

618327-2560

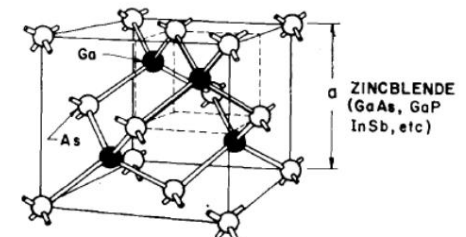
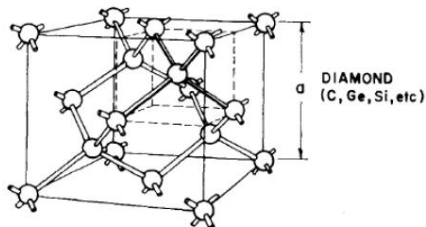
ฟิสิกส์ของวัสดุอิเล็กทรอนิกส์

และอุปกรณ์

ผอ.อรรถัย วัชรกิจจากร

บทที่ 3

บทนำสู่
สารกึ่งตัวนำ



Physical Constants and units

Avogadro's number:

$$N_A = 6.02 \cdot 10^{23}$$

Boltzmann's constant

$$k = 1.38 \cdot 10^{-23} \cdot \left(\frac{\text{joule}}{\text{K}} \right)$$

Electronic charge (magnitude):

$$e = 1.60 \cdot 10^{-19} \cdot (\text{coul})$$

Free electron rest mass

$$m_e = 9.1094 \cdot 10^{-31} \cdot (\text{kg})$$

Permeability of free space:

$$\mu_0 = (4 \cdot \pi) \cdot 10^{-7} \cdot \left(\frac{\text{henry}}{\text{m}} \right)$$

Permittivity of free space

$$\epsilon_0 = 8.854 \cdot 10^{-14} \cdot \left(\frac{\text{farad}}{\text{cm}} \right)$$

Planck's constant:

$$h = 6.625 \cdot 10^{-34} \cdot (\text{joule} \cdot \text{sec})$$

Proton rest mass

$$m_p = 1.67 \cdot 10^{-27} \cdot (\text{kg})$$

Speed of light in vacuum:

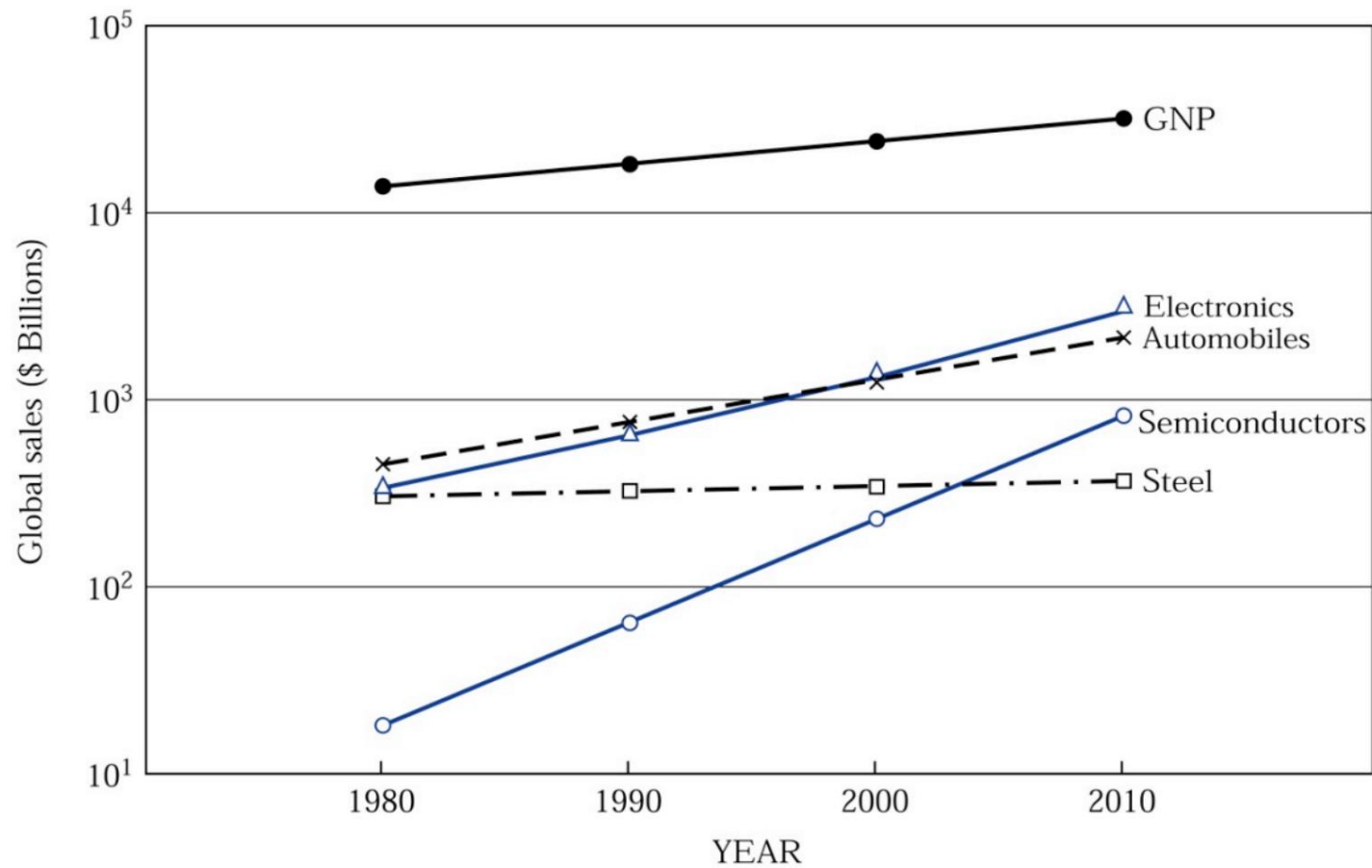
$$c = 2.998 \cdot 10^{10} \cdot \left(\frac{\text{cm}}{\text{sec}} \right)$$

- อุตสาหกรรมอิเล็กทรอนิกส์กลายเป็นอุตสาหกรรมที่ใหญ่ที่สุดในโลกตั้งแต่ปี 1998 • อุปกรณ์เซมิคอนดักเตอร์เป็นรากฐานของสิ่งนี้

- เพื่อที่จะเข้าใจว่าอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์และอุปกรณ์ออปโตอิเล็กทรอนิกส์ทำงานอย่างไร เราจำเป็นต้องคุ้นเคยกับคุณสมบัติของวัสดุและพฤติกรรมของอิเล็กทรอนิกส์ในวัสดุ

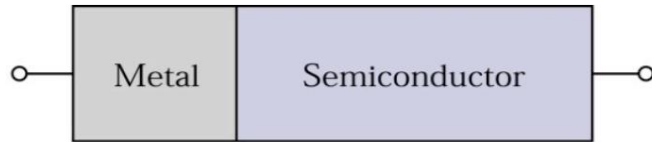
- เพ็ญใจอุปกรณ์ กสเลกทรอนิกส์ จุดมุ่งหมาย นวัตกรรม กสเลกทรอนิกส์ของวัสดุ และ
- โรงละครของอิเล็กทรอนิกส์ในวัสดุ

