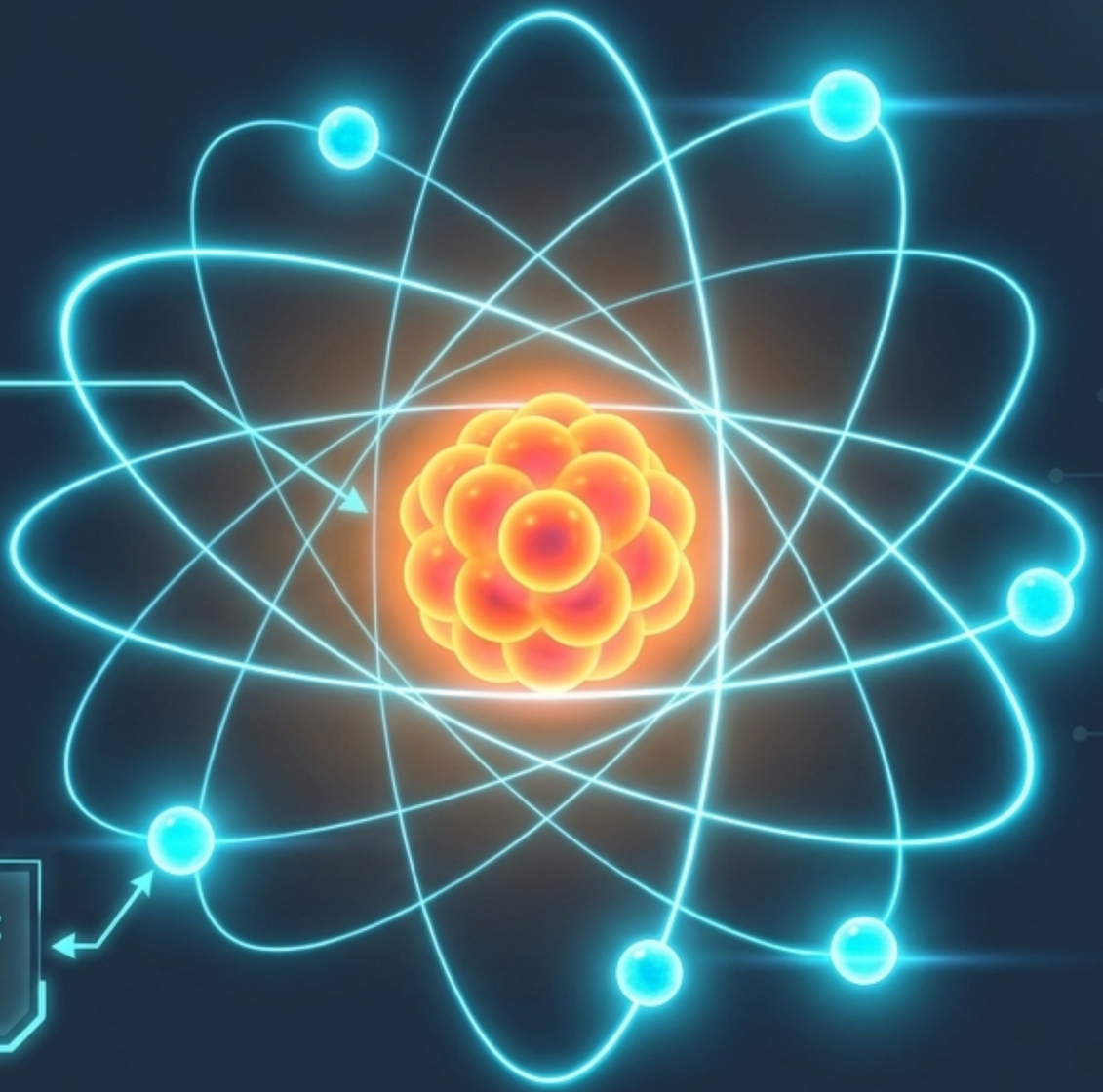
เจาะลึกความลับของสารกึ่งตัวนำและไดโอด

จากกลไกระดับอะตอม สู่หัวใจของอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์

NotebookLM

โครงสร้างพื้นฐานของอะตอม

นิวเคลียส (Nucleus):
โปรตอน (+) และนิวตรอน (เป็นกลาง)
เกาะกลุ่มกันตรงกลาง



อิเล็กตรอน (Electron):
ประจุลบ (-) โคจรอยู่รอบนอก

NotebookLM

กฎขีดจำกัดของวงโคจร ($2N^2$)

