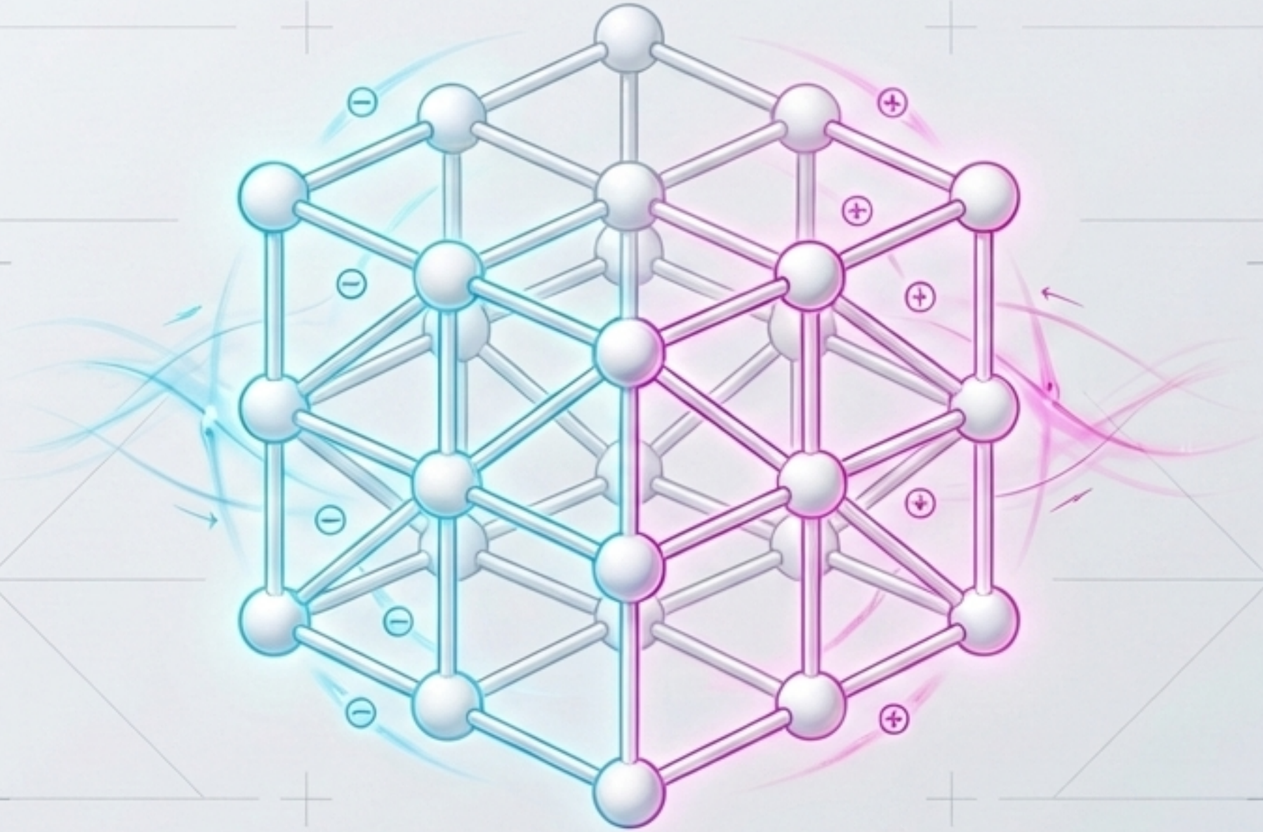
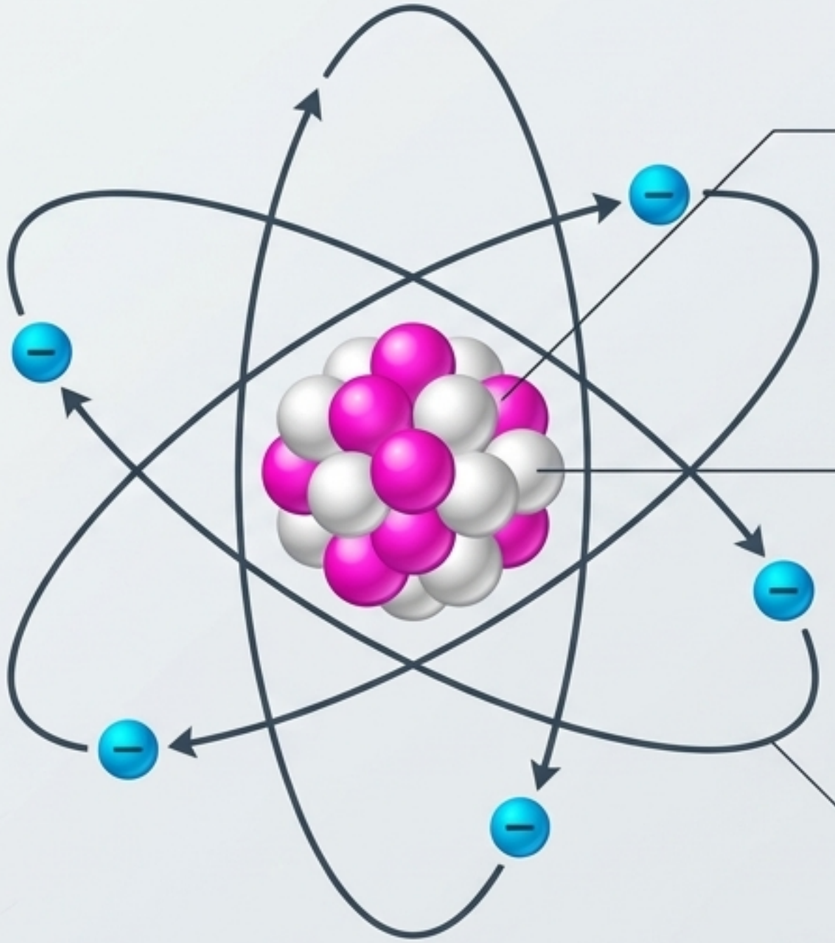


หน่วยที่ 1 สารกึ่งตัวนำ

NotebookLM

องค์ประกอบพื้นฐาน: จุดกำเนิดของประจุไฟฟ้า

สสารทุกชนิดประกอบด้วยอนุภาคที่เล็กที่สุดคือ "อะตอม" ภายในอะตอมประกอบด้วยอนุภาค 3 ชนิดที่รักษาสมดุลซึ่งกันและกัน



โปรตอน (Proton):
ประจุบวก (อยู่กึ่งกลางนิวเคลียส)

