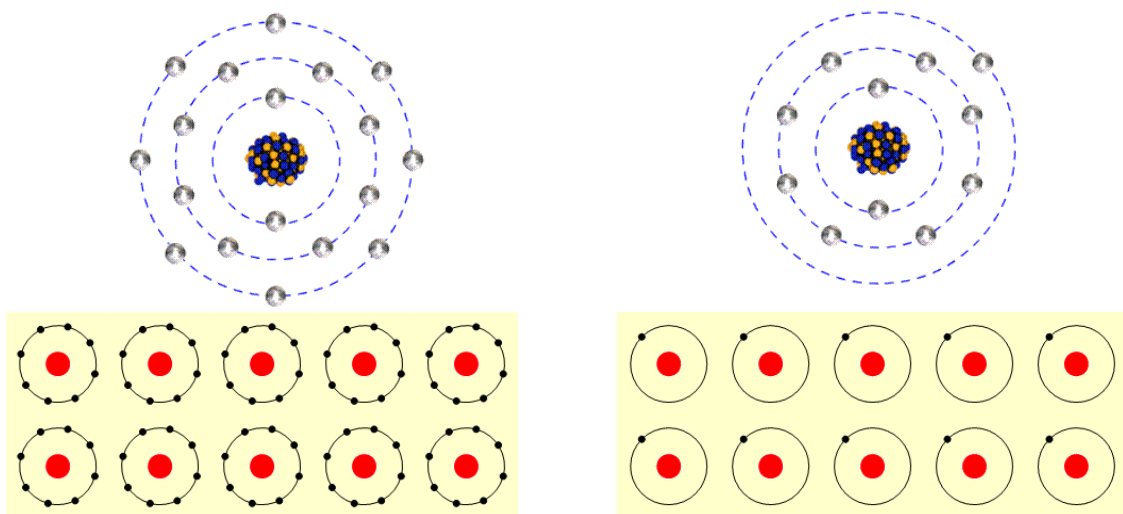
วัสดุทุกชนิดในโลก เกิดจากการรวมตัวของอะตอมหลายๆ อะตอม (Atom) อะตอมคือ อนุภาคขนาดเล็กมาก ไม่สามารถมองเห็นได้ด้วยตามเปล่า โครงสร้างของอะตอมประกอบไปด้วย (1) แกนกลาง หรือนิวเคลียส (Nucleus) ซึ่งมีประจุไฟฟ้าบวก ในนิวเคลียสจะประกอบไปด้วยอนุภาค อีก 2 ชนิด คือ นิวตรอน (Neutron) และ โปรตรอน (Proton) ซึ่งมีจำนวนเท่ากัน 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



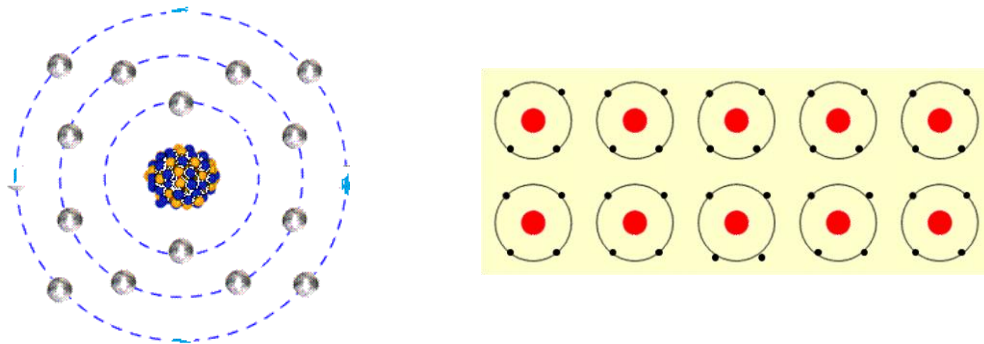
รูปที่ 1-2 โครงสร้างอะตอมของฉนวน

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)

