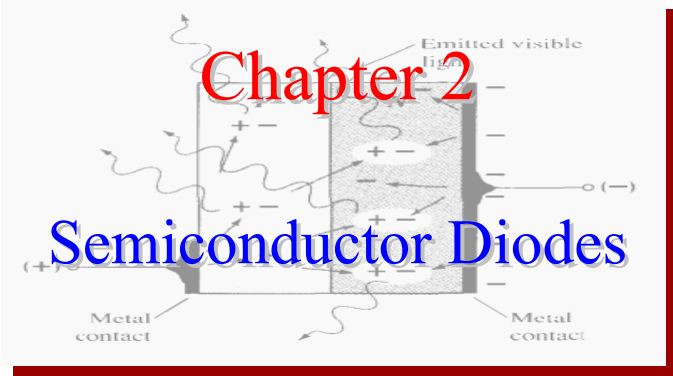


Computer Engineering



Chapter 2

Semiconductor Diodes

Semiconductor 1

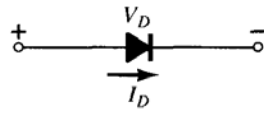
Computer Engineering

เนื้อหา : ไดโอดในอุดมคติ วัสดุกึ่งตัวนำวัสดุอินทรีนซิก วัสดุเอ็กซ์ทรีนซิก รอยต่อพีเอ็น ไดโอดกึ่งตัวนำ ระดับความต้านทานของไดโอด วงจรสมมูลของไดโอด แผ่นแสดงคุณสมบัติของไดโอด ความจุไฟฟ้าช่วงเปลี่ยนและความจุไฟฟ้าแพร่ซึม เวลาฟื้นตัวย้อนกลับ สัญลักษณ์ของไดโอด การทดสอบไดโอด ไดโอดแบบต่างๆ การผลิตอุปกรณ์กึ่งตัวนำ

Semiconductor 2

ไดโอดในอุดมคติ (Ideal Diode)

Diode เป็น Two Terminal Device ประกอบด้วย 2 ขั้ว
คือ แอโนด (Anode, A) และ คาโทด (Cathode, K)

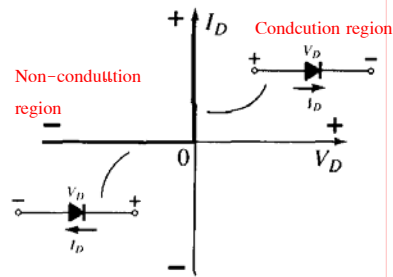


สัญลักษณ์ไดโอดในอุดมคติ

Diode จะนำกระแส (ON) เมื่อมีการไบแอสเดินหน้า (Forward Bias) และจะไม่นำกระแส (OFF) เมื่อมีการไบแอสย้อนกลับ (Reverse Bias)

คุณสมบัติไดโอด

กราฟคุณสมบัติ V-I



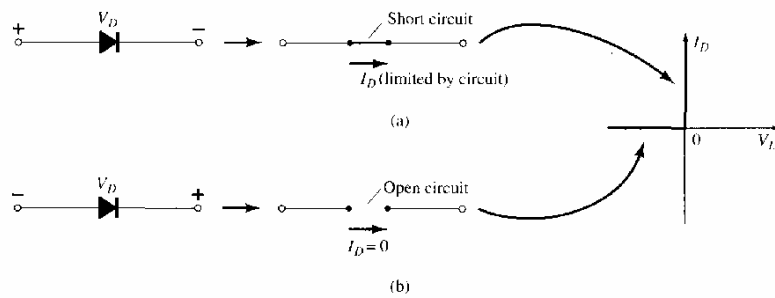
บริเวณนำกระแส (Conduction Region)

$$R_F = \frac{V_F}{I_F} = \frac{0 \text{ V}}{2, 3, \text{ mA}, \dots, \text{ or any positive value}} = 0 \Omega \quad (\text{short circuit})$$

บริเวณนำไม่กระแส (Nonconduction Region)

$$R_R = \frac{V_R}{I_R} = \frac{-5, -20, \text{ or any reverse-bias potential}}{0 \text{ mA}} = \infty \Omega \quad (\text{open-circuit})$$

คุณสมบัติไดโอด เมื่อ ON และ OFF



วัสดุกึ่งตัวนำ (SEMICONDUCTOR MATERIALS)

ความหมายของวัสดุกึ่งตัวนำ (Semiconductor Materials)

กึ่ง (semi-) = ครึ่งหนึ่งหรือกึ่งกลาง

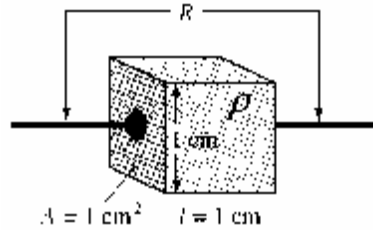
ตัวนำ (conductor) = วัสดุที่ยอมให้กระแสไฟฟ้าไหลผ่านไปได้

ฉนวน (Insulator) = วัสดุที่ไม่ยอมให้กระแสไฟฟ้าไหลผ่าน

วัสดุกึ่งตัวนำ (Semiconductor) = วัสดุที่มี สภาพนำไฟฟ้า (Conductivity) อยู่ก้ำกึ่งระหว่างฉนวนและตัวนำ

สภาพต้านทาน (Resistivity)

ρ (rho) : ระดับความต้านทานของวัสดุ มีหน่วยเป็น Ω -cm



ค่าสภาพต้านทานของวัสดุใดๆ

$$\rho = \frac{RA}{l} = \frac{(\Omega)(\text{cm}^2)}{\text{cm}} \Rightarrow \Omega\text{-cm}$$

วัสดุขนาด กว้าง 1 cm^2 ยาว 1 cm
จะมีความต้านทาน

$$|R| = \rho \frac{l}{A} = \rho \frac{(1 \text{ cm})}{(1 \text{ cm}^2)} = |\rho| \text{ohms}$$

ตารางแสดงค่าสภาพต้านทานของวัสดุ

TABLE 1 Typical Resistivity Values

Conductor	Semiconductor	Insulator
$\rho \approx 10^{-6} \Omega\text{-cm}$ (copper)	$\rho \approx 50 \Omega\text{-cm}$ (germanium) $\rho \approx 50 \times 10^3 \Omega\text{-cm}$ (silicon)	$\rho \approx 10^{12} \Omega\text{-cm}$ (mica)

ทองแดง (Copper) : ตัวนำ ค่าสภาพต้านทาน $10^{-6} \Omega\text{-cm}$

ไมก้า (Mica) : ฉนวน ค่าสภาพต้านทาน $10^{12} \Omega\text{-cm}$

เยอรมันเนียม (Germanium, Ge) : กึ่งตัวนำ ค่าสภาพต้านทาน $50 \Omega\text{-cm}$

และซิลิกอน Silicon (Si) : กึ่งตัวนำ ค่าสภาพต้านทาน $50 \times 10^3 \Omega\text{-cm}$

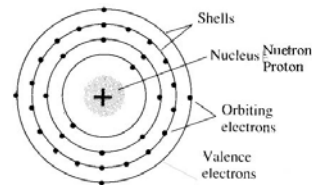
โครงสร้างของอะตอมของวัสดุกึ่งตัวนำ

อะตอมพื้นฐานประกอบด้วย

อิเล็กตรอน (Electron)

โปรตอน (Proton)

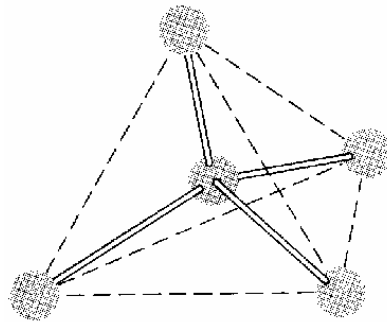
นิวตรอน (Neutron)



