

CS121 Digital Logic and Smart Device

Chapter 2

Semiconductor



By Dr. Paween Khoenkaw
Computer Science MJU



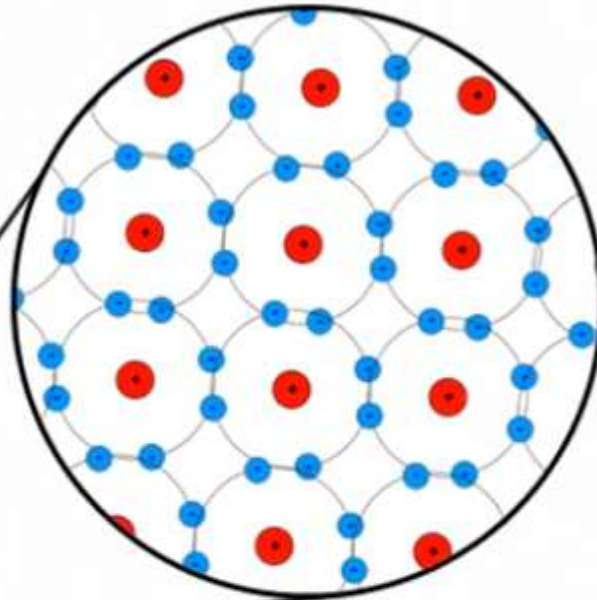
- สารกึ่งตัวนำ (Semiconductor)
- ไดโอด (Diode)
- ไบโพลาร์ทรานซิสเตอร์ (BJT)
- วงจรสวิตช์ (Switching)



การนำไฟฟ้าของวัสดุ

- ฉนวน (ไม่นำไฟฟ้า)
- ตัวนำ (นำไฟฟ้าได้)
- กึ่งตัวนำ (นำไฟฟ้าได้ในบางสถานการณ์)

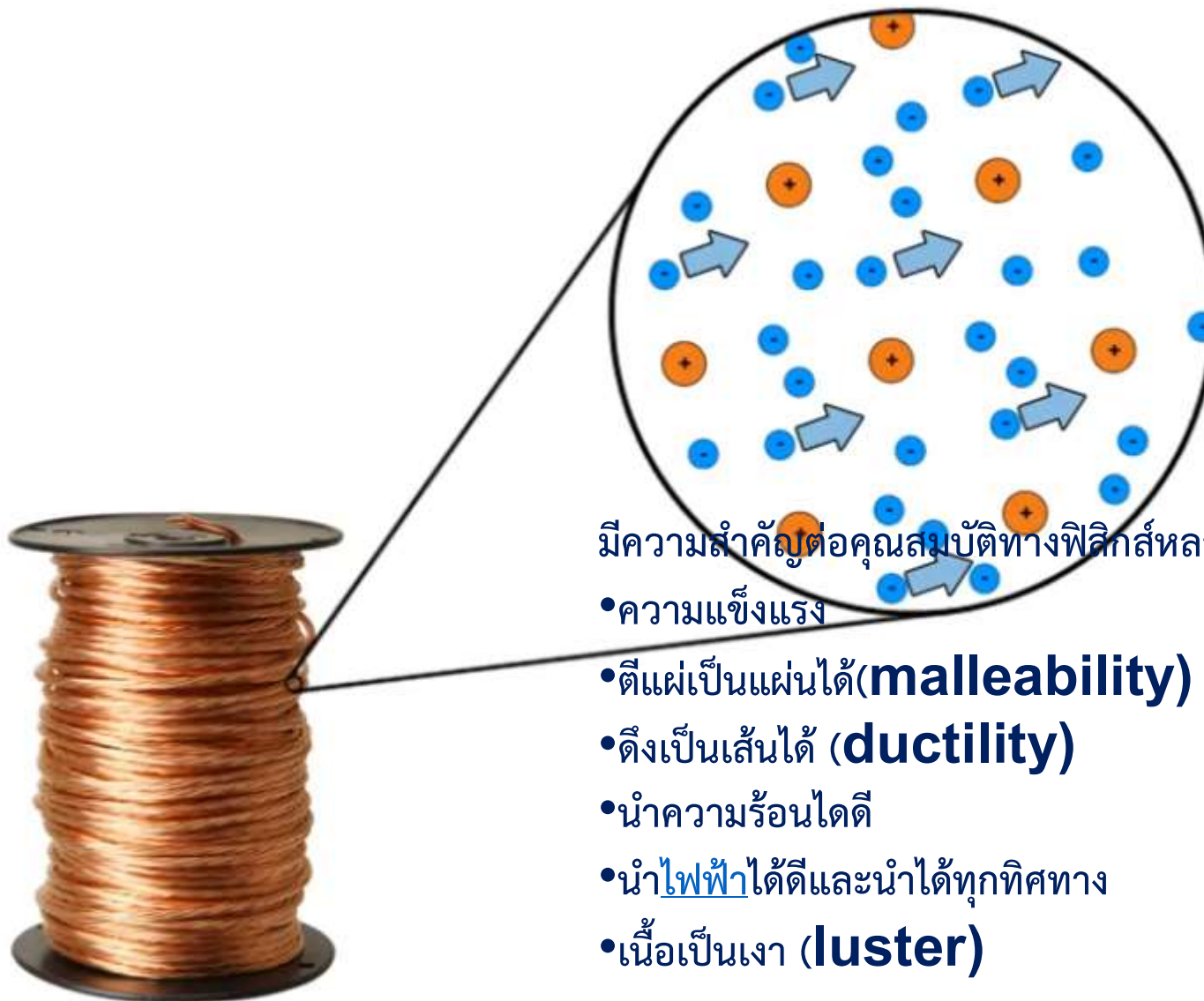
ฉนวน



พันธะ โคเวเลนต์
ไม่มีอิเล็กตรอนอิสระ

สมบัติทางกายภาพ	สารประกอบโคเวเลนต์
สถานะ (ที่อุณหภูมิห้อง)	ของแข็ง, ของเหลว, แก๊ส
การนำไฟฟ้า	โดยปกติไม่มี
จุดเดือดและจุดหลอมเหลว	มีหลายค่า โดยทั่วไปจะต่ำกว่าสารประกอบไอออนิก
การละลายในน้ำ	มีหลายค่า โดยทั่วไปจะต่ำกว่าสารประกอบไอออนิก
การนำความร้อน	โดยทั่วไปต่ำ

ตัวนำไฟฟ้า

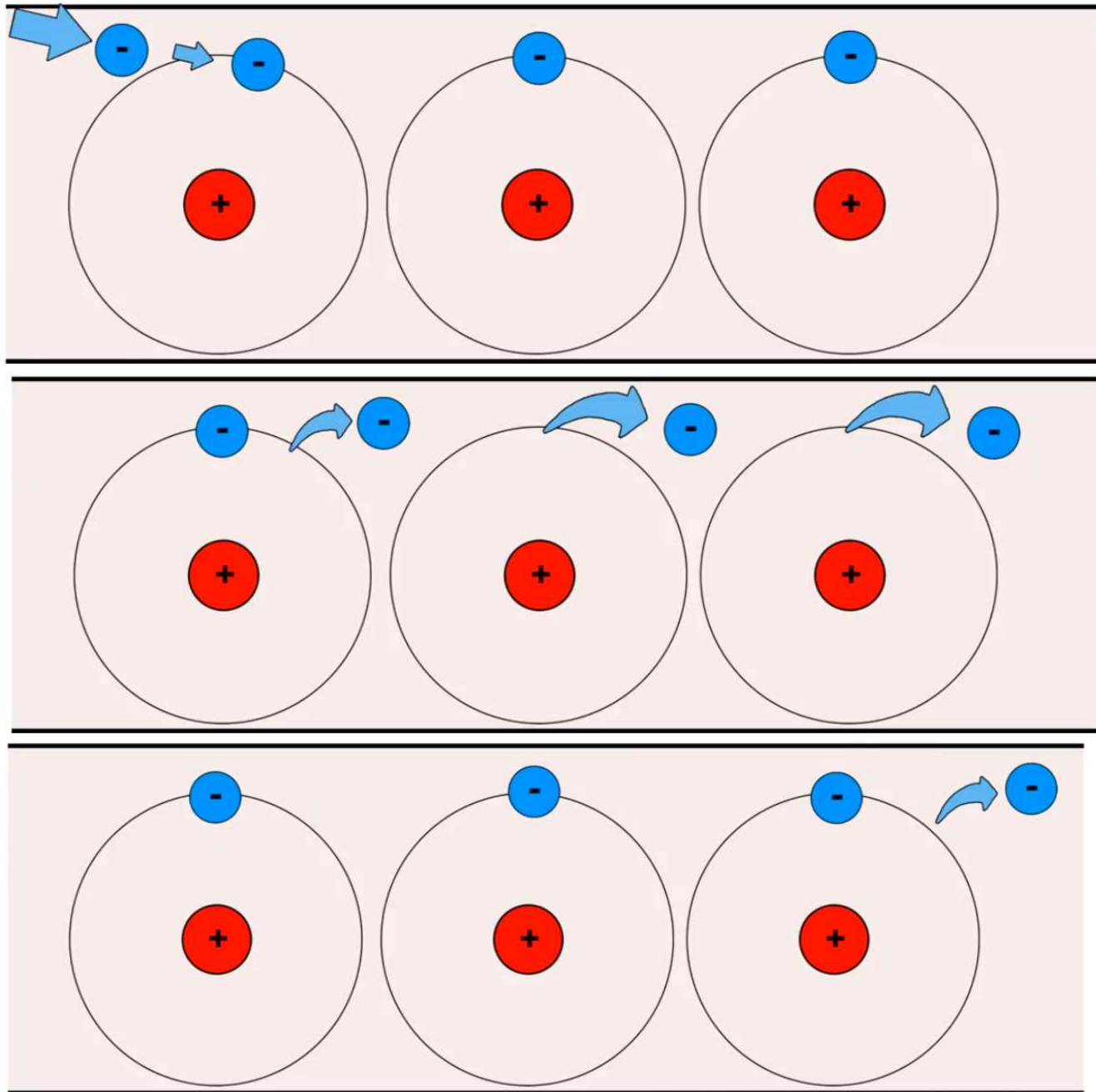


พันธะโลหะ
มีอิเล็กตรอนอิสระ

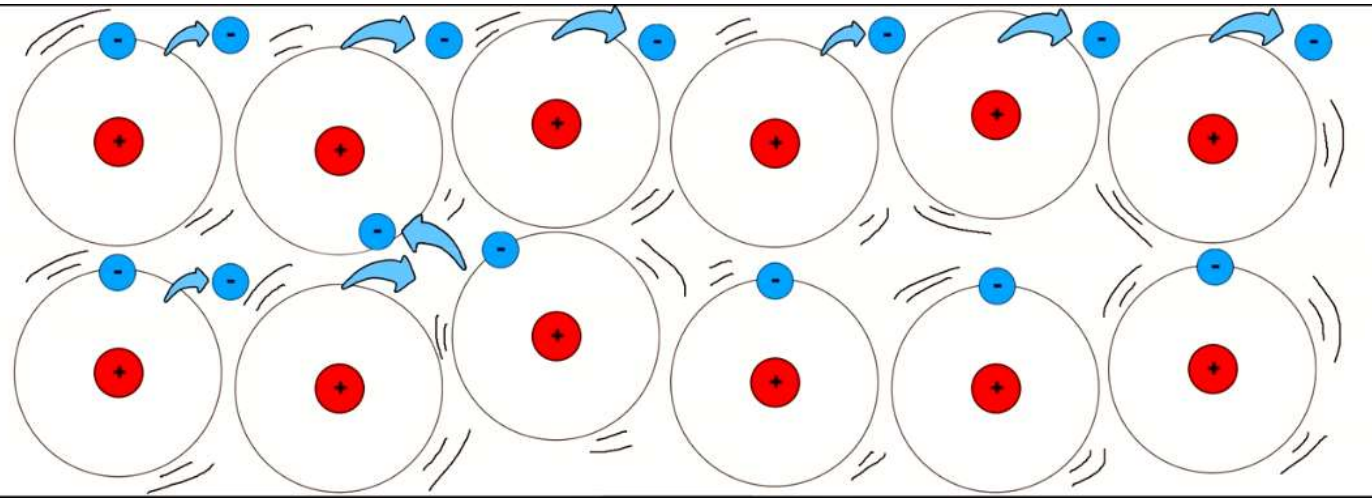
มีความสำคัญต่อคุณสมบัติทางฟิสิกส์หลายอย่างของโลหะ เช่น

- ความแข็งแรง
- ดีแผ่เป็นแผ่นได้ (**malleability**)
- ดึงเป็นเส้นได้ (**ductility**)
- นำความร้อนได้ดี
- นำไฟฟ้าได้ดีและนำได้ทุกทิศทาง
- เนื้อเป็นเงา (**luster**)

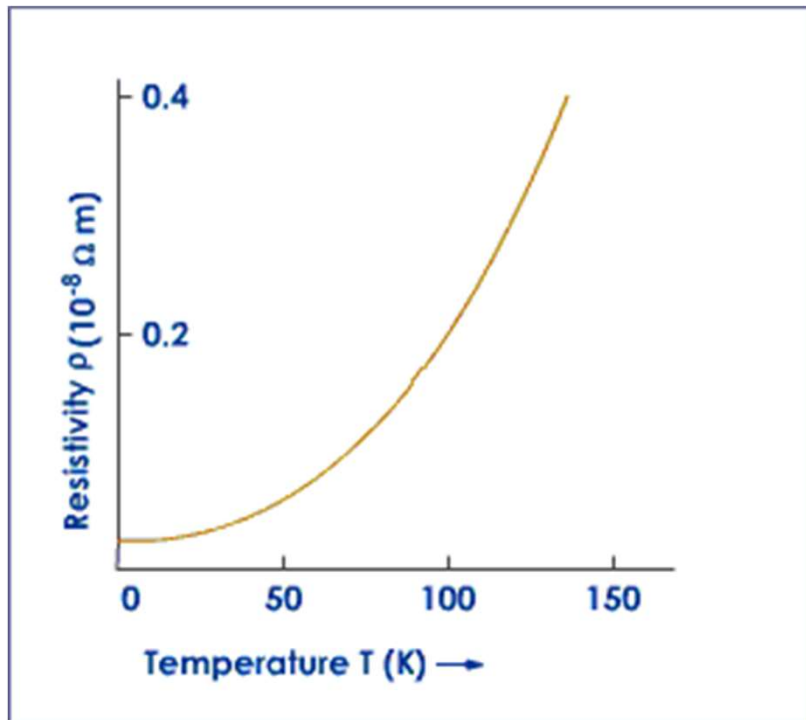
การนำไฟฟ้า



ตัวนำไฟฟ้าเมื่อได้รับความร้อน



นำไฟฟ้าได้ยากขึ้น
(เกิดความต้านทาน)

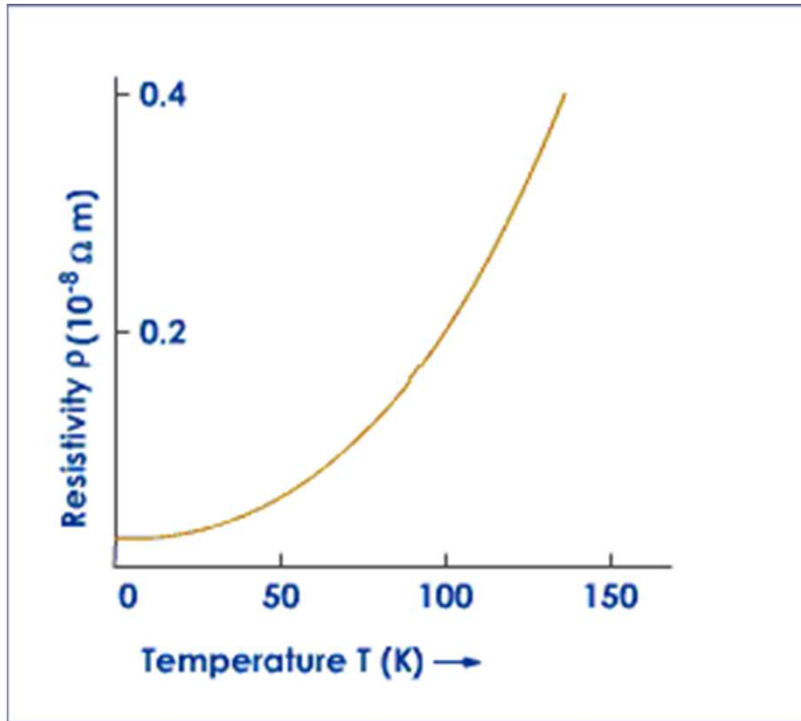


Temperature Coefficient of Copper

$$\rho(T) = \rho_0 [1 + \alpha(T - T_0)]$$

$$P = I^2 R$$

ตัวนำไฟฟ้าเมื่อได้รับความร้อน



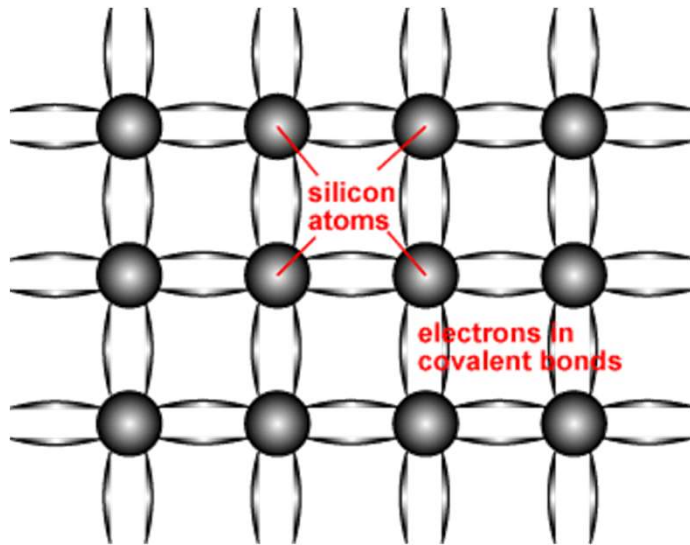
Temperature Coefficient of Copper

$$\rho(T) = \rho_0 [1 + \alpha(T - T_0)]$$

$$P = I^2 R$$

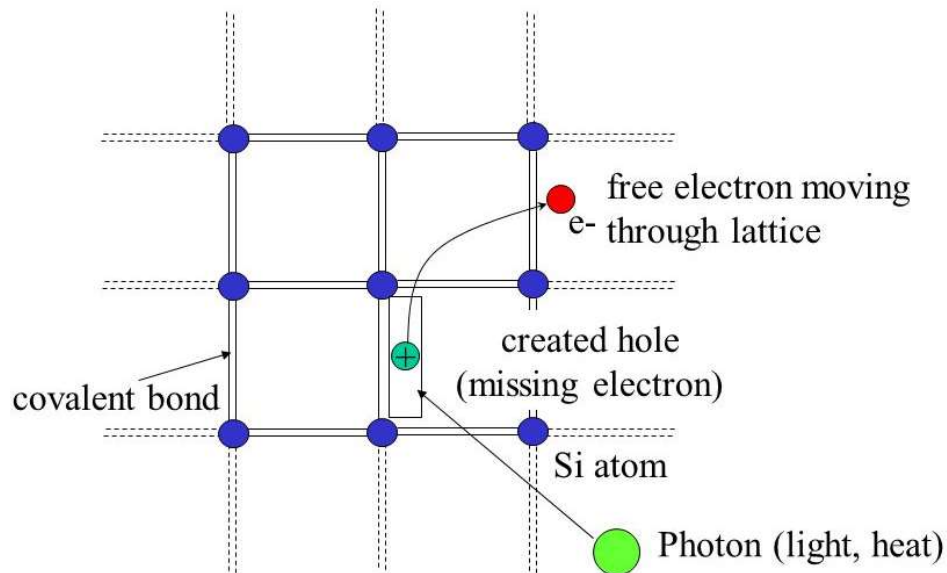


ฉนวนเมื่อได้รับความร้อน



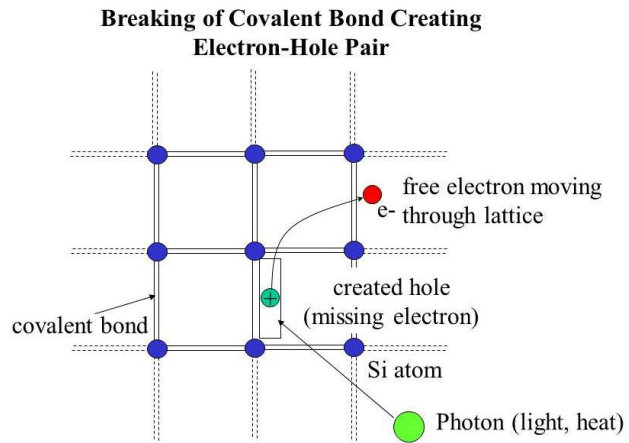
ไม่มีอิเล็กตรอนอิสระ
ไม่นำไฟฟ้า

Breaking of Covalent Bond Creating
Electron-Hole Pair



เมื่อได้รับพลังงาน
จะเกิดอิเล็กตรอนอิสระ
สามารถนำไฟฟ้าได้

ฉนวนเมื่อได้รับความร้อน



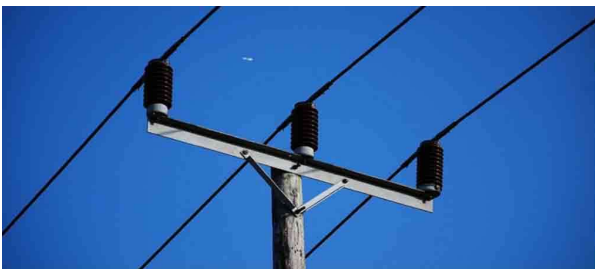
ฉนวนเมื่อได้รับความร้อน



Imaged by Heritage Auctions, HA.com

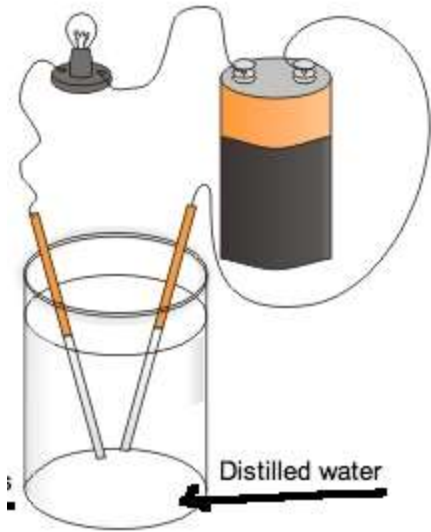


ฉนวนแรงดันต่ำ ทำจากแก้ว

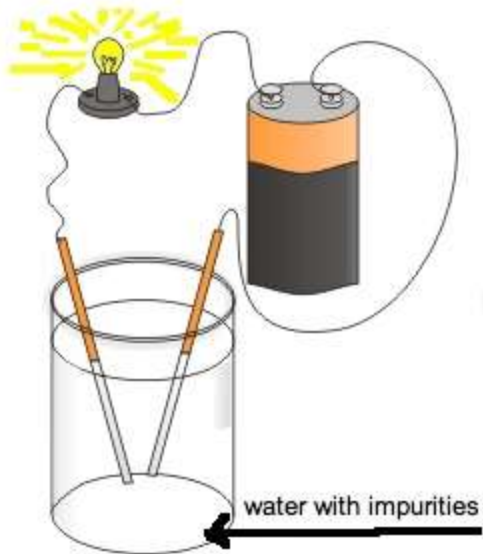


ฉนวนแรงดันสูง
ไม่ได้ทำจากแก้ว

มีวิธีอื่นในการเปลี่ยนฉนวนให้เป็นตัวนำไฟฟ้า
โดยไม่ต้องเผา หรือ เต็มพลังงานเข้าไปหรือไม่ ?

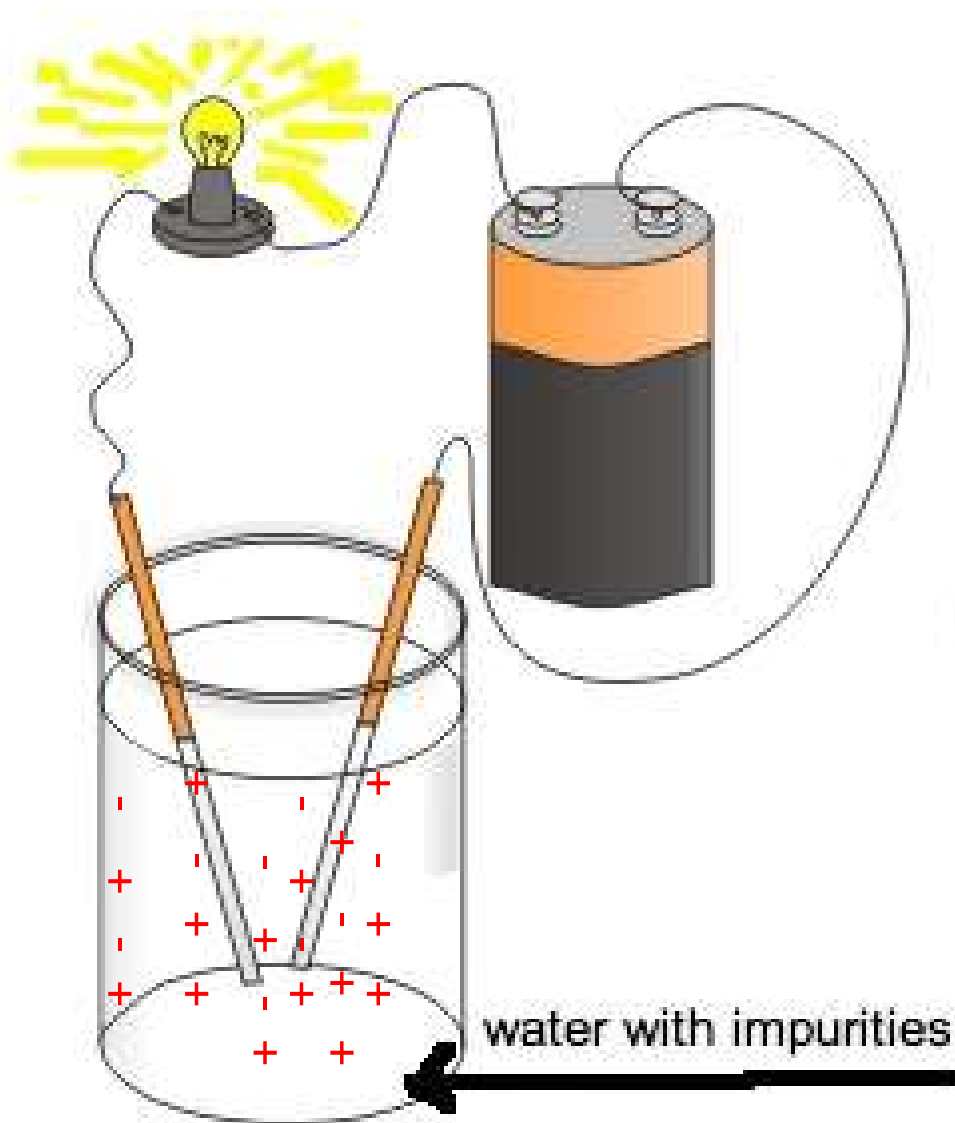


น้ำกลั่น
ไม่นำไฟฟ้า



น้ำกลั่น สกปรก
นำไฟฟ้าได้

เพราะอะไร ?



เมื่อเติม Ion เข้าไปในน้ำ
ไม่ว่าจะเป็น + หรือ -
มันจะนำไฟฟ้าได้
การทำแบบนี้เรียกว่าทำให้เกิด
Impurity

Na⁺ Cl⁻

ทำให้ของเหลว(Liquid state) เกิด Impurity ไม่ยาก

ฉีกซอง → เท → คน



ทำให้ก๊าซ(Gas state) เกิด Impurity ก็ไม่ยาก



ทำให้ของแข็ง(Solid state) เกิด Impurity ก็ไม่ยาก

จริงหรือ ?

ผสมร้อน ?

ผสมเย็น ?

ก่อนจะเข้าป่าไปไกล เราจะกลับมาที่โจทย์แรก คือ

ต้องการให้เกิด impurity เพื่ออะไร ?

ตอบ: เพื่อทำให้ฉนวน สามารถนำไฟฟ้าได้

แล้วทำไมไม่ใช้ตัวนำไฟฟ้าไปเลย จะมาลำบากทำไม ?