การแนะนำ

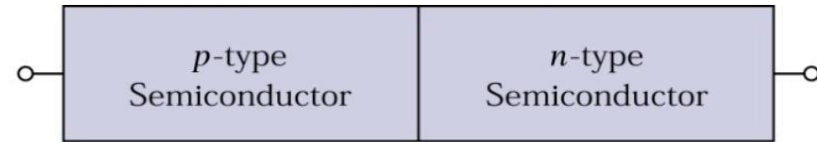


- อุตสาหกรรม S/C มีส่วนสนับสนุน 25% ของอุตสาหกรรมอิเล็กทรอนิกส์ช่วงต้น ศตวรรษ ที่ 21

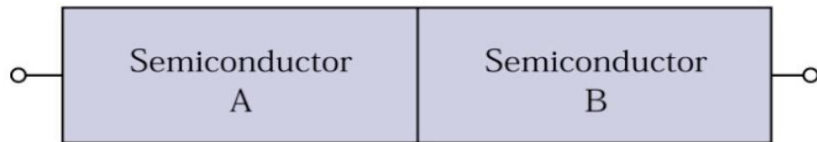
บล็อกพื้นฐานของอุปกรณ์ S/C



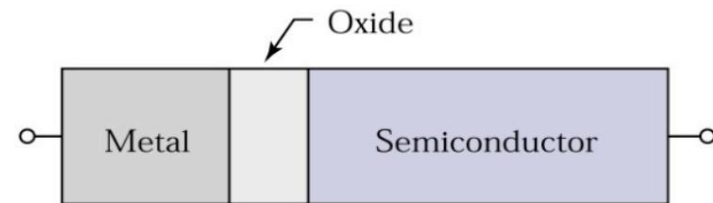
(a)



(b)



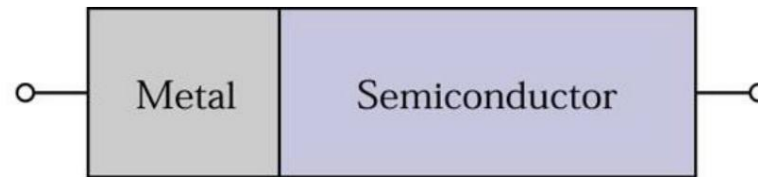
(c)



(d)

(ก) อินเทอร์เฟซโลหะ-เซมิคอนดักเตอร์; (ข) รอยต่อ p-n ; (ค) อินเทอร์เฟซเฮเทอโรรอยต่อ; (ง) โครงสร้างของโลหะออกไซด์-เซมิคอนดักเตอร์

โลหะ-สารกึ่งตัวนำ



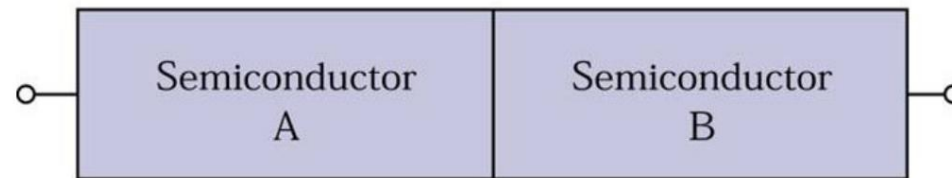
- § การสัมผัสโลหะ-สารกึ่งตัวนำเป็นสิ่งแรก
อุปกรณ์เซมิคอนดักเตอร์ในปี พ.ศ. 2417
- § สามารถใช้เป็น หน้าสัมผัสแก้ไข หรือเป็น โห้มีก ได้
ติดต่อ.
- § การแก้ไขการสัมผัสจะทำให้กระแสไฟฟ้าไหลได้ง่ายในทิศทางเดียวเท่านั้น (เช่น เกต
ของ MESFET)
- § หน้าสัมผัสโห้มีกส่งผ่านกระแสไฟฟ้าในทั้งสองทิศทางโดยแรงดันตกเพียงเล็กน้อย
(เช่น แห่่งที่มาและก่อระบายน้ำของ MESFET)

จุดต่อ pn



- § เกิดขึ้นจากการใส่สารกึ่งตัวนำชนิด p (สารพาที่มีประจุบวก) เข้ากับสารกึ่งตัวนำชนิด n (สารพาที่มีประจุลบ)
- § นี่คือองค์ประกอบสำคัญสำหรับเซมิคอนดักเตอร์ส่วนใหญ่
อุปกรณ์
- § การเพิ่มสารกึ่งตัวนำชนิด p อีกตัวหนึ่งสามารถสร้างทรานซิสเตอร์ไบโพลาร์ pnp ได้ แต่หากใช้รอยต่อ pn จำนวนสามจุด ก็จะสามารถสร้างอุปกรณ์ pnpn ที่เรียกว่า ไทริสเตอร์ได้

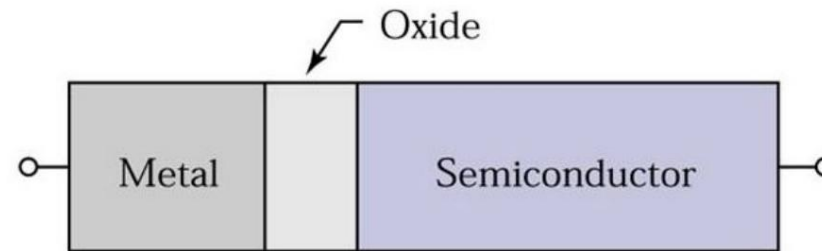
เฮเทอโรจังก์ชัน



§ อินเทอร์เฟซเฮเทอโรจังก์ชันถูกสร้างขึ้นระหว่าง เซมิคอนดักเตอร์สองตัวที่แตกต่างกัน จังก์ชันประเภทนี้เป็นส่วนประกอบสำคัญสำหรับ อุปกรณ์ความเร็วสูงและโฟโตนิกส์

§ (เช่น GaAs และ AlAs ก่อให้เกิดเฮเทอโรจังก์ชัน)

โลหะออกไซด์-เซมิคอนดักเตอร์



- § สารกึ่งตัวนำโลหะออกไซด์มี **ชื่อเสียง**
เรียกว่า โครงสร้าง **MOS**
- § โครงสร้างนี้มักใช้กับรอยต่อ pn สองจุดเพื่อสร้างอุปกรณ์ที่มีชื่อเสียงที่เรียกว่า MOSFET (ทรานซิสเตอร์สนามผล MOS)

วัสดุเซมิคอนดักเตอร์

§ เราอาจจัดกลุ่มวัสดุโซลิดสเตตโดยใช้ค่าการนำไฟฟ้า σ ออกเป็น 3 ประเภท ได้แก่ ฉนวน เซมิคอนดักเตอร์ และตัวนำ

- **ตัวนำ** (สารที่เชื่อมต่อกันเป็นเนื้อเดียว) มีค่าการนำไฟฟ้าสูง (ค่าความนำไฟฟ้า σ) ($10^4 - 10^6 \text{ S/cm}$) เช่น ทองแดง (Cu: จอภาพ) และสีเงิน (Ag: เงิน)
- **เซมิคอนดักเตอร์** (สารกึ่งตัวนำที่สมบูรณ์แบบ) มีค่าการนำไฟฟ้าระหว่างทั้งของฉนวนและของตัวนำ
- **ฉนวน** (ฉนวน) มีค่าการนำไฟฟ้าต่ำมาก (ค่าเหมาะสมสำหรับไฟฟ้า) ($10^{-18} - 10^{-8} \text{ S/cm}$) เช่น ควอตซ์ หรือกระจก.