โดยที่นิวตรอนและโปรตอนจะอยู่ที่นิวเคลียส

อิเล็กตรอนจะเคลื่อนที่อยู่รอบๆ นิวเคลียส โดยมีวงโคจร (Orbit) ที่แน่นอน

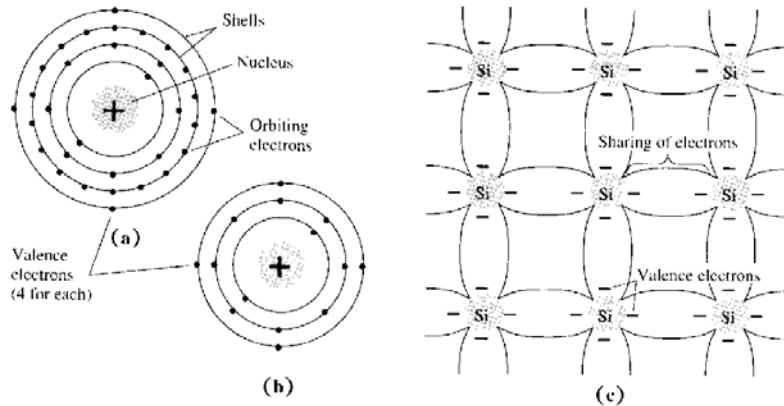
เยอรมันเนียมและซิลิกอนจะมีลักษณะโครงสร้างแบบผลึก (Crystal)



อะตอมเยอรมันเนียมจะมี 32 ออบิตอิเล็กตรอน (Orbit Electron) และมี 4 Valence Electron เรียกว่า เตตระวาเลนซ์ (Tetravalent)

อะตอมซิลิกอนมี 14 ออบิตอิเล็กตรอน) และมี 4 Valence Electron เช่นเดียวกัน

ผลึก Ge และ Si บริสุทธิ์นั้น วาเลนซ์อิเล็กตรอนจะมีพันธะ (bond) ร่วมกับอะตอมที่อยู่ข้างๆ เรียกว่า **พันธะโควาเลนต์ (Covalent Bonding)**



วัสดุอินทรินซิก (Intrinsic Material)

วัสดุกึ่งตัวนำที่มีการผลิตออกมาอย่างพิถีพิถันให้มีความบริสุทธิ์สูงที่สุด เพื่อลดสารเจือปน (Impurities) ให้มีน้อยที่สุดหรือไม่มีเลย

พาหะอินทรินซิก (Intrinsic Carriers)

อิเล็กตรอนอิสระซึ่งทำให้อัตราสามารถนำไฟฟ้าได้ โดยที่

Ge มี Free Electron 2.5×10^{13} อิเล็กตรอนต่อลูกบาศก์เซนติเมตร

Si มี Free Electron 10^{10} อิเล็กตรอนต่อลูกบาศก์เซนติเมตร

* นั่นคือ ปกติ Ge จะนำกระแสดีกว่า Si เล็กน้อย

สัมประสิทธิ์อุณหภูมิเป็นลบ Negative Temperature Coefficient

การเพิ่มอุณหภูมิวัสดุกึ่งตัวนำ Ge และ Si จะเพิ่มอิเล็กตรอนอิสระ ทำให้ค่าความต้านทานลดลง

วัสดุโดยทั่วไป เมื่อเพิ่มอุณหภูมิจะทำให้ความต้านทานเพิ่ม เป็น Positive Temperature Coefficient

วัสดุเอ็กซ์ทรินซิก (EXTRINSIC MATERIALS)

จะเป็นการนำวัสดุกึ่งตัวนำบริสุทธิ์มาทำการ โด๊ป (Dope) ให้มีสารเจือปนที่เหมาะสมผสมอยู่ ทำให้กลายเป็นสารที่ไม่บริสุทธิ์

การโด๊ป (Doping)

การเจือ สารเจือปน ในปริมาณที่แน่นอน (อาจจะเป็น 1 ใน 10 ล้านส่วน) เพื่อเปลี่ยนคุณสมบัติของวัสดุกึ่งตัวนำ

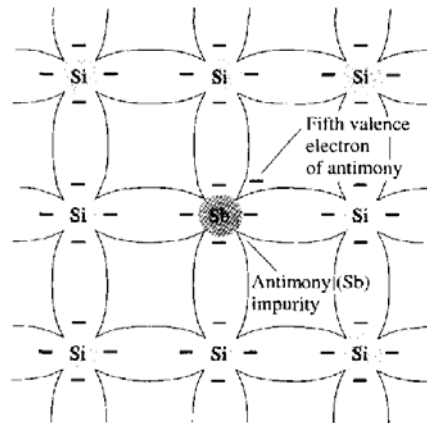
วัสดุวัสดุเอ็กซ์ทรินซิก แบ่งเป็น 2 ประเภท (Type) คือ

วัสดุประเภท n (n-type)

วัสดุประเภท p (p-type)

วัสดุประเภท n (n-type Material)

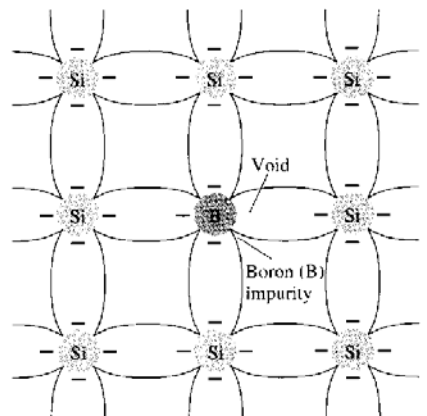
เป็นการนำวัสดุกึ่งตัวนำบริสุทธิ์ มาใส่สารเจือปนที่มี 5 วาเลนซ์อิเล็กตรอน
Pentavalent เช่น antimony(Sb), arsenic (As), และ phosphorus (P)



ในรูป Sb ถูกเรียกว่า **อะตอมผู้ให้ (Donor Atoms)**
เนื่องจากทำให้เกิด
อิเล็กตรอนอิสระที่สามารถหลุด
ออกไปได้

วัสดุประเภท p (p-type Material)

เป็นการนำวัสดุกึ่งตัวนำบริสุทธิ์ มาใส่สารเจือปนที่มี 3 วาเลนซ์อิเล็กตรอน
Pentavalent เช่น Boron (B), Gallium (Ga), และ Indium (In)

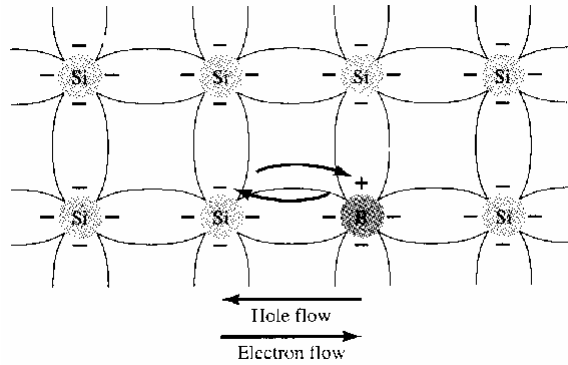


ในรูป B ถูกเรียกว่า **อะตอมผู้รับ (Acceptor Atoms)**
เนื่องจากทำให้เกิดช่องว่าง
(hole) ขึ้นมา

การไหลของอิเล็กตรอนและการไหลของช่องว่าง (Electron versus Hole Flow)

เมื่ออะตอมมีพลังงานจลน์ที่มากพอ จะทำให้อิเล็กตรอนหลุดออกไป เกิดช่องว่างขึ้น อิเล็กตรอนตัวอื่นก็จะเข้ามาแทนที่