ตอบ: เราต้องการควบคุมคุณสมบัติการนำไฟฟ้าได้

ตัวอย่างเช่น ต้องการความต้านทานสูงๆ ในความยาวสั้นๆ

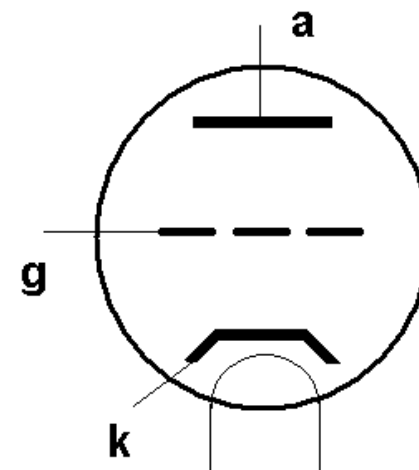
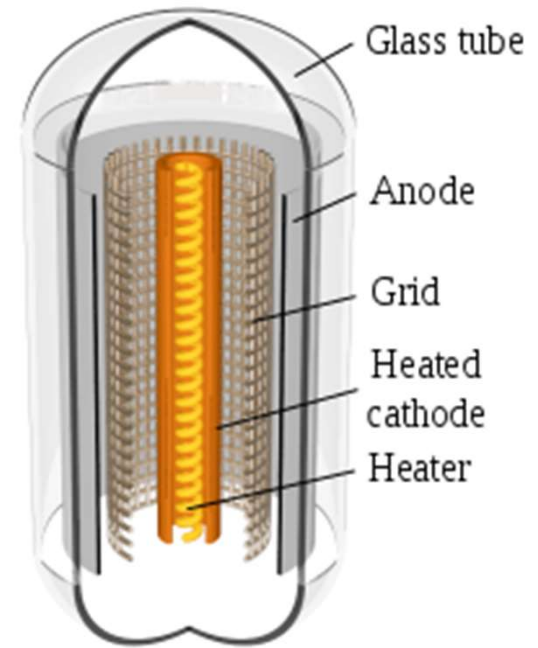
Table 3: Cold resistance (Ω at 75°F) and wire gauge vs. power output (W) at operating voltage (V). [\[edit \]](#)

In the following table, the alloy named *nichrome V* is specified as: 19–21% Cr, 2.5% Mn (max), 1.0% Fe (max), 0.75–1.6% Si, 0.15% C (max), balance Ni.^[3]

Power output (W) (upon reaching operating temperature)	Resistance (Ω), <i>nichrome V</i> , 75 °F.		Resistance (Ω), <i>nichrome</i> , 75 °F.		Recommended wire gauge (B&S No./AWG)	
	110–120 V	220–240 V	110–120 V	220–240 V	110–120 V	220–240 V
100	123.52	494.09	118.10	472.40	Max. 26–30 min.	Max. 29–33 min.
150	82.347	329.38	78.732	314.93	26–30	29–33
200	61.761	247.04	59.050	236.20	25–29	28–32
250	49.409	197.64	47.240	188.96	24–28	27–31
300	41.174	164.69	39.366	157.46	24–28	27–31
350	35.291	141.16	33.742	134.97	23–27	26–30
400	30.881	123.52	29.525	118.10	22–26	25–29
450	27.449	109.80	26.244	104.98	20–24	23–27
500	24.704	98.817	23.620	94.479	20–24	23–27
550	22.458	89.832	21.472	85.889	19–23	22–26
600	20.586	83.345	19.683	79.730	19–23	22–26



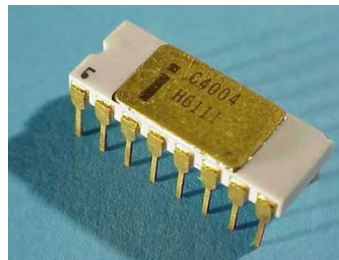
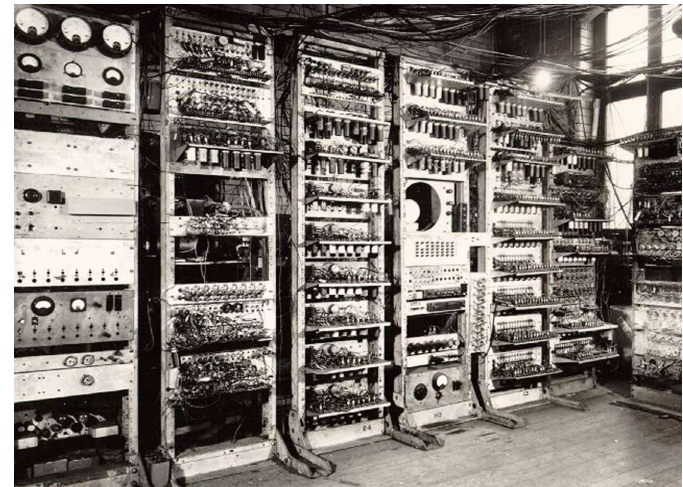
อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ที่ใช้ความร้อนเพื่อสร้างอิเล็กตรอนอิสระ



ทำให้ของแข็ง(Solid state) เกิด Impurity

จริงๆคือ ต้องการควบคุมการนำไฟฟ้าของฉนวนที่เป็นของแข็ง
โดยการเติมประจุ + หรือ - ลงไปในตำแหน่งโมเลกุลที่ต้องการ

Solid state Electronic



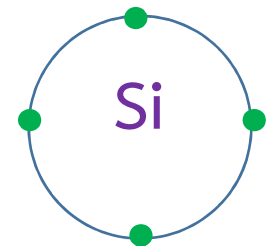
การสร้างอิเล็กทรอนิกส์ในของแข็งที่เป็นฉนวน

Periodic Table of the Elements																		18	
1 1IA 11A																	VIIIA 8A		
1 H Hydrogen 1.0079	2 IIA 2A											13 IIIA 3A	14 IVA 4A	15 VA 5A	16 VIA 6A	17 VIIA 7A	2 He Helium 4.00260		
3 Li Lithium 6.941	4 Be Beryllium 9.01218											5 B Boron 10.811	6 C Carbon 12.011	7 N Nitrogen 14.00674	8 O Oxygen 15.9994	9 F Fluorine 18.998403	10 Ne Neon 20.1797		
11 Na Sodium 22.989768	12 Mg Magnesium 24.305	3 IIIB 3B	4 IVB 4B	5 VB 5B	6 VIB 6B	7 VIIB 7B	8 VIII 8	9 VIII 8	10 VIII 8	11 IB 1B	12 IIB 2B	13 Al Aluminum 26.981538	14 Si Silicon 28.0855	15 P Phosphorus 30.973762	16 S Sulfur 32.066	17 Cl Chlorine 35.4527	18 Ar Argon 39.948		
19 K Potassium 39.0983	20 Ca Calcium 40.078	21 Sc Scandium 44.95591	22 Ti Titanium 47.88	23 V Vanadium 50.9415	24 Cr Chromium 51.9961	25 Mn Manganese 54.938	26 Fe Iron 55.847	27 Co Cobalt 58.9332	28 Ni Nickel 58.6934	29 Cu Copper 63.546	30 Zn Zinc 65.39	31 Ga Gallium 69.723	32 Ge Germanium 72.64	33 As Arsenic 74.92159	34 Se Selenium 78.96	35 Br Bromine 79.904	36 Kr Krypton 83.80		
37 Rb Rubidium 85.4678	38 Sr Strontium 87.62	39 Y Yttrium 88.90585	40 Zr Zirconium 91.224	41 Nb Niobium 92.90638	42 Mo Molybdenum 95.94	43 Tc Technetium 98.9072	44 Ru Ruthenium 101.07	45 Rh Rhodium 102.9055	46 Pd Palladium 106.42	47 Ag Silver 107.8682	48 Cd Cadmium 112.411	49 In Indium 114.818	50 Sn Tin 118.71	51 Sb Antimony 121.760	52 Te Tellurium 127.6	53 I Iodine 126.90447	54 Xe Xenon 131.29		
55 Cs Cesium 132.90543	56 Ba Barium 137.327	57-71	72 Hf Hafnium 178.49	73 Ta Tantalum 180.9479	74 W Tungsten 183.85	75 Re Rhenium 186.207	76 Os Osmium 190.23	77 Ir Iridium 192.22	78 Pt Platinum 195.08	79 Au Gold 196.9665	80 Hg Mercury 200.59	81 Tl Thallium 204.3833	82 Pb Lead 207.2	83 Bi Bismuth 208.98037	84 Po Polonium [208]	85 At Astatine 208.971	86 Rn Radon 222.0176		
87 Fr Francium 223.0197	88 Ra Radium 226.0254	89-103	104 Rf Rutherfordium [261]	105 Db Dubnium [262]	106 Sg Seaborgium [266]	107 Bh Bohrium [264]	108 Hs Hassium [269]	109 Mt Meitnerium [268]	110 Ds Darmstadtium [269]	111 Rg Roentgenium [272]	112 Cn Copernicium [277]	113 Nh Nihonium [284]	114 Uuq Ununquadium [289]	115 Uup Ununpentium unknown	116 Uuh Ununhexium [288]	117 Uus Ununseptium unknown	118 Uuo Ununoctium unknown		
Lanthanide Series		57 La Lanthanum 138.9055	58 Ce Cerium 140.115	59 Pr Praseodymium 140.90765	60 Nd Neodymium 144.24	61 Pm Promethium 144.9127	62 Sm Samarium 150.36	63 Eu Europium 151.9655	64 Gd Gadolinium 157.25	65 Tb Terbium 158.92534	66 Dy Dysprosium 162.50	67 Ho Holmium 164.93032	68 Er Erbium 167.26	69 Tm Thulium 168.93421	70 Yb Ytterbium 173.04	71 Lu Lutetium 174.967			
Actinide Series		89 Ac Actinium 227.0278	90 Th Thorium 232.0381	91 Pa Protactinium 231.03688	92 U Uranium 238.02891	93 Np Neptunium 237.0482	94 Pu Plutonium 244.0642	95 Am Americium 243.0614	96 Cm Curium 247.0703	97 Bk Berkelium 247.0703	98 Cf Californium 251.0794	99 Es Einsteinium [254]	100 Fm Fermium 257.0851	101 Md Mendelevium 258.1	102 No Nobelium 259.1009	103 Lr Lawrencium [262]			
Alkali Metal		Alkaline Earth		Transition Metal		Basic Metal		Semimetals		Nonmetals		Halogens		Noble Gas		Lanthanides		Actinides	

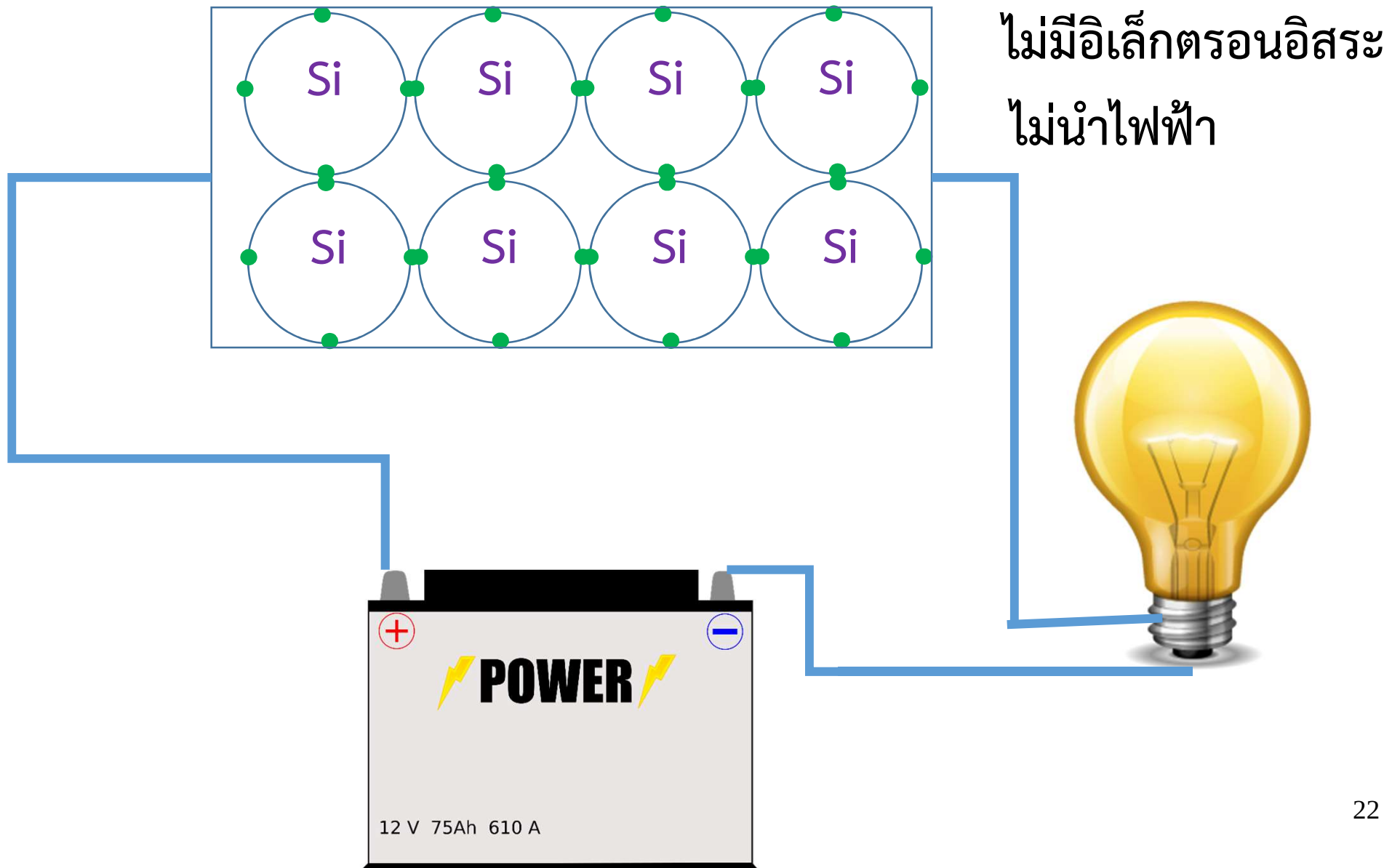


Electrons
per shell

2, 8, 4

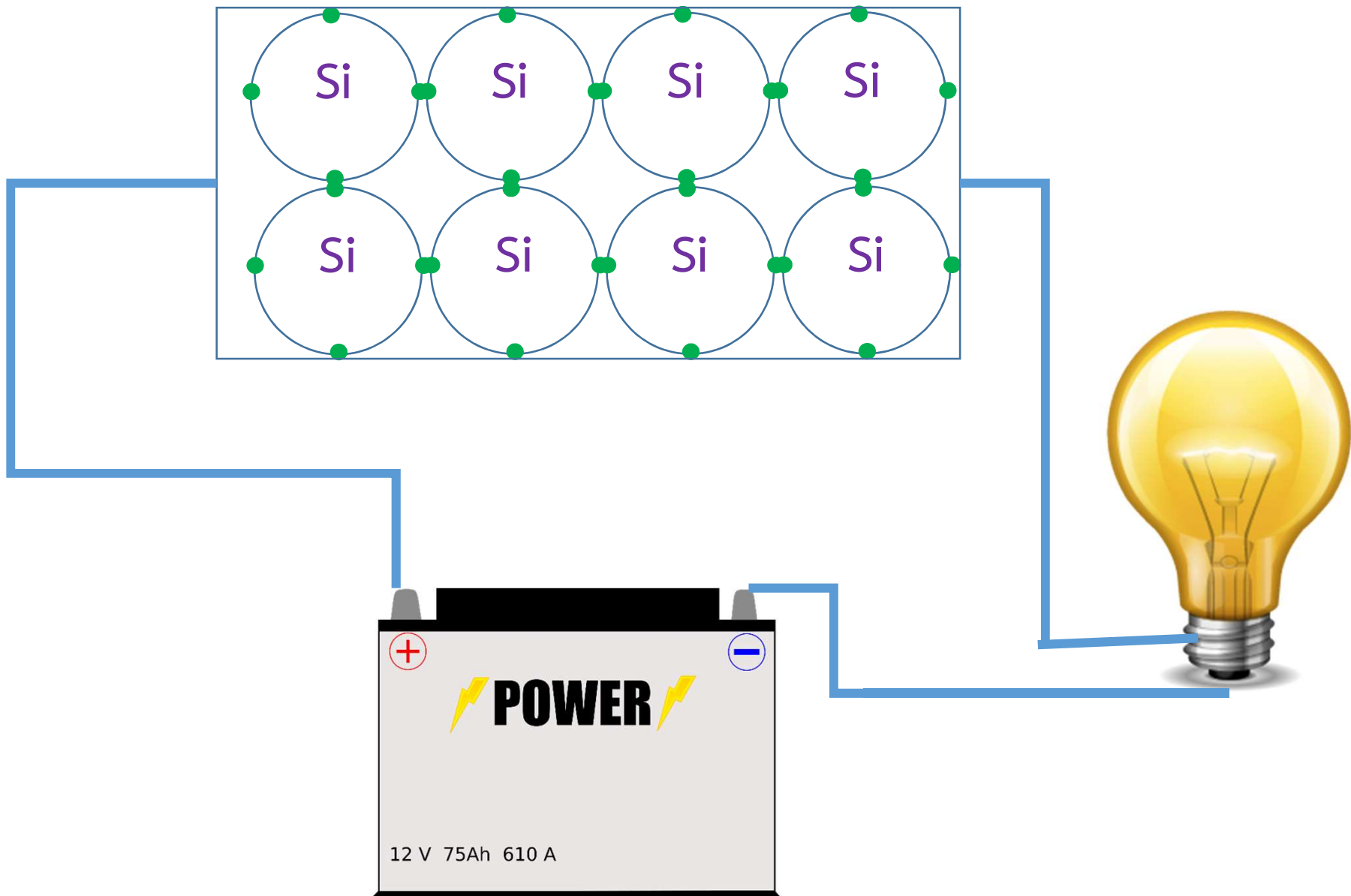


Silicon บริสุทธิ์



การสร้างอิเล็กทรอนิกส์ในของแข็งที่เป็นฉนวน

เติมสารแปลกปลอมลงไปเพื่อให้มี electron อิสระเพิ่มขึ้นมา (electron เกินความต้องการ)



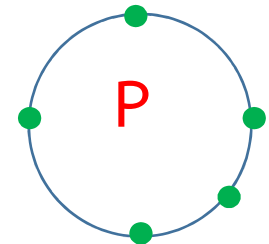
การสร้างอิเล็กตรอนอิสระในของแข็งที่เป็นฉนวน

Periodic Table of the Elements																		18
1A 11A																	VIIIA 8A	
1 H Hydrogen 1.0079	2 IIA 2A											13 IIIA 3A	14 IVA 4A	15 VA 5A	16 VIA 6A	17 VIIA 7A	2 He Helium 4.00260	
3 Li Lithium 6.941	4 Be Beryllium 9.01218											5 B Boron 10.811	6 C Carbon 12.011	7 N Nitrogen 14.00674	8 O Oxygen 15.9994	9 F Fluorine 18.998403	10 Ne Neon 20.1797	
11 Na Sodium 22.989768	12 Mg Magnesium 24.305	3 IIIB 3B	4 IVB 4B	5 VB 5B	6 VIB 6B	7 VIIB 7B	8 VIII 8		10	11 IB 1B	12 IIB 2B	13 Al Aluminum 26.981539	14 Si Silicon 28.0855	15 P Phosphorus 30.973762	16 S Sulfur 32.066	17 Cl Chlorine 35.4527	18 Ar Argon 39.948	
19 K Potassium 39.0983	20 Ca Calcium 40.078	21 Sc Scandium 44.95591	22 Ti Titanium 47.88	23 V Vanadium 50.9415	24 Cr Chromium 51.9961	25 Mn Manganese 54.938	26 Fe Iron 55.847	27 Co Cobalt 58.9332	28 Ni Nickel 58.6934	29 Cu Copper 63.546	30 Zn Zinc 65.39	31 Ga Gallium 69.723	32 Ge Germanium 72.64	33 As Arsenic 74.92159	34 Se Selenium 78.96	35 Br Bromine 79.904	36 Kr Krypton 83.80	
37 Rb Rubidium 85.4678	38 Sr Strontium 87.62	39 Y Yttrium 88.90585	40 Zr Zirconium 91.224	41 Nb Niobium 92.90638	42 Mo Molybdenum 95.94	43 Tc Technetium 98.9072	44 Ru Ruthenium 101.07	45 Rh Rhodium 102.9055	46 Pd Palladium 106.42	47 Ag Silver 107.8682	48 Cd Cadmium 112.411	49 In Indium 114.818	50 Sn Tin 118.71	51 Sb Antimony 121.760	52 Te Tellurium 127.6	53 I Iodine 126.90447	54 Xe Xenon 131.29	
55 Cs Cesium 132.90543	56 Ba Barium 137.327	57-71	72 Hf Hafnium 178.49	73 Ta Tantalum 180.9479	74 W Tungsten 183.85	75 Re Rhenium 186.207	76 Os Osmium 190.23	77 Ir Iridium 192.22	78 Pt Platinum 195.08	79 Au Gold 196.9665	80 Hg Mercury 200.59	81 Tl Thallium 204.3833	82 Pb Lead 207.2	83 Bi Bismuth 208.98037	84 Po Polonium [208.9824]	85 At Astatine [210]	86 Rn Radon 222.0176	
87 Fr Francium 223.0197	88 Ra Radium 226.0254	89-103	104 Rf Rutherfordium [261]	105 Db Dubnium [262]	106 Sg Seaborgium [266]	107 Bh Bohrium [264]	108 Hs Hassium [269]	109 Mt Meitnerium [268]	110 Ds Darmstadtium [269]	111 Rg Roentgenium [272]	112 Cn Copernicium [277]	113 Uut Ununtrium unknown	114 Uuq Ununquadium [289]	115 Uup Ununpentium unknown	116 Uuh Ununhexium [288]	117 Uus Ununseptium unknown	118 Uuo Ununoctium unknown	
Lanthanide Series		57 La Lanthanum 138.9055	58 Ce Cerium 140.115	59 Pr Praseodymium 140.90765	60 Nd Neodymium 144.24	61 Pm Promethium 144.9127	62 Sm Samarium 150.36	63 Eu Europium 151.9655	64 Gd Gadolinium 157.25	65 Tb Terbium 158.92534	66 Dy Dysprosium 162.50	67 Ho Holmium 164.93032	68 Er Erbium 167.26	69 Tm Thulium 168.93421	70 Yb Ytterbium 173.04	71 Lu Lutetium 174.967		
Actinide Series		89 Ac Actinium 227.0278	90 Th Thorium 232.0381	91 Pa Protactinium 231.03688	92 U Uranium 238.02891	93 Np Neptunium 237.0482	94 Pu Plutonium 244.0642	95 Am Americium 243.0614	96 Cm Curium 247.0703	97 Bk Berkelium 247.0703	98 Cf Californium 251.0796	99 Es Einsteinium [254]	100 Fm Fermium 257.0651	101 Md Mendelevium 258.1	102 No Nobelium 259.1009	103 Lr Lawrencium [262]		
		Alkali Metal	Alkaline Earth	Transition Metal	Basic Metal	Semimetals	Nonmetals	Halogens	Noble Gas	Lanthanides	Actinides							



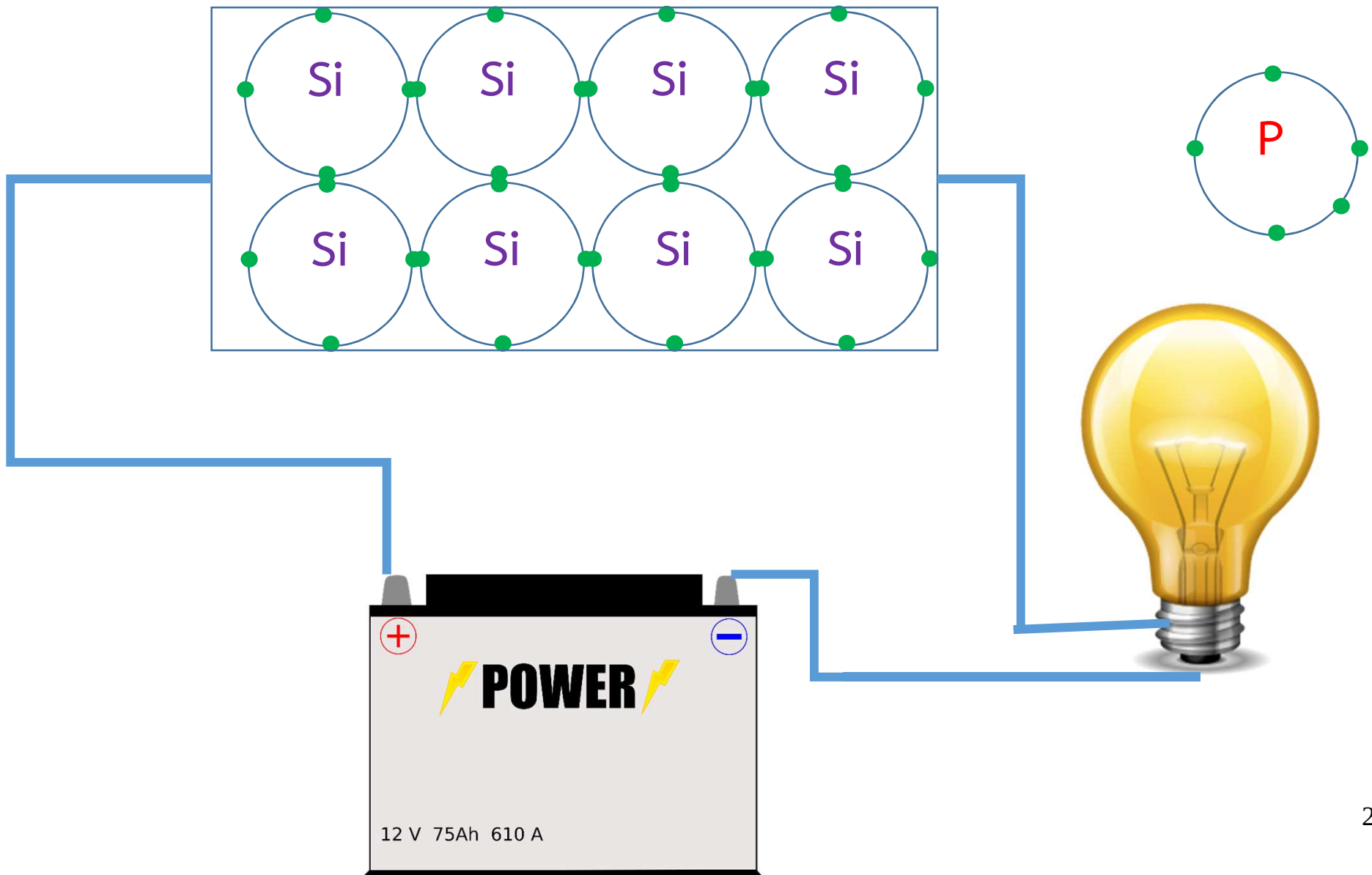
Electrons
per shell

2, 8, 5



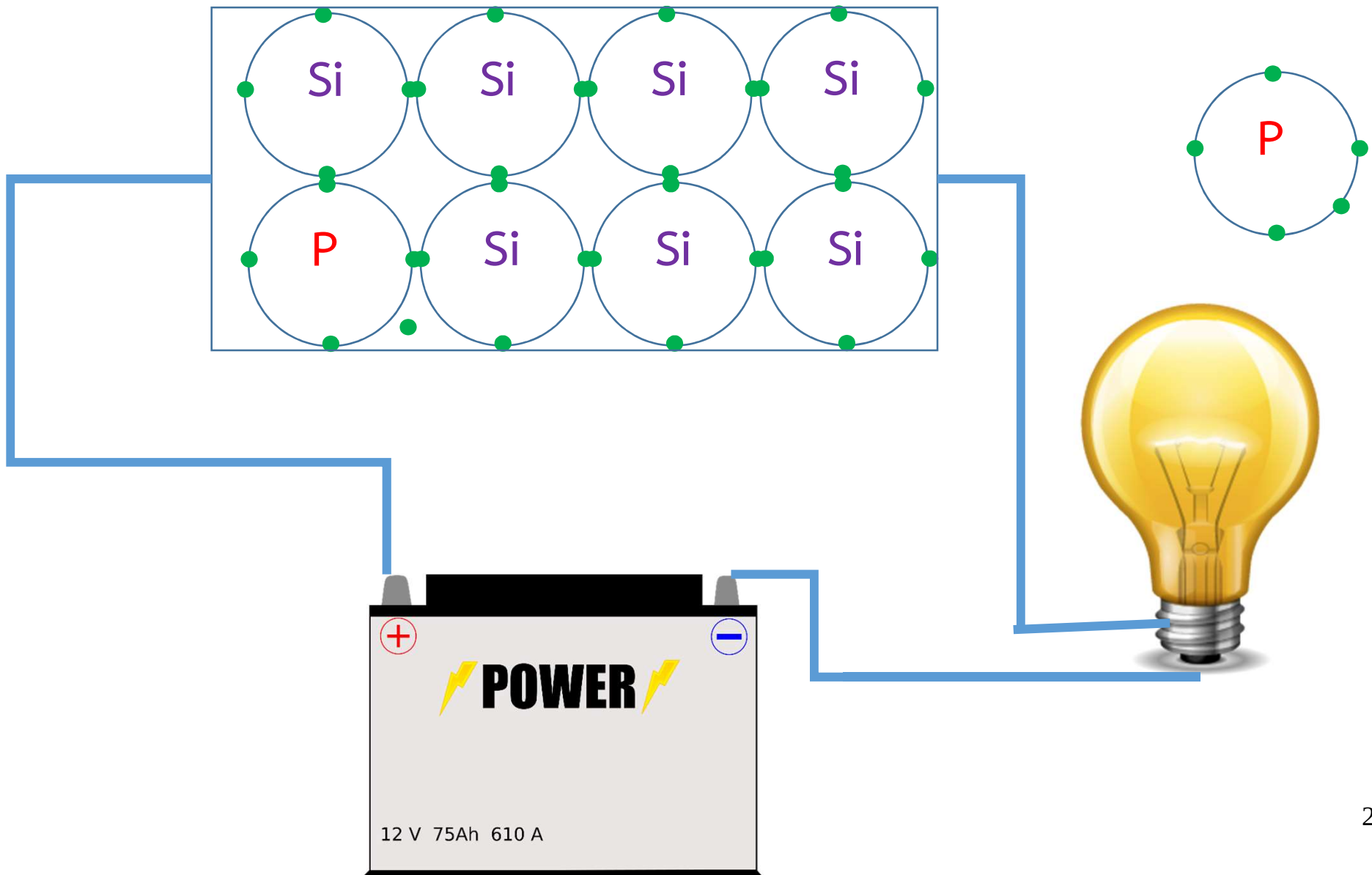
การสร้างอิเล็กทรอนิกส์ในของแข็งที่เป็นฉนวน

เมื่อเติม Phosphorus ลงไปใน Silicon บริสุทธิ์



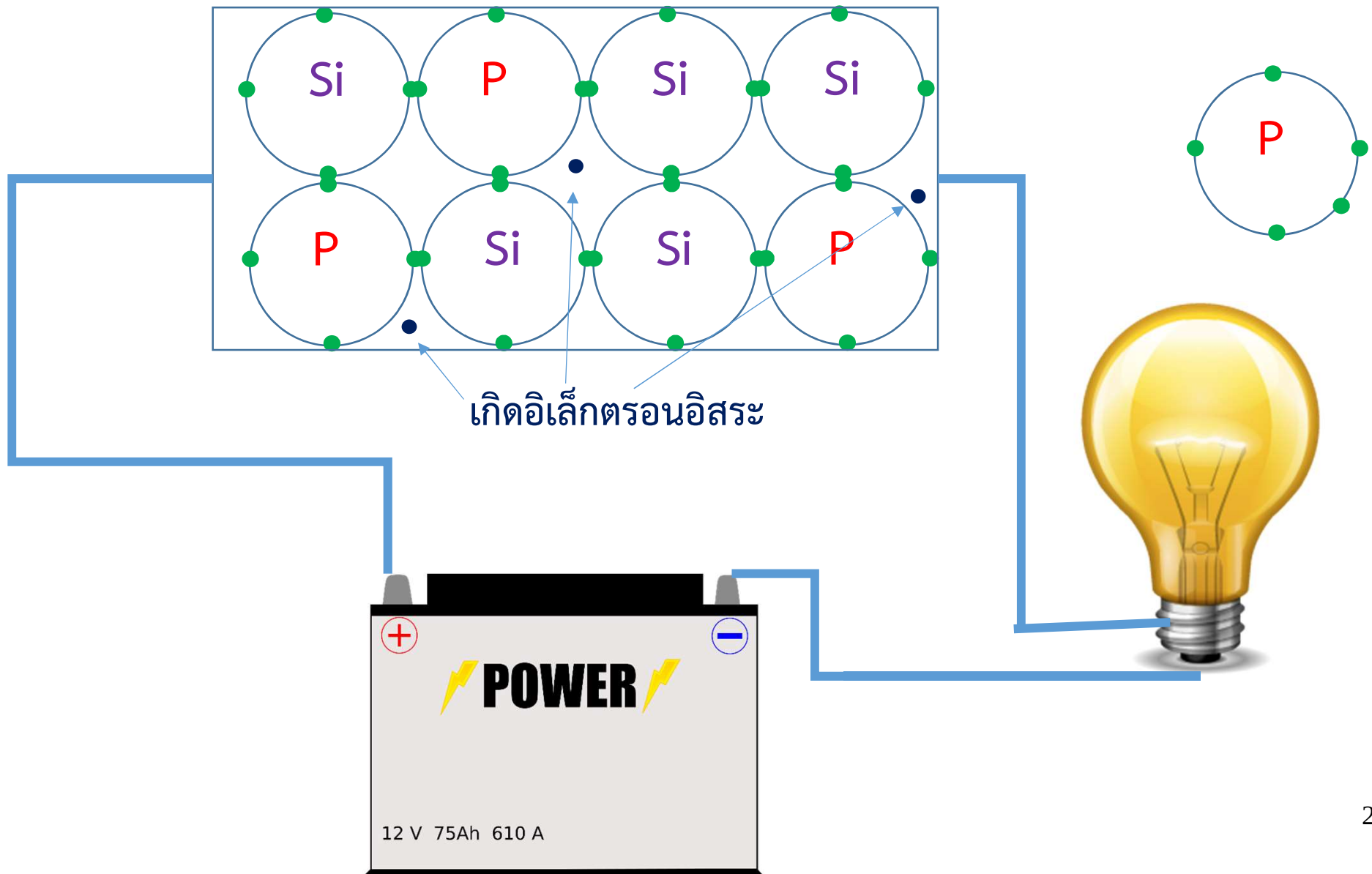
การสร้างอิเล็กทรอนิกส์ในของแข็งที่เป็นฉนวน