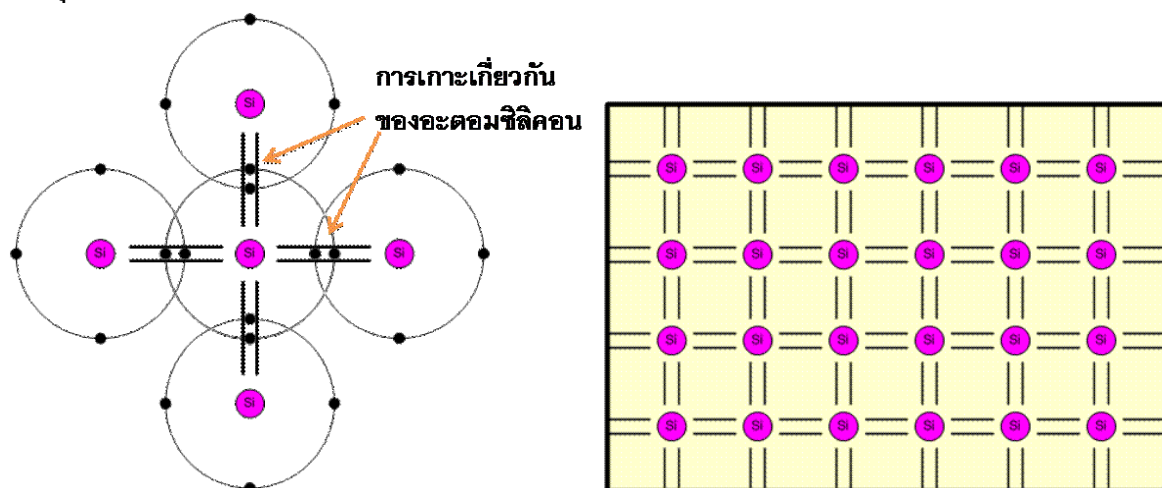
โครงสร้างอะตอมของวัสดุที่เป็นสารกึ่งตัวนำแสดงในรูปที่ 1-4 สารกึ่งตัวนำที่นิยมใช้กัน  
อย่างแพร่หลาย เช่น ซิลิคอน (Silicon) และเยอรมาเนียม (Germanium) เป็นต้น



รูปที่ 1-4 โครงสร้างอะตอมของสารกึ่งตัวนำ

### 1.3 สารกึ่งตัวนำซิลิคอน (Silicon Semiconductor)

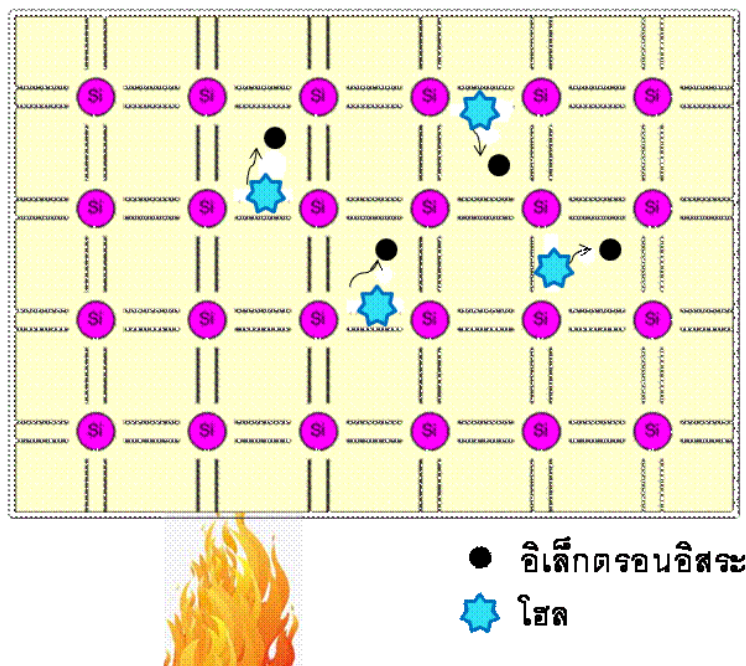
ซิลิคอน อะตอม (Silicon Atom ; Si) เป็นอะตอมของสารกึ่งตัวนำชนิดหนึ่งที่สำคัญ  
และนำมาใช้สร้างเป็นอุปกรณ์สารกึ่งตัวนำเกือบทุกชนิด อะตอมของซิลิคอนจะมีอิเล็กตรอน  
วงนอกสุด จำนวน 4 ตัว แต่ละอะตอมจะแบ่งปันการเกาะเกี่ยวกัน กับซิลิคอนอะตอมอื่น ๆ  
ทำให้เกิดแถบยึดเหนี่ยว (Bond) ในแนวตั้ง และแนวนอน ทำให้วัสดุสารกึ่งตัวนำรวมกันเป็น  
ชิ้น หรือเป็นผลึกได้ ดังรูปที่ 1-6 ส่วนภาพ 1-5 แสดงการเกาะเกี่ยวกันของอะตอม ซิลิคอน  
บริสุทธิ์ (Intrinsic Silicon)