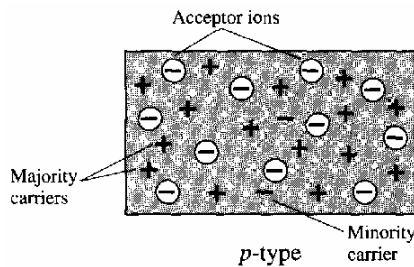
ปรากฏการณ์ดังกล่าวทำให้เป็นการไหลของอิเล็กตรอน หรือช่องว่างในทิศทางตรงกันข้ามกัน



พาหะส่วนใหญ่และพาหะส่วนน้อย (Majority and Minority Carriers)

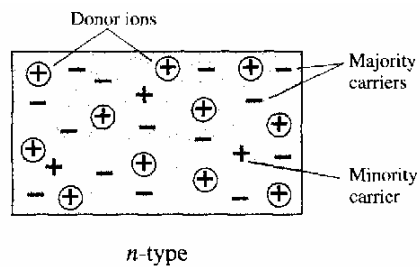
วัสดุกึ่งตัวนำประเภท p

ช่องว่าง เป็น พาหะส่วนใหญ่
อิเล็กตรอน เป็น พาหะส่วนน้อย



วัสดุกึ่งตัวนำประเภท n

อิเล็กตรอน เป็น พาหะส่วนใหญ่
ช่องว่าง เป็น พาหะส่วนน้อย

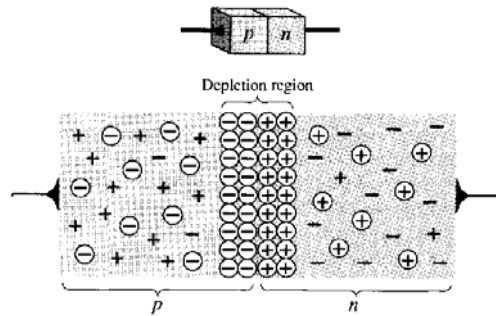


รอยต่อพีเอ็น (pn Junction)

เมื่อวัสดุกึ่งตัวนำประเภท p และ n ถูกนำมาเชื่อมต่อ เข้าด้วยกันจะเกิด รอยต่อพีเอ็น (pn Junction)

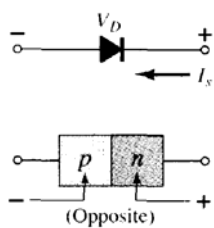
p-type จะมีช่องว่างที่เคลื่อนที่ได้ + และอิเล็กตรอนที่ไม่เคลื่อนที่ \ominus
 n-type จะมีอิเล็กตรอนที่เคลื่อนที่ได้ - และมีช่องว่างที่ไม่เคลื่อนที่ \oplus

พื้นที่บริเวณ
 รอยต่อ เรียกว่า
บริเวณปลอดพาหะ
 (Depletion Region)
 ซึ่งไม่นำกระแส

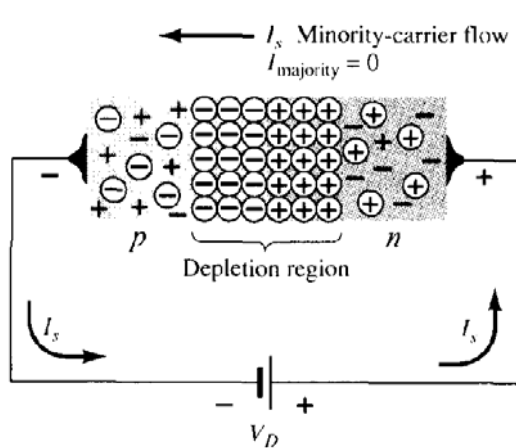


ไดโอดกึ่งตัวนำ (SEMICONDUCTOR DIODE)

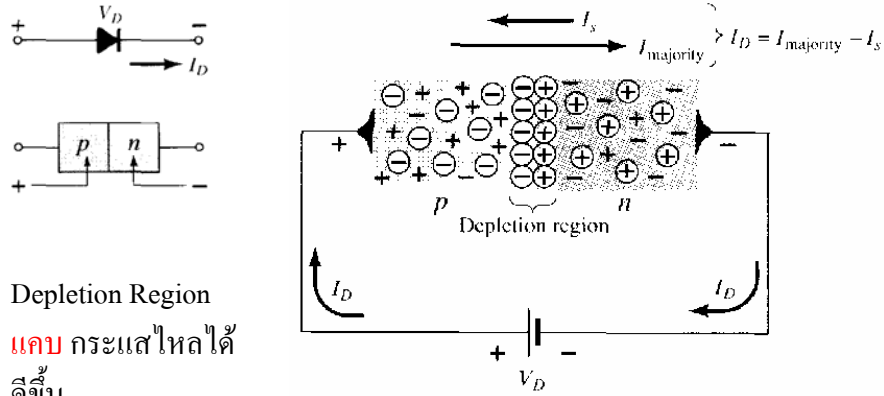
การไบแอสย้อนกลับ (Reverse-Bias)



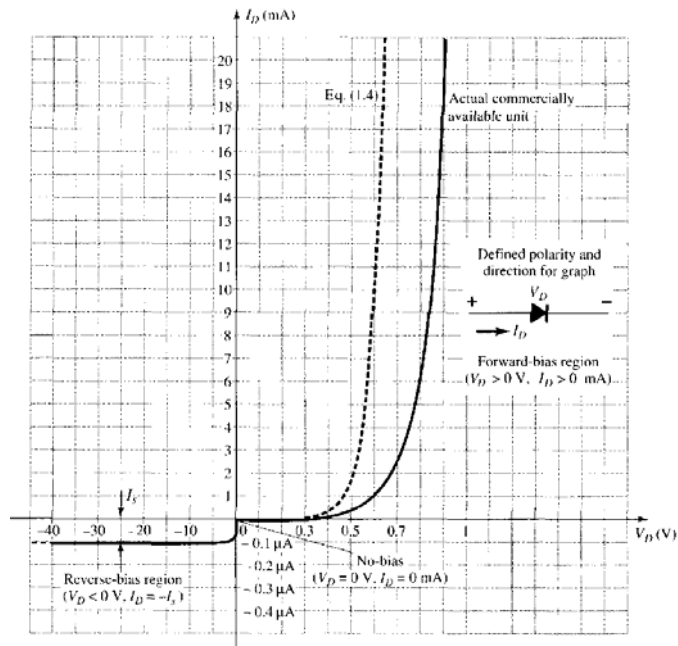
Depletion Region
 กว้าง ด้านการไหล
 ของกระแส



การไบแอสเดินหน้า (Forward-Bias Condition) ($V_D > 0$ V)



ลักษณะสมบัติ
ของไดโอด
กิ่งตัวนำ
แบบซิลิกอน



ลักษณะสมบัติทั่วไปของไดโอดกึ่งตัวนำ สามารถเขียนอยู่ในรูปสมการ

หรือ
$$I_D = I_s(e^{kV_D/T_K} - 1)$$

$$I_D = I_s e^{kV_D/T_K} - I_s$$

โดยที่

I_s = reverse saturation current

$T_K = T_c + 273^\circ\text{C}$

$k = 11,600/\eta$

เมื่อ

T_C เป็นค่าอุณหภูมิที่เป็นเซลเซียส (Celcius),

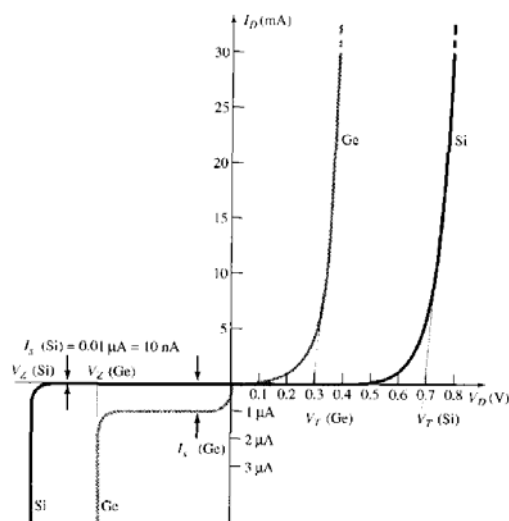
η (eta) = 1 สำหรับ Ge

$\eta = 2$ สำหรับ Si ที่กระแสย่อยๆ และ $\eta = 1$ สำหรับ Si ที่กระแสมากๆ



แรงดันเทอร์สโวลต์ (Threshold Voltage, V_T)