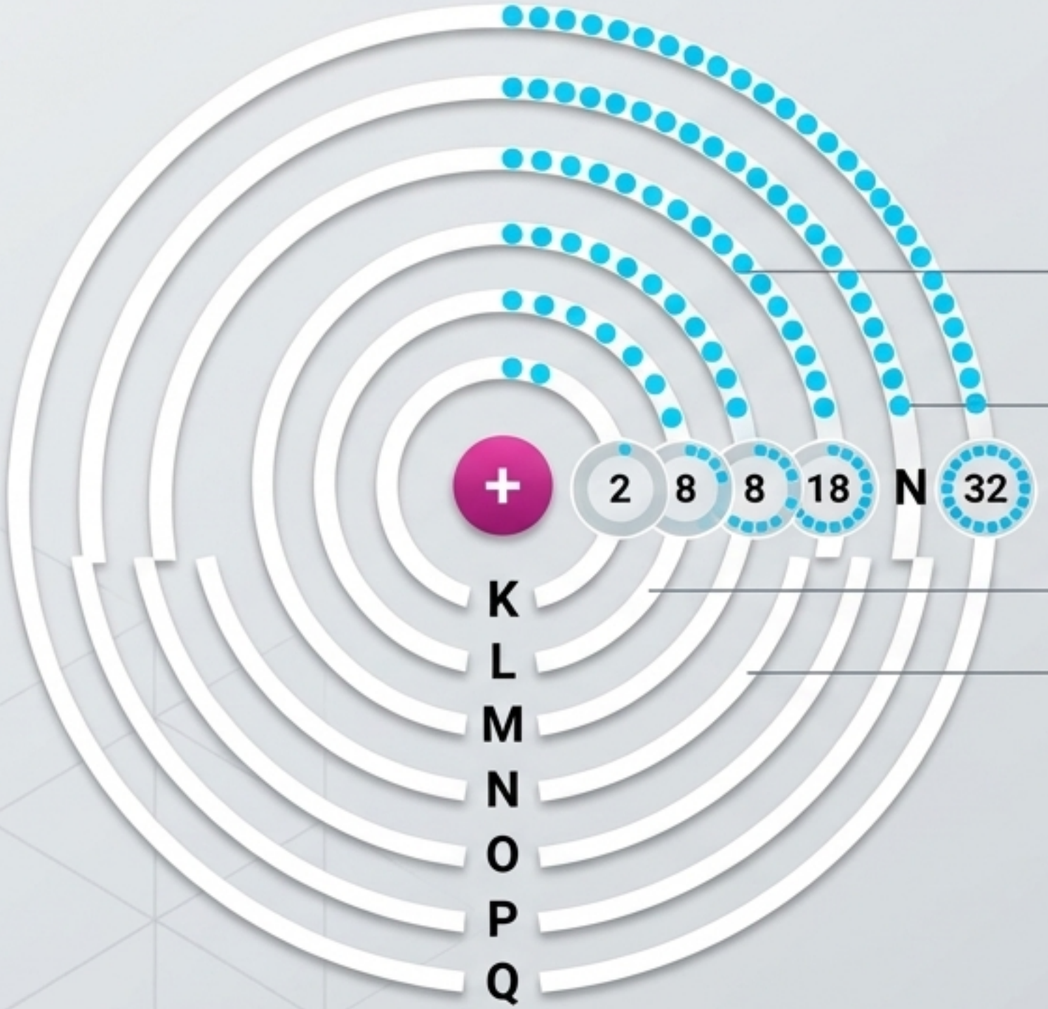
นิวตรอน (Neutron):
เป็นกลางทางไฟฟ้า (ไม่มีประจุ)

อิเล็กตรอน (Electron):
ประจุลบ (โคจรรอบนิวเคลียส) ประจุของอิเล็กตรอนแต่ละตัวมีค่าเท่ากับ 1.602×10^{-19} คูลอมบ์ (Coulombs)

NotebookLM

กฎการจัดเรียงวงโคจรระดับพลังงาน

อิเล็กตรอนเคลื่อนที่รอบนิวเคลียสเป็นชั้นๆ ตามระดับพลังงาน วงโคจรที่อยู่ใกล้นิวเคลียสจะมีระดับพลังงานต่ำสุด
การคำนวณความจุสูงสุดของอิเล็กตรอนในแต่ละวงใช้สูตร: 2n^2

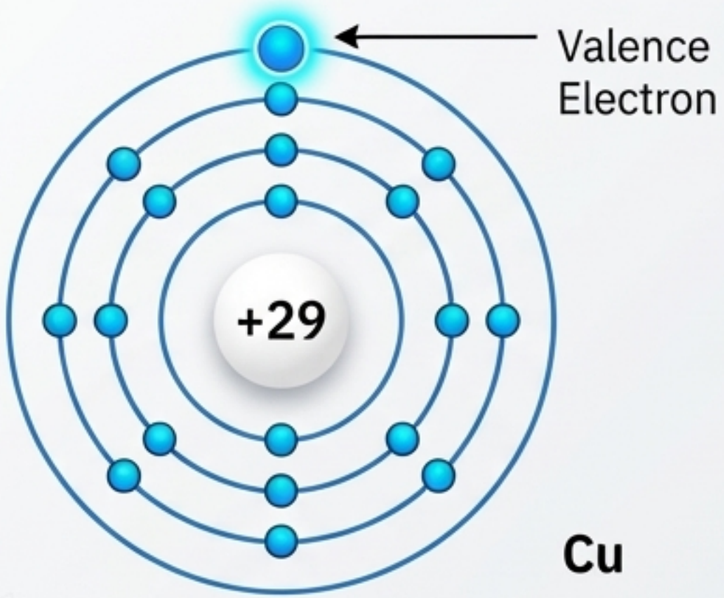


ชั้น K (n=1):	สูงสุด 2(1^2) = 2 ตัว
ชั้น L (n=2):	สูงสุด 2(2^2) = 8 ตัว
ชั้น M (n=3):	สูงสุด 2(3^2) = 18 ตัว
ชั้น N (n=4):	สูงสุด 2(4^2) = 32 ตัว

NotebookLM

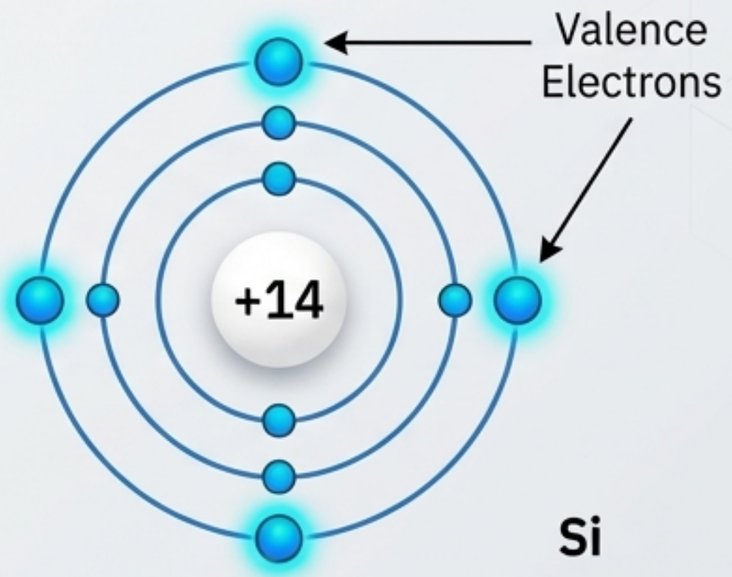
อิเล็กตรอนวงนอกสุด (Valence Electron): ตัวกำหนดคุณสมบัติทางไฟฟ้า

ตัวนำไฟฟ้า (Conductor)



ตัวนำไฟฟ้า (เช่น ทองแดง): มีโปรตอน 29 ตัว
จัดเรียงวงโคจรนอกสุดเหลืออิเล็กตรอนเพียง 1 ตัว
ทำให้นำกระแสได้ดีมาก