วง N (N=4)
จุได้สูงสุด: $2(4)^2 = 32$ ตัว

วง M (N=3)
จุได้สูงสุด: $2(3)^2 = 18$ ตัว

วง K (N=1)
จุได้สูงสุด: $2(1)^2 = 2$ ตัว

วง M (N=3)
จุได้สูงสุด: $2(3)^2 = 18$ ตัว

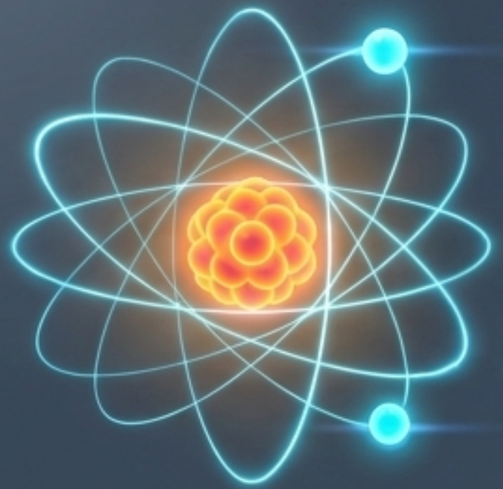
วง N (N=4)
จุได้สูงสุด: $2(4)^2 = 32$ ตัว

วาเลนซ์อิเล็กตรอน (Valence Electron)
คืออิเล็กตรอนวงนอกสุด มีได้สูงสุดไม่เกิน 8 ตัว
เป็นตัวกำหนดคุณสมบัติทางไฟฟ้าของธาตุ!

NotebookLM

วงนอกสุดคือตัวตัดสิน: ฉนวน, ตัวนำ หรือ กึ่งตัวนำ?

ตัวนำไฟฟ้า
(Conductor)



วาเลนซ์อิเล็กตรอน: 1-3 ตัว

อิเล็กตรอนหลุดง่าย
นำกระแสดีเยี่ยม
(เช่น ทองแดง, เงิน)

กึ่งตัวนำไฟฟ้า
(Semi-Conductor)

วาเลนซ์อิเล็กตรอน: 4 ตัว

อยู่กึ่งกลางระหว่าง
ฉนวนและตัวนำ
(เช่น ซิลิคอน, เยอรมันเนียม)

ฉนวนไฟฟ้า
(Insulator)