แรงดันเทอร์สโวลต์ เป็นแรงดันไบแอสเดินหน้า ที่ทำให้ไดโอดนำกระแส



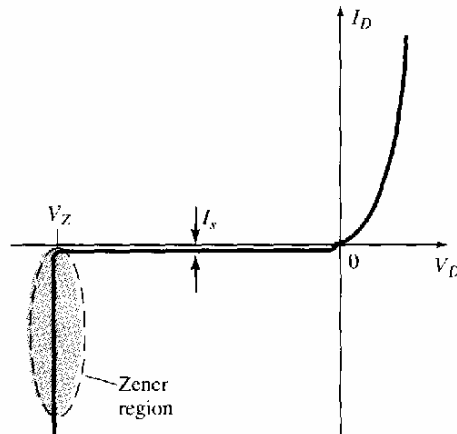
V_T สำหรับ Si = 0.7 V

V_T สำหรับ Ge = 0.3 V



บริเวณซีเนอร์ (Zener Region)

แรงดันย้อนกลับ ที่ทำให้เกิดการเบรกดาวน์ (breakdown) ขึ้น เรียกว่า ศักย์ไฟฟ้าซีเนอร์ (Zener Potential, V_Z)



การเพิ่มระดับการ โด๊ป
(Doping) จะทำให้แรงดัน
 V_Z ลดลง

การเปรียบเทียบคุณสมบัติวัสดุกึ่งตัวนำ Silicon และ Germanium

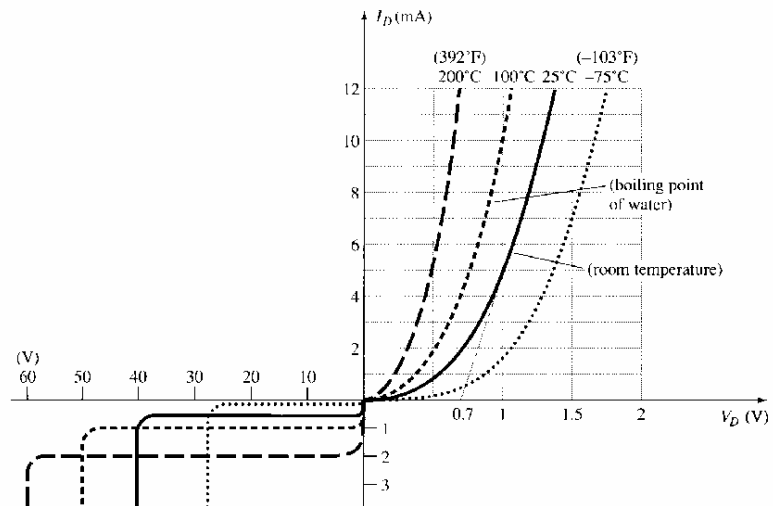
Silicon Diode

- + High PIV (1000 V) and high current rating
- + Wide temperature ranges (about 200 oC)
- + High Threshold Voltage (0.7V)

Germanium Diode

- + Low PIV (400V)
- + Low temperature range (100 oC)
- + Low Threshold Voltage (0.3 V)

ผลกระทบจากอุณหภูมิ (Temperature Effects)



ระดับความต้านทาน (RESISTANCE LEVELS)

ไดโอดเปรียบเสมือนเป็นความต้านทานที่เปลี่ยนแปลงตามแรงดันไบแอส

การวัดค่าความต้านทาน ที่จุดทำงาน (Operating Point) จำแนกออกได้เป็น 3 แบบ คือ

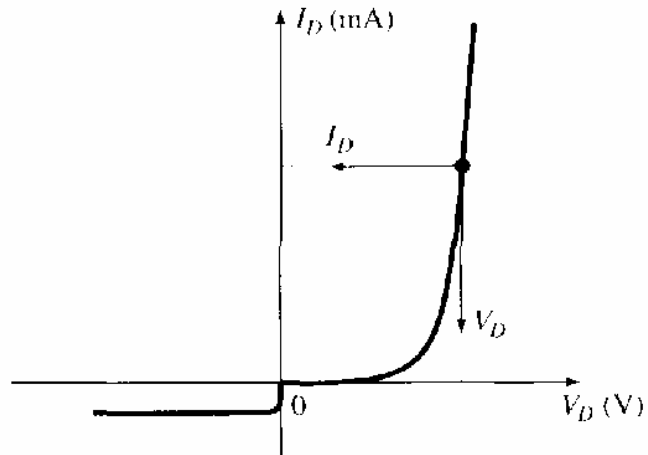
ความต้านทานดีซี (DC Resistance)

ความต้านทานเอซี (AC Resistance)

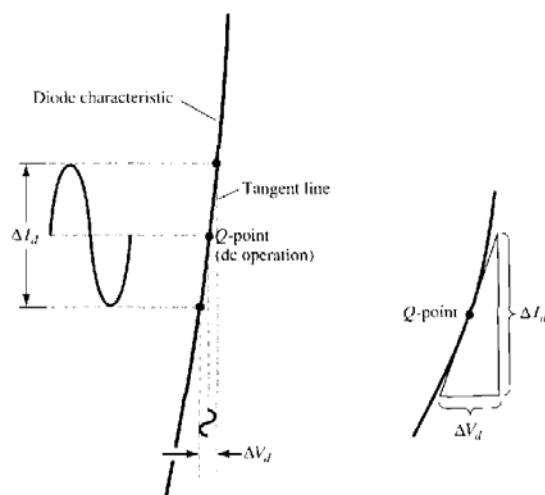
ความต้านทานเอซีเฉลี่ย (Average AC Resistance)

ความต้านทานดีซี (DC Resistance) หรือความต้านทานสถิต
(Static Resistance)

$$R_D = V_D / I_D$$



ความต้านทานเอซี (AC Resistance) หรือความต้านทานพลวัต
(Dynamic Resistance)



$$r_d = \frac{\Delta V_d}{\Delta I_d}$$

การวิเคราะห์หาค่าความต้านทานเอชซีด้วยวิธีการทางคณิตศาสตร์

สมการกราฟคุณสมบัติไดโอด

$$I_D = I_s(e^{kV_D/T_K} - 1)$$

ความชันคืออนุพันธ์ของกราฟ

$$\frac{d}{dV_D}(I_D) = \frac{d}{dV}[I_s(e^{kV_D/T_K} - 1)]$$

และ

$$\frac{dI_D}{dV_D} = \frac{k}{T_K}(I_D + I_s)$$

เมื่อ $I_D \gg I_s$ ดังนั้น

$$\frac{dI_D}{dV_D} \cong \frac{k}{T_K}I_D$$



จาก $\eta = 1$ ของ Ge และ Si สำหรับช่วงกราฟที่มีความลาดชันสูง

$$k = \frac{11,600}{\eta} = \frac{11,600}{1} = 11,600$$

ที่อุณหภูมิห้อง

$$\begin{aligned} T_K &= T_c + 273^\circ \\ &= 25^\circ + 273^\circ \\ &= 298^\circ \end{aligned}$$