รูปที่ 1-5 แสดงการเกาะเกี่ยวกันของ  
อิเล็กตรอนวงนอกสุดของอะตอมซิลิคอน

รูปที่ 1-6 แสดงโครงสร้างอะตอมของ  
ผลึกซิลิคอนบริสุทธิ์

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

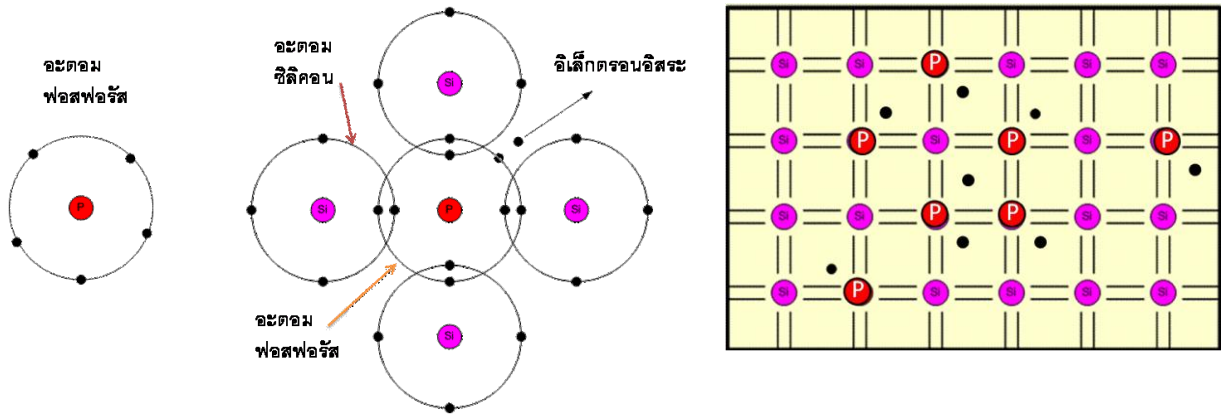


รูปที่ 1-7 การเกิดอิเล็กตรอนอิสระ และโฮลในสารกึ่งตัวนำซิลิคอน

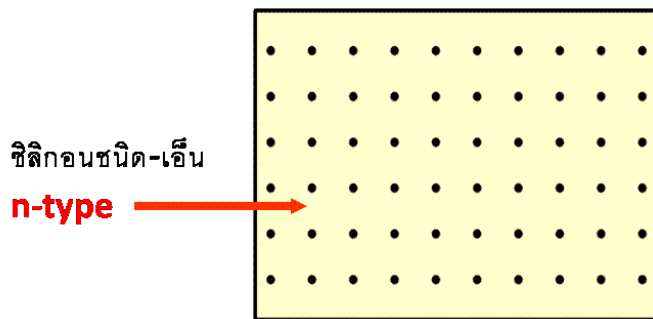
### 1-3-1 สารกึ่งตัวนำชนิดเอ็น (N-type Semiconductor)