***ที่อุณหภูมิห้อง T3 อุณหภูมิห้อง

วัสดุเซมิคอนดักเตอร์

§ การนำ **ไฟฟ้า** ของสารกึ่งตัวนำมี **ความละเอียดอ่อน** กับ **อุณหภูมิ แสงสว่าง สนามแม่เหล็ก และ ปริมาณอะตอมของสิ่งเจือปน**

§ ความไวนี้ทำให้เซมิคอนดักเตอร์เป็นหนึ่งใน วัสดุที่สำคัญที่สุดสำหรับงานอิเล็กทรอนิกส์ การประยุกต์ใช้งาน

- แตกต่างจากกระดานศูนย์5องศาสัมบูรณ์5ครีมีกึ่งบริสุทธิ์ส#วนใหญ่# ลายเปกนจนวนไป

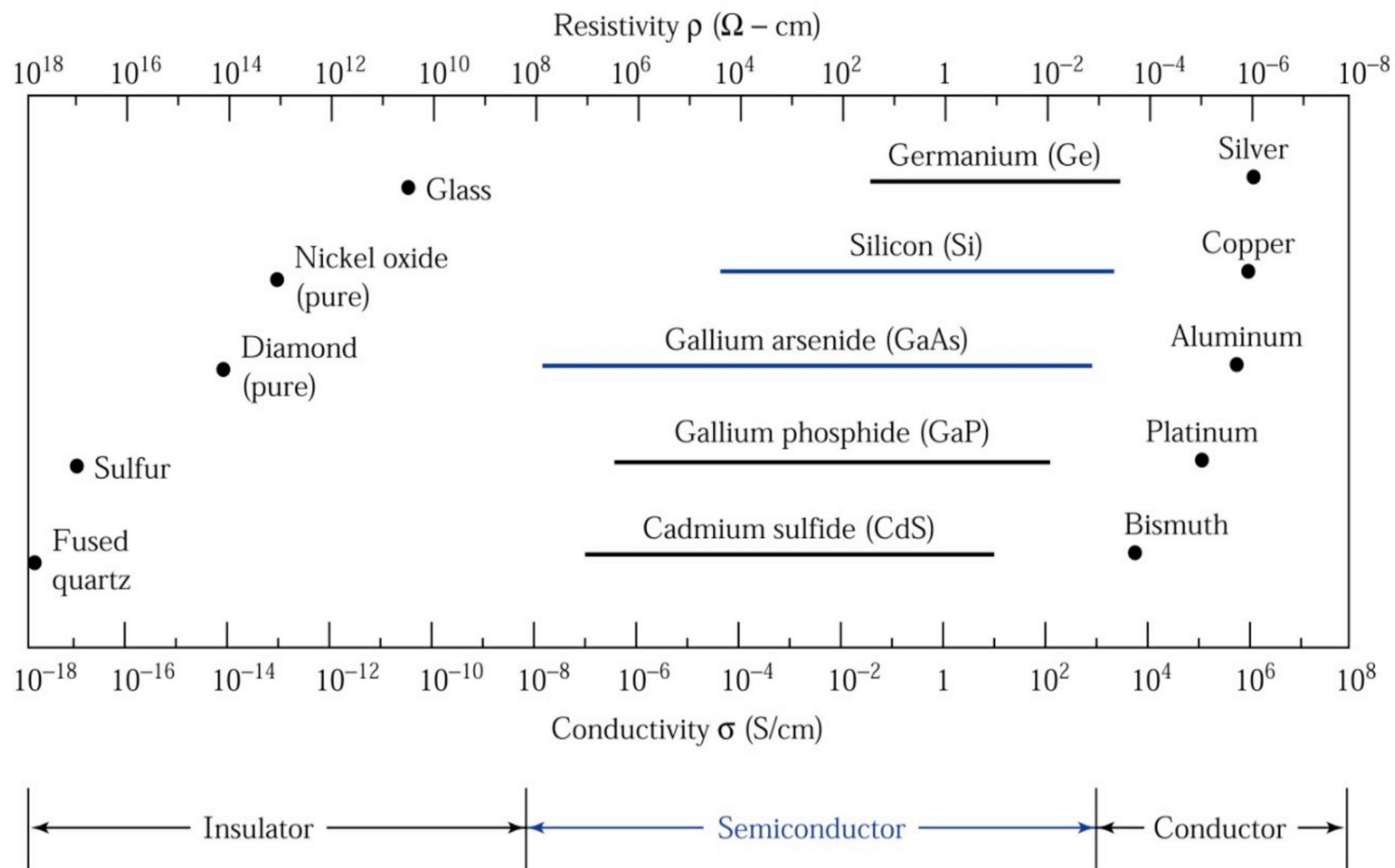
ค#าความต%าทากานของสารกึ่งตัวนำขึ้นกับอุณหภูมีย#างมาก กล#าวคือ อุณหภูมิเซ-อาไกล-ศูนย์5องศาสัมบูรณ์5 จะทำให้

สารกึ่งกลางมีคค่าความ ต-อันทานไฟฟGกราฟฟิคมมาก แตCสารระบบควบคุมที่

ดีจะคค่าลดลงอยแคง ประสิทธิภาพการทำงานต#างๆของสารกึ่งอุตสาหกรรมที่เกี่ยวข้องกับข%องกับกระตุ%น

ของอุณหภูมิจินตนาการ

วัสดุเซมิคอนดักเตอร์



တၢ်တၢ်တၢ်

Period	Column II	III	IV	V	VI
2		B Boron	C Carbon	N Nitrogen	O Oxygen
3	Mg Magnesium	Al Aluminum	Si Silicon	P Phosphorus	S Sulfur
4	Zn Zinc	Ga Gallium	Ge Germanium	As Arsenic	Se Selenium
5	Cd Cadmium	In Indium	Sn Tin	Sb Antimony	Te Tellurium
6	Hg Mercury		Pb Lead		

PERIODIC TABLE OF ELEMENTS



For elements with no stable isotopes, the mass number of the isotope with the longest half-life is in parentheses.