สารกึ่งตัวนำ (Semiconductor)



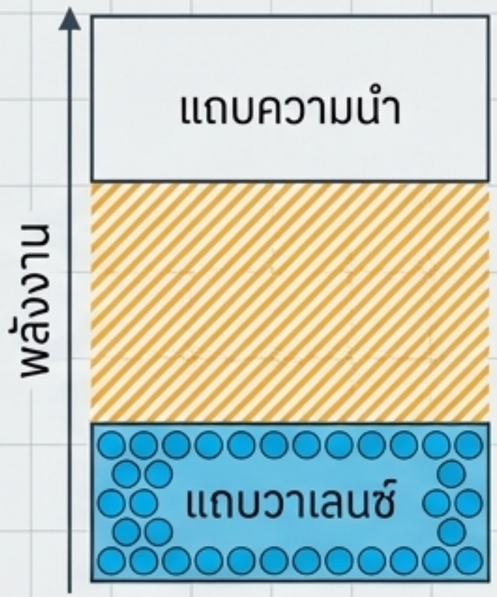
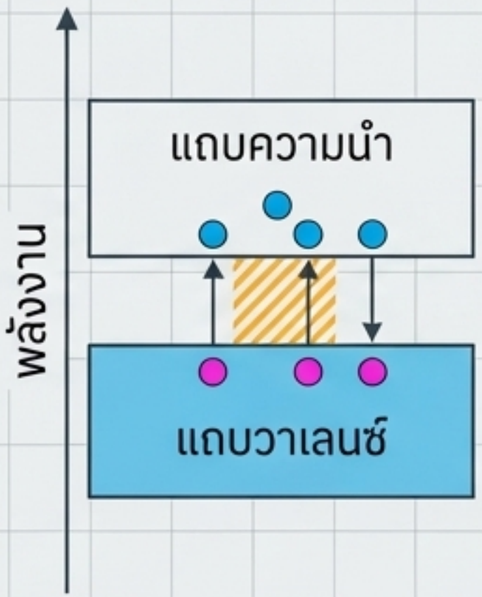
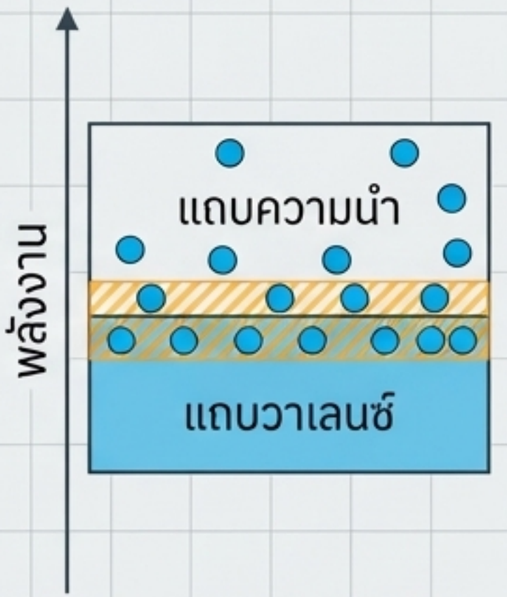
สารกึ่งตัวนำ (ซิลิกอน และ เจอร์เมเนียม):
มีอิเล็กตรอนวงนอกสุด 4 ตัว (และมีโฮล 4 หลุม)
เป็นสถานะกึ่งกลางระหว่างตัวนำและฉนวน

ซิลิกอน (เลขอะตอม 14) ได้รับความนิยมมากกว่าเจอร์เมเนียม (เลขอะตอม 32) ในปัจจุบัน
เพราะเจอร์เมเนียมมีปัญหาเรื่องกระแสไหลย้อนกลับ (Reverse Leakage Current) สูงเมื่ออุณหภูมิเปลี่ยนแปลง

NotebookLM

เมทริกซ์แถบพลังงาน (Energy Bands)

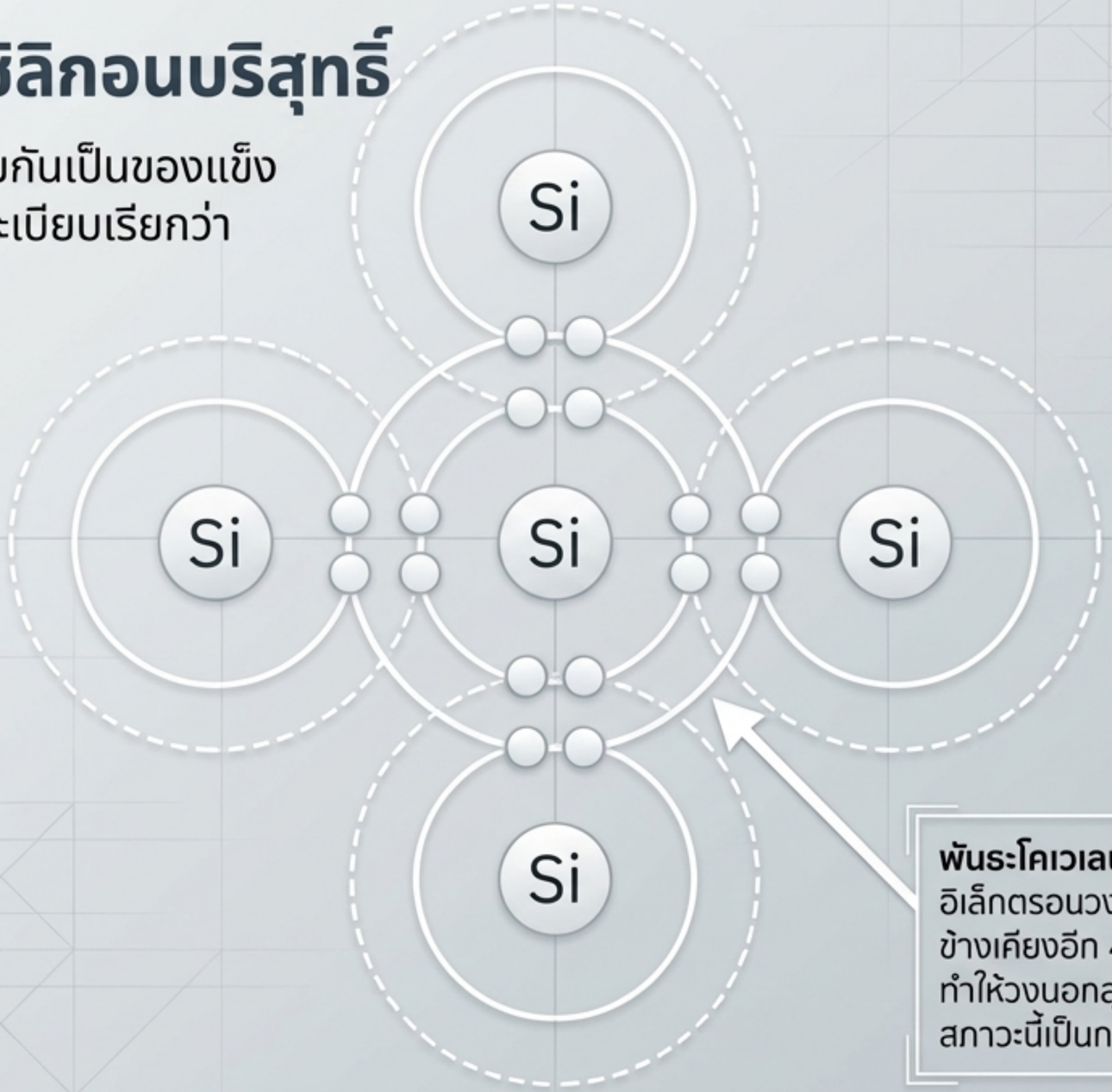
บริเวณที่ไม่มีอิเล็กตรอนโคจรอยู่เรียกว่า "ช่องว่างพลังงาน" (Energy Gaps)
ขนาดของช่องว่างนี้เป็นตัวแบ่งแยกชนิดของวัสดุ:

ฉนวน (Insulator)	**สารกึ่งตัวนำ** (Semiconductor)	**ตัวนำ** (Conductor)
		
ช่องว่างพลังงานกว้างมาก อิเล็กตรอนข้ามแถบไม่ได้ ไม่มีการนำไฟฟ้า	ช่องว่างพลังงานแคบ อิเล็กตรอนข้ามได้เมื่อได้รับ พลังงานกระตุ้นจากภายนอก	ไม่มีช่องว่างพลังงาน แถบวาเลนซ์และแถบความนำซ้อนทับกัน อิเล็กตรอนเคลื่อนที่สู่วงจรอิสระได้ทันที

NotebookLM

โครงสร้างผลึกซิลิกอนบริสุทธิ์

เมื่ออะตอมของซิลิกอนรวมกันเป็นของแข็ง จะเกิดการจัดเรียงตัวเป็นระเบียบเรียกว่า "ผลึก" (Crystals)

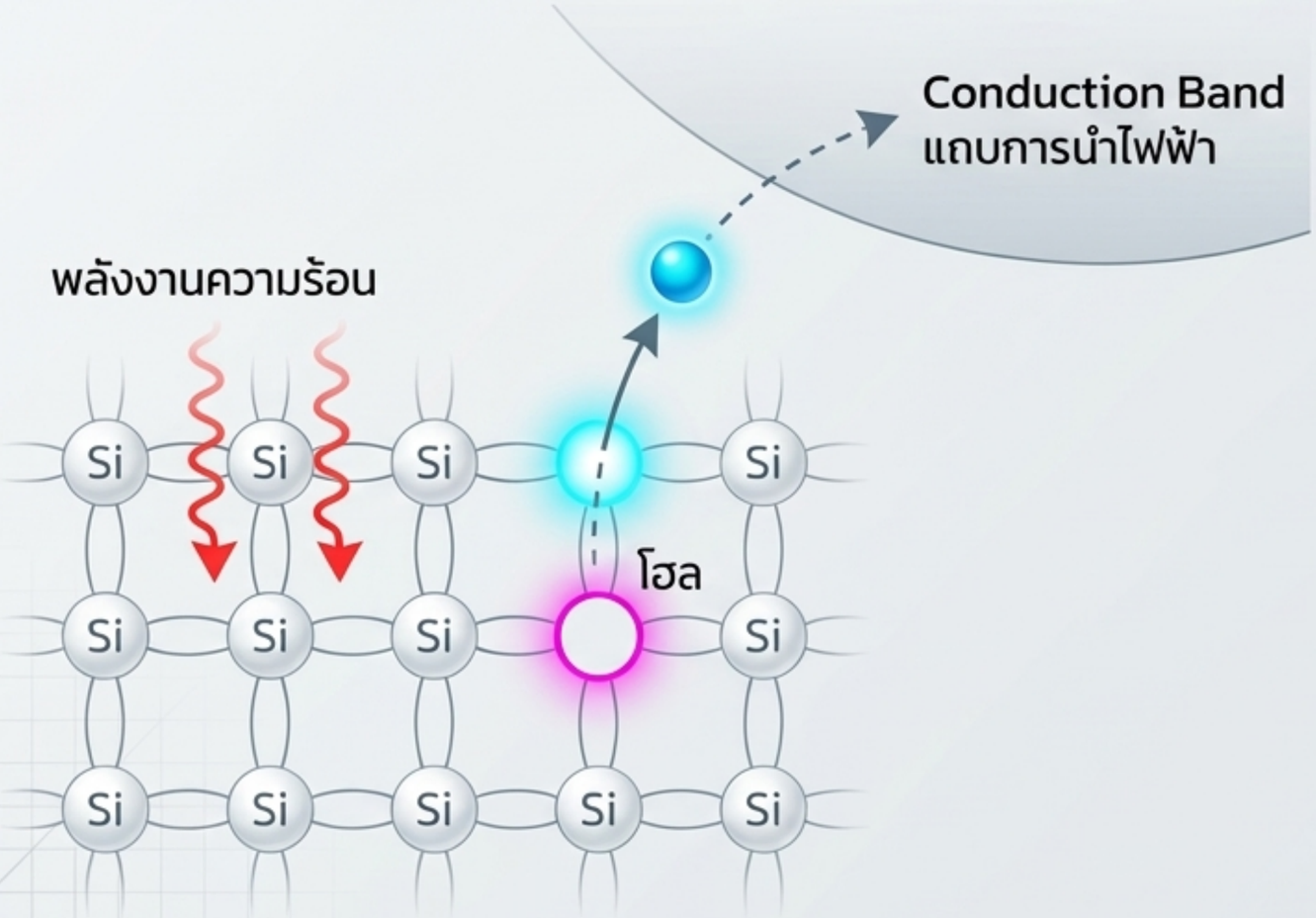


พันธะโคเวเลนต์ (Covalent Bond):
อิเล็กตรอนวงนอกสุด 4 ตัว จะจับคู่กับอะตอมข้างเคียงอีก 4 อะตอม (แชร์อิเล็กตรอนร่วมกัน) ทำให้วงนอกสุดมีอิเล็กตรอนครบ 8 ตัวพอดี สภาวะนี้เป็นกลางทางไฟฟ้าและยังไม่นำกระแส

NotebookLM

พลังงานความร้อนกับการเกิดอิเล็กตรอนอิสระ

ในสภาวะปกติ สารกึ่งตัวนำบริสุทธิ์จะมีอิเล็กตรอนอิสระและโฮลน้อยมาก แต่เมื่อได้รับพลังงาน...