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 และหาเติมอะตอมฟอสฟอรัสเข้าไป 7 ตัว จะทำให้เกิดอิเล็กตรอนส่วนเกิน 7 ตัว ดังรูปที่ 1-8



รูปที่ 1-8 การเติมอะตอมของฟอสฟอรัสเข้าไปในผลึกซิลิคอน



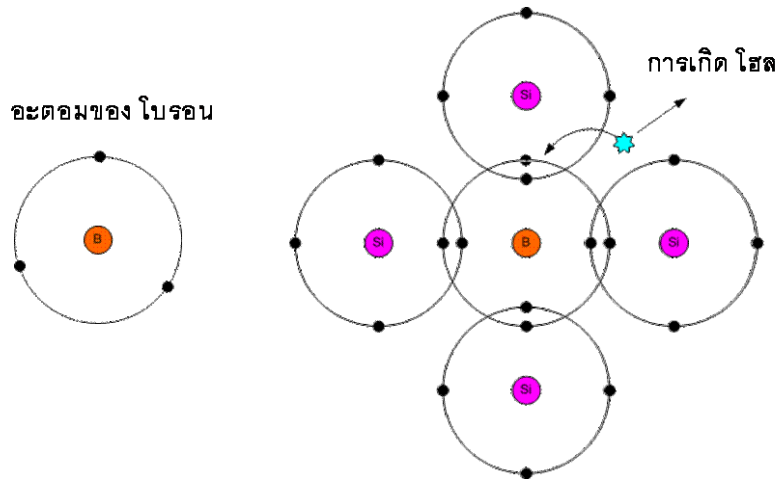
สารกึ่งตัวนำชนิด-เอ็น จะมี ประจุพาหะข้างมากเป็นลบ (Majority charge carriers are negative) และมีประจุพาหะข้างน้อย เป็นโฮล ภาพที่เขียนแทนสารกึ่งตัวนำชนิดเอ็นแสดงในรูปที่ 1-9

รูปที่ 1-9 สารกึ่งตัวนำชนิด-เอ็น

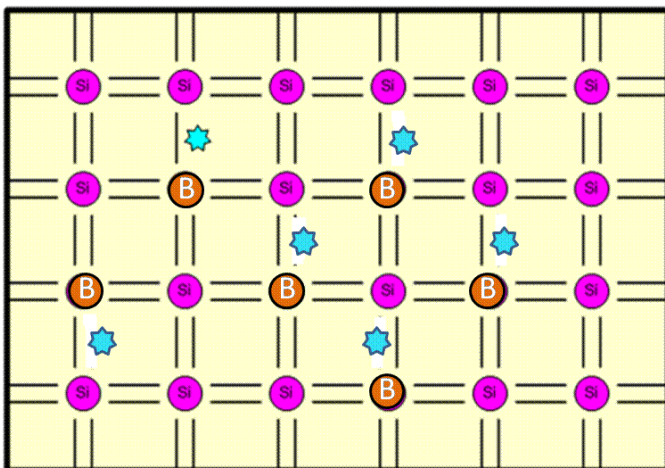
### 1-3-2 สารกึ่งตัวนำชนิด-พี (P-Type Semiconductor)

อะตอมของโบรอน (Boron Atom ; B) โบรอน (B) คือ ธาตุที่อยู่ในลำดับที่ 5 ในตารางธาตุ เป็นธาตุที่มีอิเล็กตรอนวงนอกสุดจำนวน 3 ตัว และเมื่อเติมโบรอน 1 อะตอมเข้าไปในซิลิคอนบริสุทธิ์ จะทำให้เกิดช่องว่าง หรือ โฮล 1 ตำแหน่ง โฮลนี้จะมีประจุไฟฟ้าบวก (+) ดังแสดงในรูปที่ 1 – 10