ดังนั้น

$$\begin{aligned} k/T_K &= 11,600/298 \\ &\cong 38.93 \end{aligned}$$



จาก

$$\frac{dI_D}{dV_D} = 38.93 I_D$$

จากค่าความต้านทาน $R = V/I$ ดังนั้น

$$\frac{dV_D}{dI_D} \cong \frac{0.026}{I_D}$$

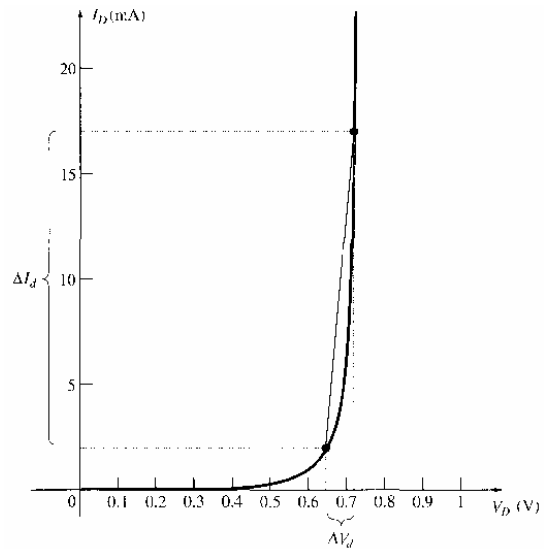
หรือ

$$r_d = \frac{26 \text{ mV}}{I_D} \quad ; \text{ สำหรับ Ge, Si ในช่วง slope ค่าสูง}$$

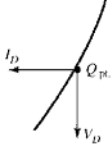
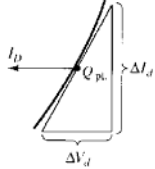
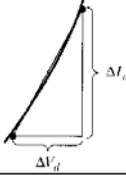


ความต้านทานเอซีเฉลี่ย (Average ac Resistance)

$$R_{av} = \frac{\Delta V_d}{\Delta I_d}$$



ตารางสรุปความต้านทานแบบต่างๆ (Summary Table)

Type	Equation	Special Characteristics	Graphical Determination
DC or static	$R_D = \frac{V_D}{I_D}$	Defined as a point on the characteristics	
AC or dynamic	$r_d = \frac{\Delta V_D}{\Delta I_D} = \frac{26 \text{ mV}}{I_D}$	Defined by a tangent line at the Q-point	
Average ac	$r_{av} = \frac{\Delta V_D}{\Delta I_D} \Big _{pt. \text{ to } pt.}$	Defined by a straight line between limits of operation	

วงจรมมูลของไดโอด (DIODE EQUIVALENT CIRCUITS)

วงจรมมูล (Equivalent Circuit) คือ การนำองค์ประกอบต่างๆ ที่ได้เลือกสรรอย่างเหมาะสมมาประกอบกันเพื่อใช้แทนคุณลักษณะของอุปกรณ์จริง เพื่อให้ง่ายต่อการวิเคราะห์

วงจรมมูลของไดโอด แยกออกได้เป็น 3 แบบ คือ

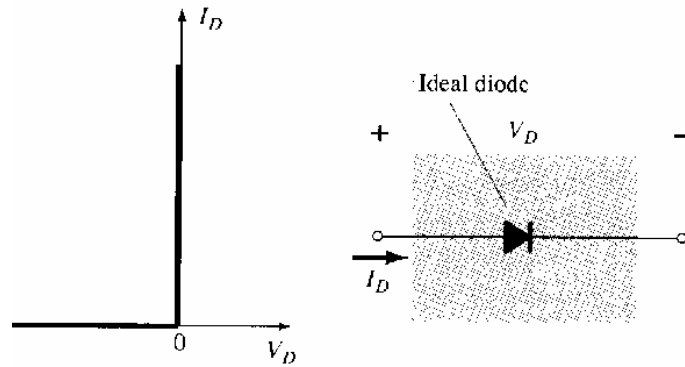
วงจรมมูลของไดโอดแบบอุดมคติ (Ideal Equivalent Circuit)

วงจรมมูลอย่างง่าย (Simplified Equivalent Circuit)

วงจรมเชิงเส้นส่วนย่อย (Piecewise-Linear Equivalent Circuit)

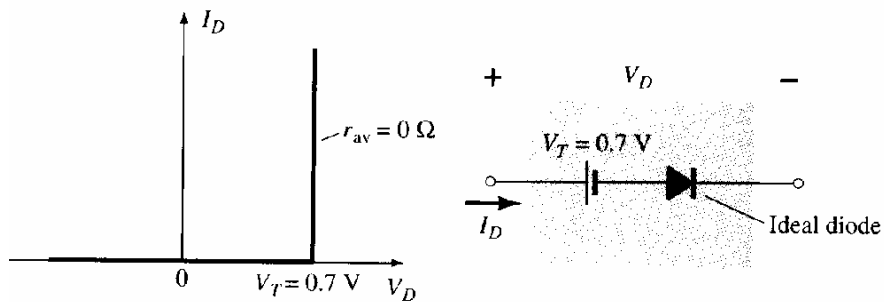
วงจรมมูลของไดโอดแบบอุดมคติ

เป็นแบบที่วิเคราะห์ง่ายที่สุด แต่ต่างจากความจริงในทางปฏิบัติมากที่สุด มีการใช้ในการวิเคราะห์วงจรมากที่สุด



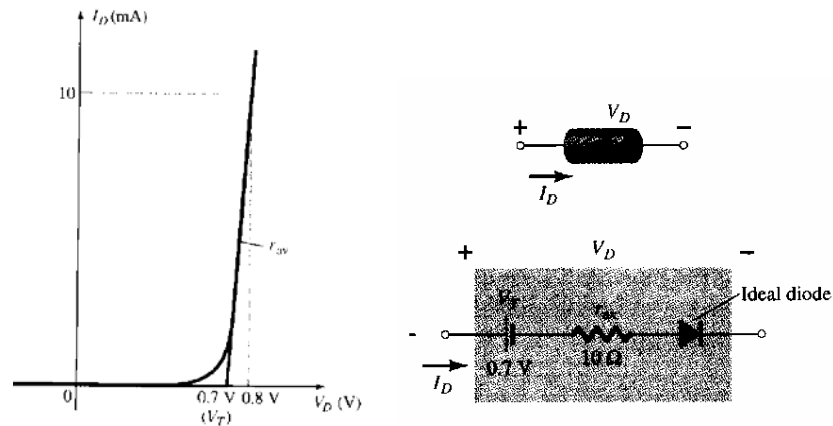
วงจรมมูลอย่างง่าย (Simplified Equivalent Circuit)

ความใกล้เคียงวงจรไดโอดจริงกว่าแบบ Ideal



วงจรสมมูลแบบเส้นตรงส่วนย่อย (Piecewise-Linear Equivalent Circuit)

มีคุณลักษณะที่ใกล้เคียงคุณลักษณะจริงของไดโอดมากที่สุด



แผ่นแสดงคุณสมบัติของไดโอด

(DIODE SPECIFICATION SHEETS)

คุณสมบัติไดโอดที่สำคัญ :