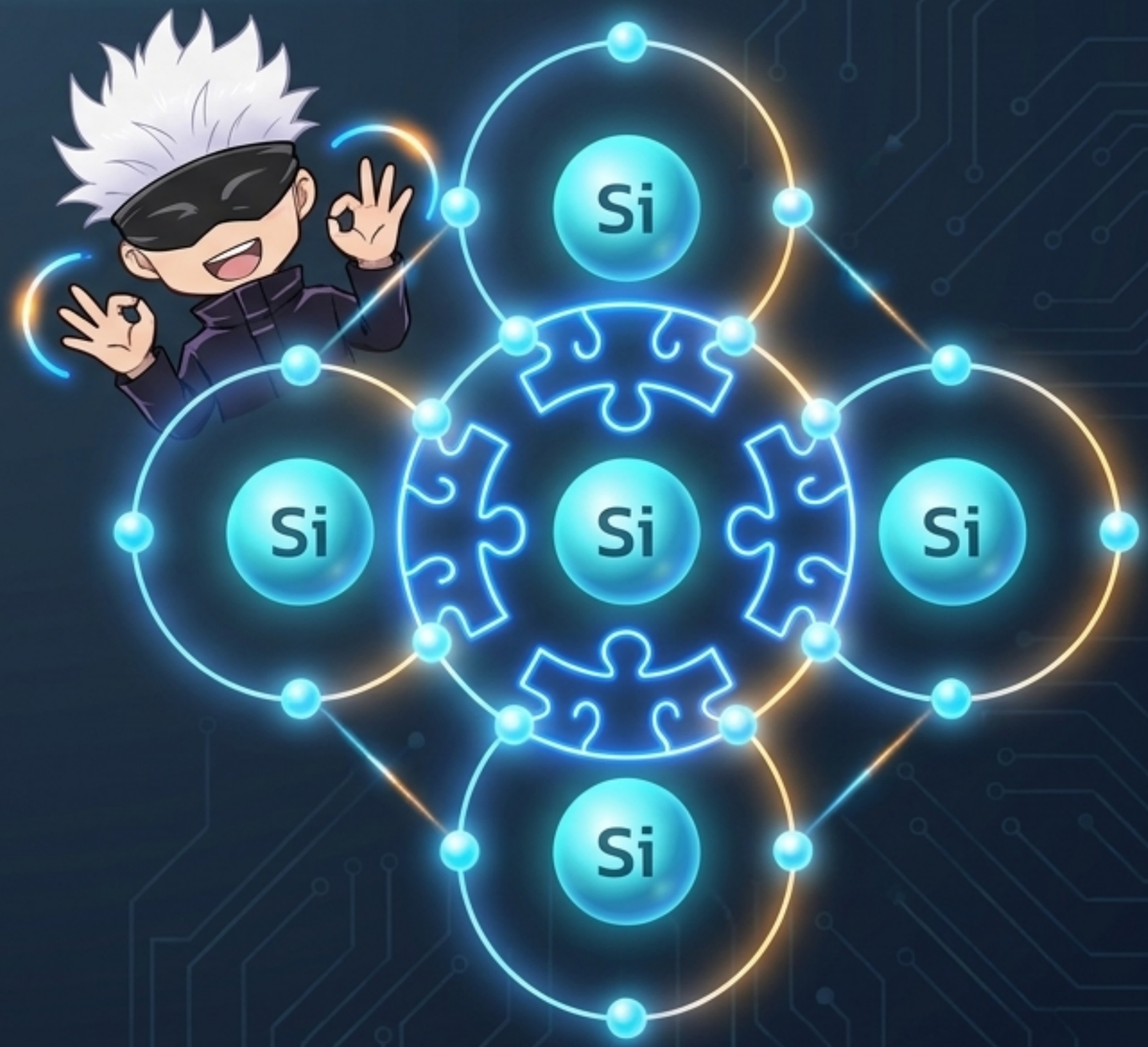
วาเลนซ์อิเล็กตรอน: 5-8 ตัว

อิเล็กตรอนยึดแน่น
กระแสไหลผ่านยาก
(เช่น พลาสติก, ไม้)

NotebookLM

ความเสถียรของสารกึ่งตัวนำบริสุทธิ์ (พันธะโควาเลนต์)

- ซิลิคอน (Si) มีอิเล็กตรอนรวม 14 ตัว / เยอรมันเนียม (Ge) มีรวม 32 ตัว
- ทั้งคู่มีวาเลนซ์อิเล็กตรอน 4 ตัว
- เมื่อรวมตัวกัน แต่ละอะตอมจะแชร์อิเล็กตรอนกับเพื่อนบ้าน 4 อะตอม ทำให้วงนอกสุดครบ 8 ตัวพอดี (สภาวะเสถียร)



NotebookLM

การเจือปนสาร (Doping): เปลี่ยนความเสถียรให้เป็นพลัง

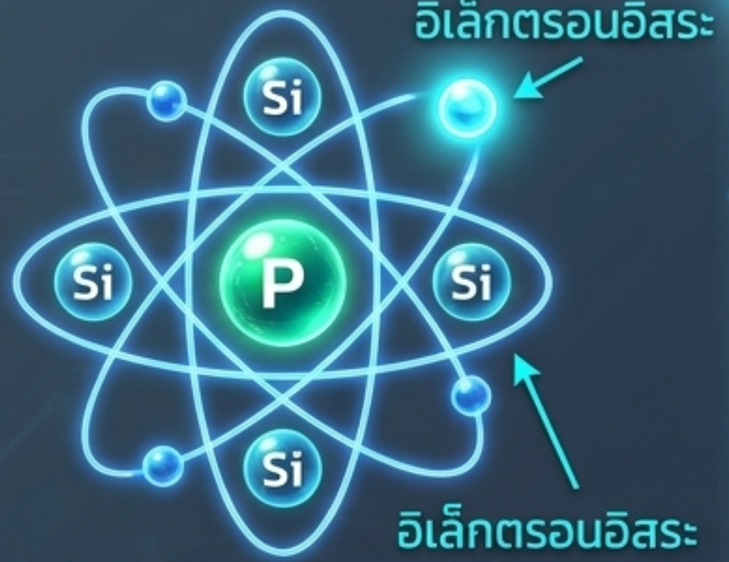
สารกึ่งตัวนำบริสุทธิ์ใช้งานจริงไม่ได้เพราะมันเสถียรเกินไป
เราต้องเติมธาตุเจือปนลงไปในอัตราส่วน 1 ส่วน ต่อสารบริสุทธิ์ 10^8 ส่วน
เพื่อสร้างอิเล็กตรอนอิสระ หรือสร้าง โฮล (หลุม) ให้กระแสไฟฟ้าไหลได้

NotebookLM

ชนิดเอ็น (N-Type)

สารเจือปน: เติมธาตุที่มีวาเลนซ์อิเล็กตรอน 5 ตัว (เช่น P, As)