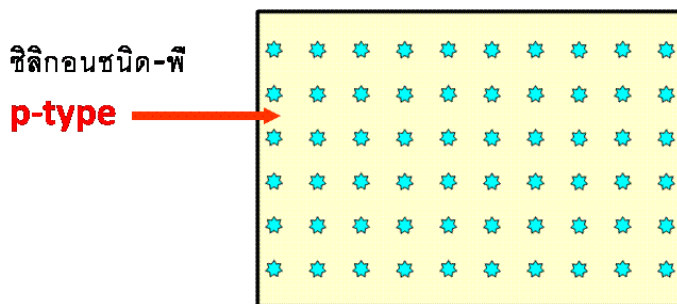
										VIII A					
										2	He	4.003			
					5	6	7	8	9	10					
					B	C	N	O	F	Ne					
					10.811	12.011	14.007	15.999	18.998	20.183					
										13	14	15	16	17	18
		Al	Si	P	S	Cl	Ar								
		26.982	28.086	30.974	32.064	35.453	39.948								
29	30	31	32	33	34	35	36								
Cu	Zn	Ga	Ge	As	Se	Br	Kr								
63.54	65.37	69.72	72.59	74.922	78.96	79.909	83.80								
47	48	49	50	51	52	53	54								
Ag	Cd	In	Sn	Sb	Te	I	Xe								
107.870	112.40	114.82	118.69	121.75	127.60	126.904	131.30								
79	80	81	82	83	84	85	86								
Au	Hg	Tl	Pb	Bi	Po	At	Rn								
196.967	200.59	204.37	207.19	208.980	(210)	(210)	(222)								



รูปที่ 1-10 อะตอมของโบรอนเติมในสารซิลิคอนบริสุทธิ์



เมื่อเติมอะตอมของโบรอนจำนวนมาก ๆ จะทำให้สารกึ่งตัวนำบริสุทธิ์กลายเป็นสารกึ่งตัวนำชนิด-พี ภายในสารกึ่งตัวนำชนิด-พี จะมีประจุข้างมากเป็นบวก (+) เพราะมีโฮลจำนวนมากนั่นเอง รูปของผลึกสารกึ่งตัวนำชนิด-พี (ซิลิคอน) แสดงในรูปที่ 1-11



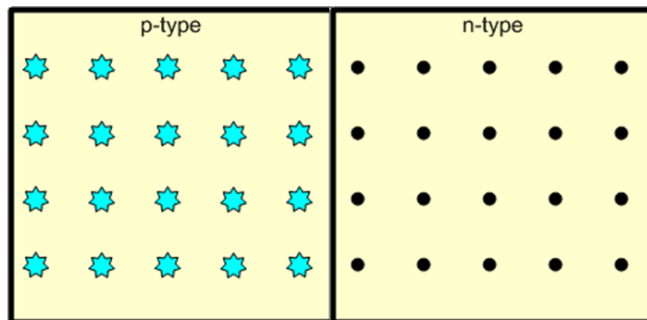
รูปที่ 1-11 สารกึ่งตัวนำซิลิคอนชนิด-พี

## 1.4 สารกึ่งตัวนำ พี-เอ็น และการไบแอส

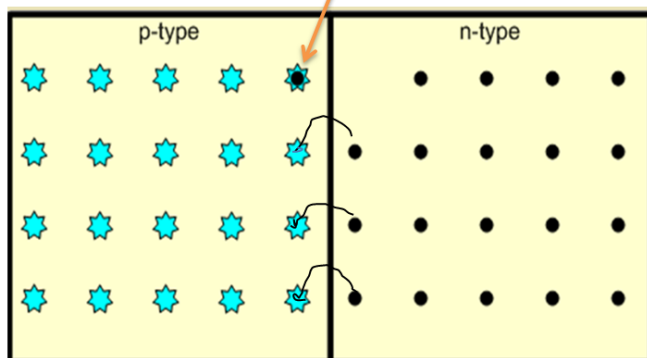
### 1-4-1 รอยต่อ พี-เอ็น (P-N Junction)