1. **รับพลังงาน (Heat)**
   เอาชนะแรงยึดเหนี่ยวของพันธะ

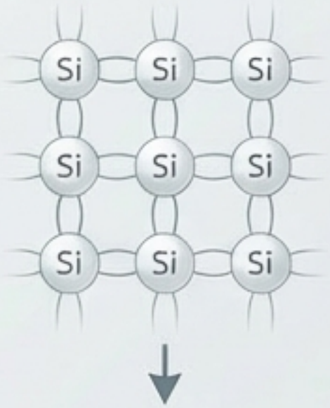
2. **หลุดเป็นอิสระ (Free Electron)**
   อิเล็กตรอนหลุดเข้าสู่แถบการนำไฟฟ้า (Conduction Band)

3. **เกิดช่องว่าง (Hole)**
   ตำแหน่งเดิมที่อิเล็กตรอนหลุดออกไปจะกลายเป็นช่องว่างเรียกว่า "โฮล" (Hole)

NotebookLM

การโด๊ป (Doping): วิศวกรรมระดับอะตอม

สารกึ่งตัวนำบริสุทธิ์ (Intrinsic Semiconductor) นำกระแสไฟฟ้าได้ไม่ดี จึงต้องเข้าสู่กระบวนการ “โด๊ป” (Doping)



การโด๊ป คือการเติมอะตอมของสารเจือปนลงในผลึกซิลิกอนที่หลอมละลาย
เพื่อเปลี่ยนโครงสร้างทางประจุไฟฟ้า
เกิดเป็น สารกึ่งตัวนำไม่บริสุทธิ์ (Extrinsic Semiconductor)

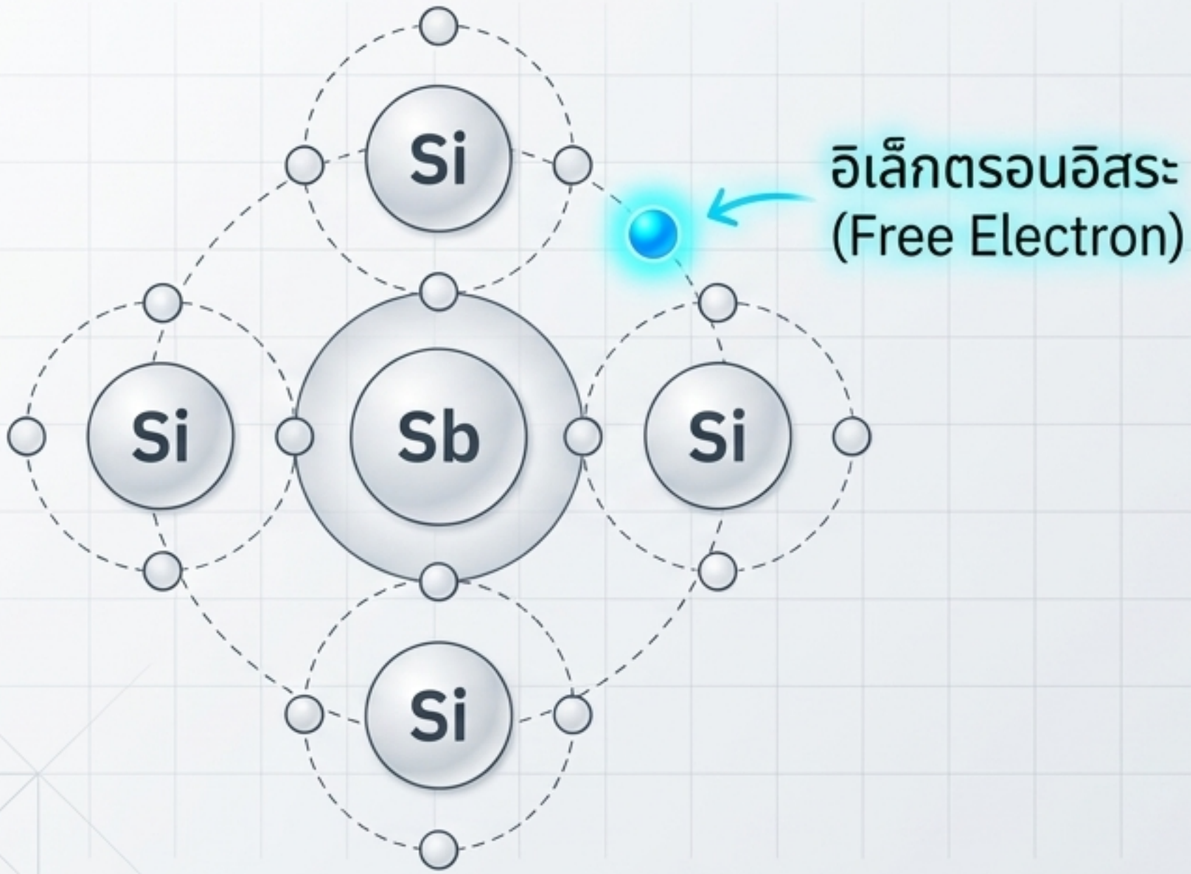
เติมสารเจือปนที่มีอิเล็กตรอนวงนอกสุด 5 ตัว
(สารเจือปนผู้ให้) -> N-Type

เติมสารเจือปนที่มีอิเล็กตรอนวงนอกสุด 3 ตัว
(สารเจือปนผู้รับ) -> P-Type

NotebookLM

สารกึ่งตัวนำชนิดเอ็น (N-Type): สารเจือปนผู้ให้

เกิดจากการเติมสารเจือปนที่มีอิเล็กตรอนวงนอกสุด 5 ตัว เช่น พลวง (Sb), สารหนู, ฟอสฟอรัส