6	57 La Lanthanum 138.91	58 Ce Cerium 140.12	59 Pr Praseodymium 140.91	60 Nd Neodymium 144.24	61 Pm Promethium (145)	62 Sm Samarium 150.36	63 Eu Europium 151.96	64 Gd Gadolinium 157.25	65 Tb Terbium 158.93	66 Dy Dysprosium 162.50	67 Ho Holmium 164.93	68 Er Erbium 167.26	69 Tm Thulium 168.93	70 Yb Ytterbium 173.05	71 Lu Lutetium 174.97
7	89 Ac Actinium (227)	90 Th Thorium 232.04	91 Pa Protactinium 231.04	92 U Uranium 238.03	93 Np Neptunium (237)	94 Pu Plutonium (244)	95 Am Americium (243)	96 Cm Curium (247)	97 Bk Berkelium (247)	98 Cf Californium (251)	99 Es Einsteinium (252)	100 Fm Fermium (257)	101 Md Mendelevium (258)	102 No Nobelium (259)	103 Lr Lawrencium (266)

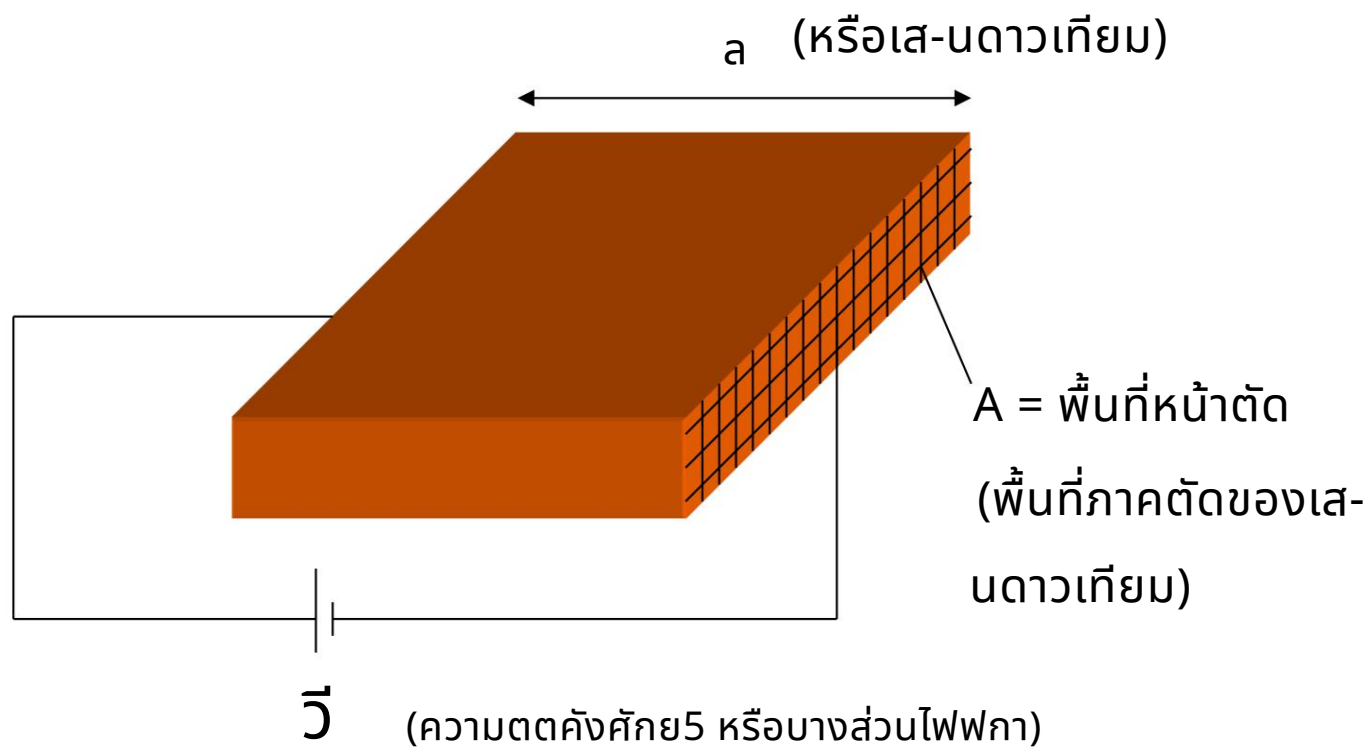
วัสดุเซมิคอนดักเตอร์

- § หากเราดูที่ตารางธาตุ ธาตุเซมิคอนดักเตอร์ เช่น ซิลิคอน (Si) หรือเจอร์เมเนียม (Ge) สามารถพบได้ในคอลัมน์ที่ 4 ของตาราง จากตารางธาตุตามปกติ/า Si และ Ge อยู่/หมู่/ 4
- § ในช่วงต้นทศวรรษปี 1950 Ge ถือเป็นบุคคลที่สำคัญที่สุด วัสดุเซมิคอนดักเตอร์ แต่ตั้งแต่ต้นทศวรรษ 1960 เป็นต้นมา Si มีบทบาทสำคัญและแทนที่ Ge เกือบหมด ในฐานะวัสดุหลักสำหรับวัสดุเซมิคอนดักเตอร์
- แชนรัสทั้งและมีในธรรมชาติมากมายสามารถแยกตามกลุ่ม#มต#ต่างๆ ในตารางธาตุโดย%ตาม
 โรงเรียนที่คล%ายกันกลุ่ม#มที่รู้%จักกันดีโด%แก#หมู่# 4 เช่น C, Si, Ge, Sn, Pb ธาตุ
 มีวาเลนซ์อิเล็กตรอน 4 คน ที่ โครงสร%ไม่نانก็ตกตามแบบเพชร ต้องรอนาน
 และมากและแลกทิสเปGu fcc ๓%ป่วยพื้นฐานจากโกลด์เอล 2 โกลด์ แต่#ละ
 โกลด์จะยึดจับกับอีก 4 โกลด์ข%างเคียงที่อยู่#ไกล%ที่สุด อัจฉริยะเปGu จัตุรมุข

ข้อดีของ Si เมื่อเทียบกับ Ge

- คุณสมบัติที่ดีขึ้นที่อุณหภูมิห้อง
- สามารถปลูก ซิลิกอนไดออกไซด์คุณภาพสูง (SiO_2) ได้ โดยใช้ความร้อน □ **ซิลิกอน** เป็นรอง เพียง ออกซิเจนเท่านั้นในปริมาณมาก □ อุปกรณ์ที่ทำจากซิลิกอนมีราคาถูกกว่า อุปกรณ์อื่นๆ
วัสดุเซมิคอนดักเตอร์
- เทคโนโลยีซิลิกอนถือ เป็น เทคโนโลยีเซมิคอนดักเตอร์ ที่มีความก้าวหน้าที่สุด

ความต้านทานและการเคลื่อนที่



- พิจารณาตัวนำที่มีความยาว ' l ' โดยมีแรงดันไฟฟ้าที่ใช้ ' V '