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

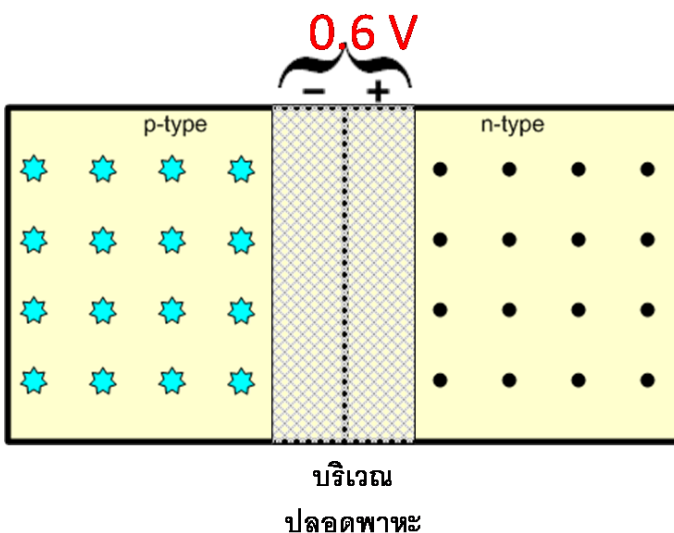
#### 1. รอยต่อ พี-เอ็น



#### 2. อิเล็กตรอนข้ามรอยต่อ ไปรวมกับโฮล



#### 3. มีแรงดันตกคร่อมรอยต่อ 0.6V



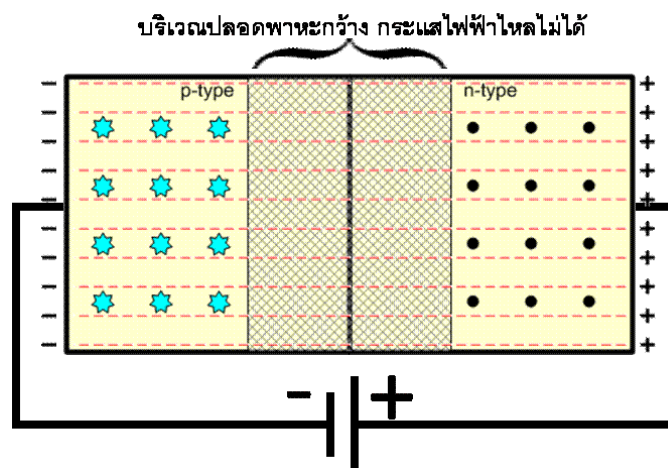
รอยต่อ ข้ามรอยต่อไปจับกับโฮลในสาร-พี ทำให้อิเล็กตรอนจับคู่กับโฮล ทำให้เกิดสถานะเป็นกลาง คือไม่มีประจุไฟฟ้าบริเวณรอยต่อ พี-เอ็น เพราะไม่มีประจุไฟฟ้าบวกหรือลบ อยู่เลยเราเรียกว่าบริเวณปลอดภัย (Depletion Layer) รอยต่อด้านสาร-พี จะสูญเสียโฮลไป จึงเกิดศักดาไฟฟ้าลบ ส่วนทางสาร-เอ็น สูญเสียอิเล็กตรอนไป จึงเกิดศักดาไฟฟ้าบวก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

รูปที่ 1-12 รอยต่อของสารกึ่งตัวนำพี-เอ็น และการเกิดบริเวณปลอดภัยและแรงดันตกคร่อมรอยต่อพี-เอ็น