เมื่อเติม Phosphorus ลงไปใน Silicon บริสุทธิ์



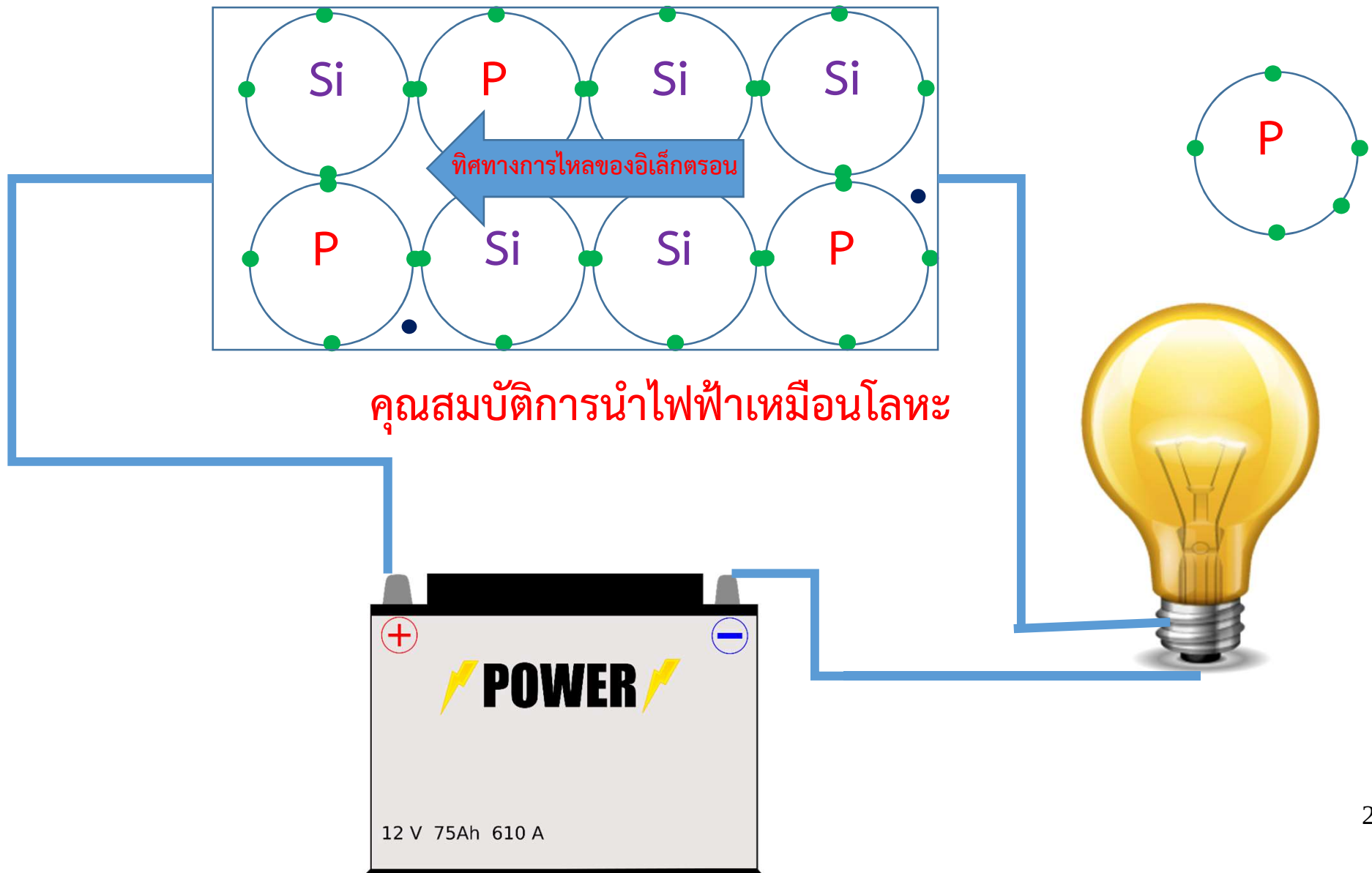
การสร้างอิเล็กทรอนิกส์ในของแข็งที่เป็นฉนวน

เมื่อเติม Phosphorus ลงไปใน Silicon บริสุทธิ์



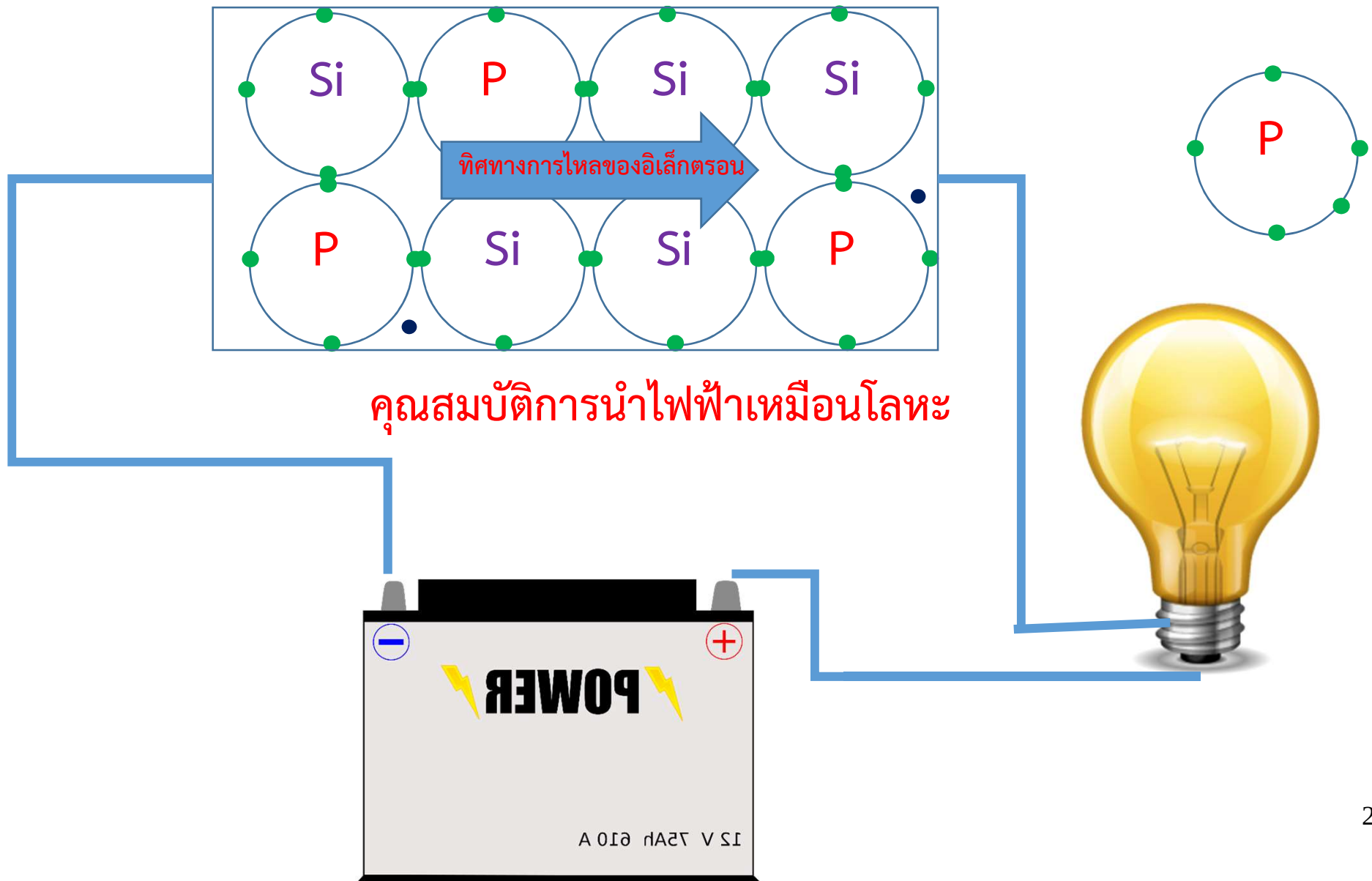
การสร้างอิเล็กทรอนิกส์ในของแข็งที่เป็นฉนวน

เมื่อเติม Phosphorus ลงไปใน Silicon บริสุทธิ์



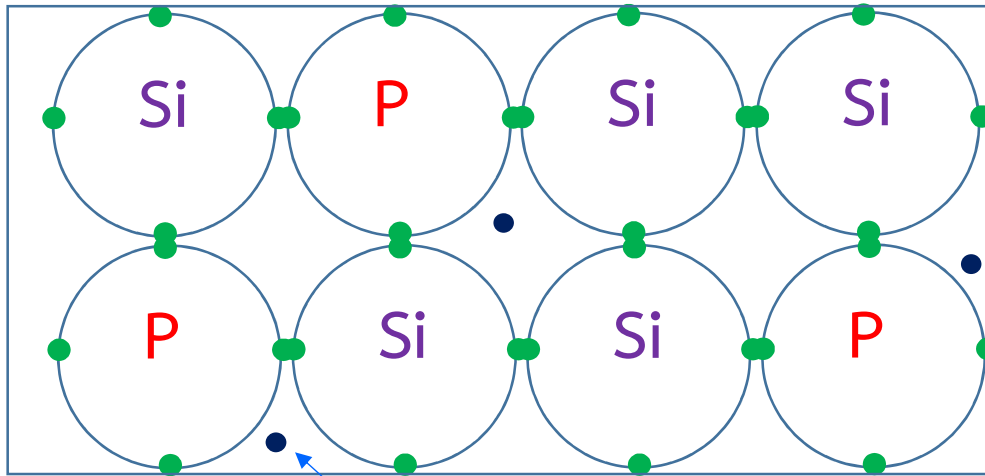
การสร้างอิเล็กทรอนิกส์ในของแข็งที่เป็นฉนวน

เมื่อเติม Phosphorus ลงไปใน Silicon บริสุทธิ์



การสร้างอิเล็กทรอนิกส์ในของแข็งที่เป็นฉนวน

เมื่อเติม Phosphorus ลงไปใน Silicon บริสุทธิ์



อิเล็กทรอนิกส์เหล่านี้มีส่วนช่วยให้ประจุไฟฟ้า เคลื่อนที่ได้

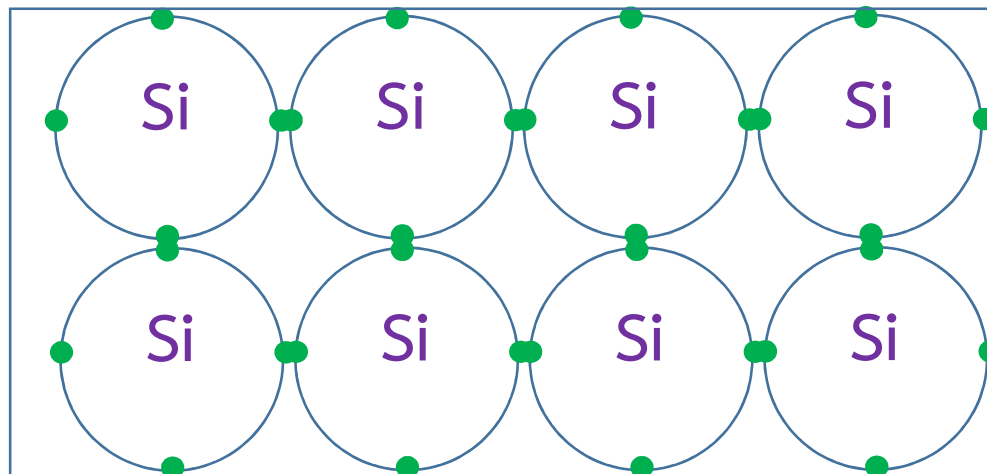
มีชื่อเรียกอีกอย่างว่า พาหะของประจุไฟฟ้า (charge carrier)

การเติมสารแปลกปลอมลงใน silicon มีชื่อเรียกว่า การโด๊ปสาร (Doping)
การโด๊ปเพื่อทำให้ได้อิเล็กทรอนิกส์เพิ่ม เรียกว่า N-Type Doping

(N = Negative)

การสร้างอิเล็กทรอนิกส์ในของแข็งที่เป็นฉนวน

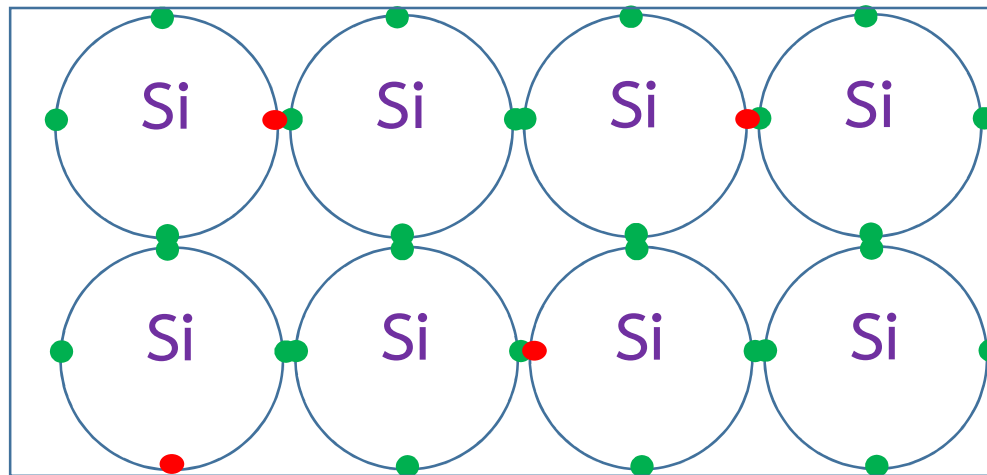
ในทางตรงกันข้าม หากเราขโมยอิเล็กตรอนออกมาบางส่วน
จะเกิดอะไรขึ้น



การสร้างอิเล็กตรอนอิสระในของแข็งที่เป็นฉนวน

จุดที่อิเล็กตรอนเดิมเคยอยู่จะเกิดเป็นหลุม (Hole)

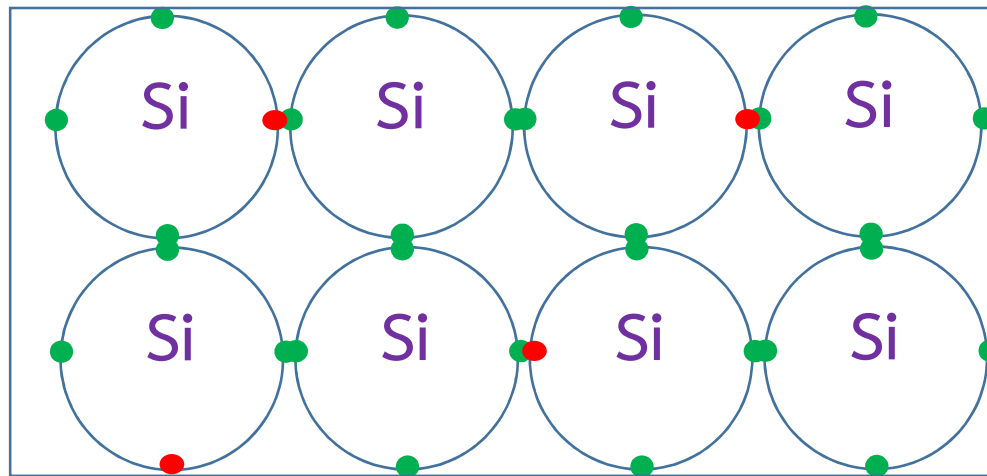
อิเล็กตรอนของอะตอมใกล้ๆ จะพยายามกระโดดเข้าไปอยู่แทน



อิเล็กตรอนที่กระโดดออกไป ก็จะทิ้งหลุมไว้ในตำแหน่งที่มันเคยอยู่

อะตอมที่มีหลุม จะไม่มีอิเล็กตรอนไปหักล้างกับโปรตอน จึงแสดงความเป็นประจุ +
หลุมไม่ได้มีอยู่จริง แต่ใช้อธิบายการกระโดดได้ของอิเล็กตรอนให้เข้าใจง่ายขึ้นเท่านั้น 32

การสร้างอิเล็กทรอนิกส์ในของแข็งที่เป็นฉนวน
หลุมนี้ทำให้อิเล็กตรอนเคลื่อนย้ายตำแหน่งตลอดเวลา
หลุมจึงเป็น พาหะของประจุไฟฟ้า (charge carrier)
วัสดุนี้จึงนำไฟฟ้าได้ในทุกทิศทาง เหมือนตัวนำไฟฟ้า



เรานำอิเล็กตรอนออกจาก Silicon ไม่ได้ แต่เราเติมโปรตอนลงไปเพิ่มได้
จะได้ผลแบบเดียวกัน คือ ทำให้ปริมาณประจุ - น้อยกว่าประจุ + จึงเกิดหลุมขึ้น
การเติมเพื่อทำให้เกิดหลุม เรียกว่า P-Type Doping

(P = Positive)

การสร้างอิเล็กตรอนอิสระในของแข็งที่เป็นฉนวน

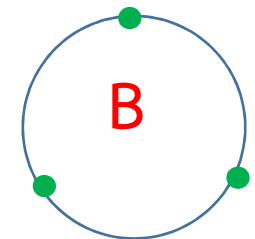
Periodic Table of the Elements

1 1A 11A	2 IIA 2A												13 IIIA 3A	14 IVA 4A	15 VA 5A	16 VIA 6A	17 VIIA 7A	18 VIIIA 8A
1 H Hydrogen 1.0079													5 B Boron 10.811	6 C Carbon 12.011	7 N Nitrogen 14.00674	8 O Oxygen 15.9994	9 F Fluorine 18.998403	10 Ne Neon 20.1797
3 Li Lithium 6.941	4 Be Beryllium 9.01218												13 Al Aluminum 26.981539	14 Si Silicon 28.0855	15 P Phosphorus 30.973762	16 S Sulfur 32.066	17 Cl Chlorine 35.4527	18 Ar Argon 39.948
11 Na Sodium 22.989768	12 Mg Magnesium 24.305	3 IIIB 3B	4 IVB 4B	5 VB 5B	6 VIB 6B	7 VIIB 7B	8 VIII 8	9 VIII 8	10 VIII 8	11 IB 1B	12 IIB 2B		31 Ga Gallium 69.732	32 Ge Germanium 72.64	33 As Arsenic 74.92159	34 Se Selenium 78.96	35 Br Bromine 79.904	36 Kr Krypton 83.80
19 K Potassium 39.0983	20 Ca Calcium 40.078	21 Sc Scandium 44.95591	22 Ti Titanium 47.88	23 V Vanadium 50.9415	24 Cr Chromium 51.9961	25 Mn Manganese 54.938	26 Fe Iron 55.847	27 Co Cobalt 58.9332	28 Ni Nickel 58.6934	29 Cu Copper 63.546	30 Zn Zinc 65.39		49 In Indium 114.818	50 Sn Tin 118.71	51 Sb Antimony 121.760	52 Te Tellurium 127.6	53 I Iodine 126.90447	54 Xe Xenon 131.29
37 Rb Rubidium 85.4678	38 Sr Strontium 87.62	39 Y Yttrium 88.90585	40 Zr Zirconium 91.224	41 Nb Niobium 92.90638	42 Mo Molybdenum 95.94	43 Tc Technetium 98.9072	44 Ru Ruthenium 101.07	45 Rh Rhodium 102.9055	46 Pd Palladium 106.42	47 Ag Silver 107.8682	48 Cd Cadmium 112.411		81 Tl Thallium 204.3833	82 Pb Lead 207.2	83 Bi Bismuth 208.98037	84 Po Polonium [209]	85 At Astatine 209	86 Rn Radon 222.0176
55 Cs Cesium 132.90543	56 Ba Barium 137.327	57-71 Lanthanide Series	72 Hf Hafnium 178.49	73 Ta Tantalum 180.9479	74 W Tungsten 183.85	75 Re Rhenium 186.207	76 Os Osmium 190.23	77 Ir Iridium 192.22	78 Pt Platinum 195.08	79 Au Gold 196.9665	80 Hg Mercury 200.59		113 Uut Ununtrium [289]	114 Uuq Ununquadium [289]	115 Uup Ununpentium [289]	116 Uuh Ununhexium [289]	117 Uus Ununseptium [289]	118 Uuo Ununoctium [289]
87 Fr Francium 223.0197	88 Ra Radium 226.0254	89-103 Actinide Series	104 Rf Rutherfordium [261]	105 Db Dubnium [262]	106 Sg Seaborgium [266]	107 Bh Bohrium [264]	108 Hs Hassium [269]	109 Mt Meitnerium [268]	110 Ds Darmstadtium [269]	111 Rg Roentgenium [272]	112 Cn Copernicium [277]							
			57 La Lanthanum 138.9055	58 Ce Cerium 140.115	59 Pr Praseodymium 140.90765	60 Nd Neodymium 144.24	61 Pm Promethium 144.9127	62 Sm Samarium 150.36	63 Eu Europium 151.9655	64 Gd Gadolinium 157.25	65 Tb Terbium 158.92534	66 Dy Dysprosium 162.50	67 Ho Holmium 164.93032	68 Er Erbium 167.26	69 Tm Thulium 168.93421	70 Yb Ytterbium 173.04	71 Lu Lutetium 174.967	
			89 Ac Actinium 227.0278	90 Th Thorium 232.0381	91 Pa Protactinium 231.03688	92 U Uranium 238.02891	93 Np Neptunium 237.0482	94 Pu Plutonium 244.0642	95 Am Americium 243.0614	96 Cm Curium 247.0703	97 Bk Berkelium 247.0703	98 Cf Californium 251.0796	99 Es Einsteinium [254]	100 Fm Fermium [257]	101 Md Mendelevium [258]	102 No Nobelium [259]	103 Lr Lawrencium [262]	
			Alkali Metal	Alkaline Earth	Transition Metal	Basic Metal	Semimetals	Nonmetals	Halogens	Noble Gas	Lanthanides	Actinides						

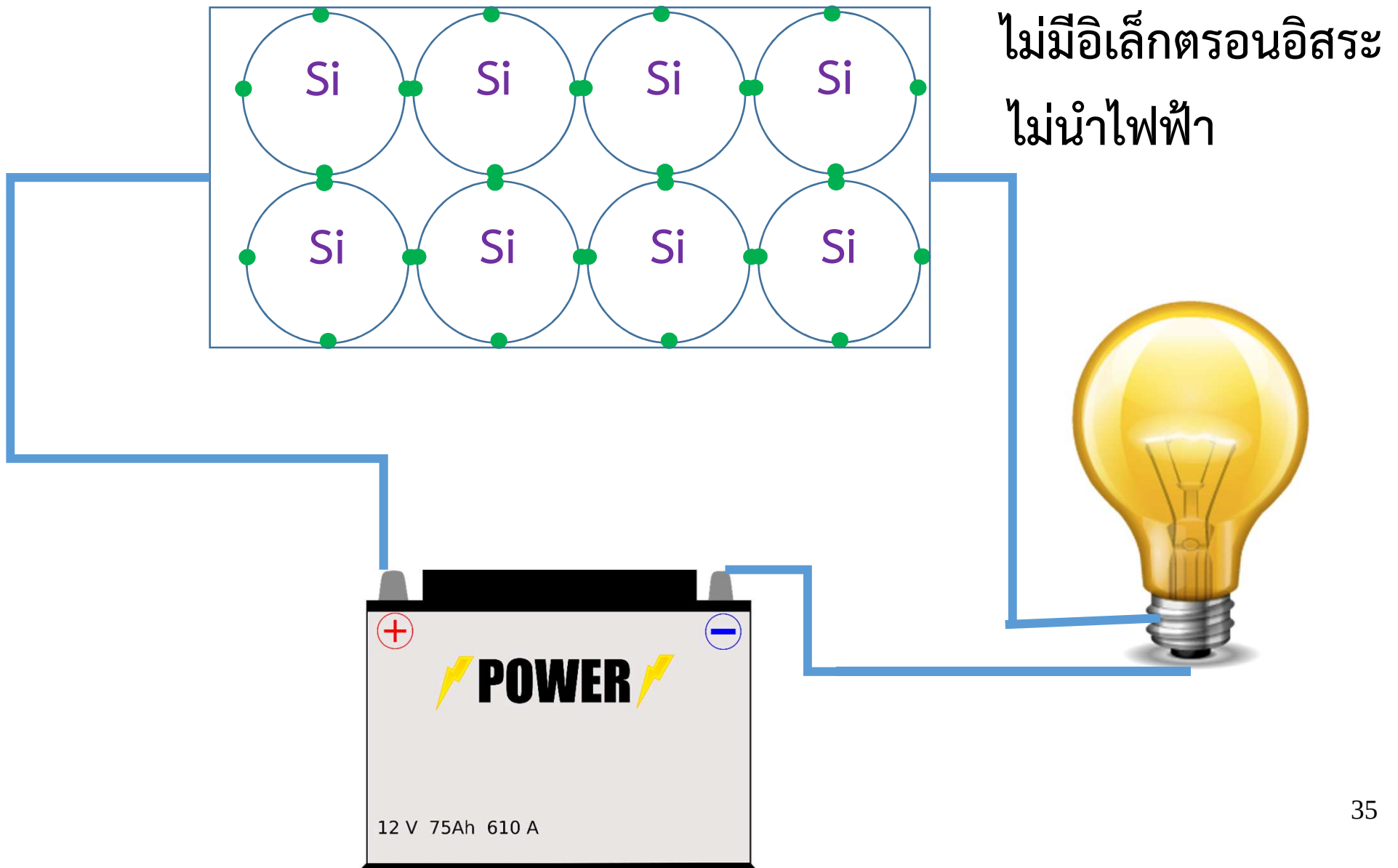


Electrons
per shell

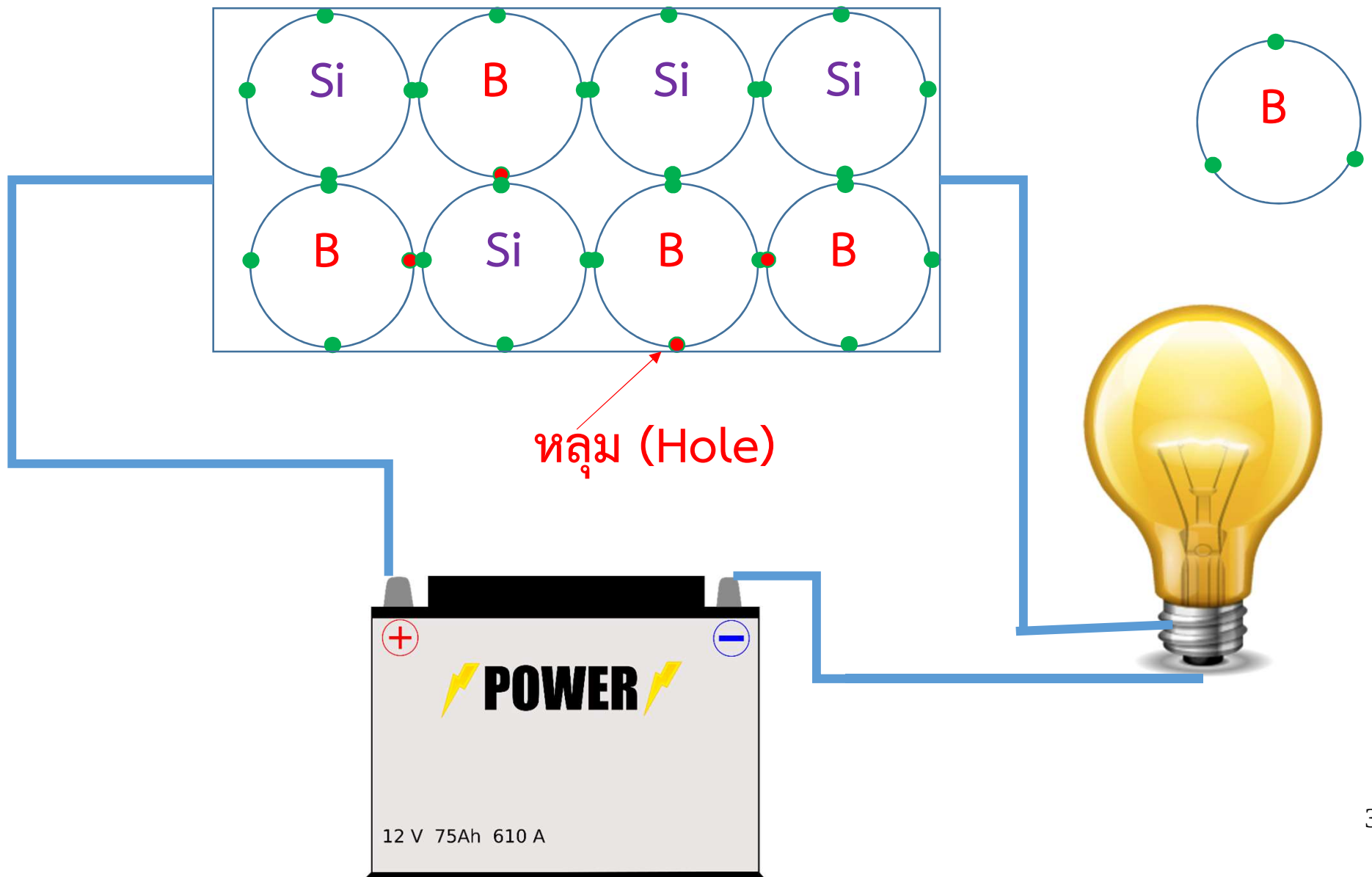
2, 3



Silicon บริสุทธิ์

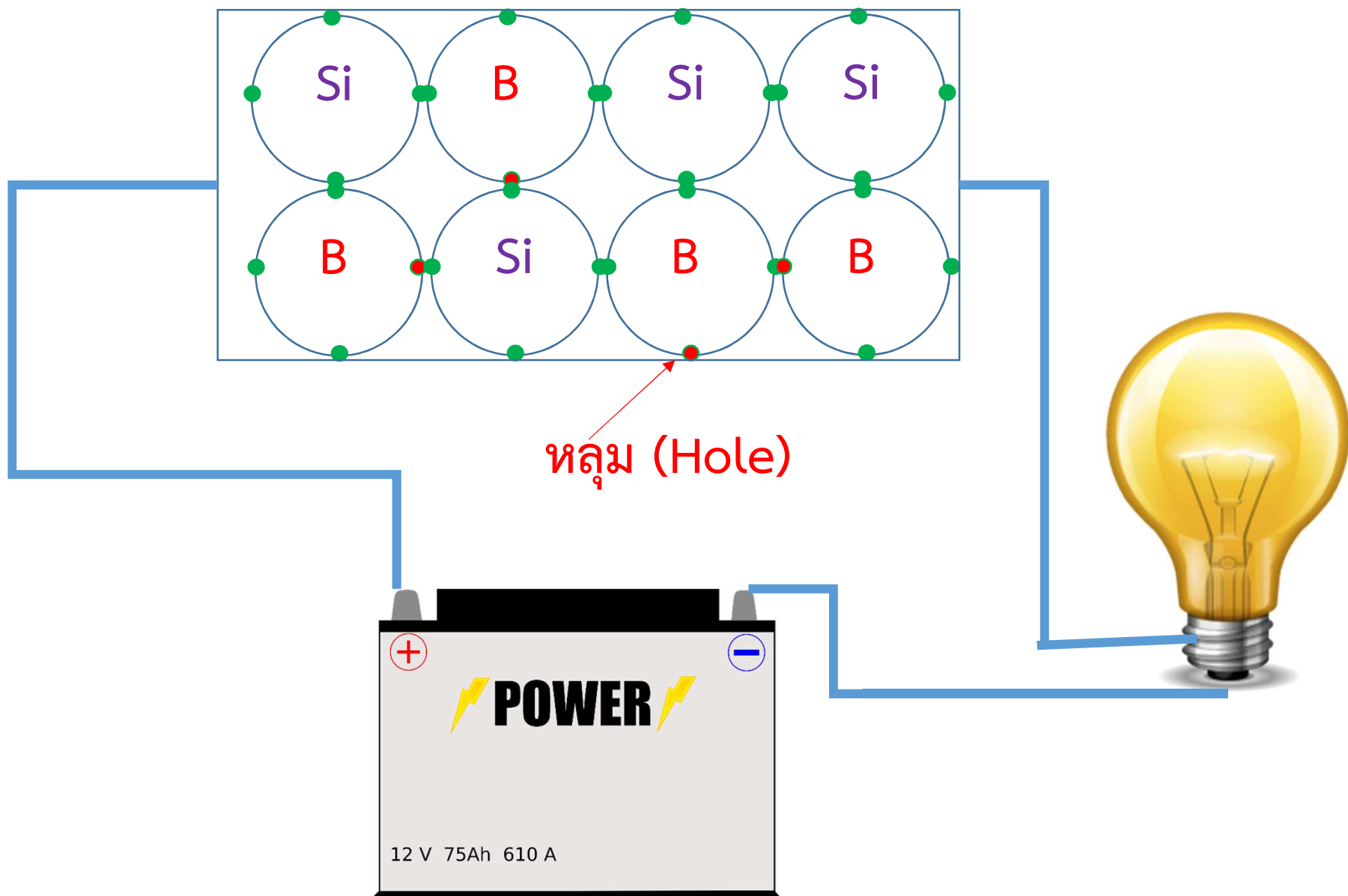


Silicon ที่ถูกโด๊ปด้วย Boron



Silicon ที่ถูกโด๊ปด้วย Boron

คุณสมบัติการนำไฟฟ้าเหมือนโลหะ นำไฟฟ้าได้ทุกทิศทาง



สารกึ่งตัวนำ

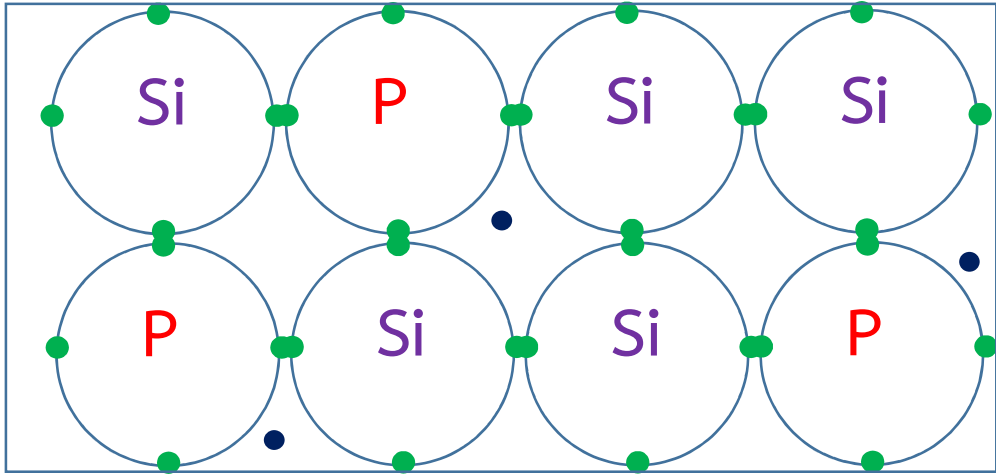
Semiconductor

สารกึ่งตัวนำ (อังกฤษ: **semiconductor**) คือ วัสดุที่มีคุณสมบัติในการนำไฟฟ้าอยู่ระหว่างตัวนำและฉนวน เป็นวัสดุที่ใช้ทำอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ มักมีตัวประกอบของ **germanium, selenium, silicon** วัสดุเนื้อแข็งผลึกพวกหนึ่งที่มีสมบัติเป็นตัวนำ หรือสื่อไฟฟ้าก้ำกึ่งระหว่างโลหะกับอโลหะหรือฉนวน ความเป็นตัวนำไฟฟ้าขึ้นอยู่กับอุณหภูมิ และสิ่งไม่บริสุทธิ์ที่มีเจือปนอยู่ในวัสดุพวกนี้ ซึ่งอาจเป็นธาตุหรือสารประกอบก็มี เช่น ธาตุเจอร์เมเนียม ซิลิคอน ซีลีเนียม และตะกั่วเทลลูไรด์ เป็นต้น วัสดุกึ่งตัวนำพวกนี้มีความต้านทานไฟฟ้าลดลงเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น ซึ่งเป็นลักษณะตรงข้ามกับโลหะทั้งปวง