ความต้านทานและการเคลื่อนที่

- จากกฎของโอห์ม:

$$V = IR \quad (1)$$

ที่ไหน R = ความต้านทาน [Ω -m] (สภาพความต้านทานไฟฟ้า)
 σ = ค่าการนำไฟฟ้า [S/m] = $1/R$ (สภาพที่อาจไฟฟ้า)

$$J = \sigma E \quad (2)$$

โดยที่ $V/l = E$ (สนามไฟฟ้า) พลังงาน แสงอาทิตย์

J = ความหนาแน่นกระแส [A/m^2] ความหนาแน่นกระแส

ความต้านทานและการเคลื่อนที่

- ภายใต้อิทธิพลของสนามไฟฟ้า อิเล็กตรอนจะรับแสง

ฟ คิว อี เอ็ม

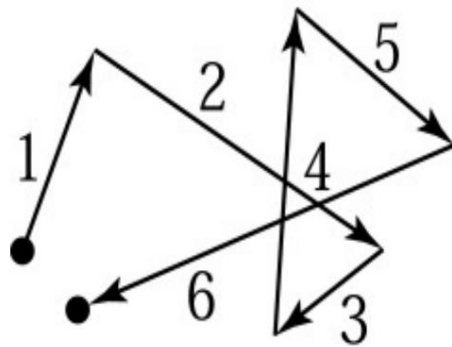
(3)

โดยที่ q = ประจุอิเล็กตรอน = $1.6 \times 10^{-19} \text{ C}$

m = มวลของอิเล็กตรอน

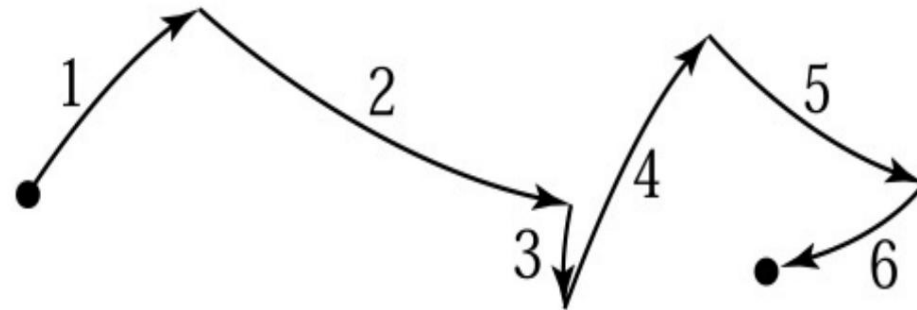
a = ความเร่ง

$$\varepsilon = 0$$



(a)

$$\varepsilon$$



(b)

แผนผังเส้นทางของอิเล็กตรอนในสารกึ่งตัวนำ

(ก) การเคลื่อนที่ของความร้อนแบบสุ่ม

(b) การเคลื่อนที่แบบรวมเนื่องจากการเคลื่อนที่ของความร้อนแบบสุ่มและการประยุกต์ใช้

สนามไฟฟ้า

ความต้านทานและการเคลื่อนที่

- พิจารณาอิเล็กตรอนของสารกึ่งตัวนำเมื่ออยู่ภายในสนามไฟฟ้าสนามไฟฟ้าจะทำให้อิเล็กตรอนเคลื่อนที่ไปด้วยแรงเคลื่อน $-eE$ ขณะเดียวกันอิเล็กตรอนที่เคลื่อนที่ที่จะชนกับตัวกลางที่อยู่นิ่งเกิดแรงเสียดทานขึ้น เราสมมติว่าแรงเสียดทานอยู่ในรูปของ $-m^*v/\tau$ V คือ ความเร็วของอิเล็กตรอน และ τ เป็นค่าคงที่เรียกว่า collision time หรือ life time ของการเคลื่อนที่ จากกฎข้อสองของนิวตัน

จากสมการที่ (3)

$$\frac{m_e^* dv}{dt} = -eE - \frac{m_e^* v}{\tau} \quad (4)$$

m_e^* คือมวลยังผลของอิเล็กตรอน

จะเห็นว่าแรงเสียดทานจะพยายามทำให้ค่าความเร็วของอิเล็กตรอนเป็นศูนย์ เมื่อถึง steady-state ผลรวมของแรงทั้งหมดเป็นศูนย์ หรือ $dv/dt = 0$ สมการ (4) กลายเป็น

$$- \frac{m_e^* v}{\tau} = -eE$$

$$v_D = -\frac{e\tau}{m_e^*} E \quad (5)$$

- ความเร็วของอิเล็กตรอนมีทิศตรงกันข้ามกับสนามไฟฟ้า เนื่องจากประจุของมันเป็นลบนั่นเอง

ความต้านทานและการเคลื่อนที่

- หากไม่มีการใช้สนามไฟฟ้า การเคลื่อนที่แบบสุ่มของอิเล็กตรอนนำไปสู่การเคลื่อนที่สุกสุกเป็นศูนย์ในช่วงระยะเวลาอันยาวนาน
- ระยะทางเฉลี่ยระหว่างการชนเรียกว่าระยะทางเฉลี่ยอิสระ
เส้นทาง ล. (ระยะทางที่มีความเป็นกลาง)
- เวลาเฉลี่ยระหว่างการชนกันเรียกว่า เวลาว่างเฉลี่ย ก -
- เมื่อใช้สนามไฟฟ้า อิเล็กตรอนจะไม่คงที่
ความเร่ง มันเกิดการชนกันซึ่งทำให้มันเคลื่อนที่ด้วยความเร็วเฉลี่ย
ความเร็วที่เรียกว่า “ความเร็วดริฟท์” (ความเร็วลอยเลื่อน) .

ความต้านทานและการเคลื่อนที่

ความเร็วดริฟท์สามารถเขียนเป็น

$$v_{ดริ} = \mu_{ดริ} \quad (6)$$

โดยที่ μ_e = ความคล่องตัวของอิเล็กตรอน [m^2/Vs]
(คครคองตัวของอิเล็กตรอน)

โดยการเคลื่อนย้ายอิเล็กตรอนในตัวนำ จะทำให้กระแสไฟฟ้าแปรผันตามจำนวนอิเล็กตรอนที่ผ่านหนึ่งหน่วยพื้นที่ [m^2] ต่อหนึ่งหน่วยเวลา

เดืออนที่เคลื่อนที่ฟ/หมอนนพื้นที่หนึ่งน/วยต/อหน/วยเวลา

$$J_{ดริ} = n_e v_{ดริ} \quad (7)$$

โดยที่ n_e = จำนวนอิเล็กตรอนอิสระต่อหน่วยปริมาตร
(จำนวนก้าวตตCอหน่วยได้)

ความต้านทานและการเคลื่อนที่

ความเร็วดริฟท์สามารถเขียนเป็น

$$v_d = \frac{a \tau}{\mu_e}$$

$$v_d = \frac{a \tau}{\mu_e}$$

$$v_d = \mu_e E$$

โดยที่ μ_e = ความคล่องตัวของอิเล็กตรอน [m^2/Vs]

a = สัญญาณเร่ง (m/s^2)

- เราสามารถหาความเร็วดริฟท์ บก ได้โดยการคำนวณโมเมนตัม (แรง \times เวลา) ที่ใช้กับอิเล็กตรอนระหว่างมินิฮิสระหว่างการชนกับโมเมนตัมที่อิเล็กตรอนได้รับในช่วงเวลาเดียวกัน ความเท่าเทียมกันนั้นถูกต้องเพราะอยู่ในสถานะคงที่ โมเมนตัมทั้งหมดที่ได้รับระหว่างการชนจะสูญหายไปโคจรตาข่ายในการชนนั้น