### 1-4-2 การไบแอส (Bias)

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

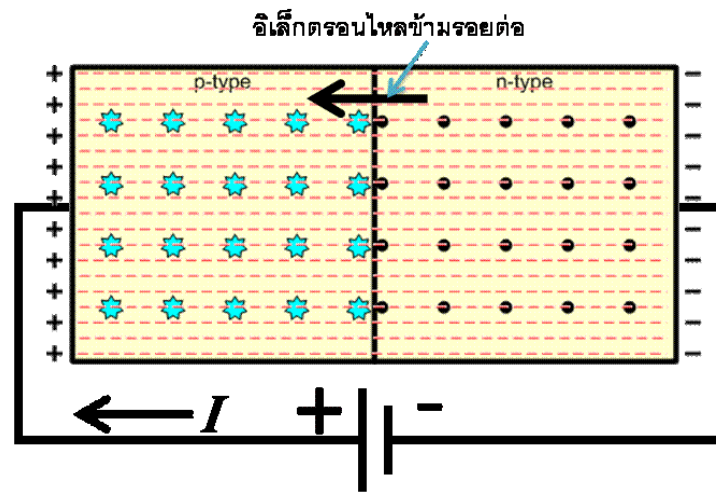
การไบแอสกลับ คือ การจ่ายแรงดันไฟฟ้าขั้วบวก (+) เข้าที่สารกึ่งตัวนำชนิดเอ็น (N-type to positive) และจ่ายขั้วลบ (-) ของแหล่งจ่ายไฟฟ้าเข้าที่สารกึ่งตัวนำชนิดพี (P-type to negative) เมื่อต่อไบแอสกลับให้กับรอยต่อ พี-เอ็น จะทำให้บริเวณปลอดพาหะกว้างมากขึ้น จะมีกระแสไฟฟ้าไหลเข้ารอยต่อได้ เปรียบเหมือนสถานะที่รอยต่อ พี-เอ็น ทำงานคล้ายฉนวน **“สรุปได้ว่า เมื่อรอยต่อ พี-เอ็น ได้รับไบแอสกลับจะไม่มีกระแสไฟฟ้าไหลผ่านตัวมัน”** แต่ในทางปฏิบัติจะมีกระแสรั่วไหล (Leakage Current) ไหลผ่านจำนวนน้อยมาก มีค่าเพียงไมโครแอมแปร์เท่านั้น ดังแสดงในรูปที่ 1-13



รูปที่ 1-13 การไบแอสกลับรอยต่อ พี-เอ็น

การไบแอสตรง คือการจ่ายไฟฟ้าขั้วบวก (+) ให้กับสารกึ่งตัวนำชนิดพี และแหล่งต่อขั้วลบ (-) ให้กับสารกึ่งตัวนำชนิดเอ็น จะทำให้อิเล็กตรอนที่มีอยู่จำนวนมาก (Majority) ในชั้นสารกึ่งตัวนำชนิด-เอ็น เคลื่อนที่ข้ามรอยต่อทันที เกิดกระแสไฟฟ้าจำนวนมากไหลผ่านรอยต่อ พี-เอ็น ได้ อย่างไรก็ตามยังคงมีแรงดันตกคร่อมรอยต่อประมาณ 0.6 V เมื่อมีกระแสไหลผ่านรอยต่อ พี-เอ็น ดังรูปที่ 1-14 ให้ซิลิคอน อะตอม (Silicon Atom ; Si - atom) เป็นอะตอมของสารกึ่งตัวนำชนิดหนึ่งที่สำคัญและนำมาใช้สร้างเป็นอุปกรณ์สารกึ่งตัวนำเกือบทุกชนิด อะตอมของซิลิคอนจะมี