1. แรงดันเดินหน้า (forward voltage, V_F)
2. กระแสเดินหน้าสูงสุด (maximum forward current, I_F)
3. กระแสอิ่มตัวย้อนกลับ (reverse saturation current I_R)
4. อัตราแรงดันย้อนกลับ (reverse-voltage rating) PIV or PRV) หรือ Breakdown Voltage, $V_{(BR)}$
5. ระดับการสูญเสียพลังงานเป็นความร้อนสูงสุด (maximum power dissipation level)
6. ระดับความจุไฟฟ้า (Capacitance level)
7. เวลาฟื้นตัวย้อนกลับ (Reverse recovery time, t_{rr})
8. ช่วงอุณหภูมิใช้งาน (Operating temperature range)

DIFFUSED SILICON PLANAR

BV ... 125 V (MIN) @ 100 μ A (BAY73)
BV ... 200 V (MIN) @ 100 μ A (BA129)

ABSOLUTE MAXIMUM RATINGS (Note 1)

Temperatures
 Storage Temperature Range: -65°C to +200°C
 Maximum Junction Operating Temperature: +175°C
 Lead Temperature: +260°C

Power Dissipation (Note 2)
 Maximum Total Power Dissipation at 25°C Ambient: 500 mW
 Linear Power Derating Factor (from 25°C): 3.33 mW/°C

Maximum Voltage and Currents
 Working Inverse Voltage: BAY73 100 V, BA129 180 V
 I_{AV} Average Rectified Current: 200 mA
 I_{FM} Continuous Forward Current: 500 mA
 I_{PR} Peak Repetitive Forward Current: 600 mA
 I_{FSM} Peak Forward Surge Current: Pulse Width = 1 μ s, 1.0 A, 4.0 A

DO-35 OUTLINE

NOTES:
 1. Copper clad metal leads, tin plated.
 2. Gold plated leads available.
 3. Intermittently wetted gold package.
 Package weight is 0.114 gram.

ELECTRICAL CHARACTERISTICS (25°C Ambient Temperature unless otherwise noted)

SYMBOL	CHARACTERISTIC	BAY73		BA129		UNITS	TEST CONDITIONS
		MIN	MAX	MIN	MAX		
V_F	Forward Voltage	0.85	1.00			V	$I_F = 200$ mA
		0.81	0.94			V	$I_F = 100$ mA
		0.78	0.88	0.78	1.00	V	$I_F = 50$ mA
		0.69	0.80	0.69	0.83	V	$I_F = 10$ mA
		0.67	0.75			V	$I_F = 5.0$ mA
I_R	Reverse Current	0.60	0.68	0.60	0.71	μ A	$V_R = 10$ V, $T_A = 25^\circ$ C
				0.51	0.60	μ A	$V_R = 30$ V, $T_A = 125^\circ$ C
						μ A	$V_R = 100$ V, $T_A = 125^\circ$ C
BV	Breakdown Voltage	125		200		V	$I_R = 100$ μ A
C	Capacitance	8.0		6.0		pF	$V_B = 0$, $f = 1.0$ MHz
t_{rr}	Reverse Recovery Time	3.0				μ s	$I_F = 10$ mA, $V_R = 35$ V, $R_s = 1.0$ to 100 Ω , $C_s = 10$ pF, JAIN 256

NOTES:
 1. These ratings are limiting values above which the serviceability of the device may be impaired.
 2. These are steady state limits. The factory should be consulted for applications involving pulsed or low duty cycle operation.

Semiconductor
41

ความจุไฟฟ้าช่วงเปลี่ยนและความจุไฟฟ้าแพร่ซึม (TRANSITION AND DIFFUSION CAPACITANCE)

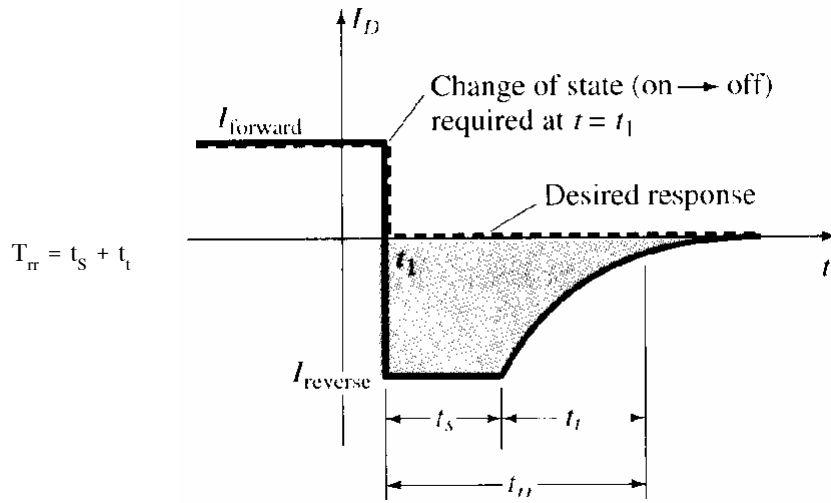
วงจรมุมมอด

Reverse-bias (C_T)

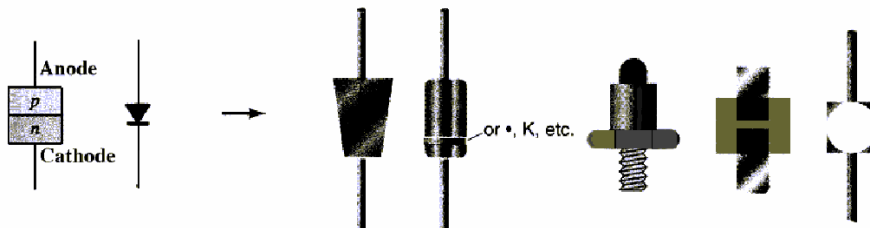
Forward-bias (C_D)

Semiconductor
42

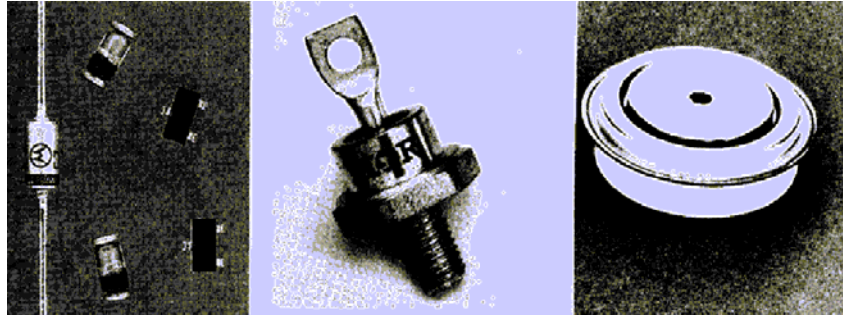
เวลาฟื้นตัวย้อนกลับ (REVERSE RECOVERY TIME)



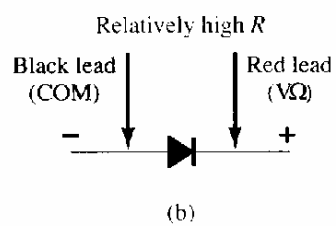
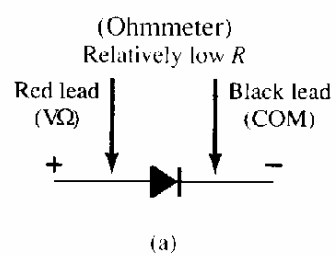
สัญลักษณ์ของไดโอด



ลักษณะไดโอด



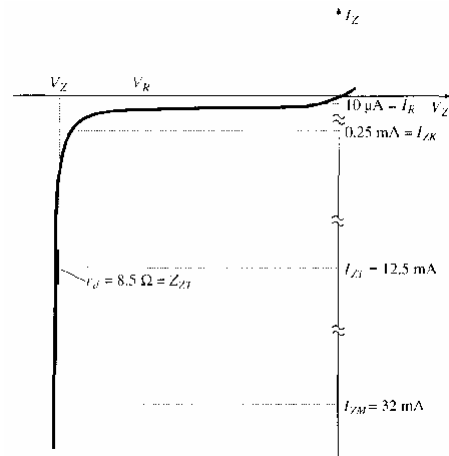
การทดสอบไดโอด (DIODE TESTING)