ความต้านทานและการเคลื่อนที่

- เมื่อสนามไฟฟ้า E เพิ่มขึ้น v_D ก็เพิ่มขึ้นเช่นกัน ดังนั้น J ก็เพิ่มขึ้นเช่นกัน
- ทำให้ตัวนำมีพฤติกรรมเหมือนสมบรูณ์แบบ
แหล่งที่มา.
- อย่างไรก็ตาม ความเร็ว v_D จะอิ่มตัวถึงค่าสูงสุดที่จำกัดโดยความเร็ว
ความร้อน
- ความเร็ว ความร้อนเฉลี่ย (v_{th}) เหตุผลของอิเล็กตรอนหาได้จาก

ความต้านทานและการเคลื่อนที่

โปรแกรมคำนวณอัตราเร็วเฉลี่ยของอิเล็กตรอน; โดยระบบควบคุม; ทฤษฎีจลนDของกเอช

$$\frac{1}{2} \overline{v^2} = \frac{1}{2} kT$$

$$\overline{v} = \sqrt{\frac{KT}{m}}$$
(8)

ที่ \overline{v} = มวลที่มีประสิทธิภาพของอิเล็กตรอน

k = ค่าคงที่ของโบลต์ซมันน์ = $1.38 \times 10^{-23} \text{ J/K}$

T = อุณหภูมิสัมบูรณ์ (K)

$kT/2$ = พลังงานความร้อนเฉลี่ยของอิเล็กตรอนในมิติเดียว

ความต้านทานและการเคลื่อนที่
 เจ เอ็นคิว

(9)

$$s = \frac{1}{\mu} \quad (10)$$

- โดยที่ Neq = ความหนาแน่นของประจุ

ความต้านทานและการเคลื่อนที่

- ค่าการนำไฟฟ้าขึ้นอยู่กับความหนาแน่นของประจุและความคล่องตัว

- โลหะมีสภาพนำไฟฟ้าสูงเนื่องจากความหนาแน่นของอิเล็กตรอนสูง
แม้ว่าความสามารถในการเคลื่อนที่ ($\mu_{\text{metal}} \sim 10 \text{ cm}^2/\text{Vs}$) จะต่ำ
มากเมื่อเทียบกับเซมิคอนดักเตอร์ ($\mu_{\text{S/C}} \sim 10^3 \text{ cm}^2/\text{Vs}$) ก็ตาม

ความต้านทานและการเคลื่อนที่

ความ คล่องตัวขึ้นอยู่กับเวลาว่างเฉลี่ยระหว่างการชนเป็นเส้นตรง ซึ่งเกิดจากกลไกหลักสองประการ ได้แก่ การกระเจิงของโครงตาข่ายและการกระเจิงของสิ่งเจือปน

- การกระเจิงของโครงตาข่าย เกิดจากการสั่นด้วยความร้อนของอะตอมของโครงตาข่าย ที่อุณหภูมิใดก็ตามที่สูงกว่าศูนย์สัมบูรณ์ **แล้วก็การสแคตเทอริงของแลกทิส**
-

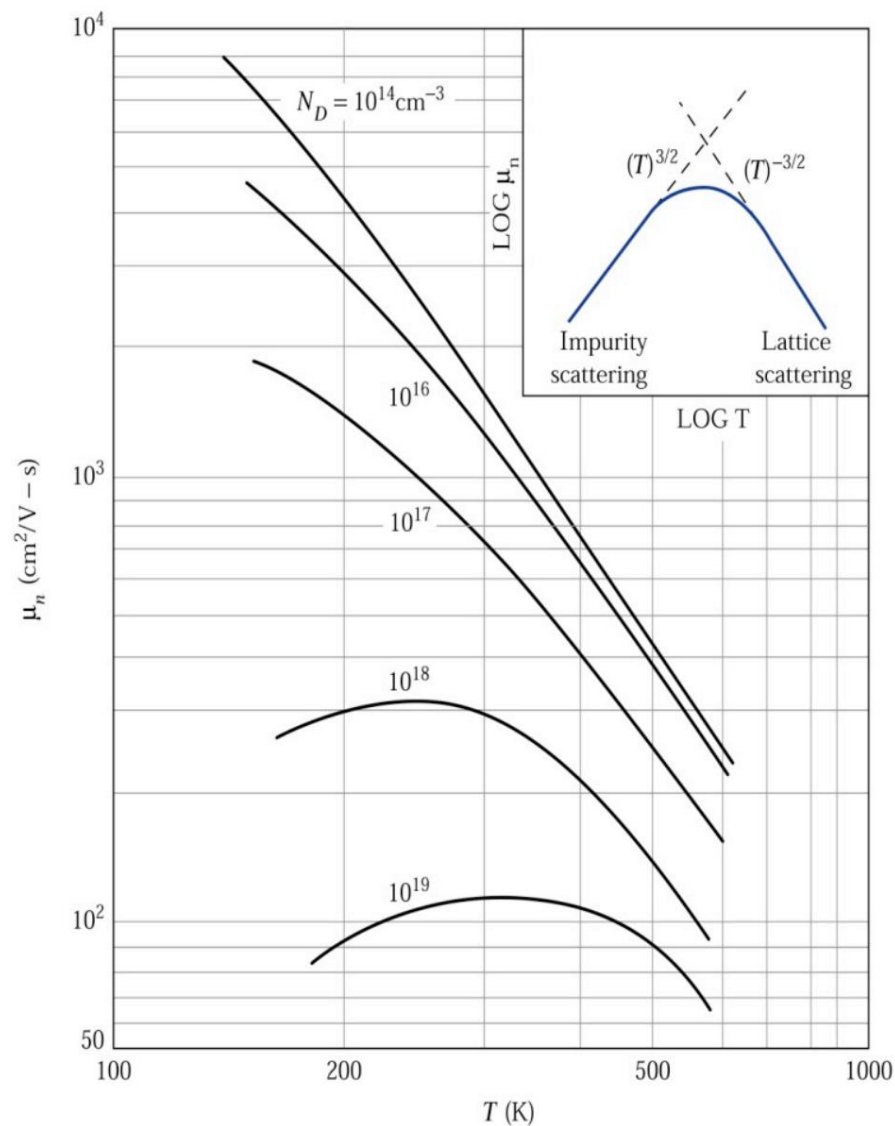
ความต้านทานและการเคลื่อนที่

- เมื่อ อุณหภูมิสูงขึ้น ความ คล่องตัวจะลดลง ซึ่งแสดงให้เห็นว่าความคล่องตัวจะลดลงตามสัดส่วนของ $T^{-3/2}$
- การกระจัดกระจายของสิ่งเจือปน เกิดขึ้นเมื่อมีประจุพาหะผ่านสิ่งเจือปนเจือปนที่แตกตัวเป็นไอออน นีส์แคเทอริงของโกลด์สารเจือไอออนในออสซี
- เรือบรรทุกจะถูกเบี่ยงเบนเนื่องจากคูลอมบ์แรง. ความน่าจะเป็นที่สิ่งเจือปนจะกระจัดกระจายขึ้นอยู่กับ ความเข้มข้นรวมของไอออนในซิ่งเจือปน