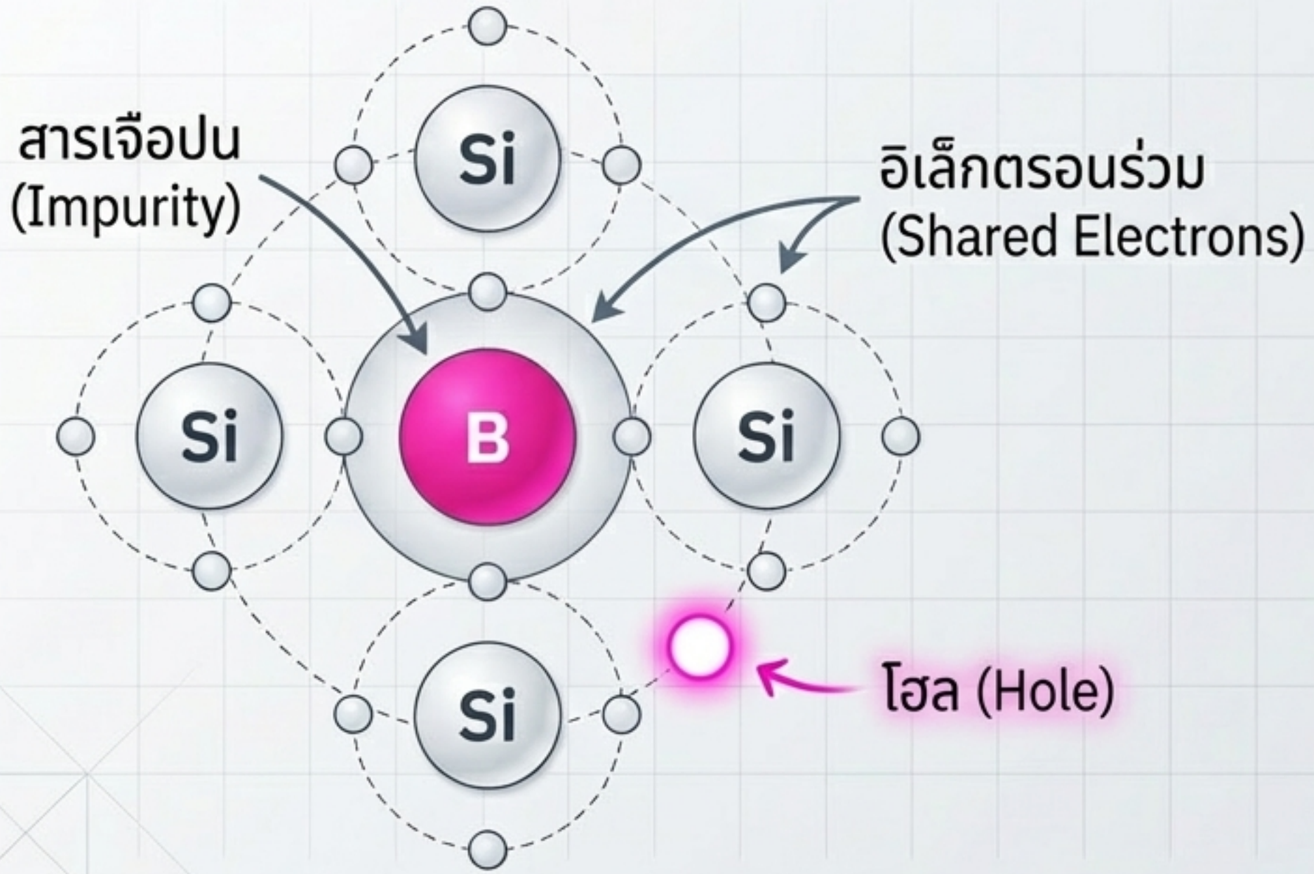


- โครงสร้างพันธะ จับคู่กับซิลิกอน 4 ตัว เหลืออิเล็กตรอนอิสระ 1 ตัว ที่ไม่สามารถเข้าคู่ได้
- พาหะข้างมาก (Majority Carrier): อิเล็กตรอนอิสระ (ประจุลบ)
- พาหะข้างน้อย (Minority Carrier): โฮล
- สถานะ สารเจือปนผู้ให้ (Donor Impurity)

NotebookLM

สารกึ่งตัวนำชนิดพี (P-Type): สารเจือปนผู้รับ

เกิดจากการเติมสารเจือปนที่มีอิเล็กตรอนวงนอกสุด 3 ตัว เช่น โบรอน (B), อะลูมิเนียม, แกลเลียม

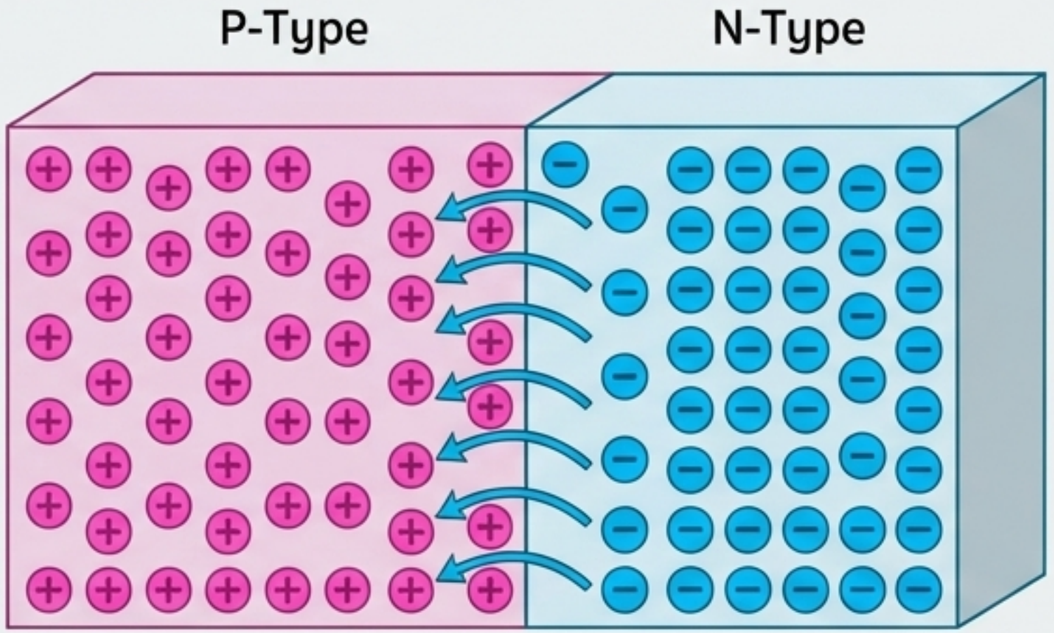


- โครงสร้างพันธะ จับคู่กับซิลิกอนได้เพียง 3 ตัว ทำให้ขาดอิเล็กตรอนไป 1 ตัว เกิดเป็นช่องว่าง (Hole)
- พาหะข้างมาก (Majority Carrier): โฮล (เสมือนประจุบวก)
- พาหะข้างน้อย (Minority Carrier): อิเล็กตรอน
- สถานะ สารเจือปนผู้รับ (Accepter Impurity) พร้อมรับอิเล็กตรอนจากภายนอก

NotebookLM

รอยต่อ พี-เอ็น (P-N Junction): จุดกำเนิดอวัยวะอิเล็กทรอนิกส์

นวัตกรรมที่แท้จริงไม่ได้อยู่ที่ตัวสาร N หรือ P โดดๆ แต่อยู่ที่ “รอยต่อ” (Junction) ระหว่างสารทั้งสอง