ไดโอดแบบอื่นๆ

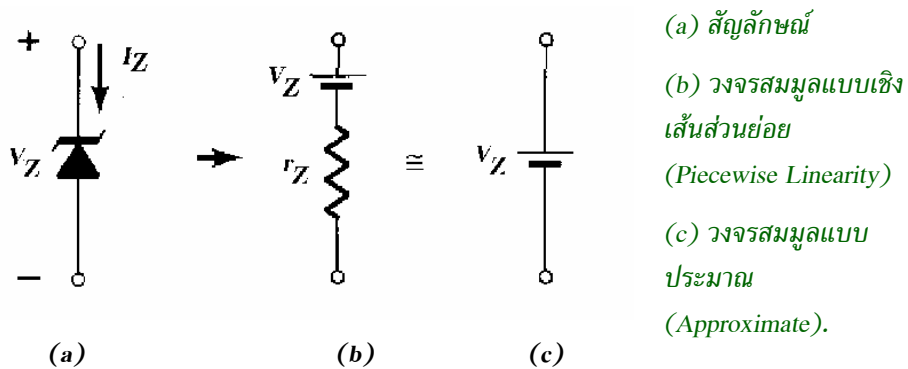
ซีเนอร์ไดโอด (ZENER DIODES)

เป็นการใช้ประโยชน์ของการ
มี Zenor Region
โดยมีการควบคุม
ปริมาณของสารเจือปน
(Impurity) ทำให้สามารถ
กำหนดจุดตำแหน่งเบรค
ดาวน์ ของไดโอดเมื่อมีการ
ป้อนแรงดันย้อนกลับได้ตาม
ต้องการ



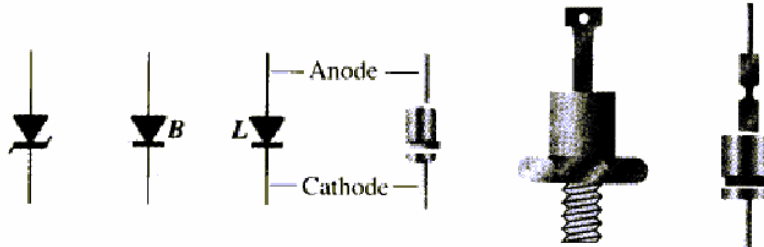
วงจรสมมูลของซีเนอร์ไดโอด

ซีเนอร์ไดโอดจะมีคุณสมบัติทุกอย่างเหมือนไดโอดปกติ นั่นคือ
จะนำกระแสเมื่อมีการไบแอสเดิหน้า แต่ในกรณีป้อนแรงดันย้อนกลับ ซี
เนอร์ไดโอดจะกลับมานำกระแสอีก เมื่อแรงดันย้อนกลับถึง V_Z



- (a) สัญลักษณ์
- (b) วงจรสมมูลแบบเชิงเส้นส่วนย่อย (Piecewise Linearity)
- (c) วงจรสมมูลแบบประมาณ (Approximate).

สัญลักษณ์ โครงสร้างและการกำหนดขั้วซีเนอร์ไดโอด



ไดโอดเปล่งแสง (LIGHT-EMITTING DIODES, LED)

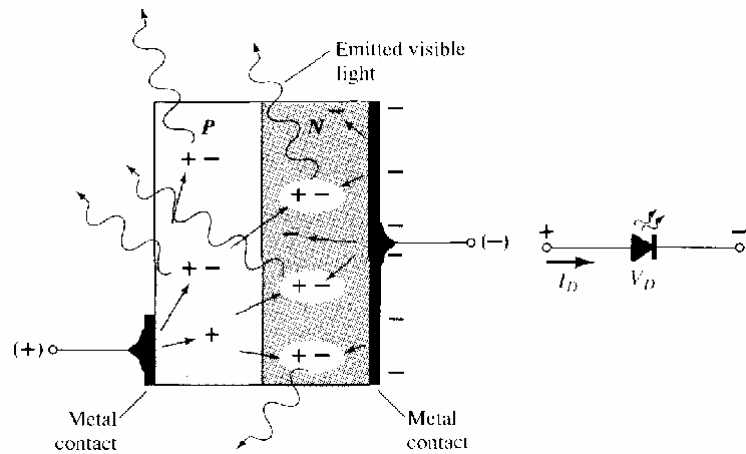
เมื่อมีการไบแอสเดินหน้า ที่รอยต่อ p-n จะมีการรวมกันของช่องว่าง (holes) และอิเล็กตรอน (electrons) ทำให้เกิดการปลดปล่อยพลังงานออกมา

ไดโอด ปกติ (Si, Ge) : จะปล่อยพลังงานออกมาในรูปของความร้อน

LED กัลเลียมอาเซไนด์ฟอสไฟต์ (Gallium Arsenide Phosphide, GaAsP) หรือ กัลเลียมฟอสไฟต์ (Gallium Phosphide, GaP) : จะปล่อยโฟตอน (Photons) ออกมา ทำให้เห็นเป็นแสงสว่างขึ้น

กระบวนการที่ทำให้มีการเปล่งแสงออกมา จากการใส่พลังงานไฟฟ้าเข้าไป เรียกว่า การเปล่งแสงด้วยไฟฟ้า (Electroluminescence)

กระบวนการเปล่งแสงด้วยไฟฟ้า (Electroluminescence) และสัญลักษณ์ LED



ลักษณะสมบัติของไดโอดเปล่งแสง

พิกัดอัตราสูงสุดในการใช้งาน

Absolute Maximum Ratings at $T_A = 25^\circ\text{C}$

Parameter	High Eff. Red 4160	Units
Power dissipation	120	mW
Average forward current	20 ^[1]	mA
Peak forward current	60	mA
Operating and storage temperature range	-55°C to 100°C	
Lead soldering temperature [1.6 mm (0.063 in.) from body]	230°C for 3 seconds	

[1] Derate from 50°C at 0.2 mA/°C.

หมายเหตุ เนื่องจาก LED ไม่ได้ผลิตจาก Silicon ดังนั้น V_T (V_F) จึงไม่ใช่ 0.7 V แต่ เป็น
ประมาณ 2 V

คุณสมบัติ
ทางไฟฟ้า
และแสง

Electrical/Optical Characteristics at $T_A = 25^\circ\text{C}$

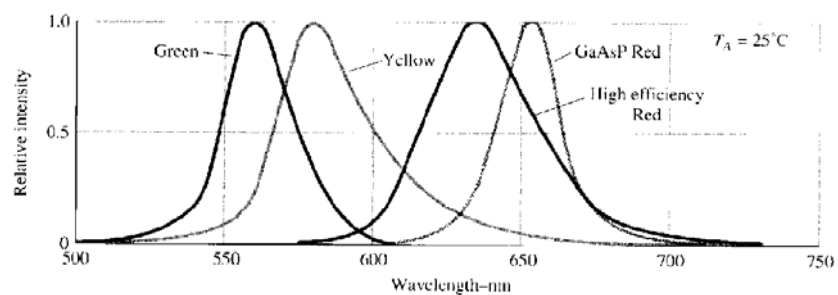
Symbol	Description	High Eff. Red 4160			Units	Test Conditions
		Min.	Typ.	Max.		
I_V	Axial luminous intensity	1.0	3.0		mcd	$I_F = 10\text{ mA}$
$2\theta_{1/2}$	Included angle between half luminous intensity points		80		deg.	Note 1
λ_{peak}	Peak wavelength		635		nm	Measurement at peak
λ_d	Dominant wavelength		628		nm	Note 2
τ_r	Speed of response		90		ns	
C	Capacitance		11		pF	$V_F = 0; f = 1\text{ Mhz}$
θ_{JC}	Thermal resistance		120		$^\circ\text{C/W}$	Junction to cathode lead at 0.79 mm (.031 in) from body
V_F	Forward voltage		2.2	3.0	V	$I_F = 10\text{ mA}$
BV_R	Reverse breakdown voltage	5.0			V	$I_R = 100\ \mu\text{A}$
η_v	Luminous efficacy		147		lm/W	Note 3