ผลลัพธ์: มีอิเล็กตรอนเหลือ 1 ตัว กลายเป็น อิเล็กตรอนอิสระ (Free Electron, ประจุลบ)



ชนิดพี (P-Type)

สารเจือปน: เติมธาตุที่มีวาเลนซ์อิเล็กตรอน 3 ตัว (เช่น B, In, Ga)

ผลลัพธ์: ขาดอิเล็กตรอนไป 1 ตัว เกิดเป็น โฮล (Hole, ประจุบวก)

NotebookLM

รอยต่อ P–N และกำแพงศักย์ไฟฟ้า (Depletion Region)

บริเวณปลอดพาหะ

เมื่อ P และ N ชนกัน อิเล็กตรอนและโฮลจะหักล้างกันตรงรอยต่อ สร้างสนามไฟฟ้าต้านทาน

ค่าผ่านทาง (กำแพงความต่างศักย์):

- รอยต่อซิลิคอน (Si) = **0.6 โวลต์**
- รอยต่อเยอรมันเนียม (Ge) = **0.2 โวลต์**

NotebookLM

กำเนิดไดโอด (Diode)

ขาแอโนด (Anode - A):
ต่อจากฝั่ง P-Type (โฮล)

ขาแคโถด (Cathode - K):
ต่อจากฝั่ง N-Type (อิเล็กตรอน)

หัวลูกศร: ชี้ทิศทางการไหลของกระแสสมมติ **(โฮล)** จาก A ไป K

NotebookLM

ไบอัสตรง (Forward Bias): สภาวะ นำกระแส

เงื่อนไข:

- จ่ายไฟ บวก (+) เข้าฝั่ง P (แอโนด)
- จ่ายไฟ ลบ (-) เข้าฝั่ง N (แคโถด)

ผลลัพธ์:

ต้องจ่ายแรงดันให้ชนะกำแพงศักย์ ต้องะกำแพงศักย์ (0.6V สำหรับ Si, 0.2V สำหรับ Ge) จากนั้นไดโอดจะยอมให้กระแสไหลผ่านได้เต็มที่ เหมือนสวิตซ์ที่ถูกปิดวงจร (ON)

NotebookLM

ไบอัสกลับ (Reverse Bias): สภาวะ ต้านกระแส

เงื่อนไข:

- จ่ายไฟ ลบ (-) เข้าฝั่ง P (แอโนด)
- จ่ายไฟ บวก (+) เข้าฝั่ง N (แคโถด)

ผลลัพธ์:

ขั้วแบตเตอรี่จะดึงพาหะส่วนใหญ่ออกจากรอยต่อ ทำให้กำแพงปลอดพาหะกว้างขึ้น กระแสไฟฟ้าไม่สามารถไหลผ่านได้ (I = 0A) มีเพียงกระแสรั่วไหล (Leakage Current) เล็กน้อยเท่านั้น เหมือนสวิตช์เปิดวงจร (OFF)

NotebookLM

แผนผังพฤติกรรมไดโอด (V-I Characteristics)

I

Go Zone

Ge

Si

กระแสพุ่งทะยาน

Danger Zone

V

0

0.2V

0.6V

Breakdown

3

แรงดันพังทลาย (Breakdown Voltage):
เขตอันตราย!
หากให้ไบอัสกลับมากเกินไป
รอยต่อจะทะลุและไดโอดพังทันที