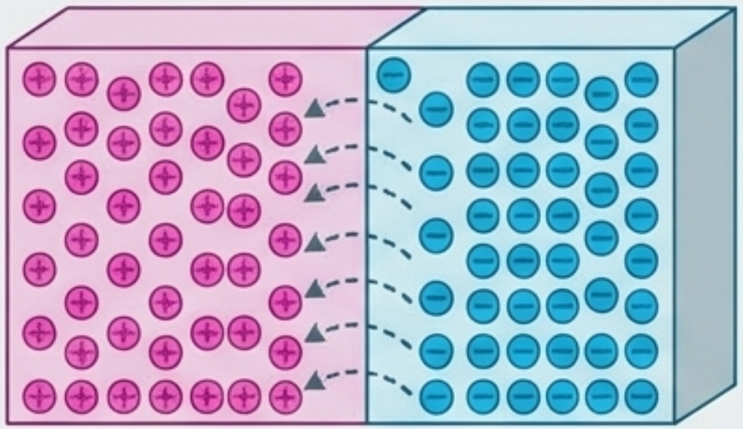


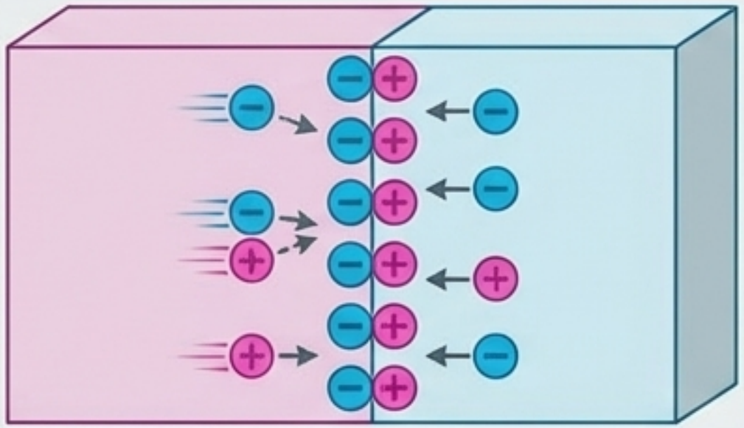
Insight Box

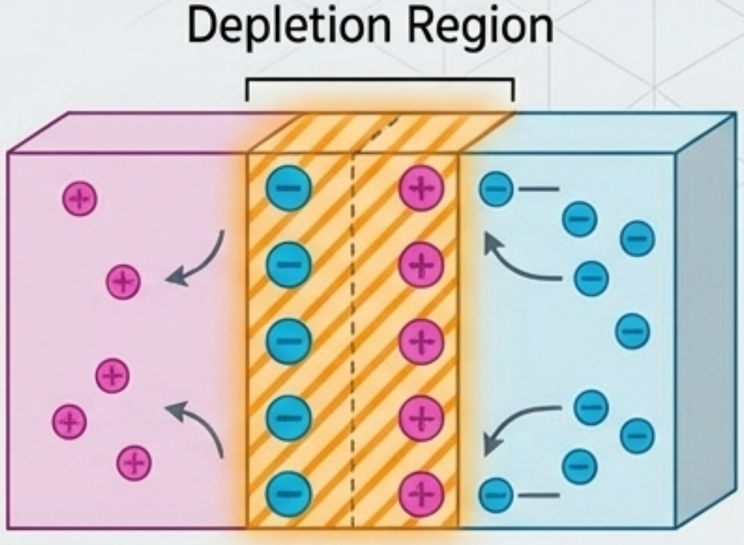
เมื่อนำสารทั้งสองมาประกบกันตามธรรมชาติ อิเล็กตรอนจากฝั่ง N (พาหะข้างมาก) จะพยายามเคลื่อนที่ข้ามรอยต่อเข้าไปรวมตัวกับโฮลในฝั่ง P การรวมตัวกันนี้จะเกิดขึ้นเฉพาะบริเวณรอยต่อเท่านั้น ทำให้เกิดประจุไอออนไฟฟ้าขั้วตรงข้าม

NotebookLM

บริเวณปลอดพาหะ (Depletion Region): กำแพงระดับอะตอม







1. ข้ามแดน: อิเล็กตรอนอิสระข้ามรอยต่อไปรวมกับโฮล

2. เกิดไอออนตรึง: การรวมตัวทำให้เกิดไอออนบวกและลบขวางกั้นบริเวณรอยต่อ ไม่มีพาหะอิสระเหลืออยู่

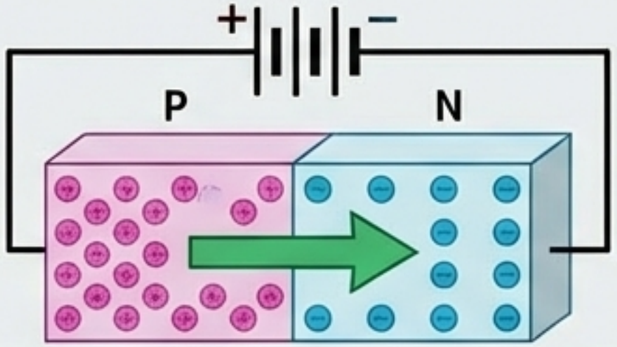
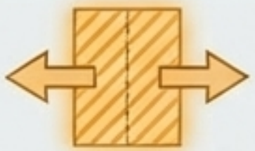
3. สร้างกำแพงศักย์ไฟฟ้า (Barrier Potential): ความต่างศักย์เพิ่มขึ้นจนหยุดยั้งการเคลื่อนที่ของอิเล็กตรอนตัวอื่นๆ

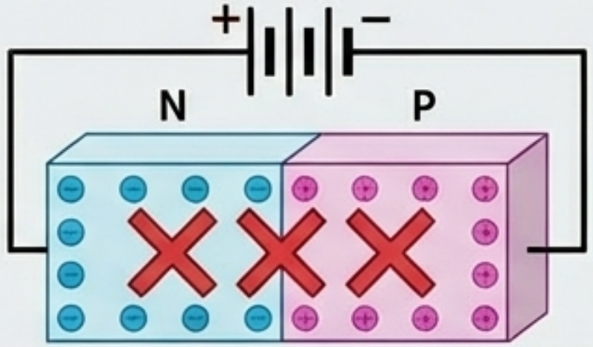
กำแพงศักย์ไฟฟ้าที่อุณหภูมิ 25°C:
ซิลิกอน ≈ 0.7 V | เจอร์เมเนียม ≈ 0.3 V

NotebookLM

เมทริกซ์การไบอัส (P-N Junction Bias)

การไบอัสคือการจ่ายแรงดันจากแหล่งจ่ายภายนอกเพื่อ "ควบคุม" ความกว้างของบริเวณปลอดพาหะ ซึ่งจะเป็นตัวกำหนดการไหลของกระแสไฟฟ้า

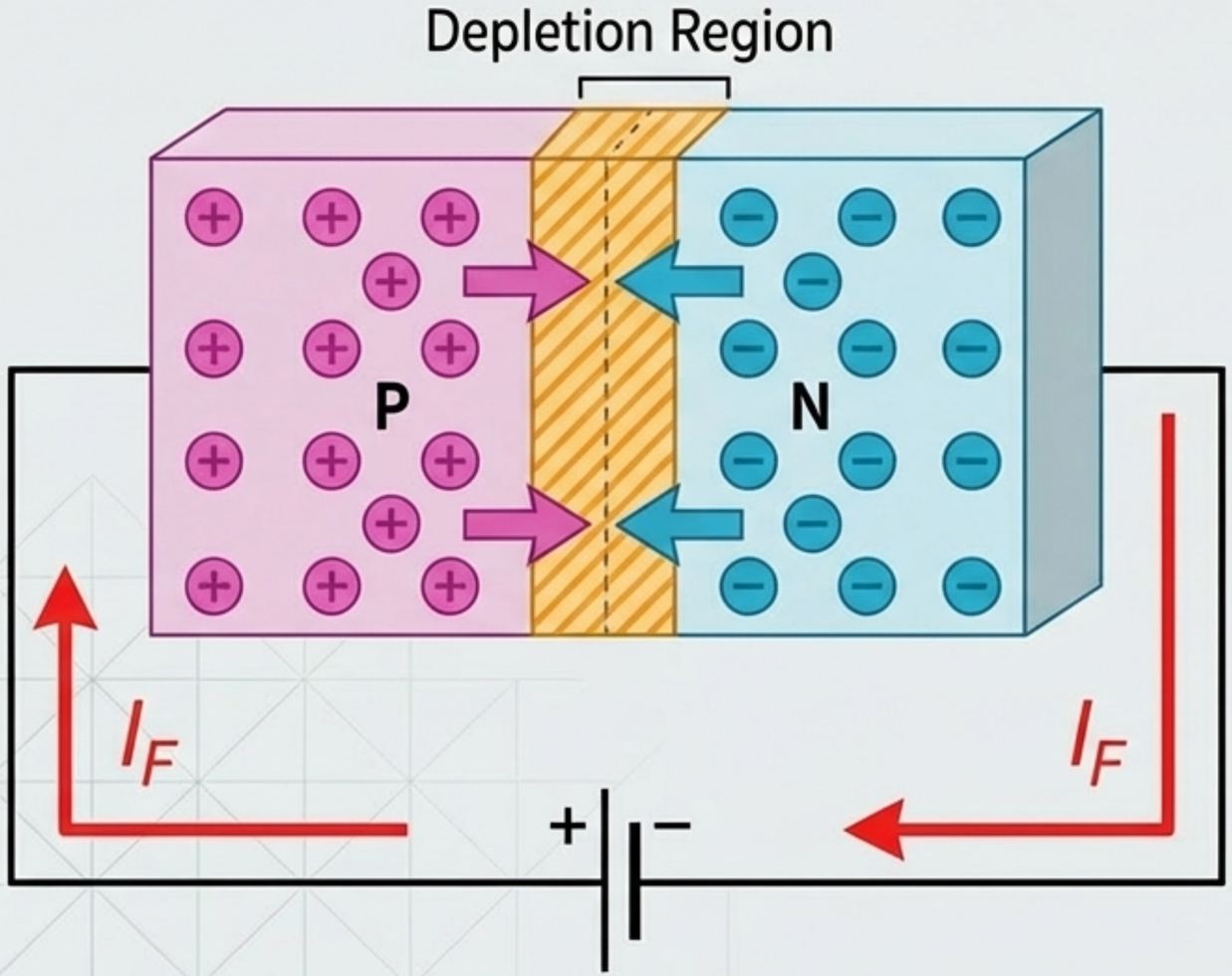
ไบอัสตรง (Forward)	
ลักษณะการต่อขั้วแบตเตอรี่:	ขั้วบวกต่อ P / ขั้วลบต่อ N
ขนาดกำแพง - Depletion Region:	 แคบลง
ผลลัพธ์การนำกระแส:	กระแสไหลผ่านได้ (สวิตช์ปิด)