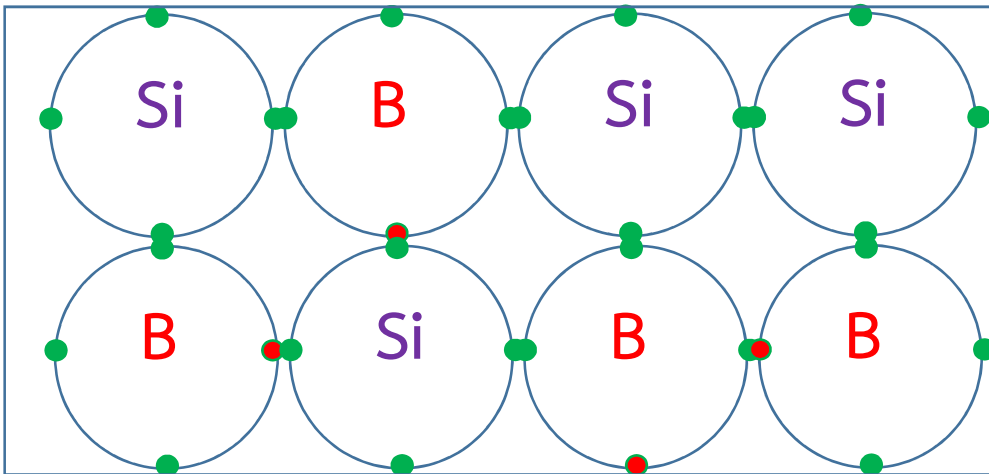
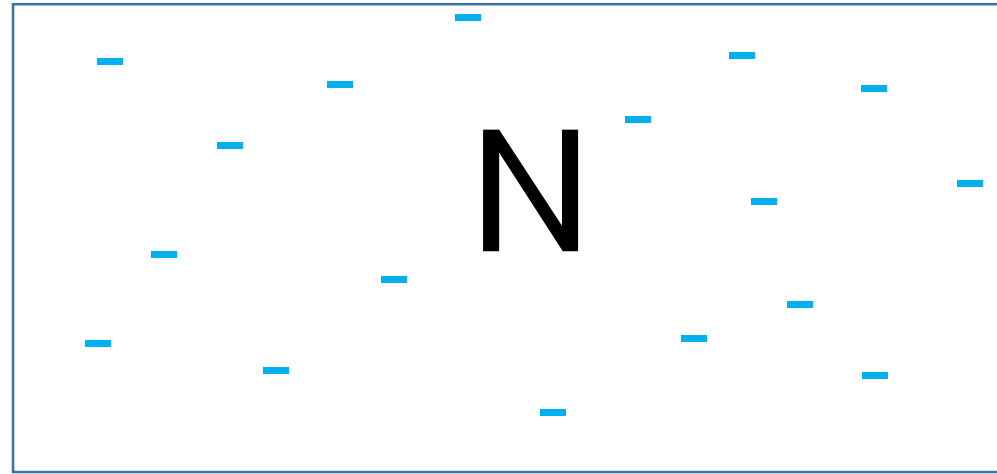
สรุป

	ถูกกระทำ	การนำไฟฟ้า	ความต้านทาน	จัดเป็น
มี อิเล็กตรอนอิสระ (โลหะ)	-	ดี	ต่ำ	ตัวนำ
	ทำให้ร้อน	ไม่ดี	สูง	ตัวนำ
ไม่มี อิเล็กตรอนอิสระ (Silicon)	-	ไม่ได้	สูงมาก	ฉนวน
	ทำให้ร้อน	ไม่ดี	สูง	กึ่งตัวนำ
	P- Type Dope	ดี	ต่ำ	กึ่งตัวนำ
	N-Type Dope	ดี	ต่ำ	กึ่งตัวนำ

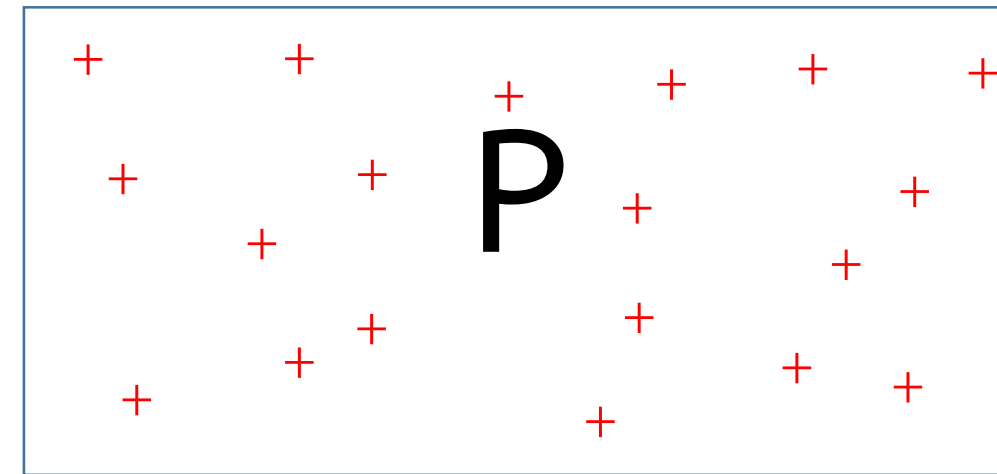
สารกึ่งตัวนำ



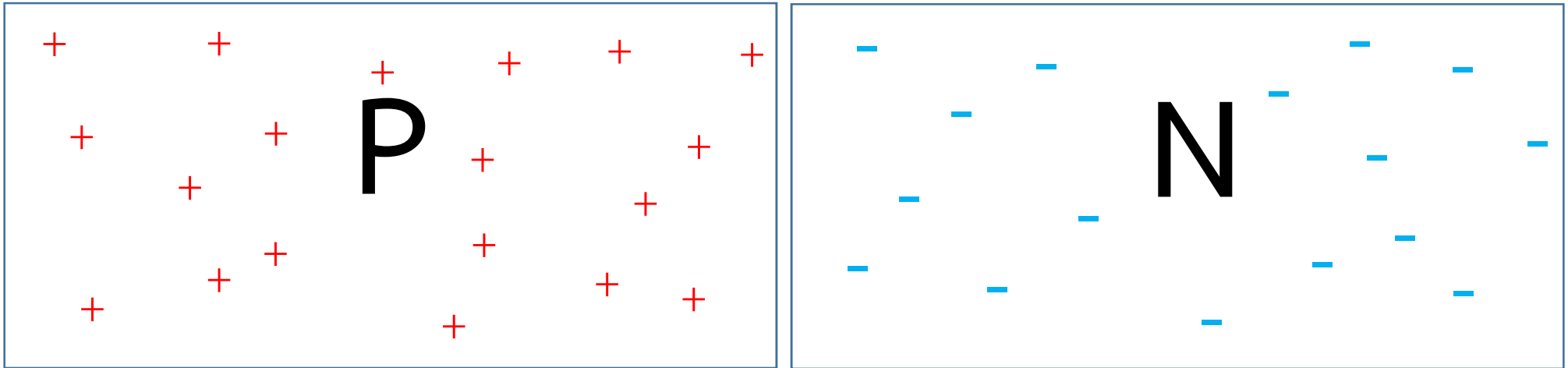
N-Type



N-Type



การนำสารกึ่งตัวนำแบบ P และ N มาต่อกัน



ไม่ได้เชื่อมเป็นเนื้อเดียว แต่มีฉนวนบางๆ กัน

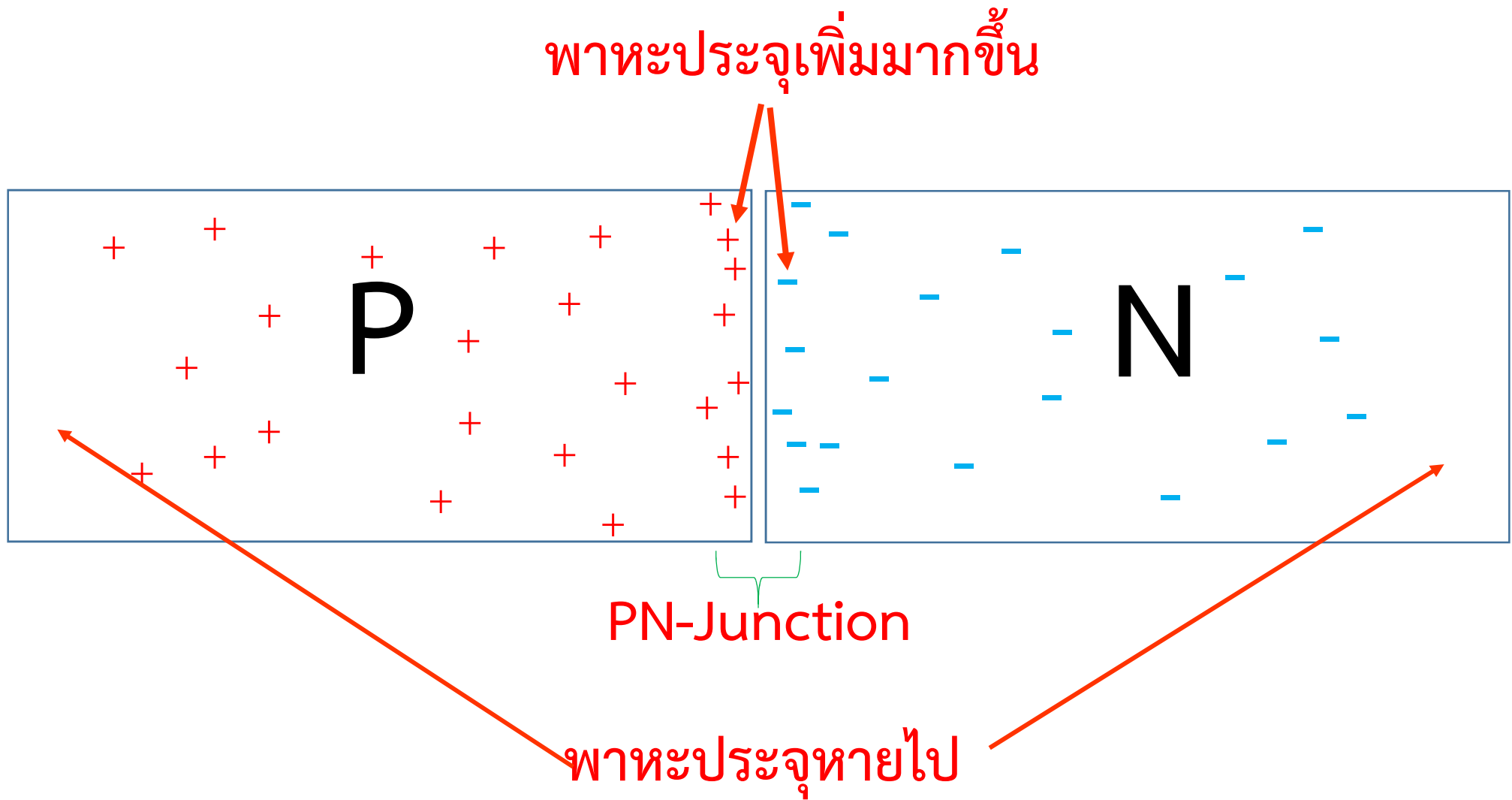
ฉนวนเกิดจากการที่บริเวณนี้ไม่ถูกโด๊ป จึงไม่มีพาหะประจุ

บริเวณนี้เรียกว่า PN Junction

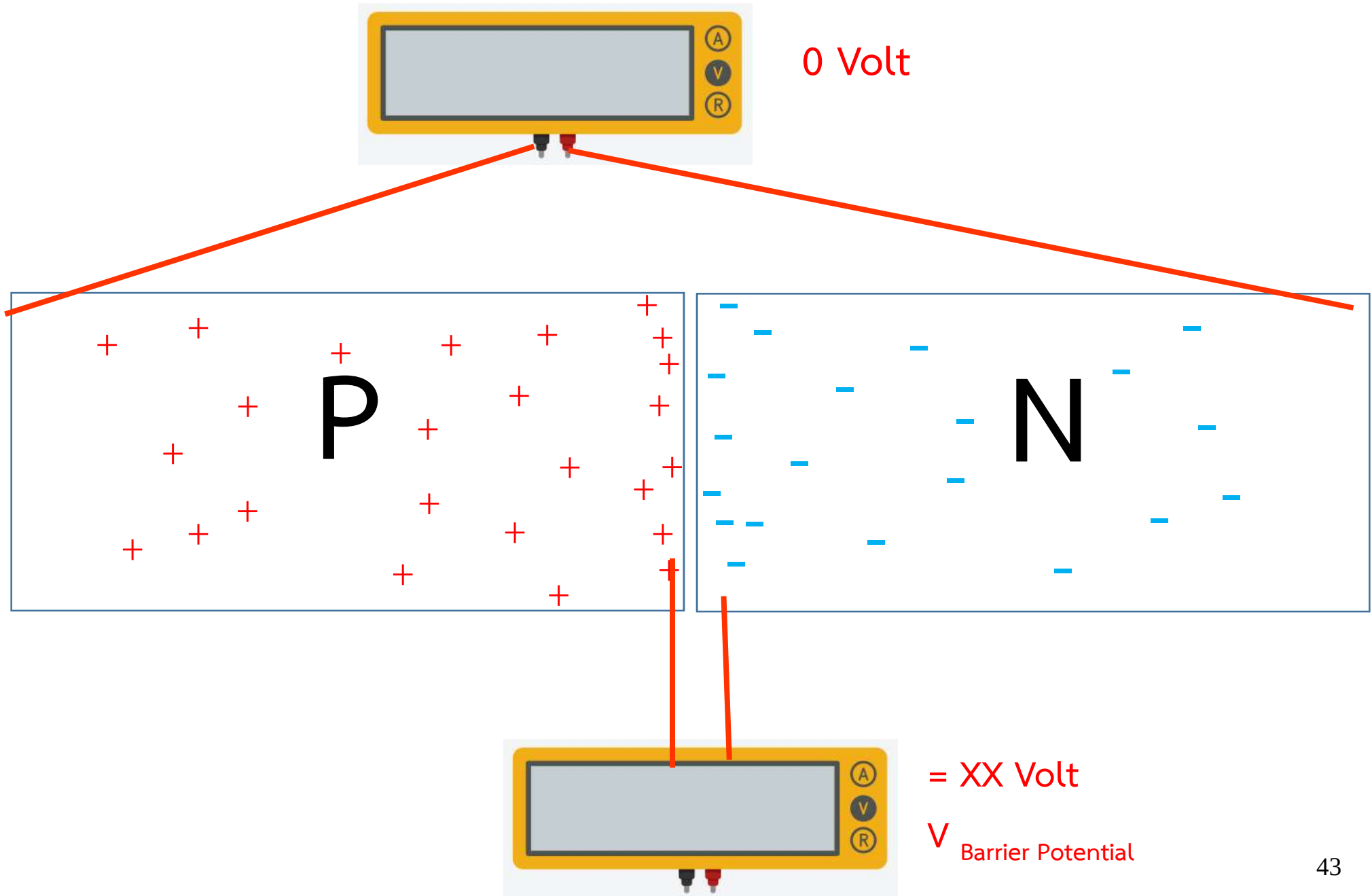
ในกรณีนี้ไม่มีพาหะประจุ จึงเรียกว่า depletion region

สิ่งที่น่าสนใจบางอย่างเกิดขึ้นที่บริเวณนี้

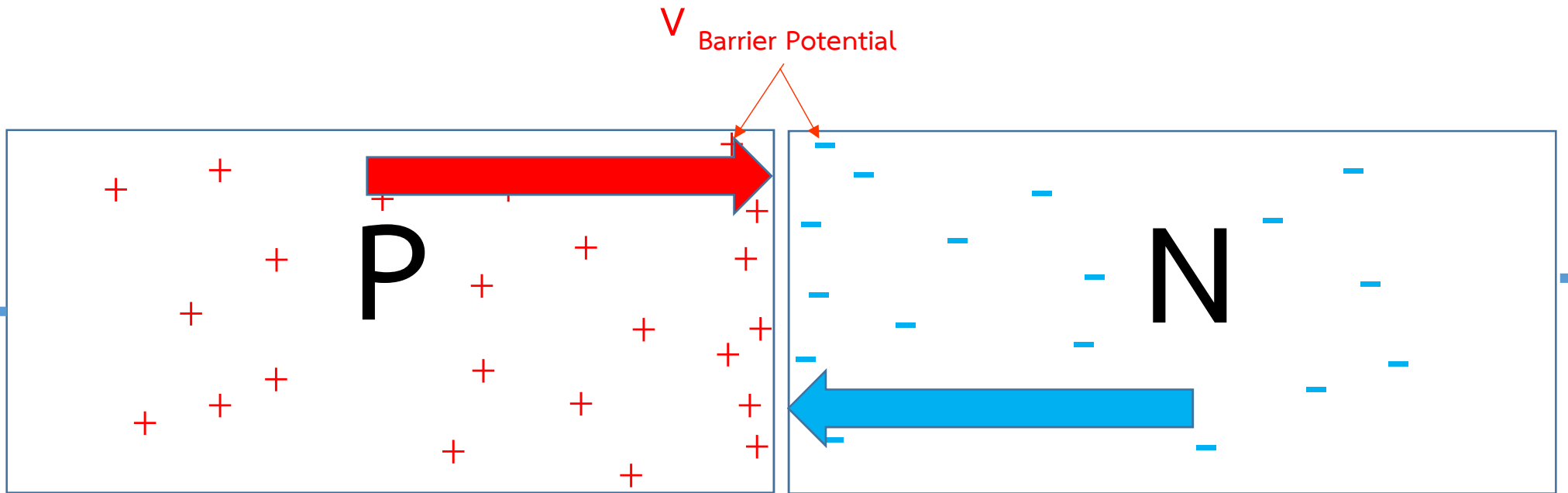
การนำสารกึ่งตัวนำแบบ P และ N มาต่อกัน



การนำสารกึ่งตัวนำแบบ P และ N มาต่อกัน



PN Junction



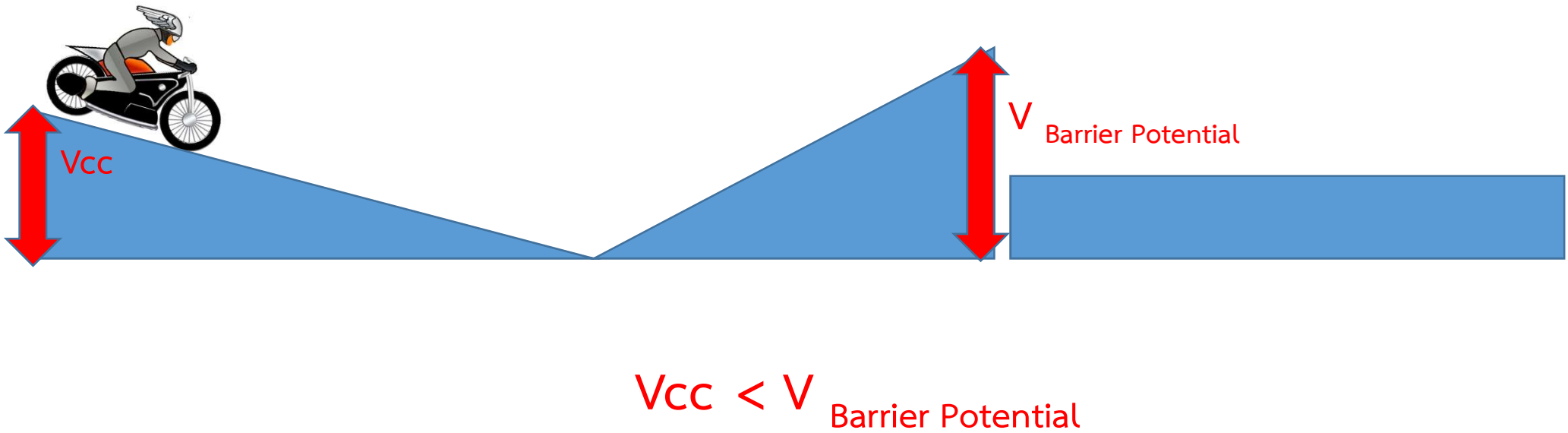
depletion region จะแคบลง

เมื่อเพิ่ม V_{cc} จะส่งผลให้ depletion region แคบลงเรื่อยๆ

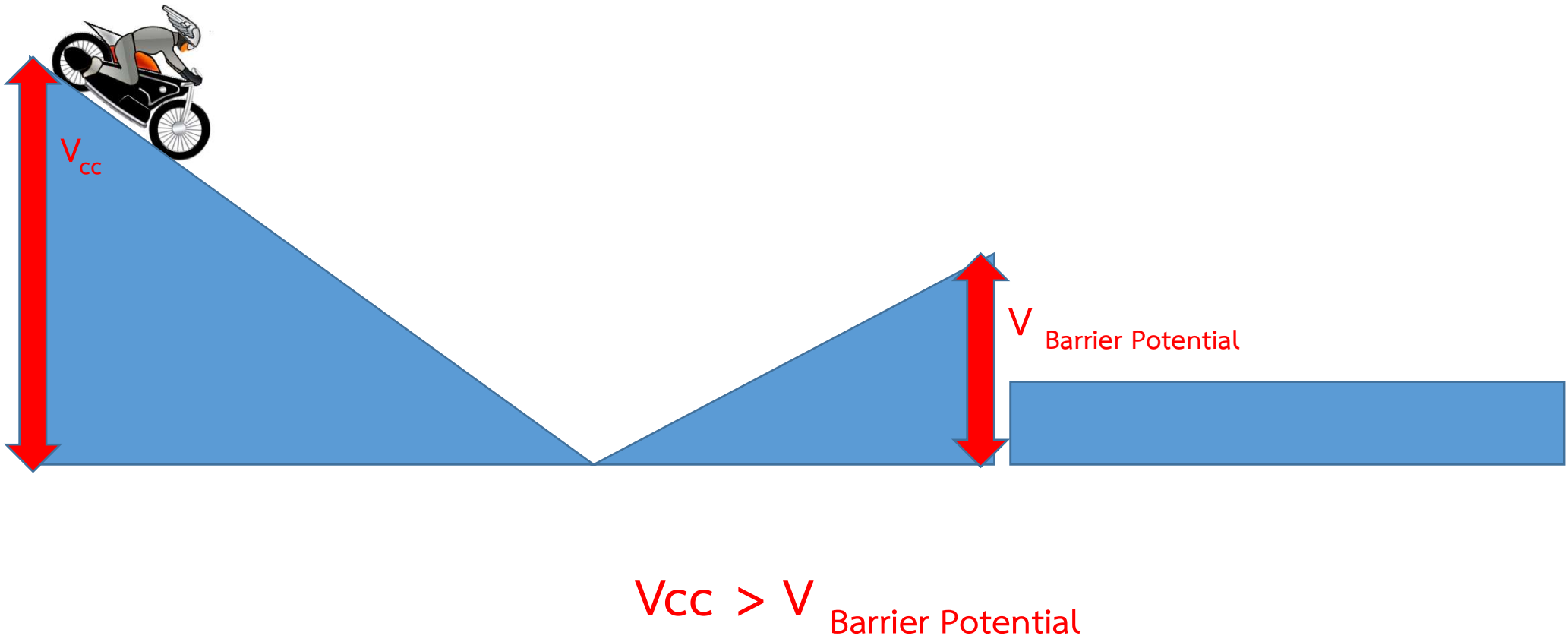


V_{cc}

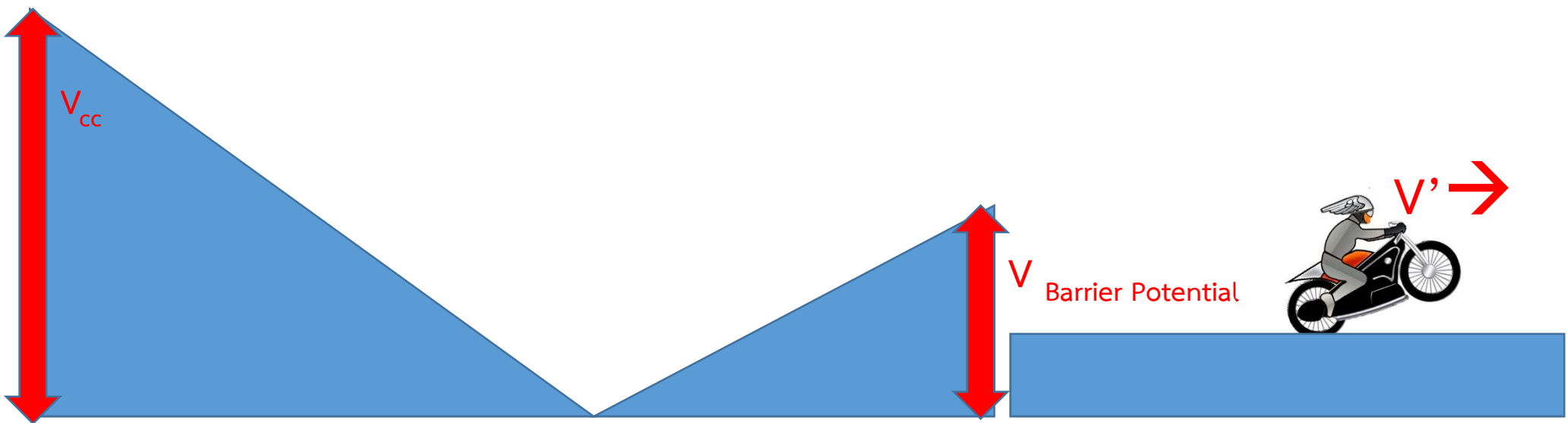
PN Junction



PN Junction



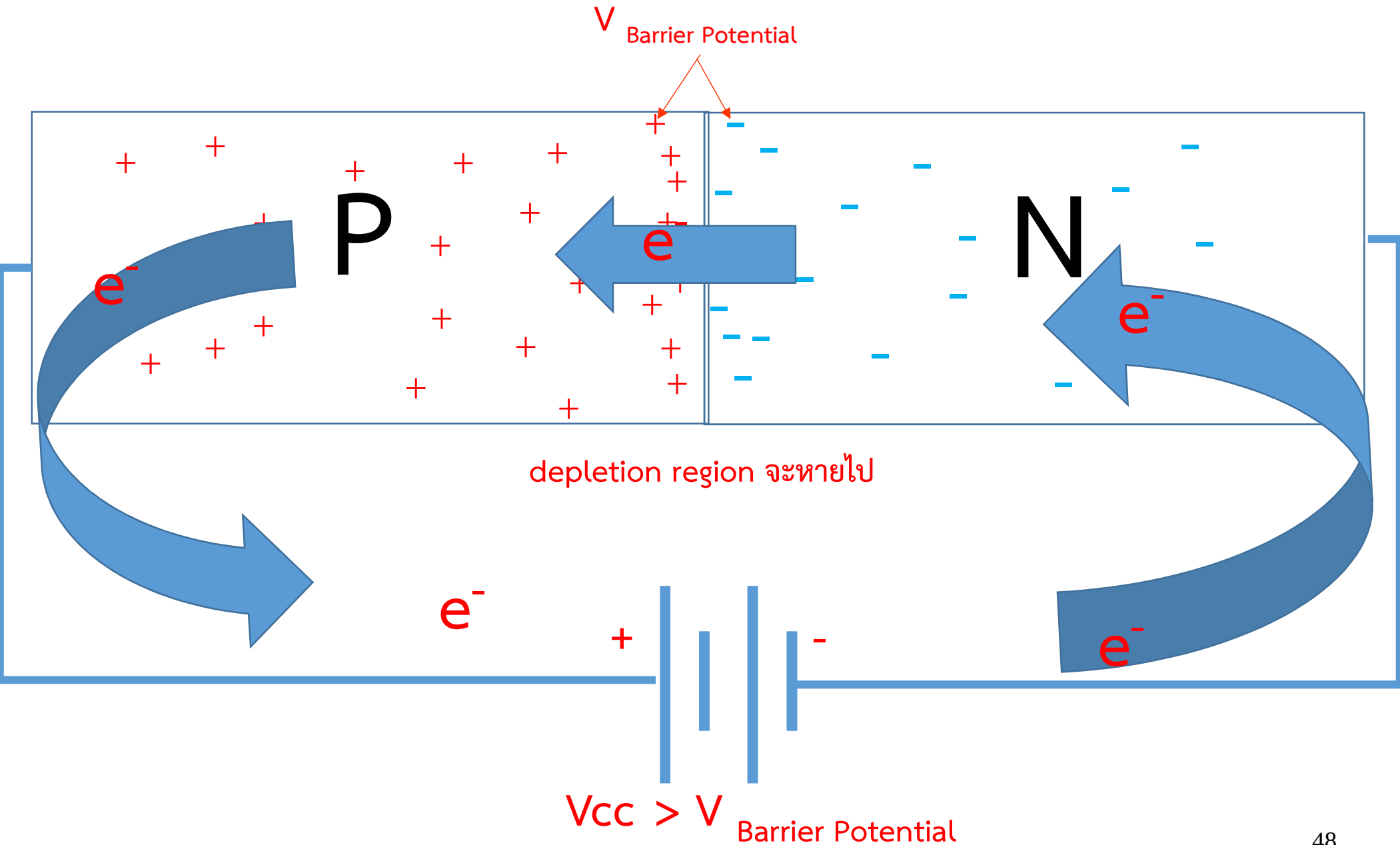
PN Junction



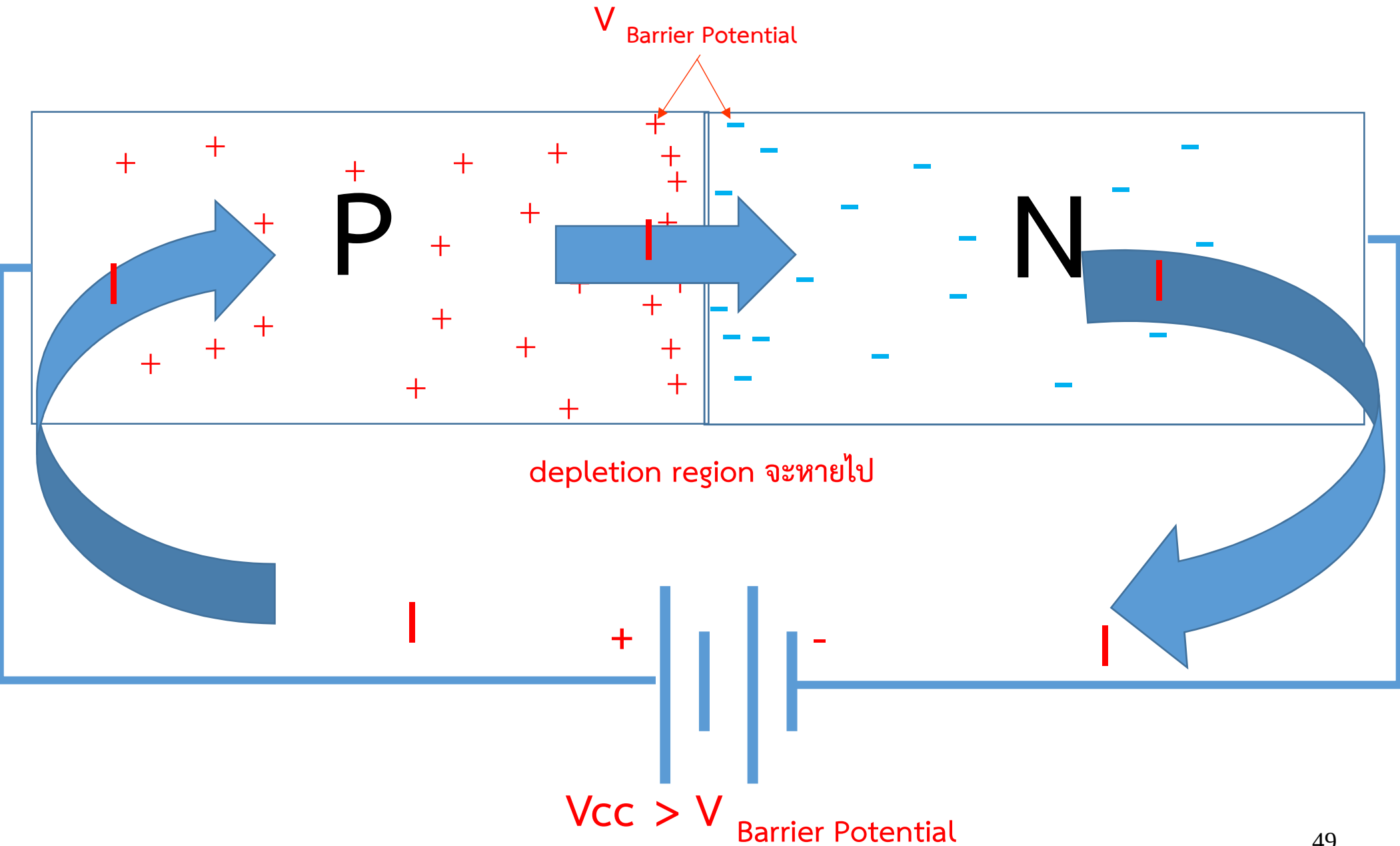
$$V_{CC} > V_{\text{Barrier Potential}}$$