ความต้านทานและการเคลื่อนที่

- สำหรับ การกระเจิงของสิ่งเจือปนนั้นต่างจากการกระเจิงของตาข่าย การเคลื่อนที่ เนื่องจาก การกระเจิงของสิ่งเจือปนจะ เพิ่มขึ้น เมื่อ อุณหภูมิสูงขึ้น โกลด์สารเจือที่เติมเซอร์01
ไปในสารกึ่งสาร ณะเพื่อควบคุมหรือปรับปรุงคุณสมบัติของสารเช่นเจือ
 เหล่ไอออนไนซ์H
 อีกครั้งหนึ่งดังนั้นแรงทดสอบคูลอมบH ระหว่กันและโฮลและสารที่ไอออนไนซ์เอช...
 ลอมบHนี้จะให้0 สแตกเทอริงเพื่อตรวจสอบและตรวจสอบคุณสมบัติความเร็วของพาหะที่มีห้องโถง
- การเคลื่อนย้ายในกรณีนี้จะแปรผันเป็น $T^{3/2}/NT$ โดยที่ NT คือความเข้มข้นของสิ่ง
 เจือปนทั้งหมด (ความเข้มข้นของสารเจือที่ไอออนไนซ์Tในส่วนของสารกึ่ง
 ในกรณีนี้)

ความต้านทานและการเคลื่อนที่



$$\frac{1}{\mu_n} = \frac{1}{\mu_L} + \frac{1}{\mu_I} \quad (9)$$

โดยที่ μ_L

= ความคล่องตัวเนื่องจากโครงตาข่าย

การกระจัดกระจาย

μ_I = ความคล่องตัวเนื่องจากการก

กระจายของสิ่งเจือปน

ความต้านทานและการเคลื่อนที่

- ในสารกึ่งตัวนำ ทั้ง อิเล็กตรอน และ โฮล
สนับสนุนให้กระแสไปในทิศทางเดียวกัน

- กระแสโฮลและกระแสอิเล็กตรอนไม่ใช่

เท่าเทียมกันอย่างหลีกเลี่ยงไม่ได้เพราะว่ามันมี ความแตกต่างกัน
มวลชนที่มีประสิทธิภาพ (มวลยังผล)

$$j = n_e e v_{dr} + n_h e v_{dr} = (n_e + n_h) e v_{dr} = n_i e v_{dr} \quad (10)$$

ตัวอย่างที่ 1

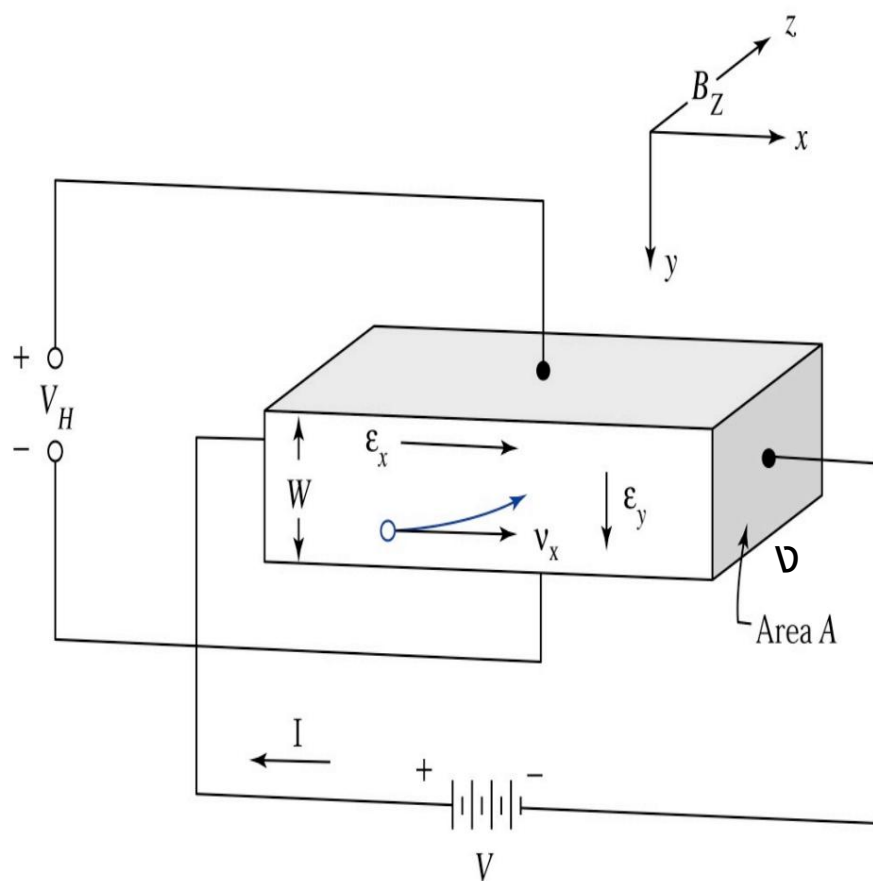
- คำนวณเวลาอิสระเฉลี่ยของอิเล็กตรอนและเส้นทางอิสระเฉลี่ยที่มีการเคลื่อนที่ $1,000 \text{ cm}^2/\text{Vs}$ ที่อุณหภูมิ 300 K สมมติ ว่า $= 0.26m_0$ โดยที่ m_0 = มวลนิ่งของอิเล็กตรอน $= 9.1 \times 10^{-31}$

กก.

ตัวอย่างที่ 2

- ในโลหะ $\mu_e = 5 \times 10^{-3} \text{ m}^2 / (\text{Vs})$ และ $l = 1 \text{ ซม.}$ จ่ายไฟ $V = 10 \text{ โวลต์}$ หาความเร็ว
ดริฟท์ v_D และเปรียบเทียบกับความเร็วความร้อน v_{th} สมมติ ว่า $= 0.26m_0$
โดยที่ $m_0 =$ มวลนิ่งของอิเล็กตรอน $= 9.1 \times 10^{-31} \text{ กก.}$