ไบอัสกลับ (Reverse)	
ลักษณะการต่อขั้วแบตเตอรี่:	ขั้วบวกต่อ N / ขั้วลบต่อ P
ขนาดกำแพง - Depletion Region:	กว้างขึ้น
ผลลัพธ์การนำกระแส:	กระแสถูกบล็อก (สวิตช์เปิด)

NotebookLM

ไบอัสตรง (Forward Bias): การเปิดประตูน้ำ

จ่ายขั้วบวกให้ฝั่ง P และขั้วลบให้ฝั่ง N



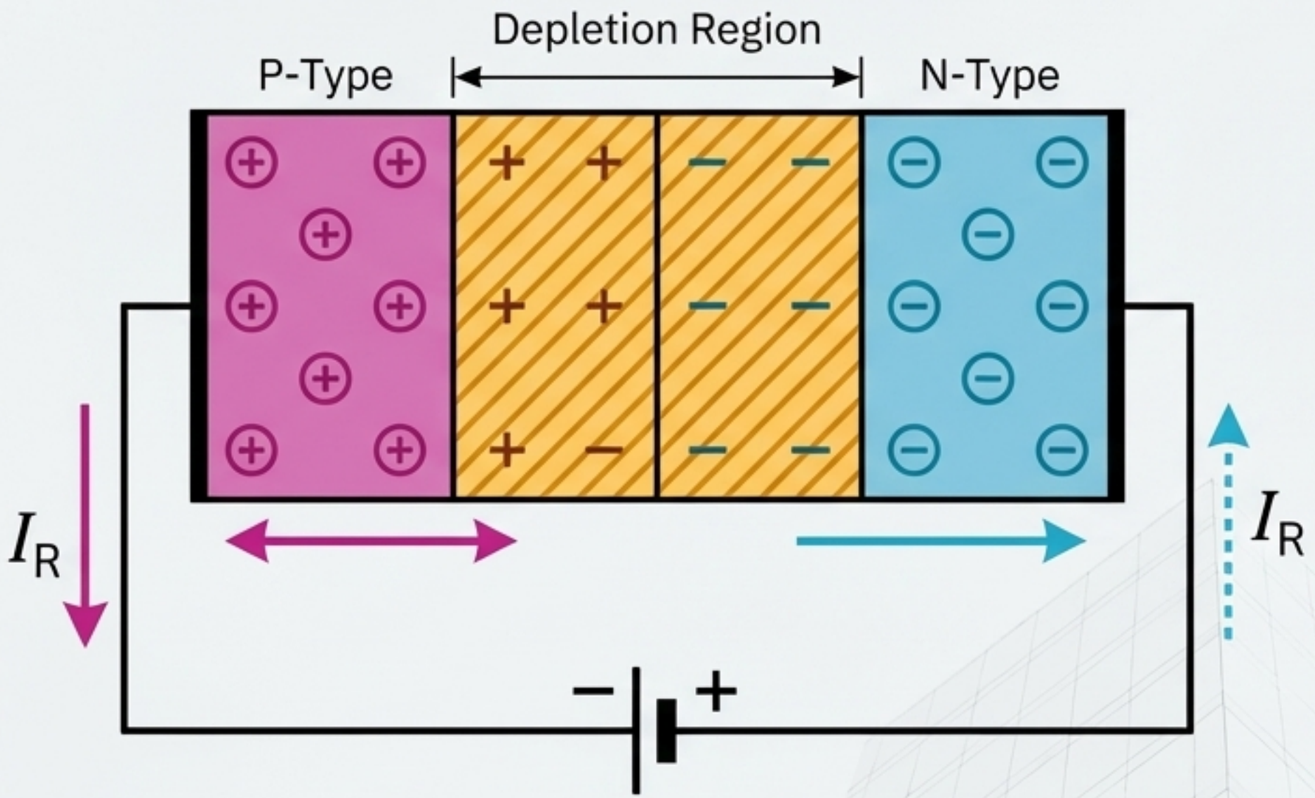
กลไก (Mechanism)

- **แรงผลัก:** ขั้วลบของแบตเตอรี่ผลักอิเล็กตรอนอิสระฝั่ง N ให้ข้ามรอยต่อ
- **แรงดึง:** ขั้วบวกของแบตเตอรี่ดึงอิเล็กตรอน ให้เคลื่อนที่เข้าหาอย่างต่อเนื่อง
- **ผลลัพธ์:** ความต้านทานบริเวณรอยต่อลดต่ำลง บริเวณปลอดพาหะแคบลง กระแสอิเล็กตรอนและกระแสไฟฟ้าสามารถไหลผ่านรอยต่อได้อย่างสมบูรณ์

NotebookLM

ไบอัสกลับ (Reverse Bias): วาล์วกันกลับระดับอะตอม

จ่ายขั้วบวกให้ฝั่ง N และขั้วลบให้ฝั่ง P



- **กลไก (Mechanism):**
  - **แรงดึงรั้ง**: ขั้วลบจะดึงโฮลฝั่ง P ออกห่างจากรอยต่อ และขั้วบวกจะดึงอิเล็กตรอนฝั่ง N ออกห่างจากรอยต่อเช่นกัน
  - **กำแพงขยายตัว**: บริเวณรอยต่อพี-เอ็นกว้างขึ้นอย่างมาก ความต้านทานสูงชัน
  - **ผลลัพธ์**: กระแสหลักจากแหล่งจ่ายไม่สามารถไหลผ่านได้ (เว้นแต่กระแสรั่วไหล หรือ Leakage Current ในระดับไมโครแอมป์เท่านั้น) ทำหน้าที่เสมือนฉนวนไฟฟ้าในทิศทางนี้

NotebookLM