$$V' = V_{CC} - V_{\text{Barrier Potential}}$$

PN Junction การไหลของอิเล็กตรอน



PN Junction การไหลของกระแส

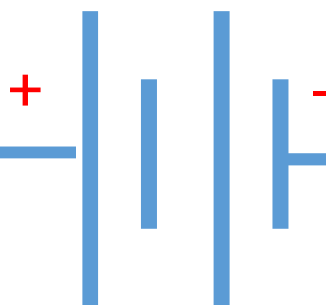


PN Junction การไหลของกระแส

P

N

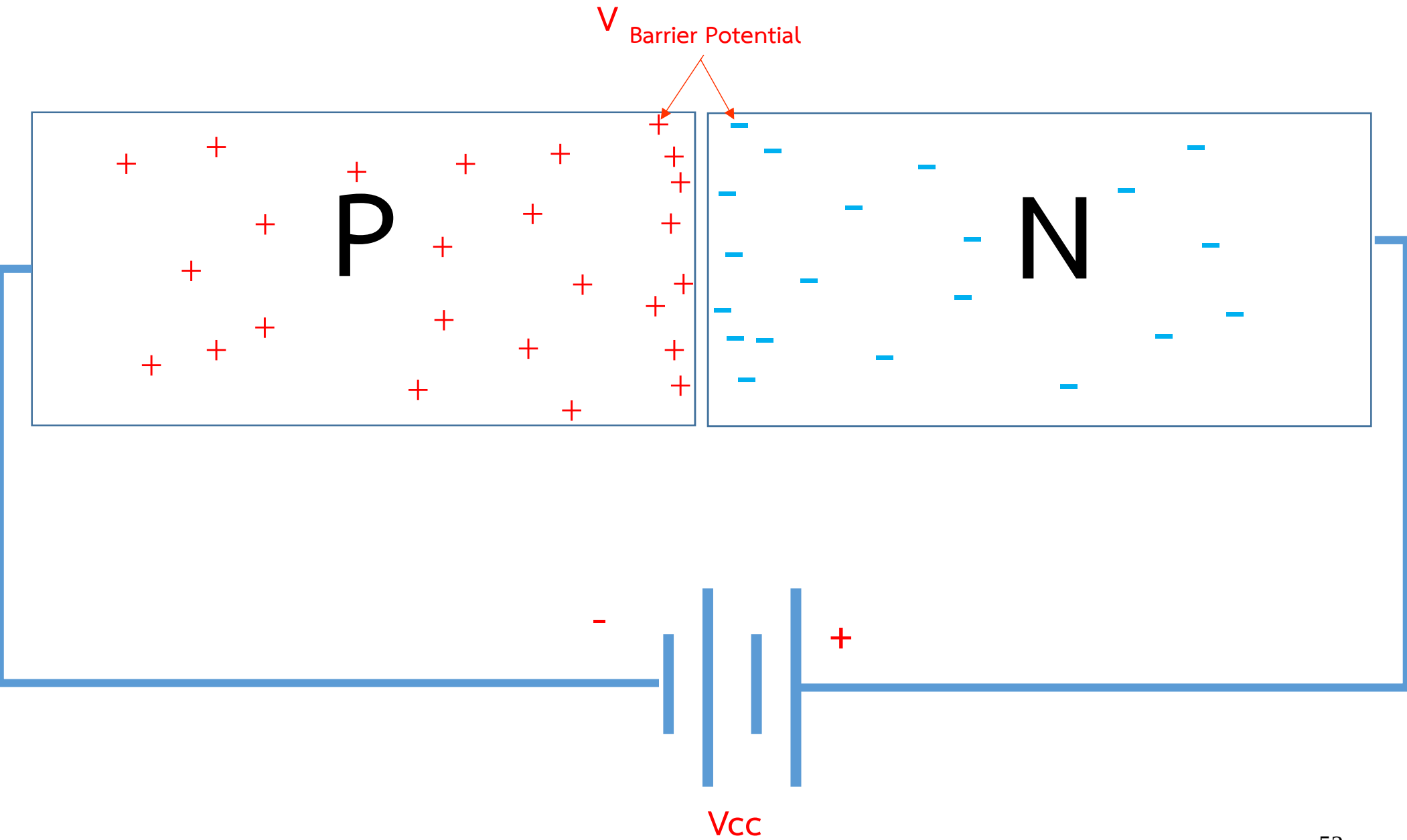
การต่อ + เข้า P , - เข้า N เรียกว่า Forward Bias



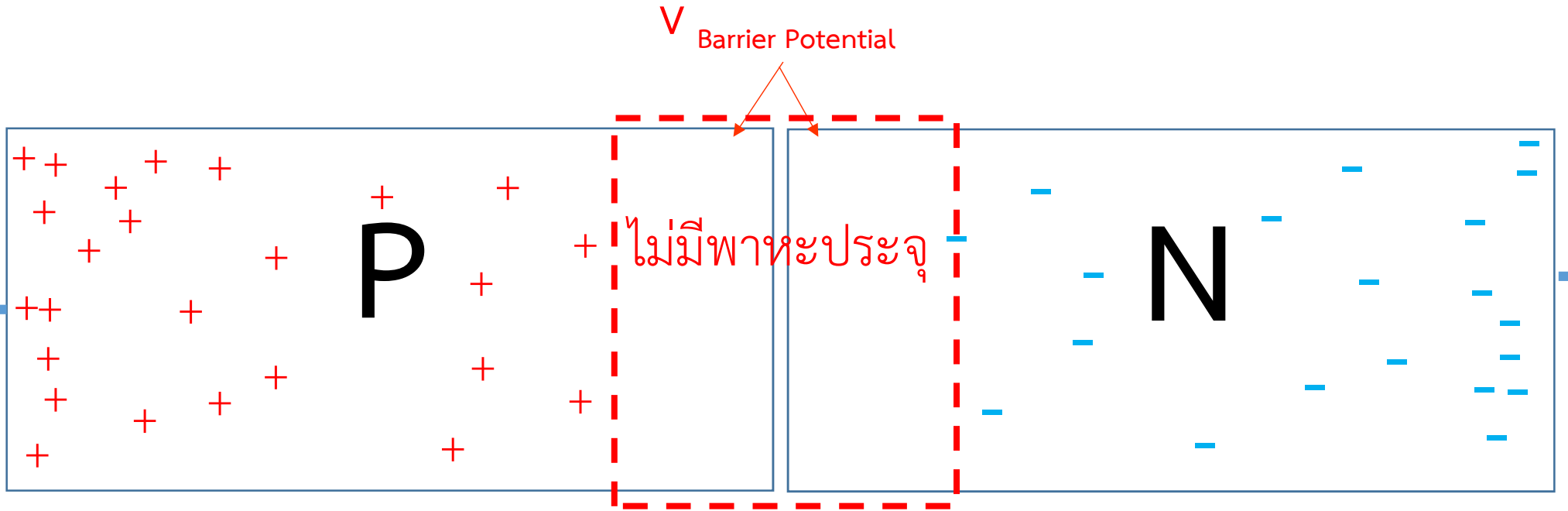
PN Junction การไหลของกระแส

ถ้ากลับขั้วแบตเตอรี่ จะเกิดอะไรขึ้น ?

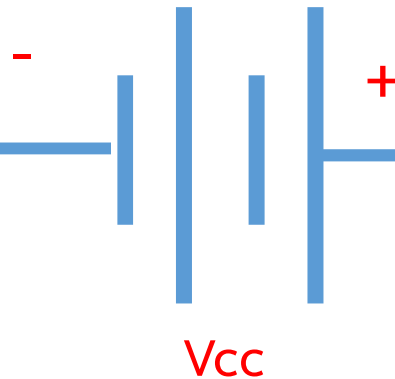
PN Junction



PN Junction



เมื่อเพิ่ม V_{cc} จะส่งผลให้ depletion region กว้างขึ้นเรื่อยๆ
กระแสจึงไหลไม่ได้



PN Junction การไหลของกระแส

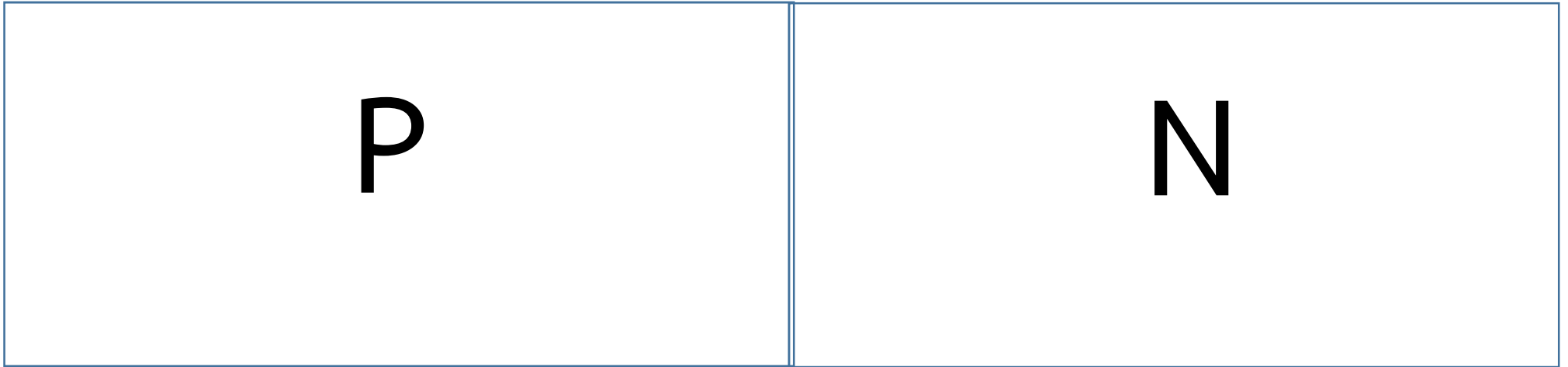
P

N

การต่อ - เข้า P , + เข้า N เรียกว่า Reverse Bias

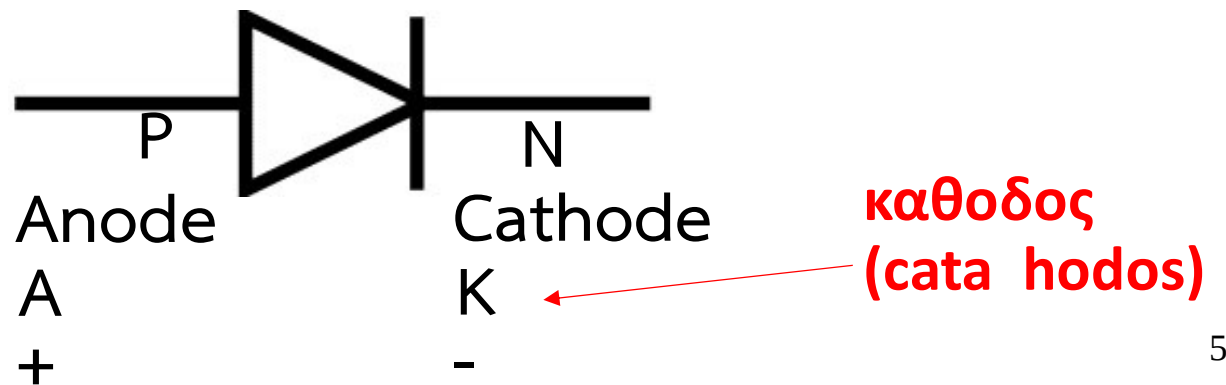


PN Junction

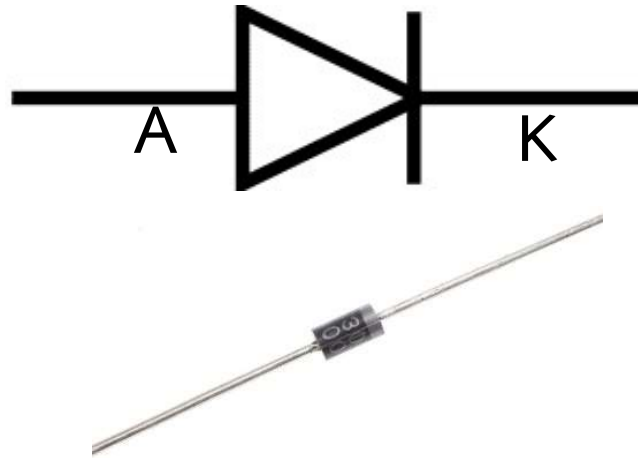


อุปกรณ์ตัวนี้ยอมให้กระแสไหลผ่านได้เพียงทิศทางเดียว
มีชื่อเรียกว่า....

ไดโอด (Diode)



Diode



$V_{\text{Barrier Potential}}$ ของ Diode จะเรียกค่านี้ว่า V_f , V_d หรือ V forward

คือ แรงดันต่ำสุดที่ diode เริ่มทำงาน

ค่า V_f จะแปรผันตามอุณหภูมิ และแร่ที่ใช้ผลิตสารกึ่งตัวนำ โดยทั่วไปจะมีค่าที่อุณหภูมิห้อง

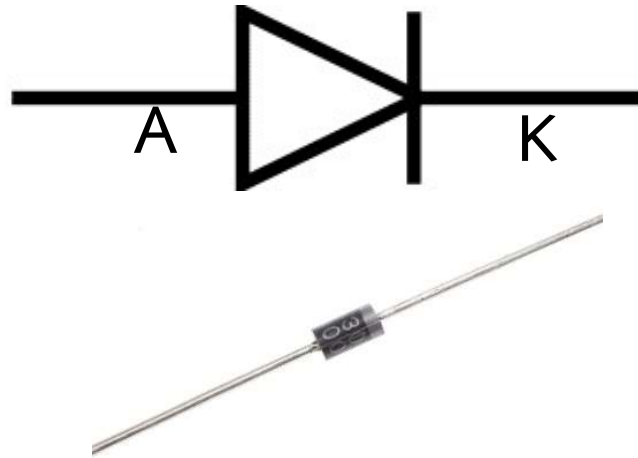
ไดโอดที่ทำจาก Silicon จะมี $V_f = 0.7 \text{ V}$

ไดโอดที่ทำจาก Germanium จะมี $V_f = 0.3 \text{ V}$

ตลอดการทำงาน ค่า V_f จะไม่ค่อยเปลี่ยนแปลง แต่หากมีกระแสไหลผ่านตัวมันมาก V_f อาจเพิ่มขึ้นเล็กน้อย

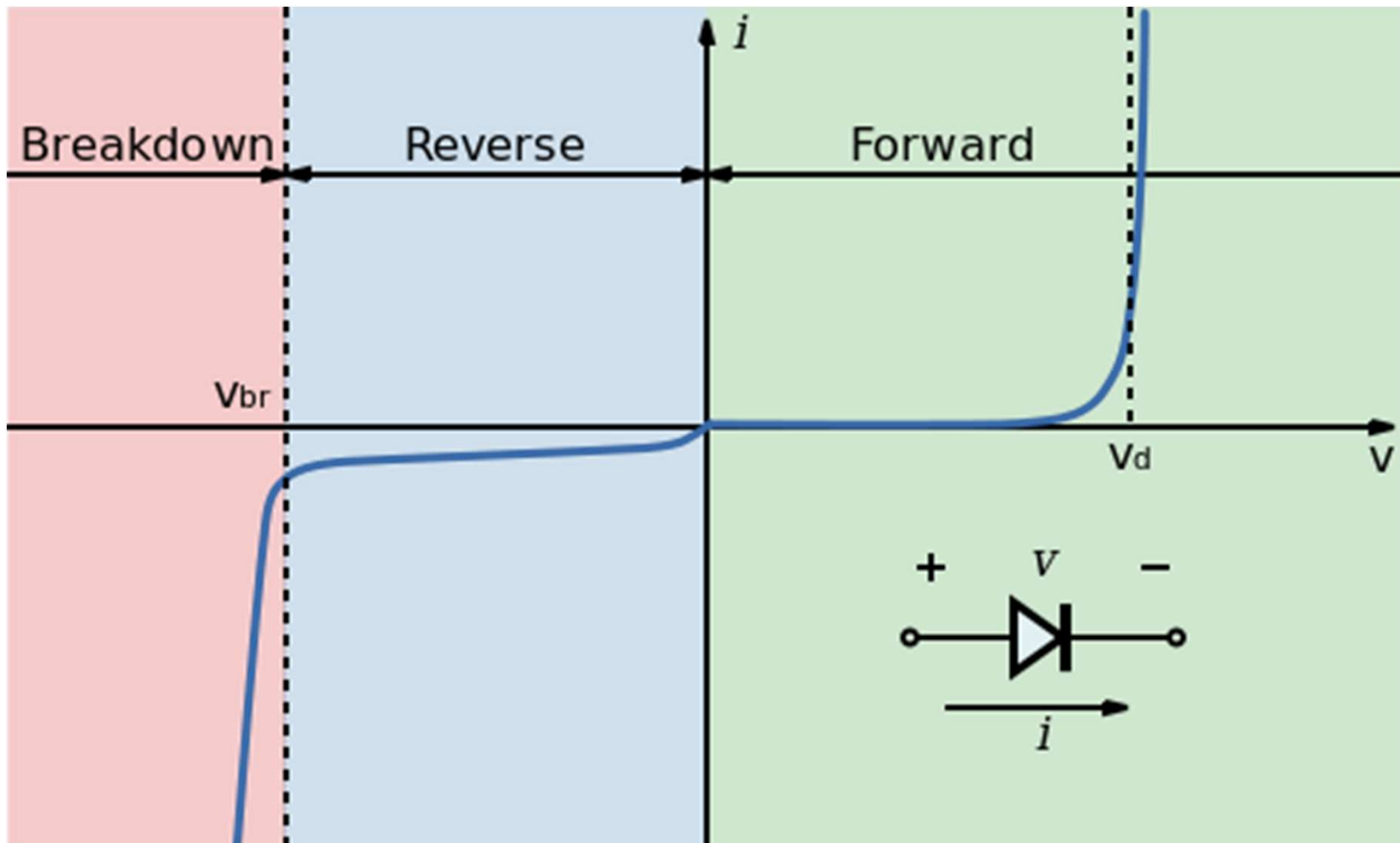
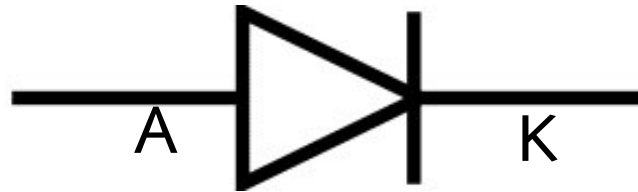
หาก V_f เพิ่มขึ้นเกินขีดจำกัด ไดโอดจะพัง

Diode

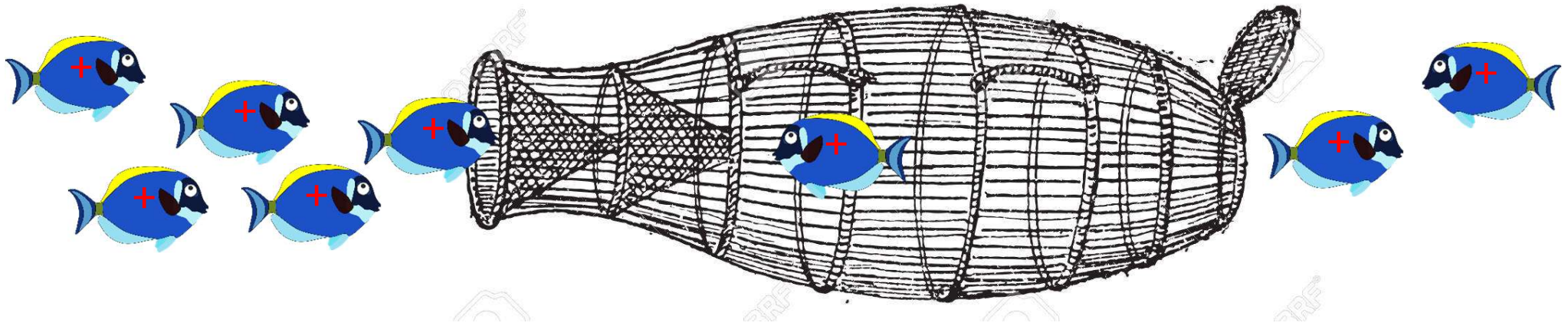
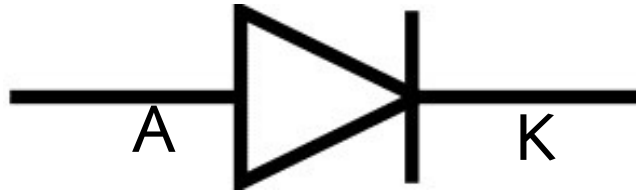


หากต่อ Diode กลับขั้ว จะไม่มีกระแสไหล (อาจมีรั่วได้เล็กน้อย)
แต่หาก V_{cc} ที่จ่ายกลับขั้วมีค่าสูงเกินไป กระแสจะทะลุ Junction ข้ามไปได้
เรียกค่านี้ว่า (Breakdown Voltage)
เมื่อเกิด Breakdown พาหะประจุใน P และ N จะถูกกำจัดออกไปจนหมด
ไดโอดก็จะ พัง

Diode



Diode



กระแสไฟฟ้าผ่านได้ทิศทางเดียว คือ + เข้าทาง A และออกทาง K
และ - เข้าทาง K และออกทาง A

Diode

ตัวอย่าง datasheet ไดโอดเบอร์ 1N4001

1N4001 - 1N4007

General-Purpose Rectifiers

Features

- Low Forward Voltage Drop
- High Surge Current Capability

Thermal Characteristics

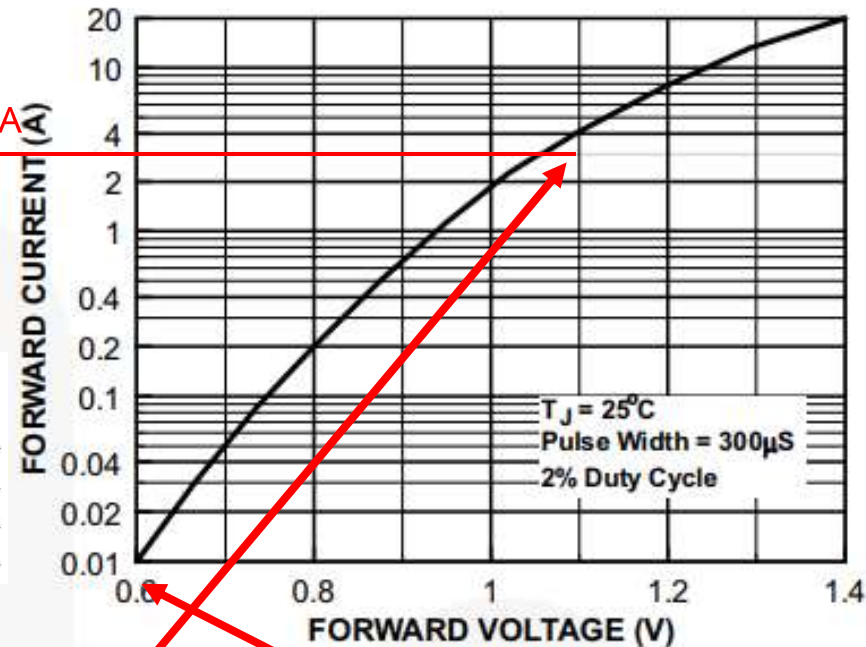
Values are at $T_A = 25^\circ\text{C}$ unless otherwise noted.

Symbol	Parameter	Value	Unit
P_D	Power Dissipation	3.0	W
$R_{\theta JA}$	Thermal Resistance, Junction-to-Ambient	50	$^\circ\text{C/W}$

ทนความร้อนได้มากที่สุด



ห้ามให้กระแสไหลผ่านเกิน 3A

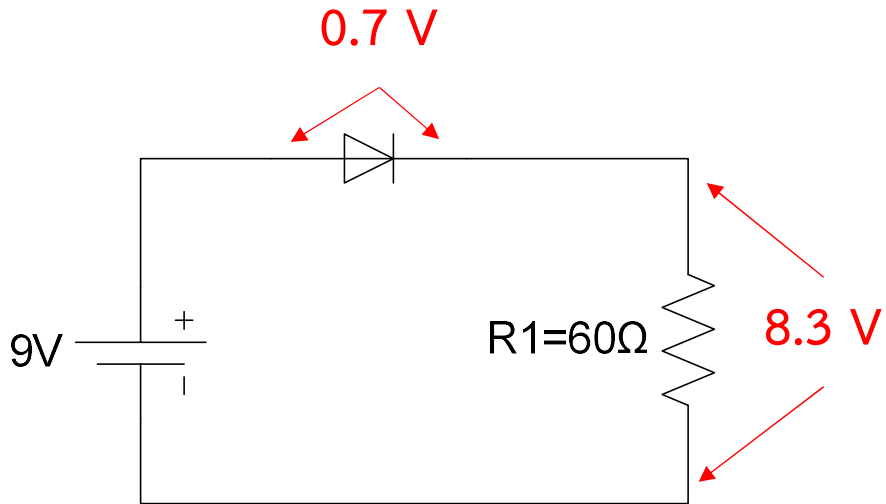


Electrical Characteristics

Values are at $T_A = 25^\circ\text{C}$ unless otherwise noted.

Symbol	Parameter	Conditions	Value	Unit
V_F	Forward Voltage	$I_F = 1.0 \text{ A}$	1.1	V
I_{rr}	Maximum Full Load Reverse Current, Full Cycle	$T_A = 75^\circ\text{C}$	30	μA
I_R	Reverse Current at Rated V_R	$T_A = 25^\circ\text{C}$	5.0	μA
		$T_A = 100^\circ\text{C}$	50	
C_T	Total Capacitance	$V_R = 4.0 \text{ V}, f = 1.0 \text{ MHz}$	15	pF

Diode



วงจรนี้มีกระแสไหลผ่าน และแรงดันตกคร่อม $R1$ เท่าใด
เมื่อกำหนดให้ไดโอดผลิตจาก Silicon
ใช้ไดโอดเบอร์ 1N4148 ได้หรือไม่ ?

วิธีทำ

ไดโอด Si มีค่า $V_f = 0.7$ V คร่อมไดโอด $V_d = 0.7$

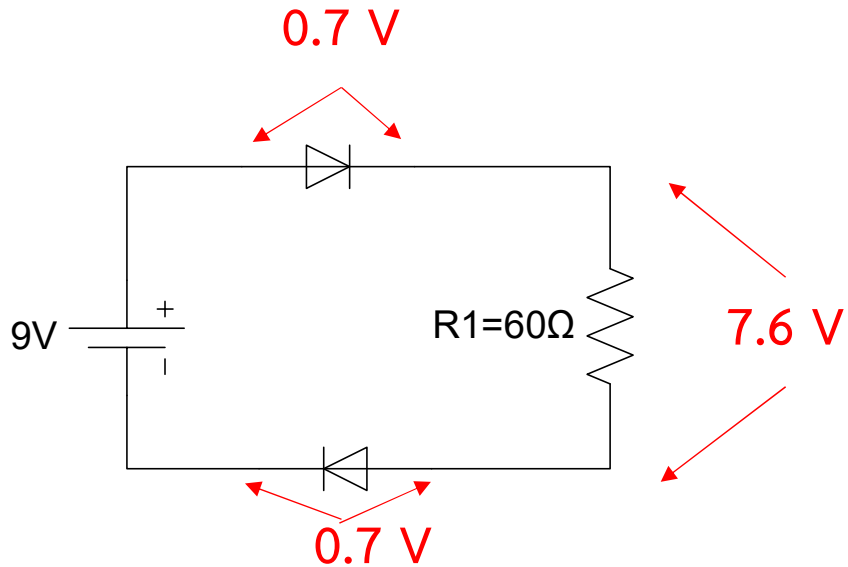
เหลือ V คร่อม $R1$ เป็น $9 - 0.7 = 8.3$ V ตอบ

กระแสผ่าน $R1 = V_{R1} / R1 = 8.3 / 60 = 138$ mA ตอบ

เกิดพลังงานที่ไดโอด $P = V_d \times I = 0.7 \times 0.138 = 96$ mW

1N4148 ทนได้ถึง 3W ดังนั้นวงจรนี้จึงใช้ไดโอดเบอร์นี้ได้ ตอบ

Diode



วงจรนี้มีกระแสไหลผ่าน และแรงดันตกคร่อม R1 เท่าใด
เมื่อกำหนดให้ไดโอดผลิตจาก Silicon

วิธีทำ

ไดโอด Si มีค่า $V_f = 0.7$ V คร่อมไดโอด $V_d = 0.7$

เหลือ V คร่อม R1 เป็น $9 - 0.7 - 0.7 = 7.6$ V ตอบ

กระแสผ่าน R1 = $V_{R1} / R1 = 7.6 / 60 = 126$ mA ตอบ

Diode

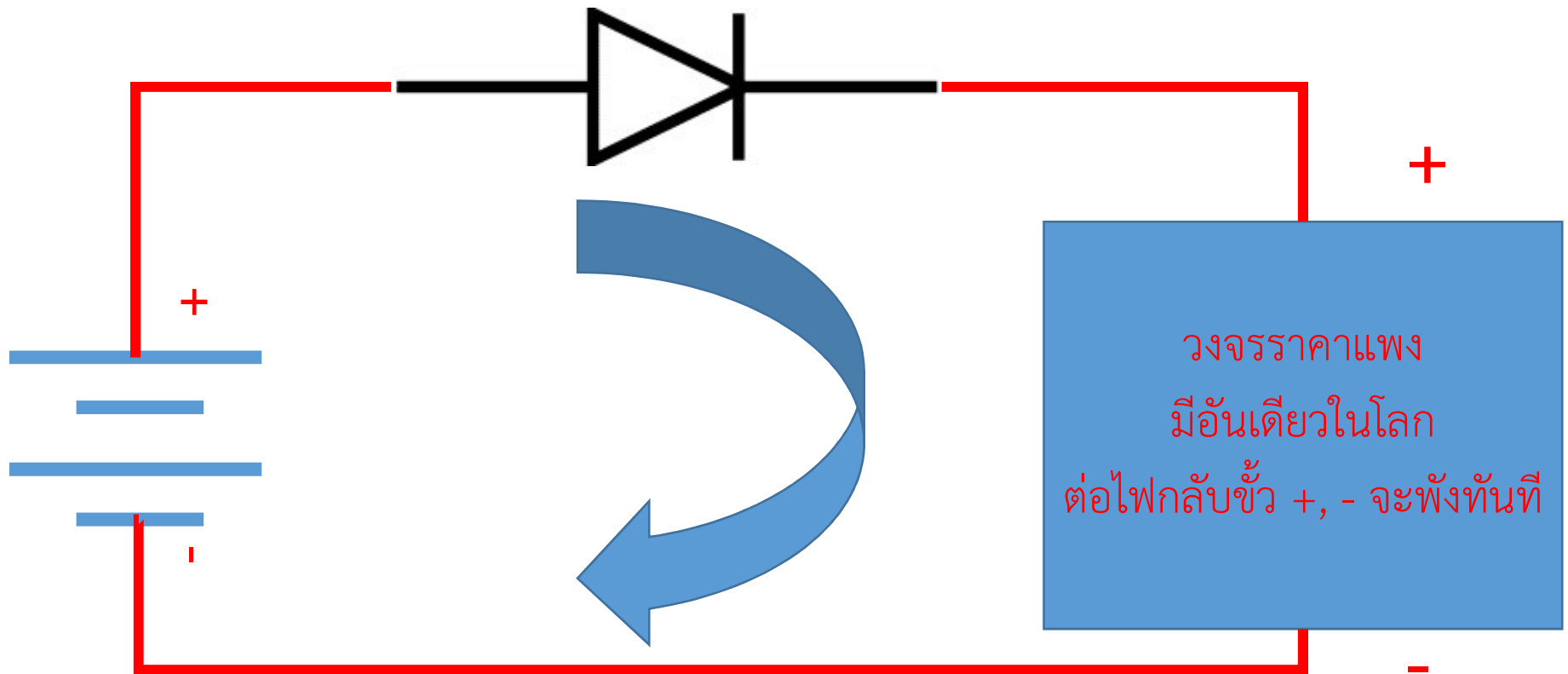


ไดโอดตัวนี้อะไรทำอะไรได้บ้าง ?