2

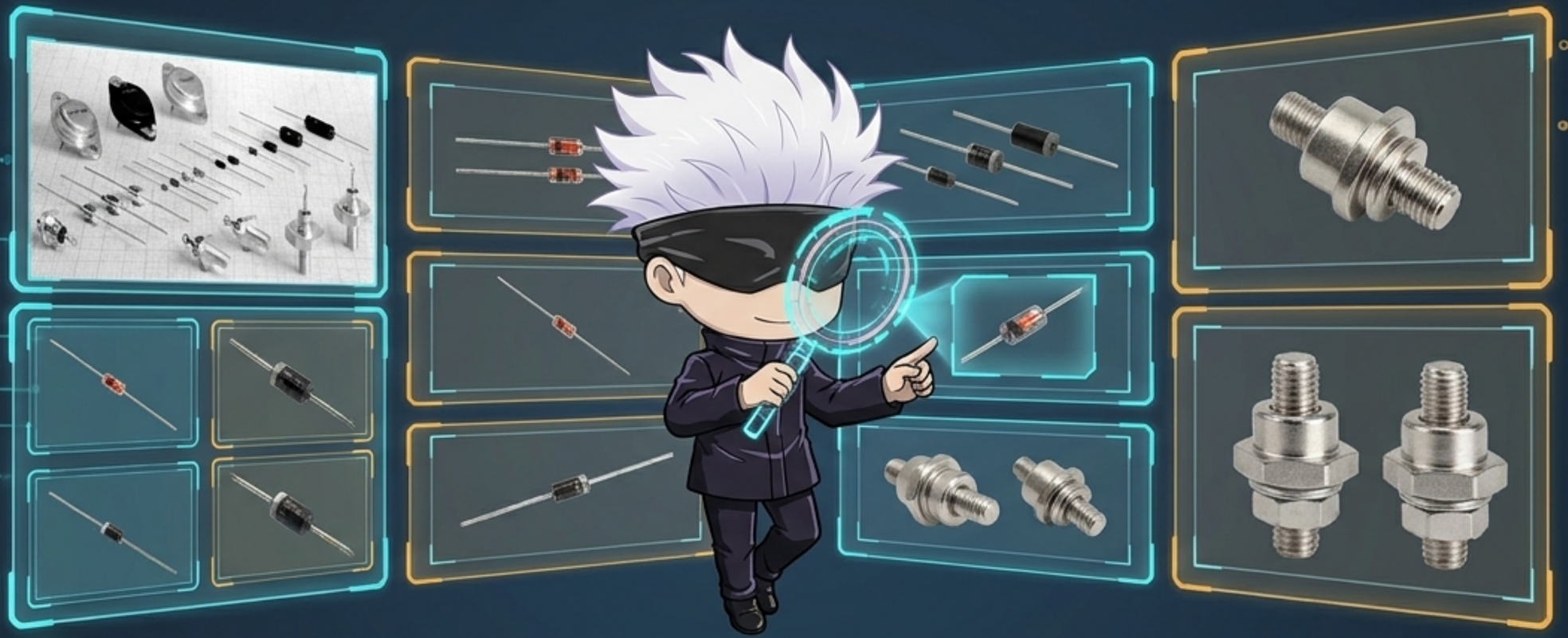
กระแสรั่วไหล (Leakage):
กระแสน้อยมากในฝั่งไบอัสกลับ

1

แรงดันคัทอิน (Cut-in Voltage):
จุดที่เอาชนะกำแพงศักย์ (0.2V / 0.6V)
กระแสพุ่งทะยาน

NotebookLM

ไดโอดในโลกความเป็นจริง



แม้หลักการทำงานภายใน P-N จะเหมือนกัน
แต่ไดโอดถูกผลิตออกมาหลายรูปแบบ หลายขนาดแพ็กเกจ
เพื่อรองรับปริมาณกระแสไฟฟ้าและการระบาย
ความร้อนที่ต่างกันในแต่ละวงจร

NotebookLM

ผังวินิจฉัยอาการเสียด้วยโอห์มมิเตอร์

วัดแบบไบอัสตรง (Forward Bias)
-> ควรอ่านได้ ~70Ω

วัดแบบไบอัสกลับ (Reverse Bias)
-> ควรอ่านได้ 500kΩ ถึง ∞

ไดโอดขาด (Open):
วัดตรงไม่ขึ้น / วัดกลับไม่ขึ้น
(รอยต่อเปิดหลุดออกจากกัน)

ไดโอดลัดวงจร (Short):
วัดตรงขึ้น / วัดกลับขึ้น
(รอยต่อพังทลายเชื่อมติดกัน)

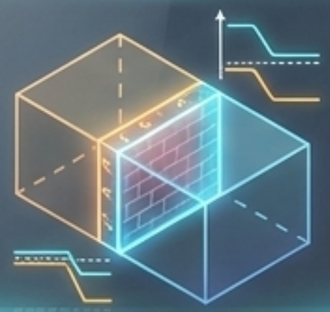
ไดโอดรั่ว (Leakage):
วัดแบบไบอัสกลับแล้วมีกระแสรั่วไหล
(เข็มกระดิกเล็กน้อยก่อนถึงจุดพังทลาย)

NotebookLM

บทสรุปวิวัฒนาการของไดโอด

ธาตุวาเลนซ์ 4
จับคู่กันแบบ**โควาเลนต์**
เพื่อความเสถียร

เรา**เจือปนธาตุ**ให้เสียสมดุล
สร้าง**อิเล็กตรอน (N)**
และ **โฮล (P)**



ประกบกันเกิด**รอยต่อ P-N**
และ**กำแพงศักย์ไฟฟ้า**
0.6V/0.2V

ควบคุมกระแสให้**ไหล**
ทางเดียว (Forward Bias)
และ**ปิดกั้น (Reverse Bias)**
เหมือนสวิตช์อิเล็กทรอนิกส์!

NotebookLM