เอฟเฟกต์ฮอลล์



- สมมติว่าตัวอย่างสารกึ่งตัวนำ

ชนิด np โดยมีสนามไฟฟ้าใช้ทิศทาง x

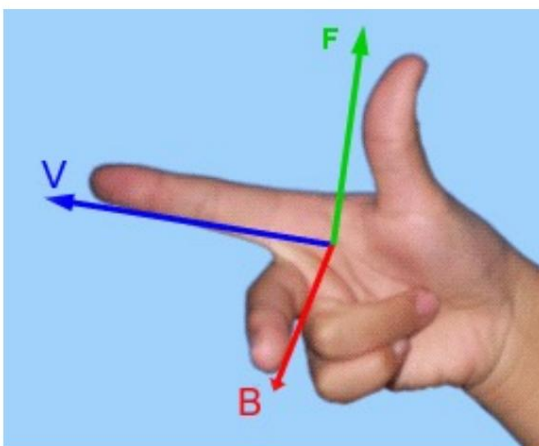
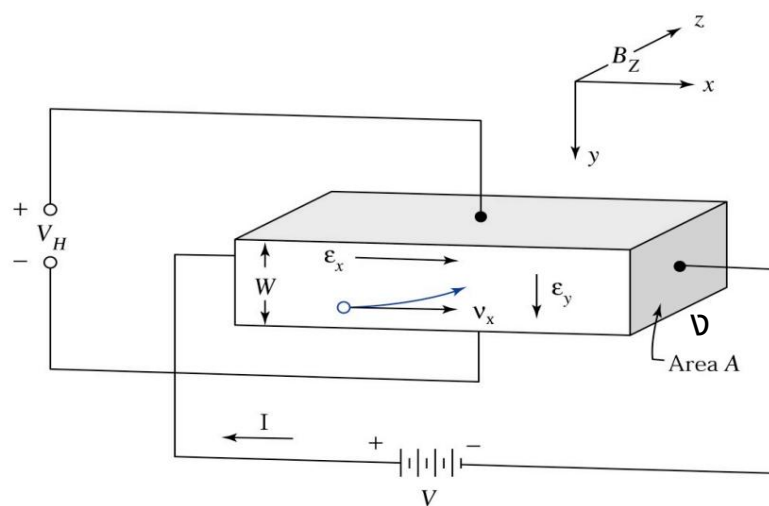
และสนามแม่เหล็กใช้แกน z แรงลอเรนตซ์ q

$v \times B (= q v \times B_z)$ อันเกิดจากสนามแม่

เหล็กจะออกแรงเฉลี่ยขึ้นบนรูที่ไหลใน

ทิศทาง x

เอฟเฟกต์ฮอลล์



- ดังนั้น รูที่ลอยอยู่จะรับแรงขึ้นซึ่งทำให้รูเบี่ยงขึ้น
ไปทางด้านบนของตัวอย่าง และทำให้เกิดการ
สะสมตัวอยู่ตรงนั้น

การกระทำดังกล่าวจะสร้างสนามไฟฟ้า E_H

ในทิศทาง y เรียกว่า “สนามฮอลล์” การ
สร้างสนามไฟฟ้านี้เรียกว่า เอฟเฟกต์ฮอลล์

เอฟเฟกต์ฮอลล์

- การก่อกำเนิดสนามไฟฟ้านี้เป็นที่รู้จัก
เป็น สนามฮอลล์
- ในสถานะคงที่ สนามไฟฟ้าตามแกน y จะสร้างสมดุลกับแรงลอเรนทซ์อย่างแม่นยำ (หรือ
เรียกว่า “สมดุล”) นั่นคือ

$$qE_y = qv_x B_z \quad \text{หรือ} \quad E_y = v_x B_z$$

เอฟเฟกต์ฮอลล์

$$E_H = \frac{1}{en} \left(\frac{1}{e} \frac{dV}{dx} \right) - \frac{1}{en} \left(\frac{1}{e} \frac{dV}{dx} \right)$$

$$E_H = \frac{1}{en} \left(\frac{1}{e} \frac{dV}{dx} \right) - \frac{1}{en} \left(\frac{1}{e} \frac{dV}{dx} \right)$$

$$E_H = \frac{1}{en} \left(\frac{1}{e} \frac{dV}{dx} \right) - \frac{1}{en} \left(\frac{1}{e} \frac{dV}{dx} \right)$$

- ค่าสัมประสิทธิ์ฮอลล์

- ค่าสัมประสิทธิ์ฮอลล์ สำหรับ สารกึ่งตัวนำ

ชนิด n นี้ มี ค่าใกล้เคียง กับค่า สัมประสิทธิ์

ฮอลล์ชนิด p

เว้นแต่จะมี เครื่องหมายตรงข้าม กับ

แถบวาเลนซ์ชนิด n -type จะเป

วายนเครื่องหมายลบ

$$R_H = \frac{1}{en} - \frac{1}{en}$$

คิวนี้น คิว

N_e = จำนวนอิเล็กตรอนอิสระต่อหน่วยปริมาตร
(จำนวนห้องนอนต่อคน)

เอฟเฟกต์ฮอลล์

- มักใช้ปรากฏการณ์ฮอลล์เพื่อแยกแยะตัวอย่างประเภท n จากตัวอย่างประเภท p และยังใช้ในการคำนวณ **ความหนาแน่นของประจุอิสระ** และ **การเคลื่อนที่ของตัวพา** หากทราบค่าการนำไฟฟ้า
- ตัวอย่างเช่น เราทราบว่าแรงดันไฟฟ้าเหนี่ยวนำ V_H ที่เรียกว่า “แรงดันไฟฟ้าฮอลล์” ระหว่างด้านบนและด้านล่างแสดงโดย

วิธีคำนวณ
เอชเอช

เอฟเฟกต์ฮอลล์

- ใช้โวลต์มิเตอร์วัด VH แล้ว

$$I_{\text{ขม}} = \frac{V_{\text{ขม}}}{R}$$

$$J = \frac{I_{\text{ขม}}}{A}$$

$$I_{\text{ขม}} = \frac{V_{\text{ขม}}}{R} = \frac{V_{\text{ขม}}}{\frac{L}{\mu_0 \mu_r N^2}} = \frac{V_{\text{ขม}} \mu_0 \mu_r N^2}{L}$$

$$\frac{V_{\text{ขม}}}{W} = \frac{V_{\text{ขม}}}{L} = \frac{V_{\text{ขม}} \mu_0 \mu_r N^2}{L} = \frac{V_{\text{ขม}} \mu_0 \mu_r N^2}{L}$$

$$J = \frac{I_{\text{ขม}}}{A} = \frac{V_{\text{ขม}} \mu_0 \mu_r N^2}{L A}$$

เอฟเฟกต์ฮอลล์

- หากทราบค่าการนำไฟฟ้า σ การเคลื่อนที่สามารถทำได้พบว่า

$$\begin{aligned}
 \mu_{\text{ฮอลล์}} &= \frac{\sigma}{\mu_{\text{อิเล็กตรอน}}} \\
 \mu_{\text{ฮอลล์}} &= \frac{\sigma}{\mu_{\text{อิเล็กตรอน}}}
 \end{aligned}$$

ตัวอย่างที่ 3

ตัวอย่าง Si ถูกเจือด้วย อะตอมฟอสฟอรัส 10^{16} อะตอมต่อลูกบาศก์ เซนติเมตร จงหาแรงดันไฟฟ้าฮอลล์ในตัวอย่างที่มี $W = 500 \mu\text{m}$, $A = 2.5 \times 10^{-3}$ ลูกบาศก์เซนติเมตร, $I = 1 \text{ mA}$ และ $B_z = 1$ เทสลา

หมายเหตุ: $1 \text{ เทสลา} = 1 \text{ Wb/m}^2 = 10^4 \text{ G}$