1) ป้องกันผู้ใช้ต่อไฟกลับขั้ว

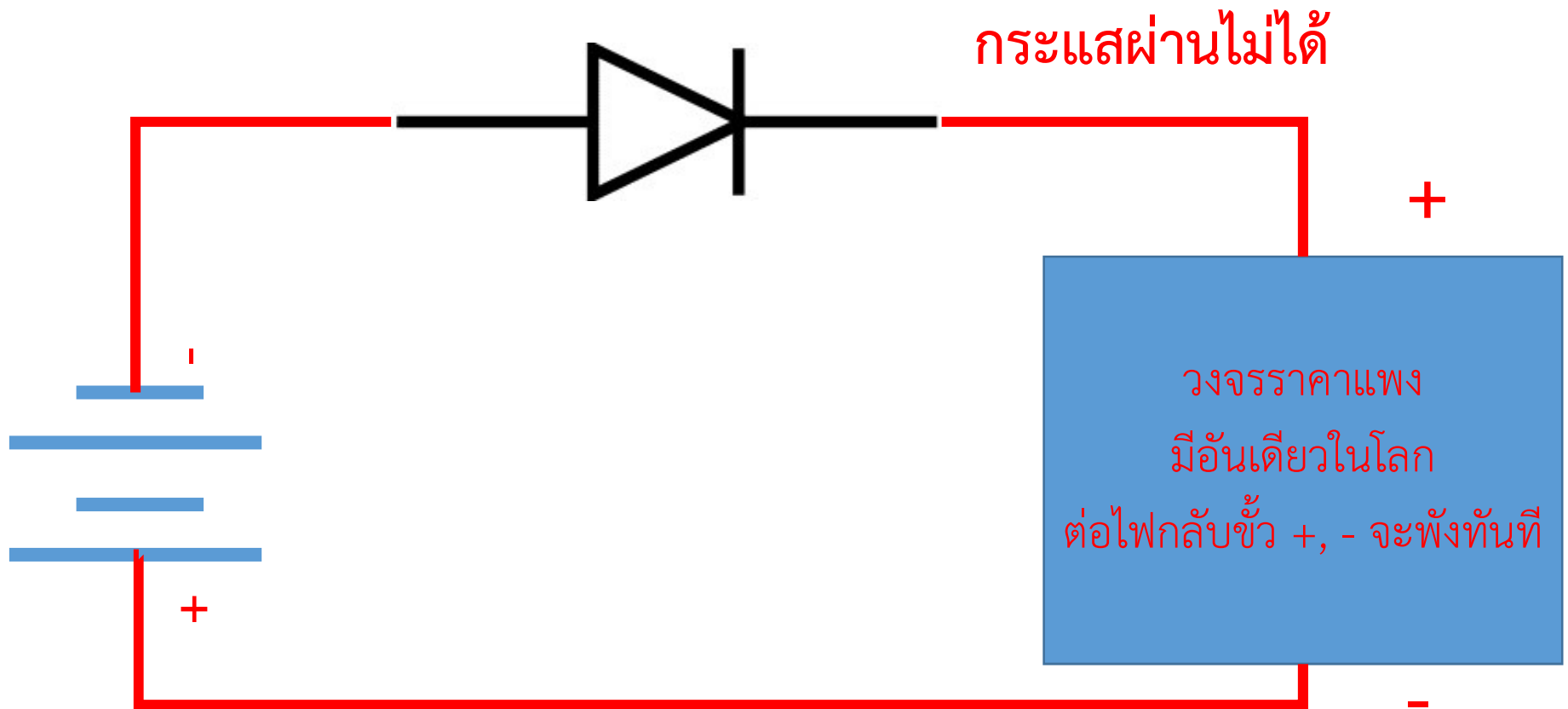
Diode

1) ป้องกันผู้ใช้ต่อไฟกลับขั้ว



Diode

1) ป้องกันผู้ใช้ต่อไฟกลับขั้ว



Diode

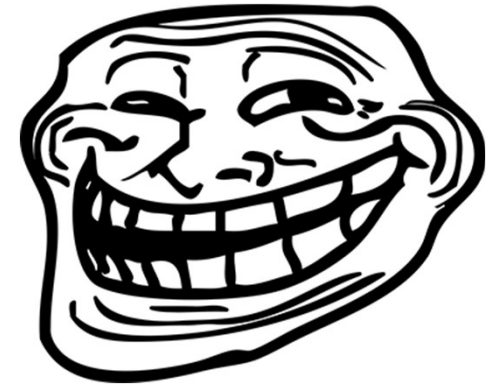
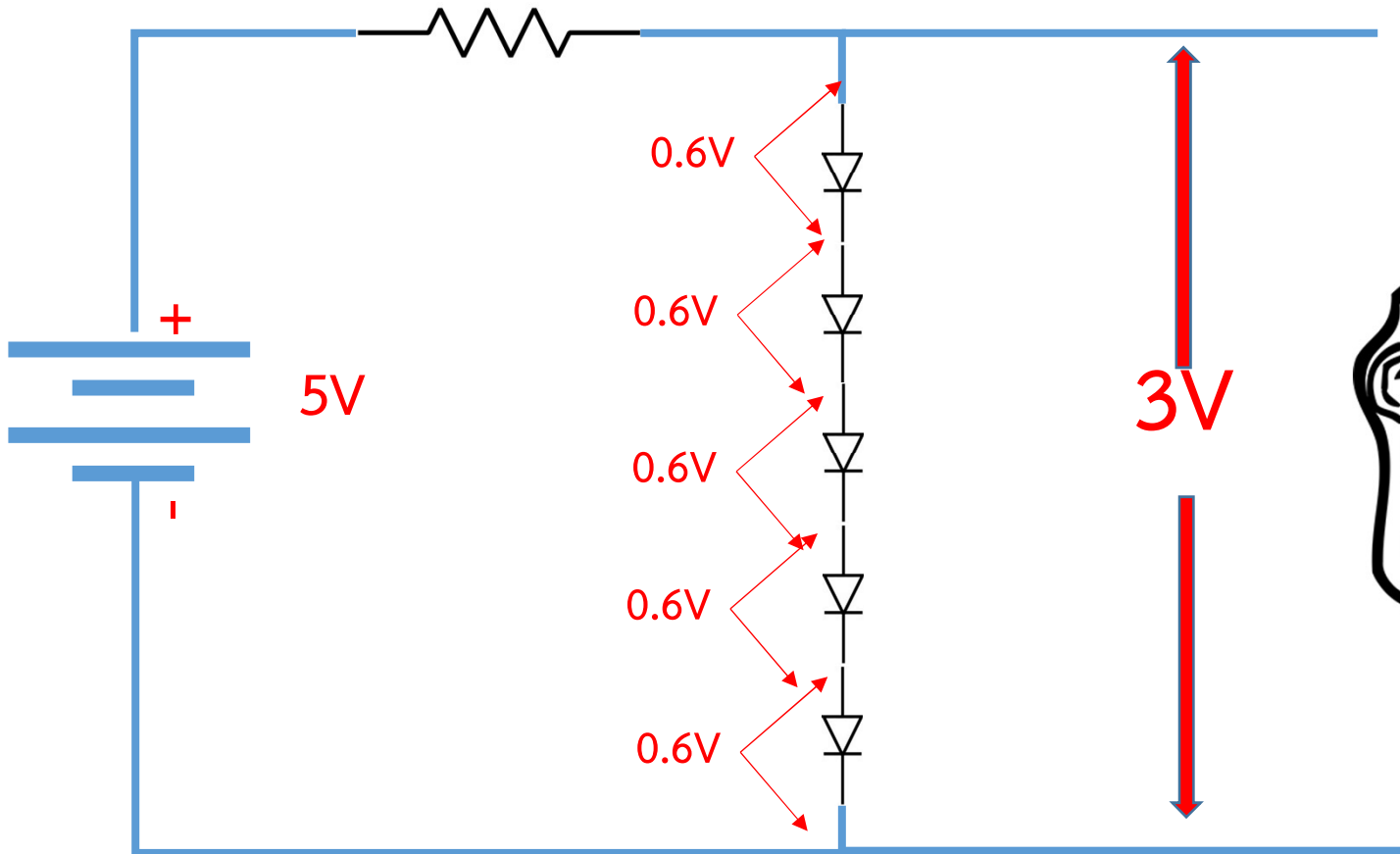


ไดโอดตัวนี้อะไรทำอะไรได้บ้าง ?

- 1) ป้องกันผู้ใช้ต่อไฟกลับขั้ว
- 2) ใช้ควบคุมแรงดัน (Voltage regulator)

Diode

2) ใช้ควบคุมแรงดัน (Voltage regulator)



Diode

2) ใช้ควบคุมแรงดัน (Voltage regulator)

Zener Diodes



FEATURES

- Silicon planar power Zener diodes
- For use in stabilizing and clipping circuits with high power rating
- Standard Zener voltage tolerance is $\pm 5\%$
- AEC-Q101 qualified
- Material categorization: for definitions of compliance please see www.vishay.com/doc?99912

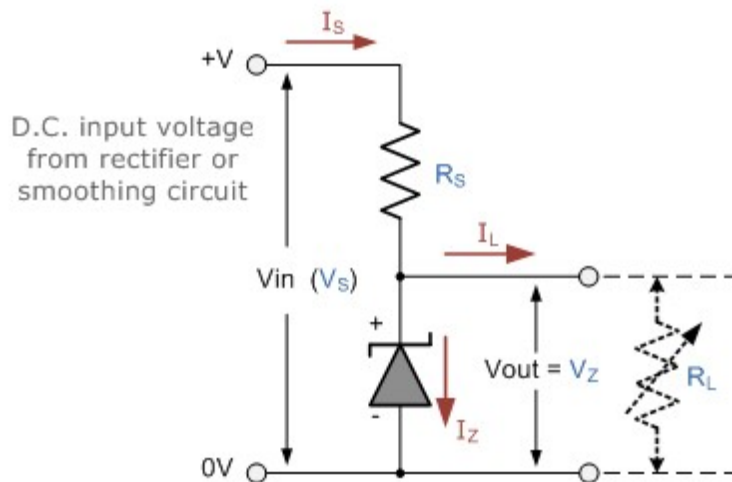


RoHS
COMPLIANT
HALOGEN
FREE

APPLICATIONS

- Voltage stabilization

PRIMARY CHARACTERISTICS		
PARAMETER	VALUE	UNIT
V_Z range nom.	3.3 to 100	V
Test current I_{ZT}	2.5 to 76	mA
V_Z specification	Thermal equilibrium	
Int. construction	Single	



ELECTRICAL CHARACTERISTIC		
PART NUMBER	ZENER VOLTAGE RANGE ⁽¹⁾	C
	V_Z at I_{ZT1}	I_{ZT1}
	V	mA
	NOM.	
1N4728A	3.3	71
1N4729A	3.6	61
1N4730A	3.9	61
1N4731A	4.3	51
1N4732A	4.7	51
1N4733A	5.1	41
1N4734A	5.6	41
1N4735A	6.2	41
1N4736A	6.8	31
1N4737A	7.5	31
1N4738A	8.2	31
1N4739A	9.1	21
1N4740A	10	21
1N4741A	11	21
1N4742A	12	21
1N4743A	13	11
1N4744A	15	11
1N4745A	16	15
1N4746A	18	11
1N4747A	20	12
1N4748A	22	11
1N4749A	24	10
1N4750A	27	91
1N4751A	30	81
1N4752A	33	71
1N4753A	36	71
1N4754A	39	61
1N4755A	43	61
1N4756A	47	51
1N4757A	51	51
1N4758A	56	41
1N4759A	62	41
1N4760A	68	31
1N4761A	75	31
1N4762A	82	31
1N4763A	91	21

Diode

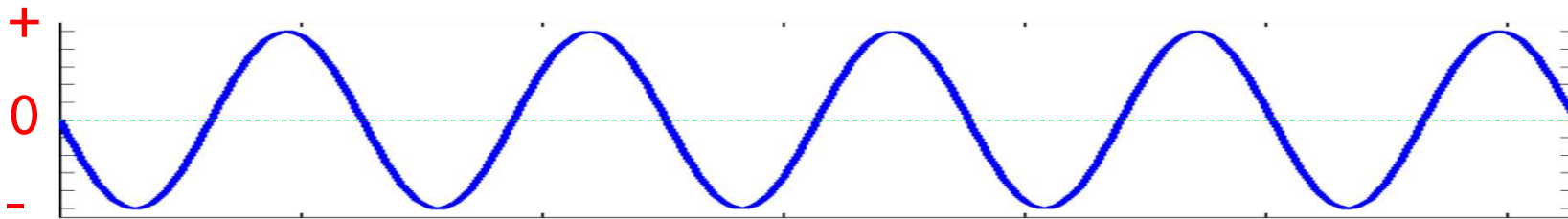


ไดโอดตัวนี้อะไรทำอะไรได้บ้าง ?

- 1) ป้องกันผู้ใช้ต่อไฟกลับขั้ว
- 2) ใช้ควบคุมแรงดัน (Voltage regulator)
- 3) ใช้แปลงไฟฟ้ากระแสสลับเป็นกระแสตรง (เรียงกระแส)

Diode

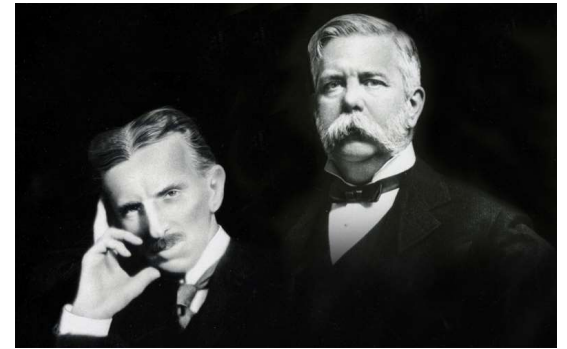
3) ใช้แปลงไฟฟ้ากระแสสลับเป็นกระแสตรง (เรียงกระแส)



กระแสสลับ AC



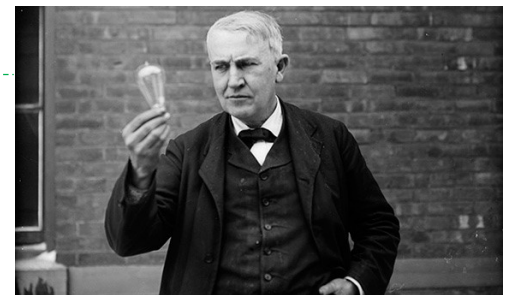
50 ครั้งใน 1 วินาที



กระแสตรง DC

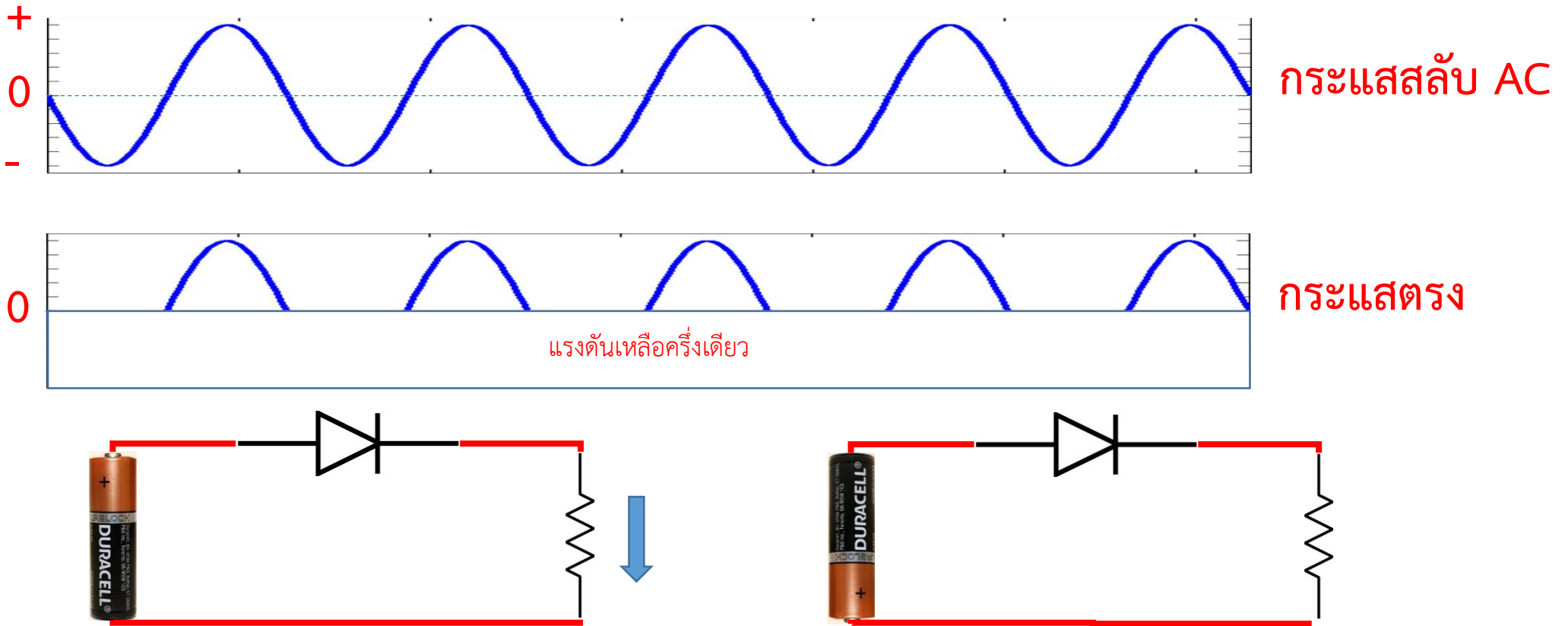


ไม่มีการสลับขั้ว



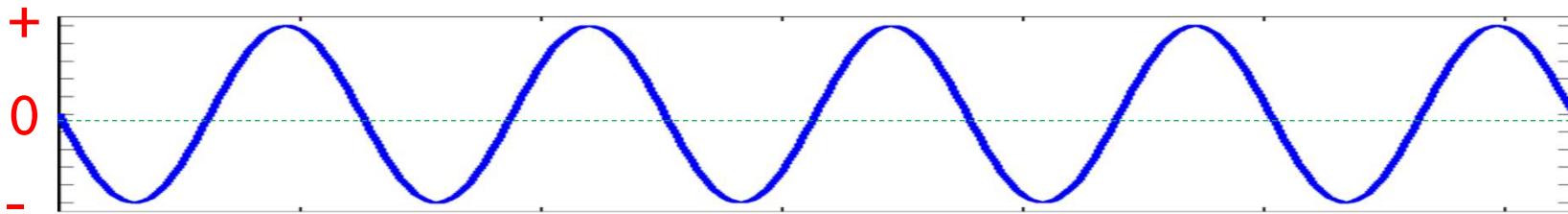
Diode

3) ใช้แปลงไฟฟ้ากระแสสลับเป็นกระแสตรง (เรียงกระแส)

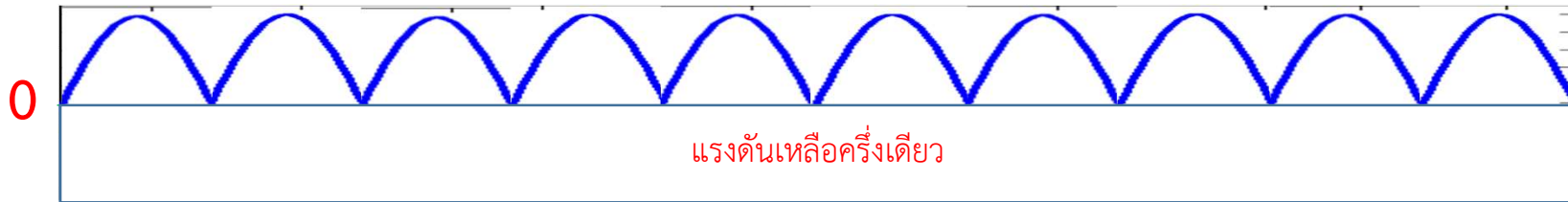


Diode

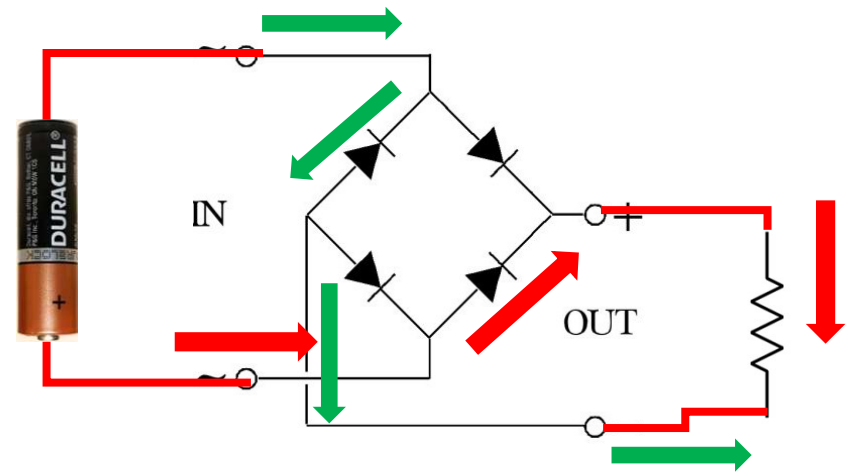
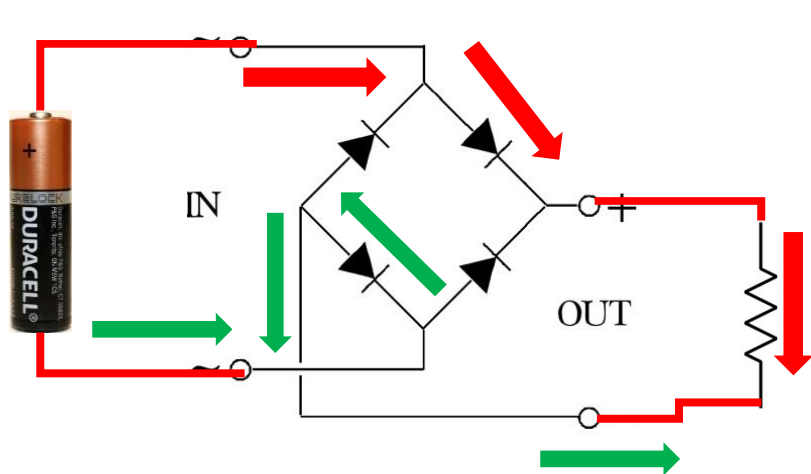
3) ใช้แปลงไฟฟ้ากระแสสลับเป็นกระแสตรง (เรียงกระแส)



กระแสสลับ AC



กระแสตรง



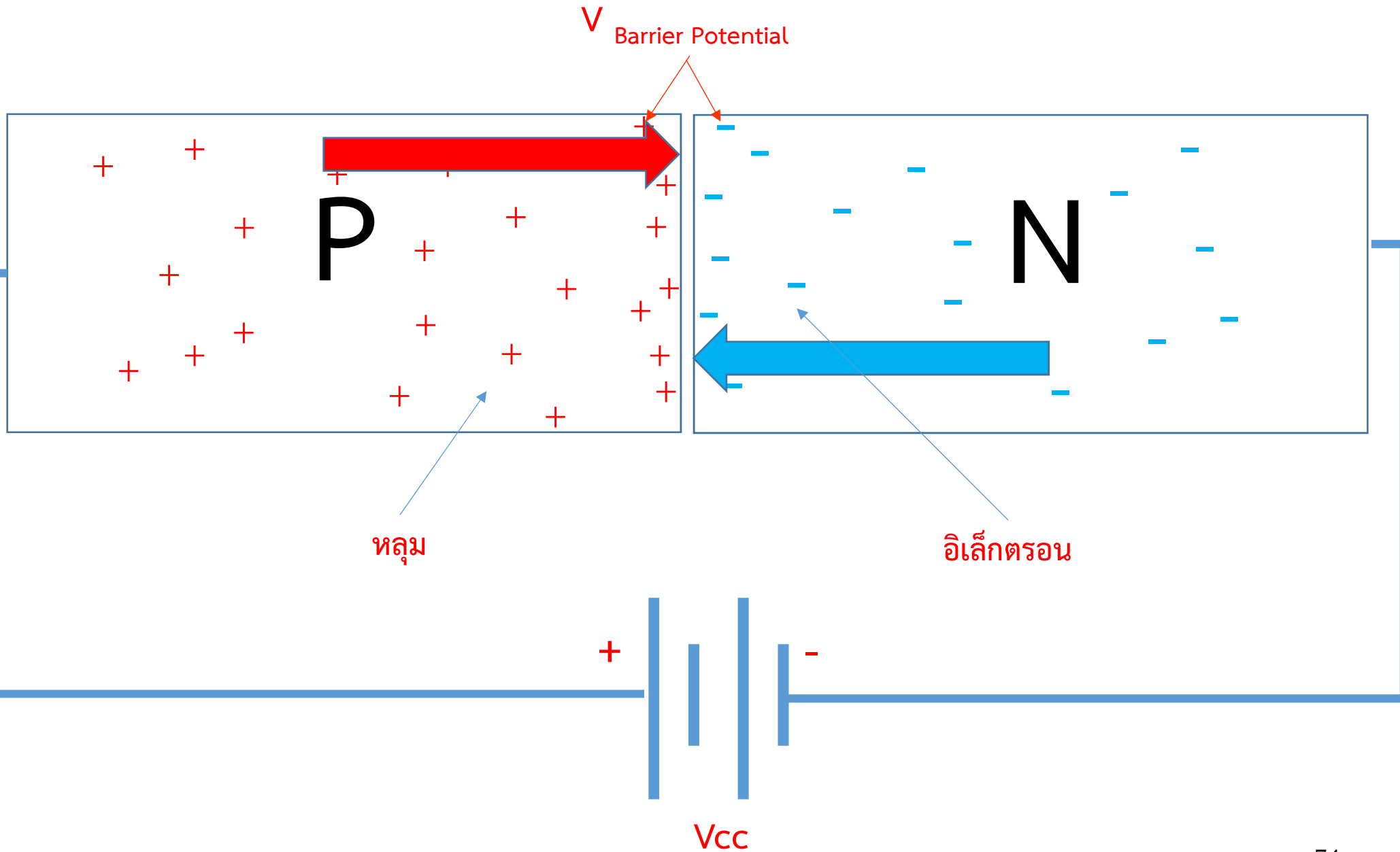
Diode



ไดโอดตัวนี้อะไรทำอะไรได้บ้าง ?