NOTES:

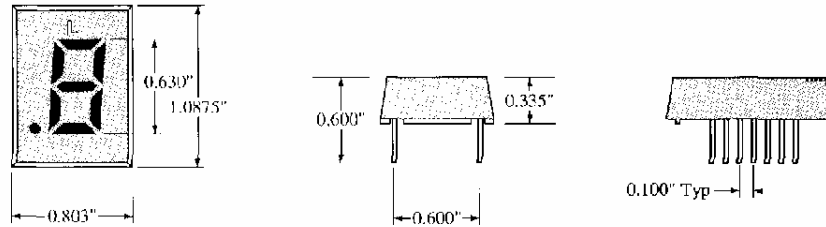
- $\theta_{1/2}$ is the off-axis angle at which the luminous intensity is half the axial luminous intensity.
- The dominant wavelength, λ_d , is derived from the CIE chromaticity diagram and represents the single wavelength that defines the color of the device.
- Radiant intensity, I_r , in watts/steradian, may be found from the equation $I_r = I_v/\eta_v$, where I_v is the luminous intensity in candelas and η_v is the luminous efficacy in lumens/watt.



ความเข้มของแสงที่ความยาวคลื่นต่าง ๆ ของ LED ต่างชนิดกัน



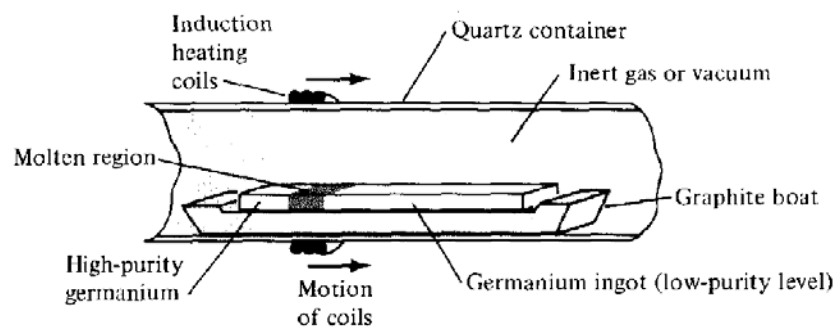
7 ซีกเมนต์ (Seven Segment Display)



การผลิตอุปกรณ์กึ่งตัวนำ (Semiconductor Device)

การทำให้วัสดุกึ่งตัวนำบริสุทธิ์

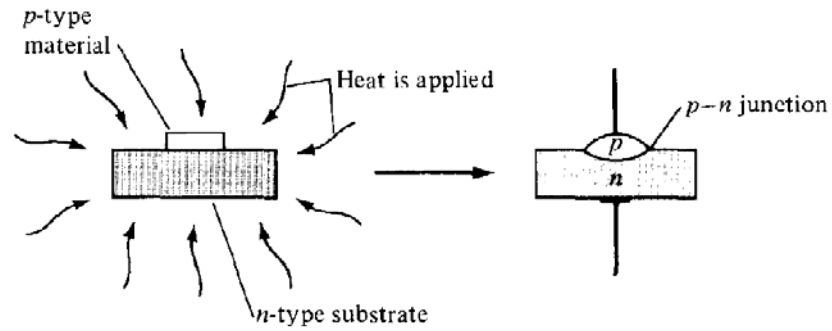
วัสดุที่จะมาทำ อุปกรณ์กึ่งตัวนำต้องมีความบริสุทธิ์ โดยมีสารเจือปนน้อยกว่า 1 ใน พันล้าน (one billion, 1 in 1,000,000,000)



กระบวนการทำให้บริสุทธิ์เป็นส่วน (Zone-refining Process)

การสร้างรอยต่อ p-n

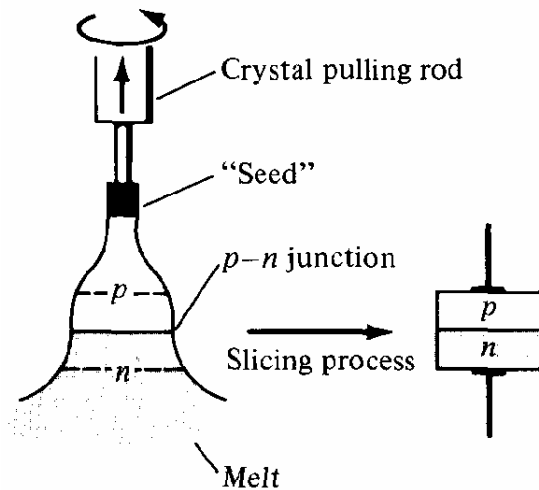
การหลอมผสม (Alloy)



ข้อดี I_{dmax} สูงมาก แรงดันผันกลับค่ายอด (PIV) ที่สูงมาก
 ข้อเสีย พื้นที่ของรอยต่อที่กว้าง ทำให้ Junction Capacitance สูง ส่งผลต่อ
 การใช้งานความถี่สูงได้ไม่ดี



การปลูกรอยต่อ (Grown Junction)



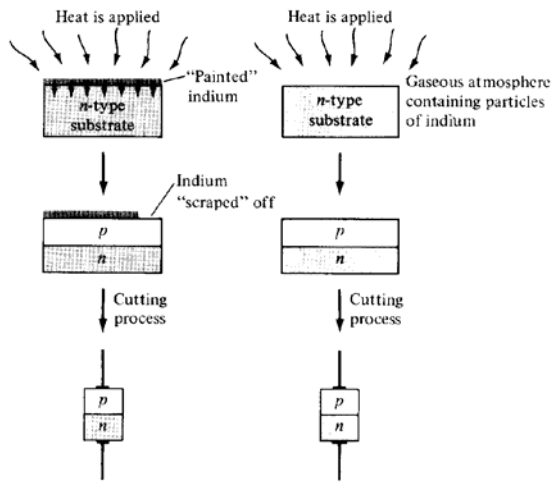
ได้รอยต่อ p-n ที่มีขนาด กว้าง
 สามารถตัดแบ่งออกเป็นไดโอด
 ได้จำนวนมาก

ถ้าพื้นที่หน้าตัดกว้าง I_{Dmax} จะสูง
 แต่การตอบสนองความถี่ จะต่ำ

ถ้าพื้นที่หน้าตัดแคบ I_{Dmax} จะต่ำ
 แต่การตอบสนองความถี่ จะสูง



การแพร่ซึม (Diffusion)



มีค่าใช้จ่ายที่ถูกลงและควบคุมคุณสมบัติได้แม่นยำ

(a) Solid diffusion

(b) Gaseous Diffusion



แบบหน้าสัมผัสจุด (Point Contact)

ใช้ลวด Phosphorbronze เส้นเล็ก ๆ ตะโพนที่ฐานรองประเภท n (n-type substrate)

จากนั้นผ่านกระแสสูงๆ ในช่วงเวลาสั้นๆ ความร้อนที่หน้าสัมผัส ทำให้มีการหลอมรวมเป็นชั้นของ p-type ขึ้นมา