## แบบฝึกหัดเรื่อง สารกึ่งตัวนำ

จงเลือกคำตอบที่ถูกต้องที่สุดเพียงคำตอบเดียว

1. อะตอมของซิลิคอน มีอิเล็กตรอนวงนอกสุดกี่ตัว

ก. 2 ตัว

ข. 3 ตัว

ค. 4 ตัว

ง. 5 ตัว

2. สารกึ่งตัวนำซิลิคอนชนิด พี เกิดจากการเติมสารชนิดใดเข้าไปในผลึกซิลิคอน

ก. โบรอน

ข. แคลเซียม

ค. ฟอสฟอรัส

ง. โพรแตสเซียม

3. เมื่อสำสารกึ่งตัวนำชนิด พี-เอ็น มาต่อกันจะเกิดสิ่งใดก่อน

ก. บริเวณปลอดพาหะ

ข. ไดโอด

ค. แรงดันตกคร่อม 0.6V

ง. กระแสไม่ไหลผ่านรอยต่อ

4. วัสดุที่เป็นตัวนำ จะมีจำนวนของอิเล็กตรอนวงนอกสุดกี่ตัว

ก. 8 ตัว

ข. 4 ตัว

ค. 2 ตัว

ง. 1 ตัว

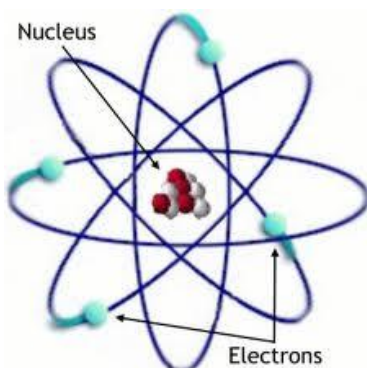
5. ข้อใดกล่าวถูกต้อง เรื่อง สารกึ่งตัวนำ

ก. สารที่มีคุณสมบัติเป็นตัวนำ

ข. สารที่มีคุณสมบัติเป็นตัวนำและเป็นฉนวนก็ได้

ค. สารที่มีคุณสมบัติดีกว่าฉนวน

ง. สารที่มีคุณสมบัติดีกว่าตัวนำ



6. โสล ในสารกึ่งตัวนำจะมีประจุไฟฟ้าเป็น

ก. ลบ

ข. บวก

ค. กลาง

ง. บวก – ลบ

7. อิเล็กตรอนในสารกึ่งตัวนำจะเคลื่อนที่ไปได้ด้วยสาเหตุใด

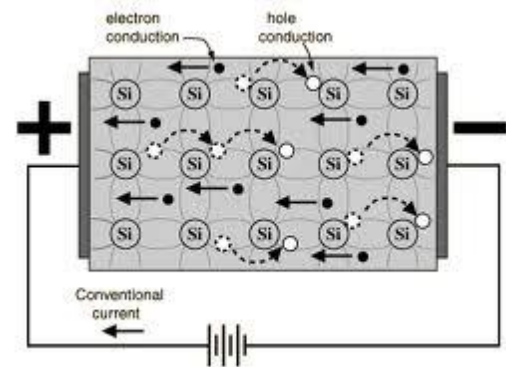
- ก. ได้รับความร้อน      ข. ได้รับความสว่าง  
ค. ได้รับความเย็น      ง. ข้อ ก. และข้อ ข. ถูก

8. ข้อใดคือสารกึ่งตัวนำชนิดเอ็น

- ก. มีโฮลจำนวนมาก      ข. มีจำนวนอิเล็กตรอนมาก  
ค. มีจำนวนโฮลเท่ากับอิเล็กตรอน      ง. มีประจุไฟฟ้าที่รอยต่อ 0.6V

9. ข้อใดกล่าวถึง สารกึ่งตัวนำ ไม่ถูกต้อง

- ก. มีแรงดันตกคร่อมรอยต่อ 0.6 V  
ข. มีอิเล็กตรอนวงนอกสุด 3 ตัว  
ค. เมื่อไบแอสตรง บริเวณหลอดพาหะ  
จะแคบลง  
ง. เมื่อไบแอสกลับ บริเวณหลอดพาหะ  
จะกว้างขึ้น



10. การไบแอสตรง ให้กับรอยต่อ พี-เอ็น หมายถึงข้อใด

- ก. มีแรงดันตกคร่อมรอยต่อ 0.6 V  
ข. สารพี ได้ แรงดันบวก สาร เอ็น ได้แรงดันลบ  
ค. เมื่อไบแอสตรง บริเวณหลอดพาหะจะกว้างขึ้น  
ง. ข้อ ก และ ข ถูกต้อง