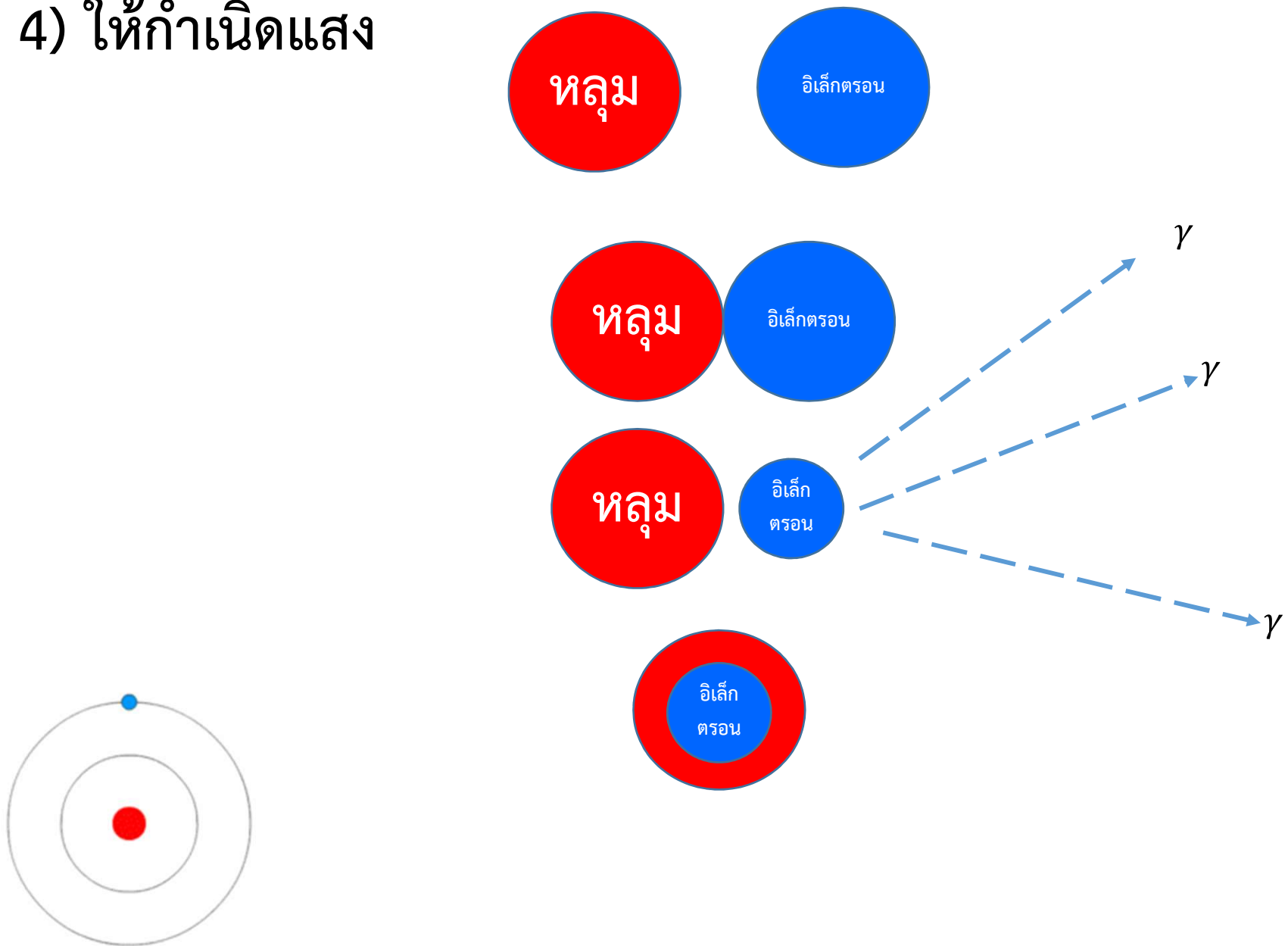
- 1) ป้องกันผู้ใช้ต่อไฟกลับขั้ว
- 2) ใช้ควบคุมแรงดัน (Voltage regulator)
- 3) ใช้แปลงไฟฟ้ากระแสสลับเป็นกระแสตรง (เรียงกระแส)
- 4) ให้กำเนิดแสง

PN Junction



Diode

4) ให้กำเนิดแสง



Diode

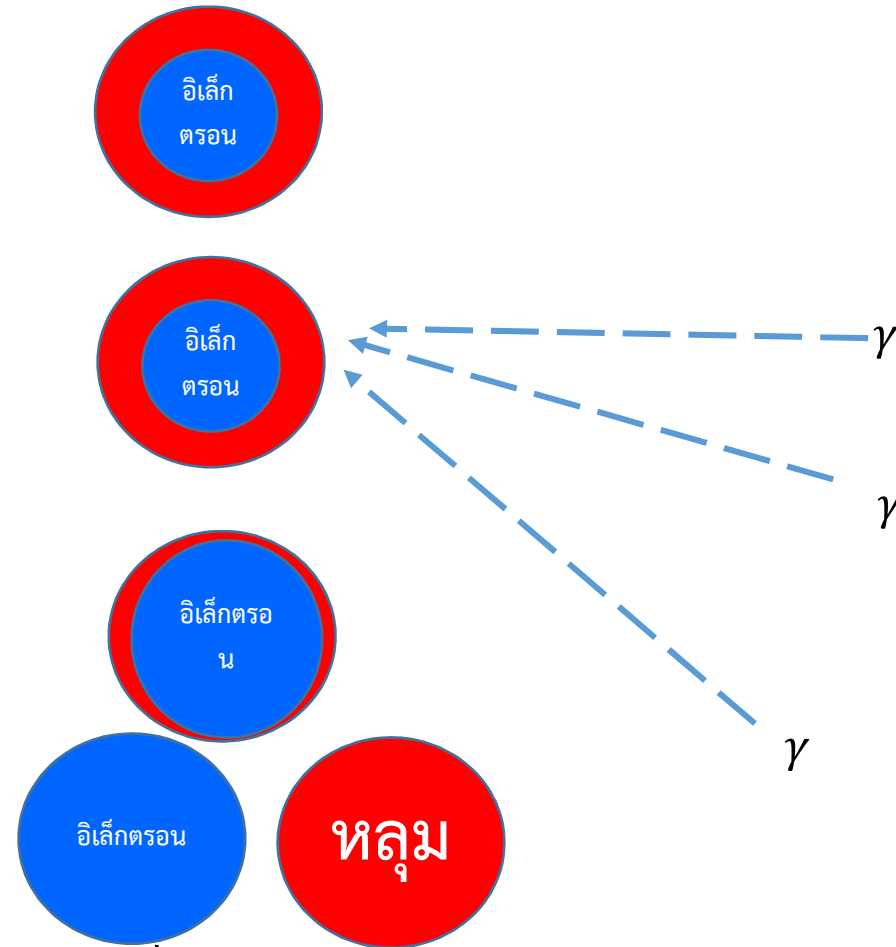
4) ให้กำเนิดแสง



ไดโอดทุกตัวทำงานแบบนี้

แต่มองไม่เห็นแสงเพราะ

- 1) แสงไม่ได้อยู่ในช่วงที่มองเห็นได้ (ส่วนมากเป็น IR)
- 2) Junction มีขนาดเล็ก
- 3) วัสดุมีความทึบแสง
- 4) โฟตอนที่เกิดขึ้นถูกอะตอมอื่นดูดไปใช้จนหมด

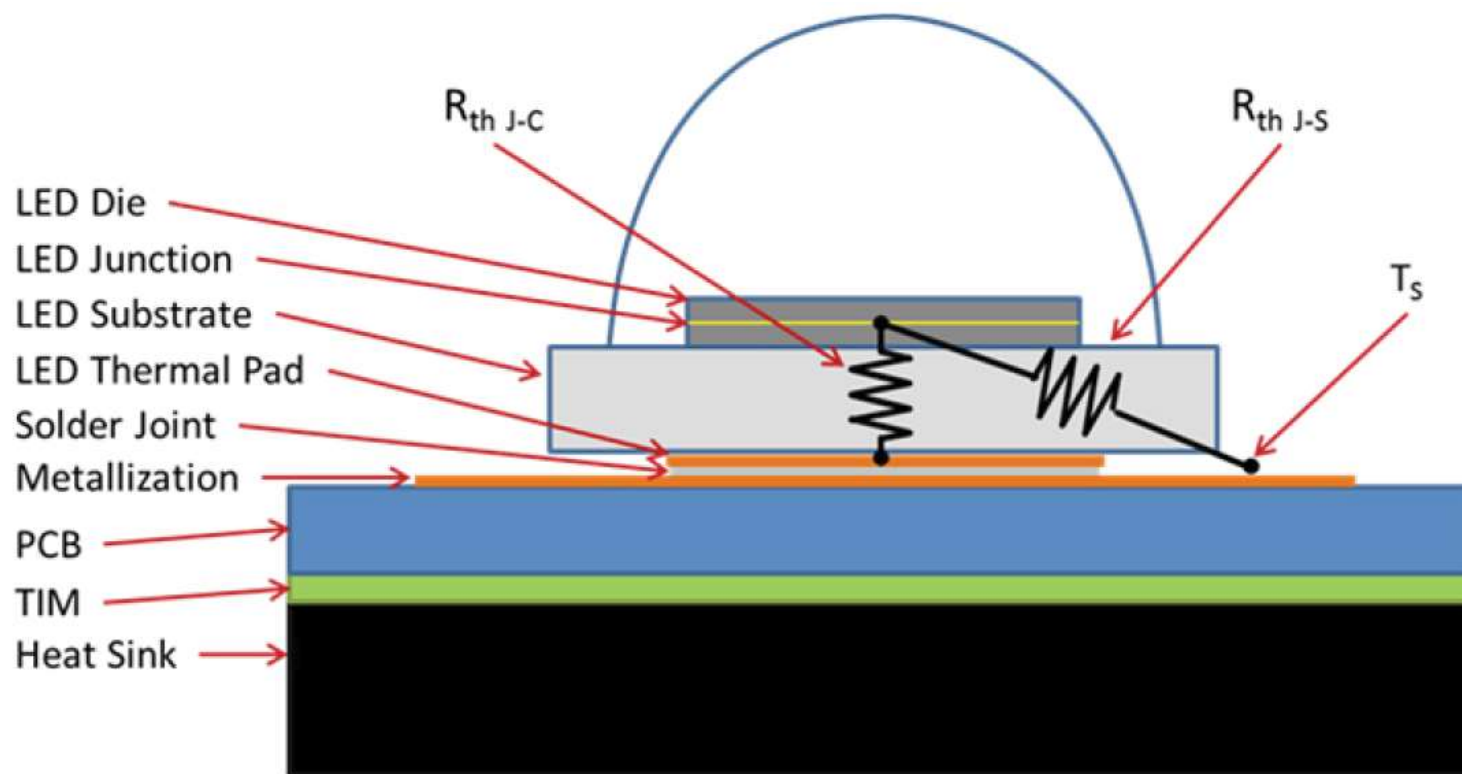


แต่ถ้าเลือกวัสดุที่เหมาะสม ก็สร้างหลอดไฟจากไดโอดได้

Diode

4) ให้กำเนิดแสง

LED (Light Emitting Diode)



Diode

LED (Light Emitting Diode)

EVERLIGHT

Technical Data Sheet

5 mm Round White LED (T-1 3/4)

Preliminary

334-15/T1C1-4WYA

Features

- Popular T-1 3/4 colorless 5mm package.
- High luminous power.
- Typical chromaticity coordinates $x=0.30$, $y=0.29$ according to CIE1931.
- Bulk, available taped on reel.
- ESD-withstand voltage: up to 4KV
- The product itself will remain within RoHS compliant version.



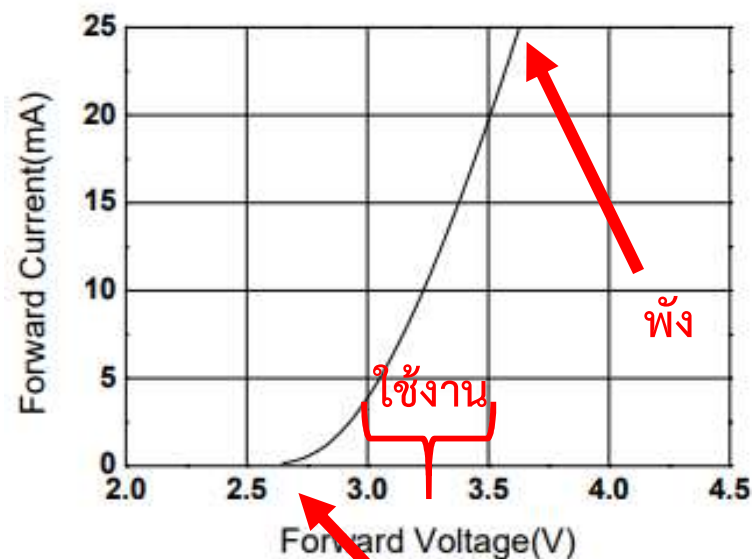
Electro-Optical Characteristics (Ta=25°C)

Parameter	Symbol	Condition	Min.	Typ.	Max.	Units
Forward Voltage	V_F	$I_F=20\text{mA}$	3.0	----	3.6	V
Zener Reverse Voltage	V_Z	$I_Z=5\text{mA}$	5.2	----	----	V
Reverse Current	I_R	$V_R=5\text{V}$	----	----	50	μA
Luminous Intensity	I_V	$I_F=20\text{mA}$	14250	----	28500	mcd

Device Selection Guide

PART NO.	Chip		Lens Color
	Material	Emitted Color	
334-15/T1C1-4WYA	InGaN	White	Water Clear

Forward Current vs. Forward Voltage



Diode

LED (Light Emitting Diode)

จงคำนวณตัวต้านทานในวงจร เมื่อใช้หลอด LED ที่มีคุณสมบัติดังนี้

Electro-Optical Characteristics (Ta=25°C)

Parameter	Symbol	Condition	Min.	Typ.	Max.	Units
Forward Voltage	V_F	$I_F=20\text{mA}$	3.0	---	3.6	V
Zener Reverse Voltage	V_Z	$I_Z=5\text{mA}$	5.2	---	---	V
Reverse Current	I_R	$V_R=5\text{V}$	---	---	50	μA



วิธีทำ $V_f = 3\text{ V}$, $I_r = 0.020$

$$V_r = 9 - 3 = 6\text{ V}$$

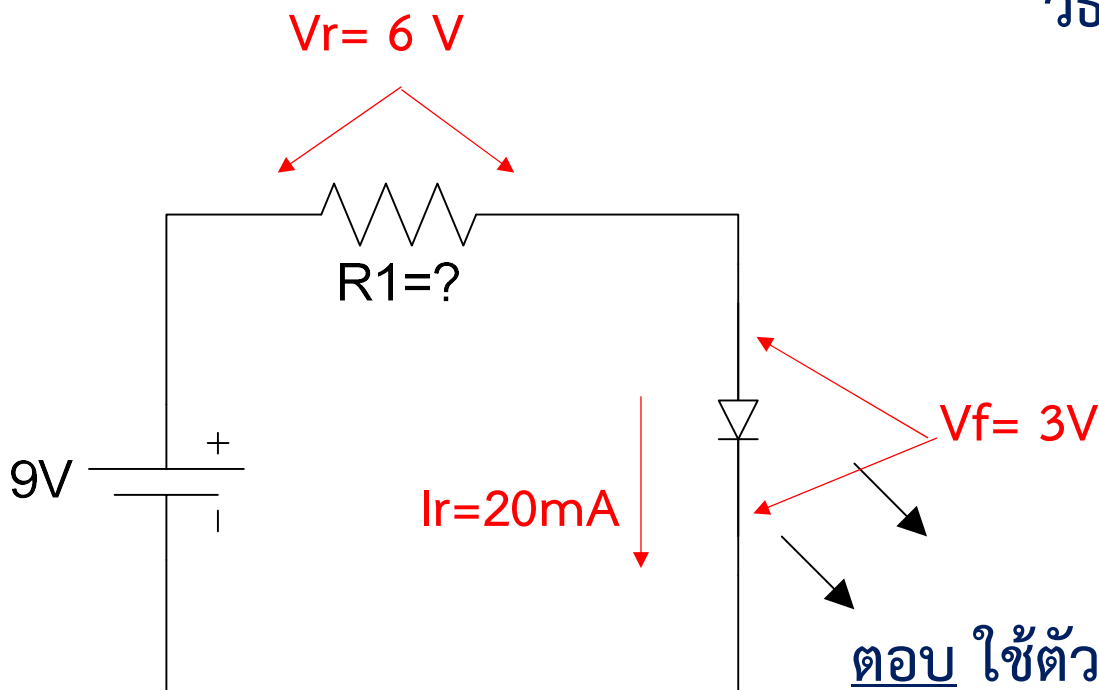
$$R = V_r / I = 6 / 0.020$$

$$R = 300\Omega$$

$$\text{Power } R1 = V_r \times I$$

$$= 6 \times 0.020 = 120\text{mW}$$

ตอบ ใช้ตัวต้านทาน 300 Ω ขนาด 120mW
เป็นต้นไป (แนะนำให้ใช้ขนาด 1/4w)

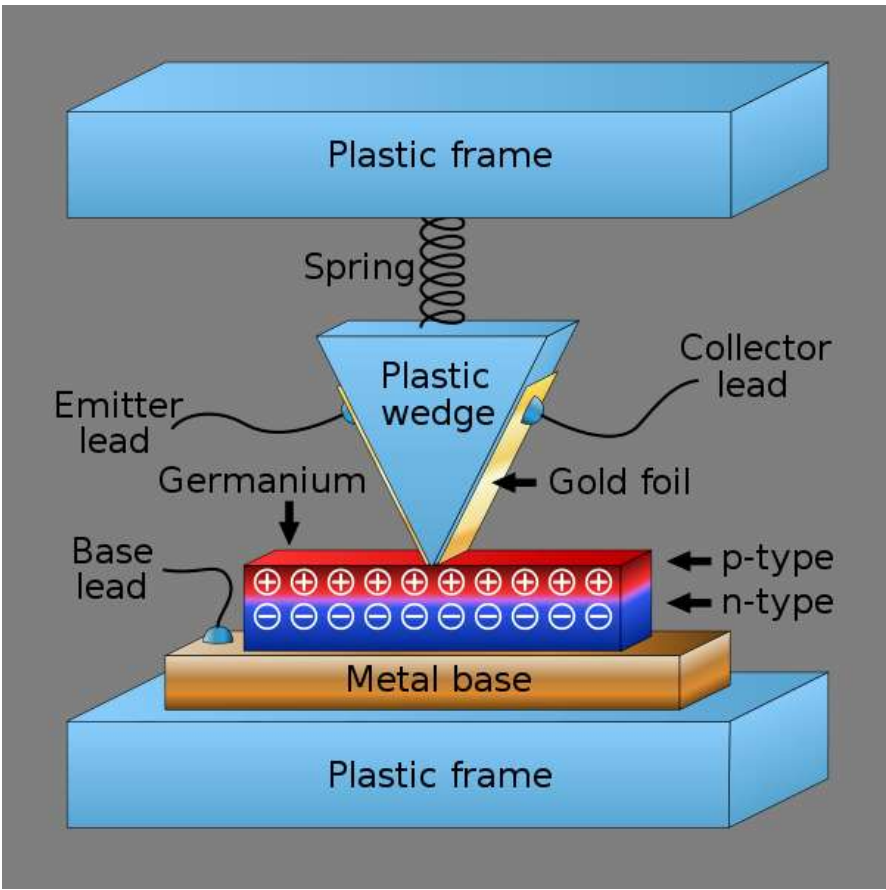


Bipolar Junction Transistor (BJT)

ทรานซิสเตอร์ชนิดสองรอยต่อ

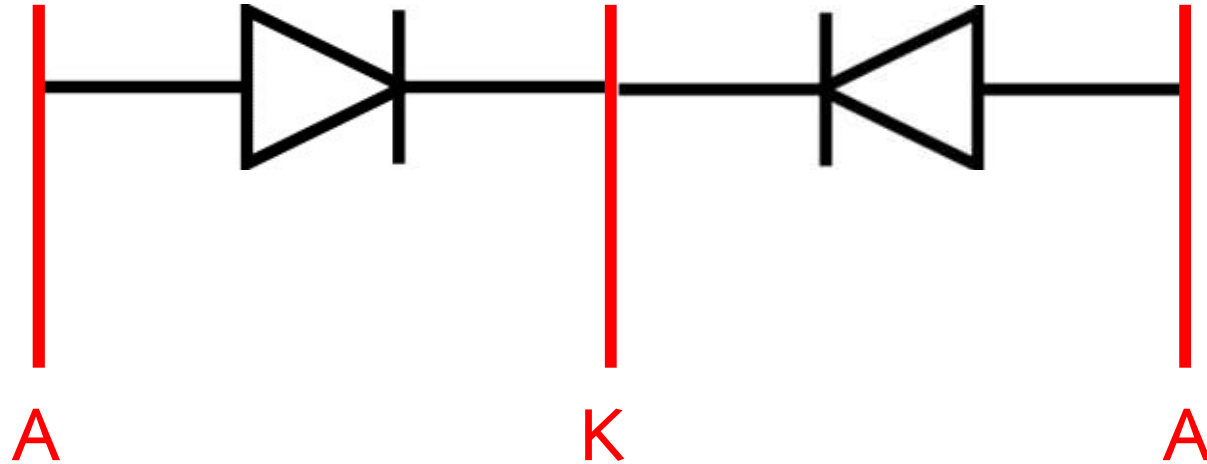
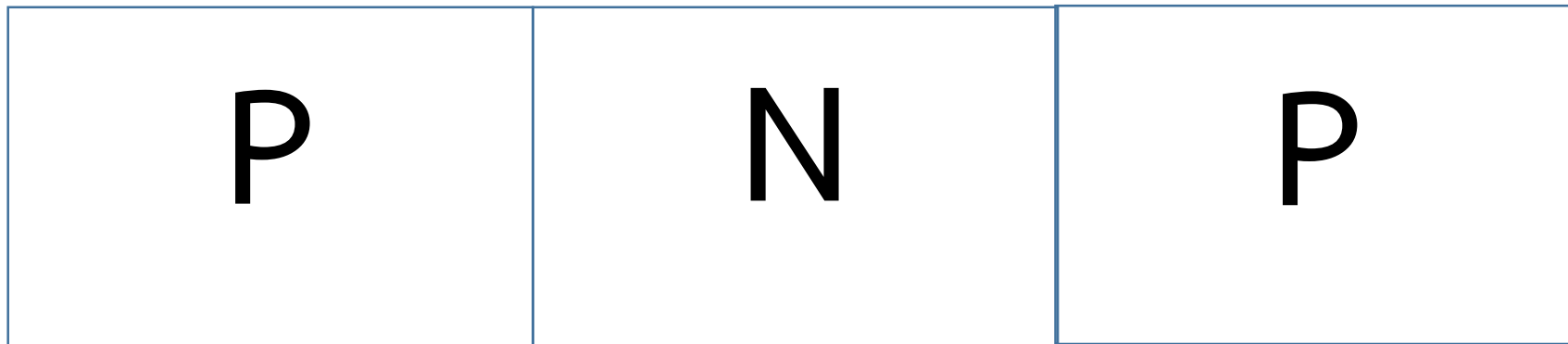


John Bardeen, William Shockley and Walter Brattain at [Bell Labs](#), 1948.

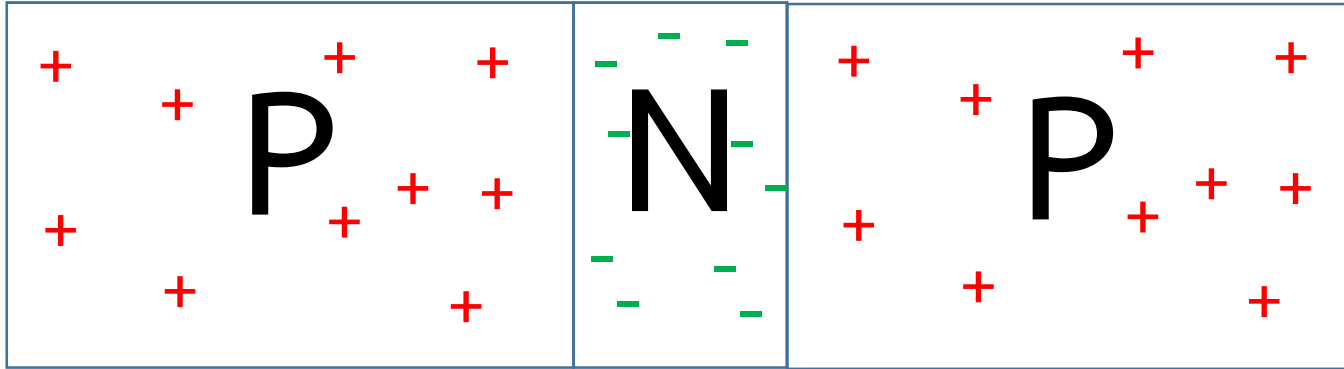


Point-contact Transistor

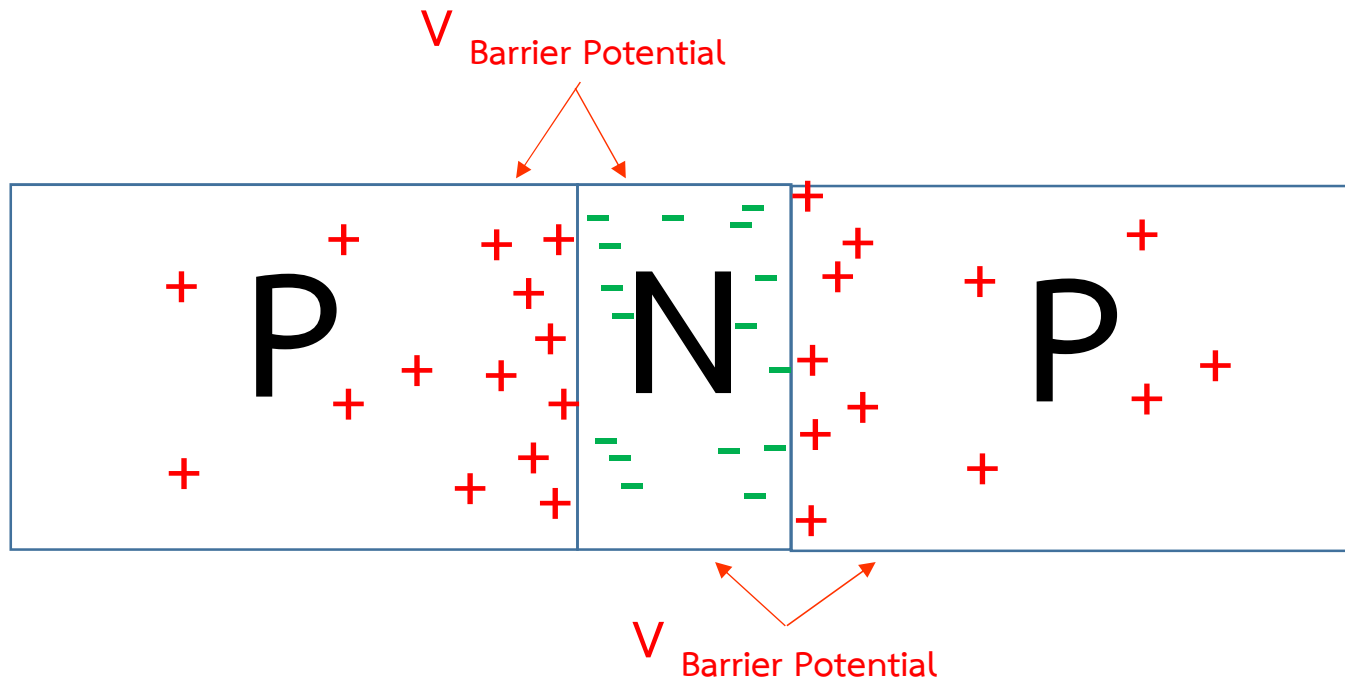
สารกึ่งตัวนำชนิดสองรอยต่อ



สารกึ่งตัวนำชนิดสองรอยต่อ

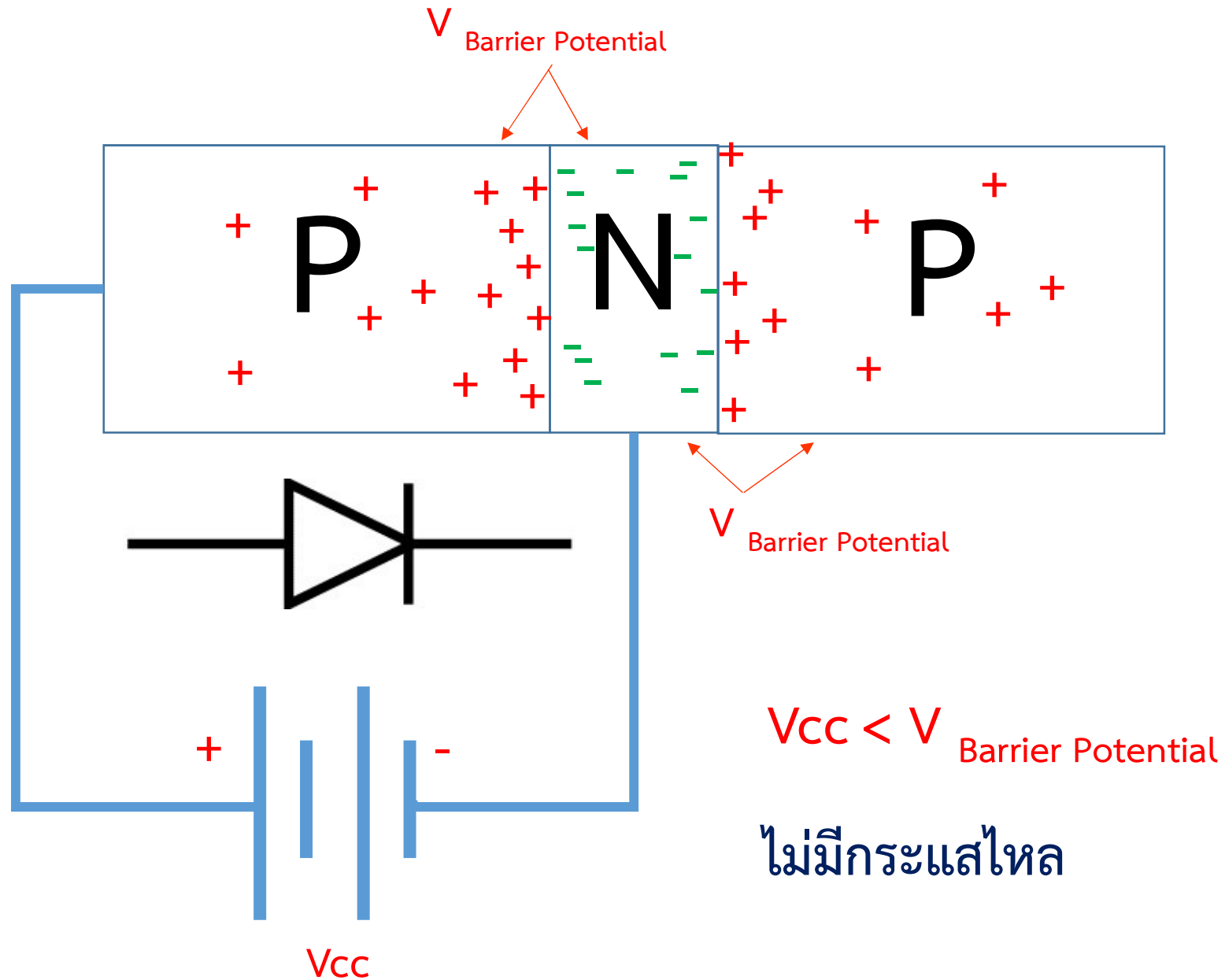


สารกึ่งตัวนำชนิดสองรอยต่อ

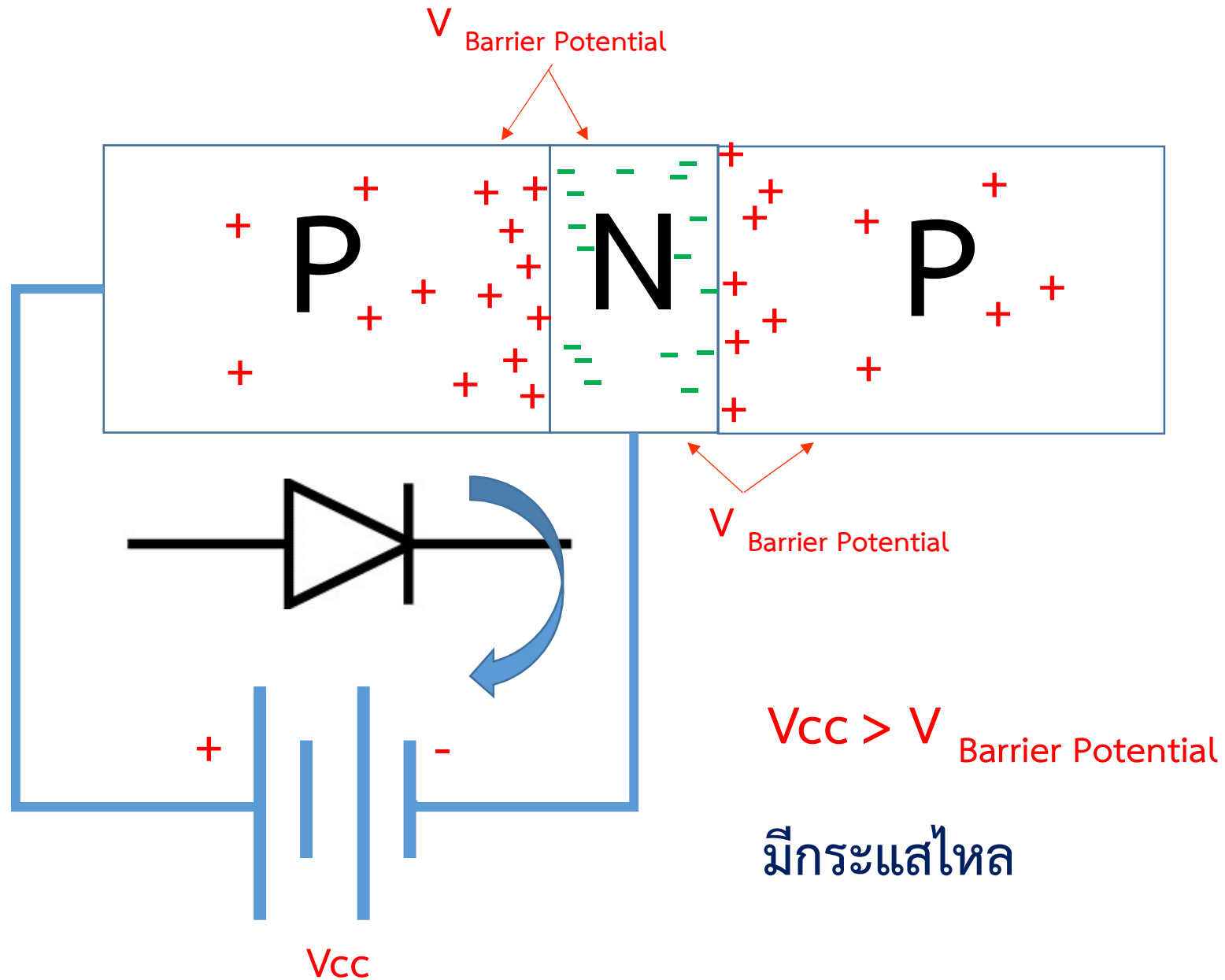


สภาวะปรกติ

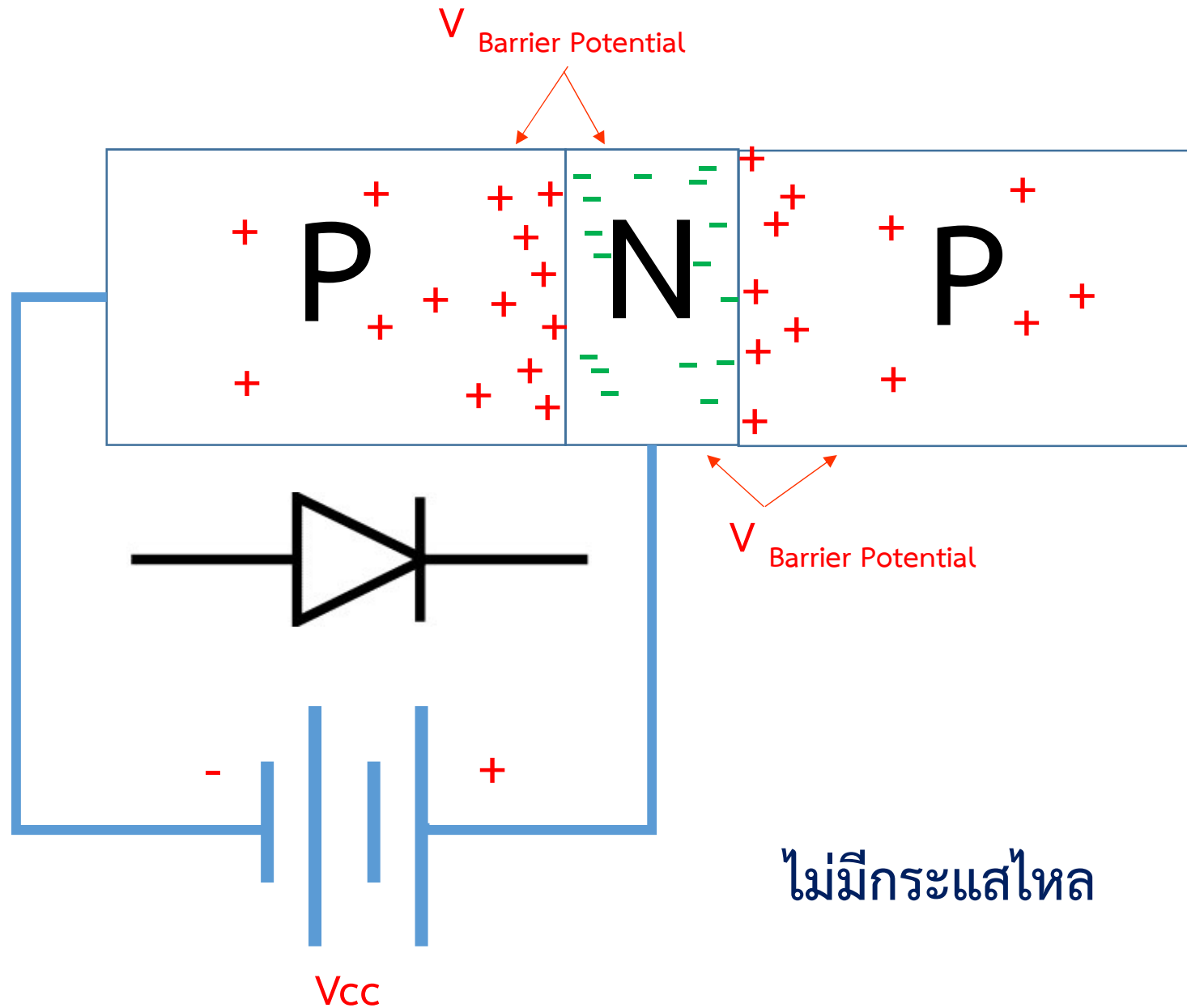
สารกึ่งตัวนำชนิดสองรอยต่อ



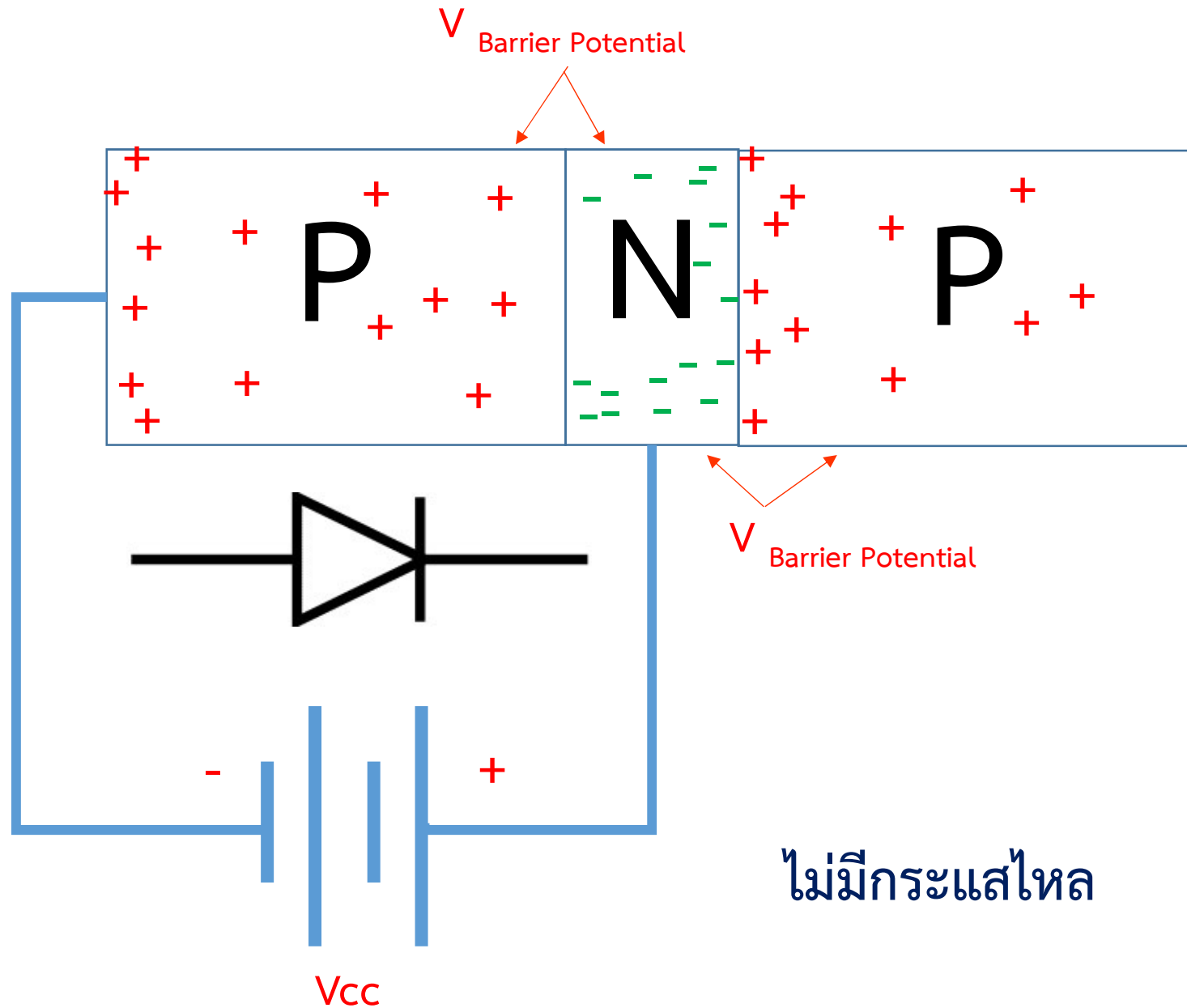
สารกึ่งตัวนำชนิดสองรอยต่อ



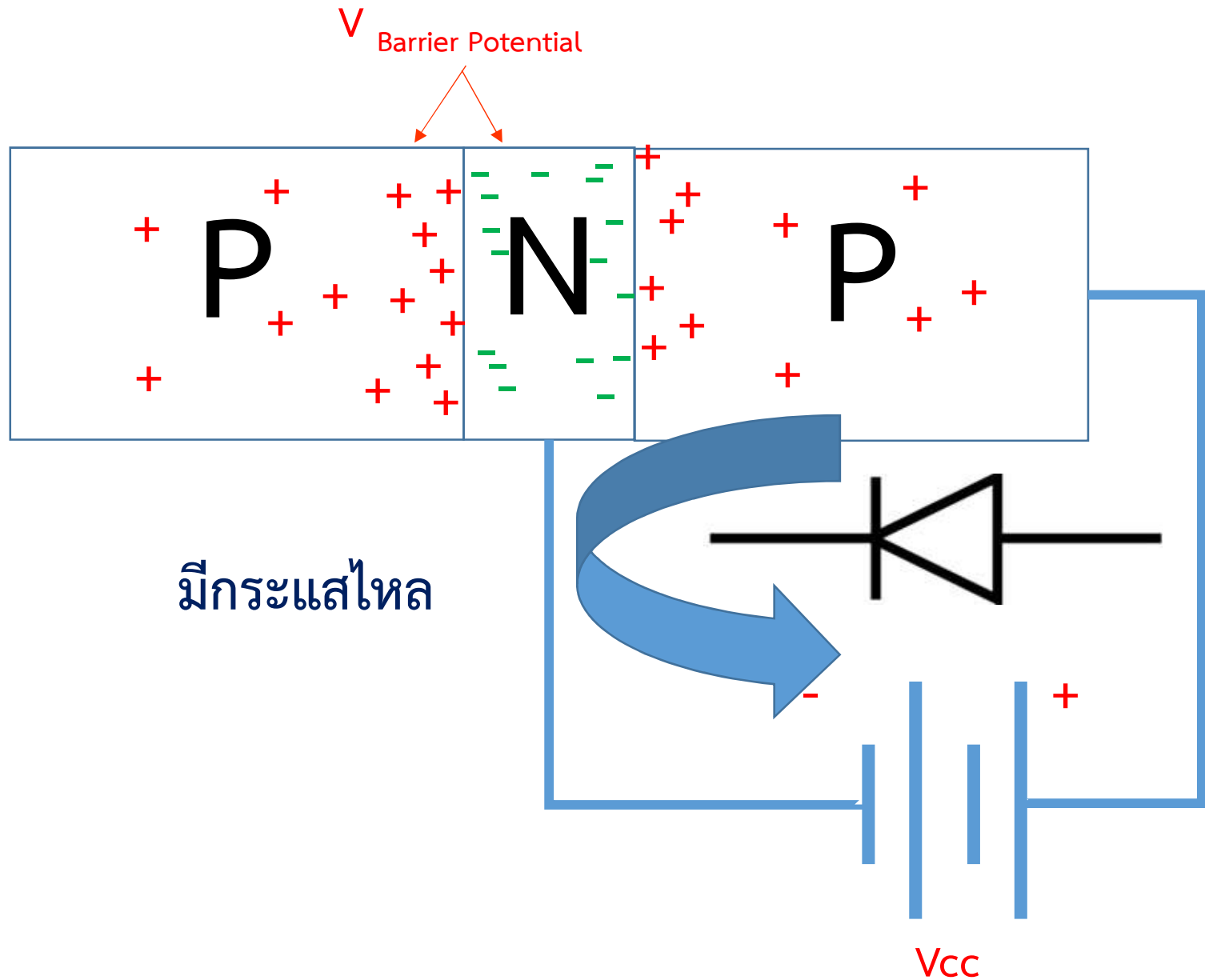
สารกึ่งตัวนำชนิดสองรอยต่อ



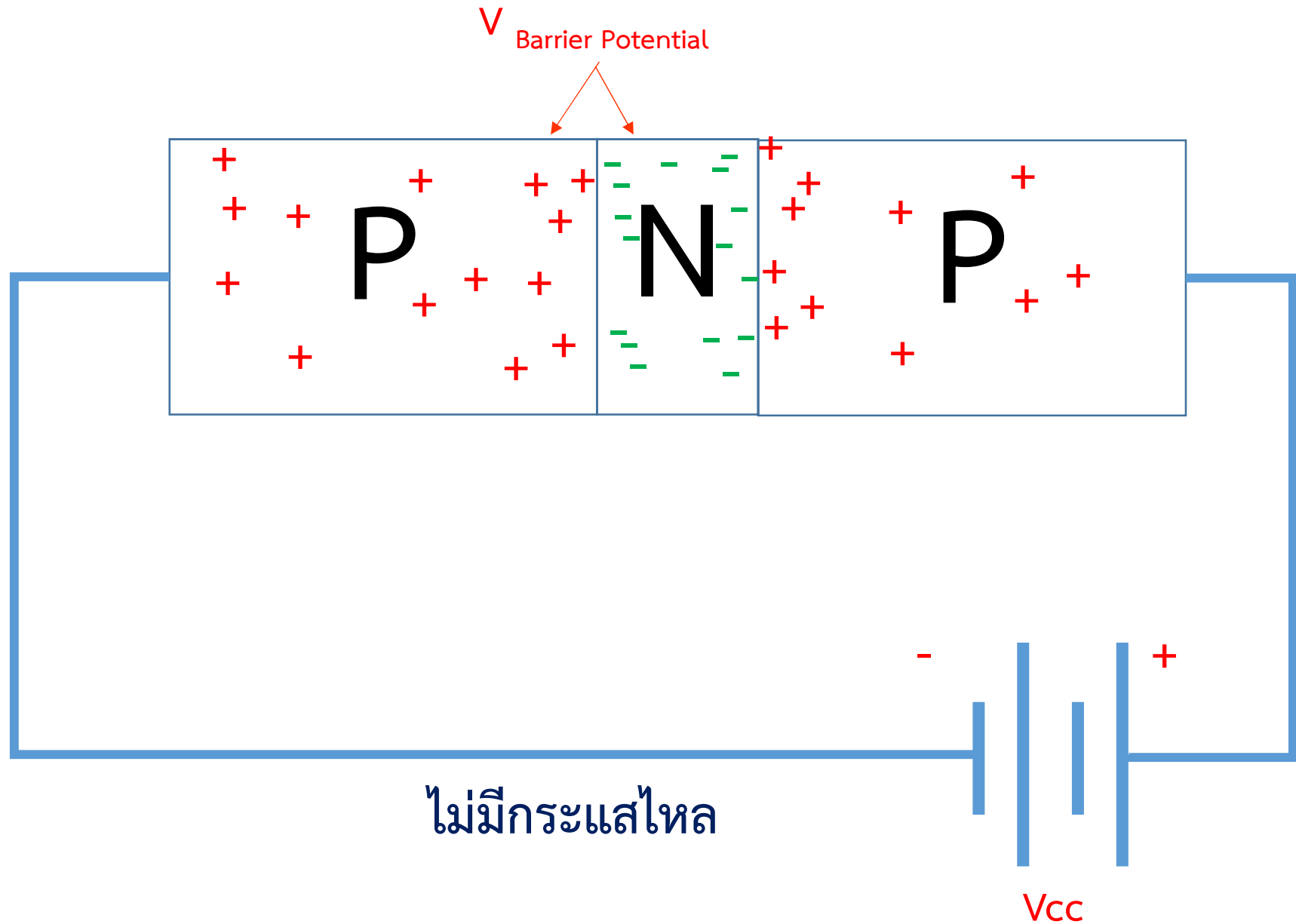
สารกึ่งตัวนำชนิดสองรอยต่อ



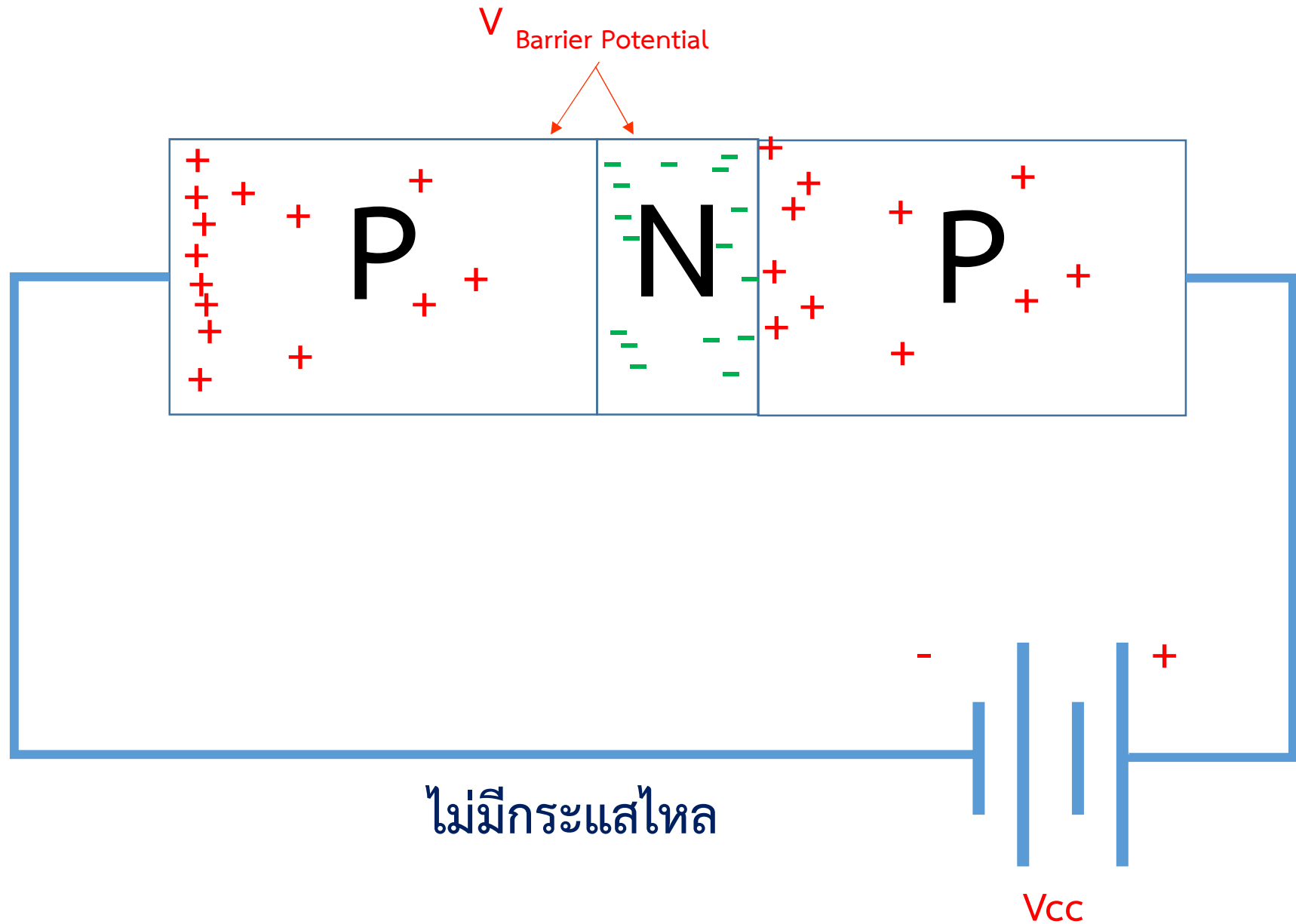
สารกึ่งตัวนำชนิดสองรอยต่อ



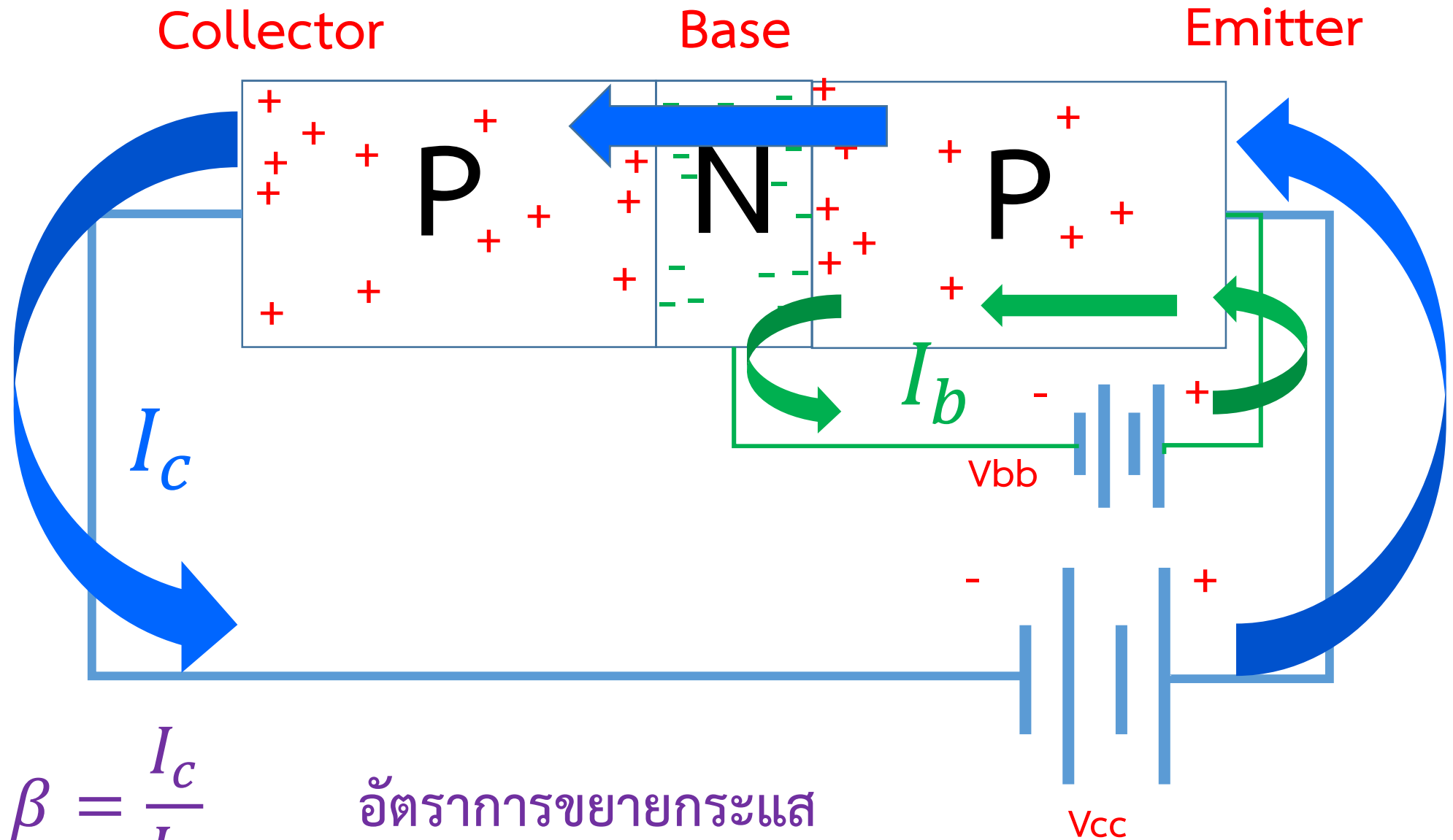
สารกึ่งตัวนำชนิดสองรอยต่อ



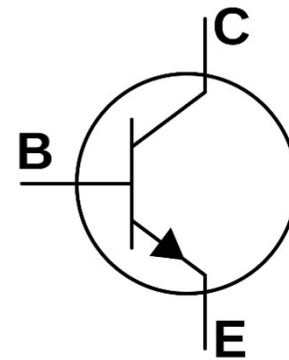
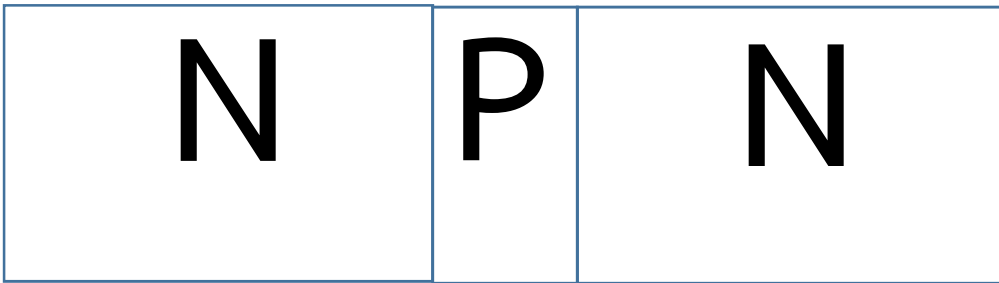
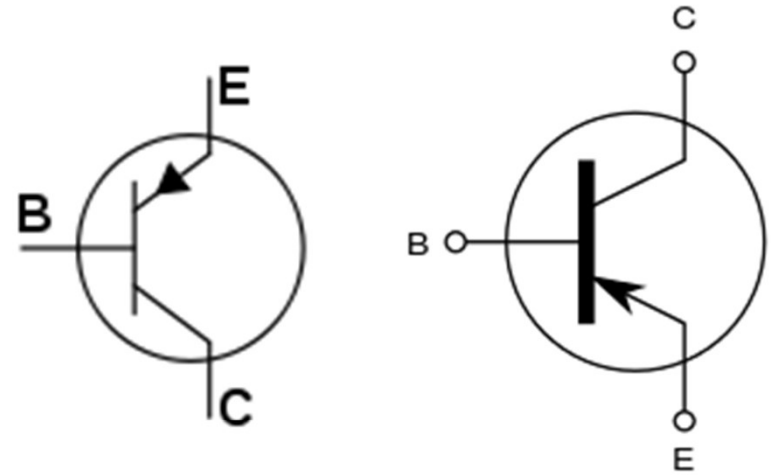
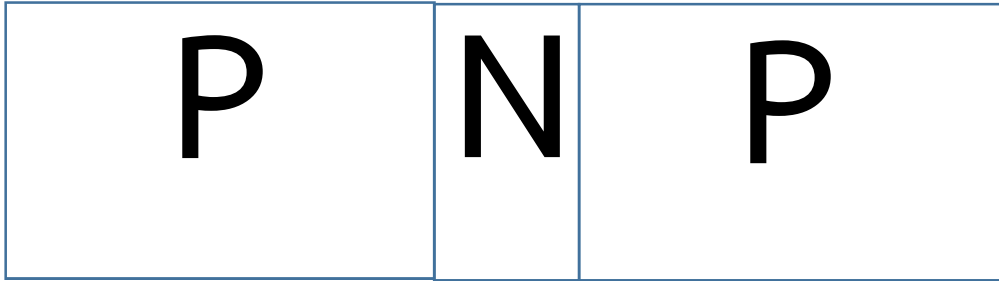
สารกึ่งตัวนำชนิดสองรอยต่อ



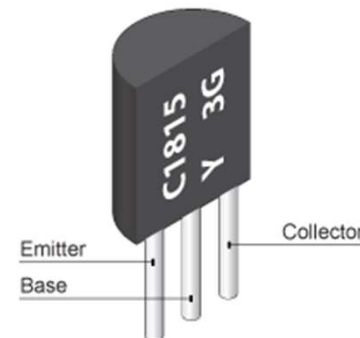
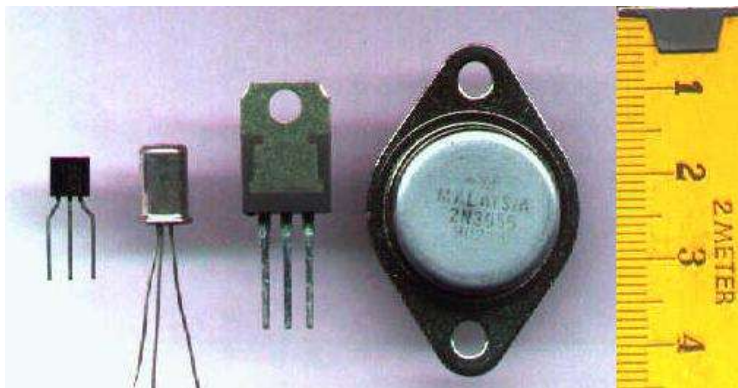
สารกึ่งตัวนำชนิดสองรอยต่อ

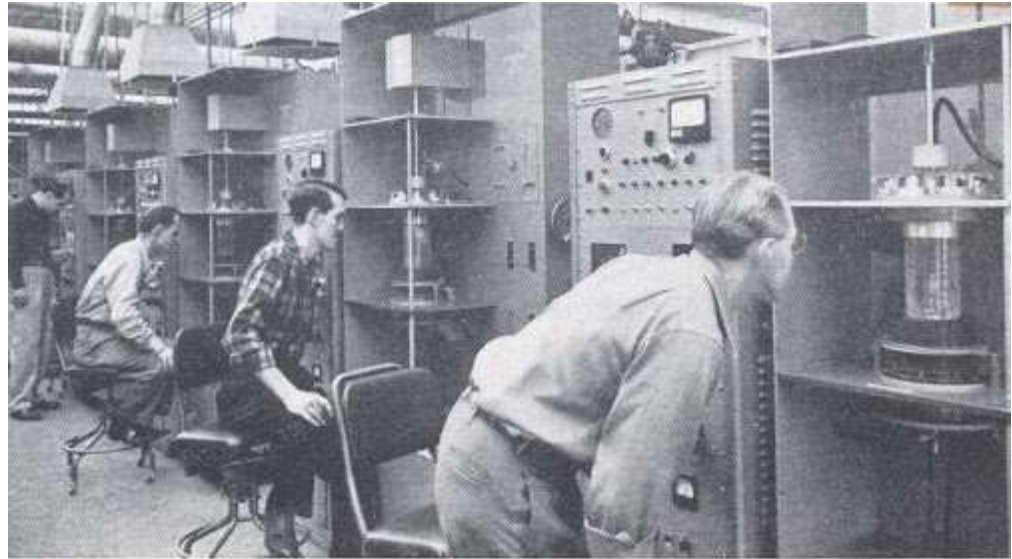
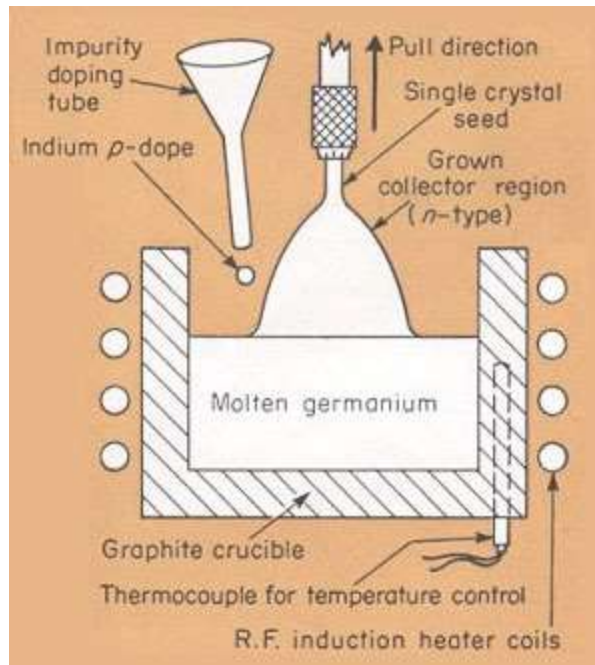


Bipolar Junction Transistor (BJT) ทรานซิสเตอร์ชนิดสองรอยต่อ



ลูกศรชี้คนละทาง

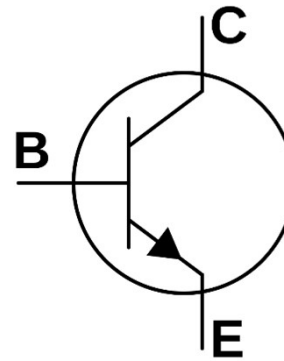
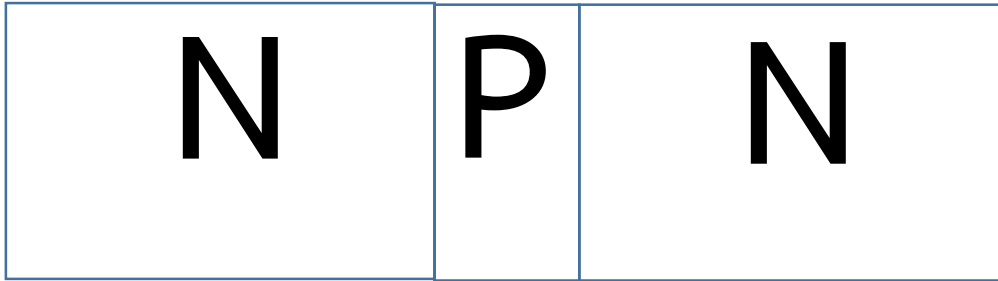




Melt Doping

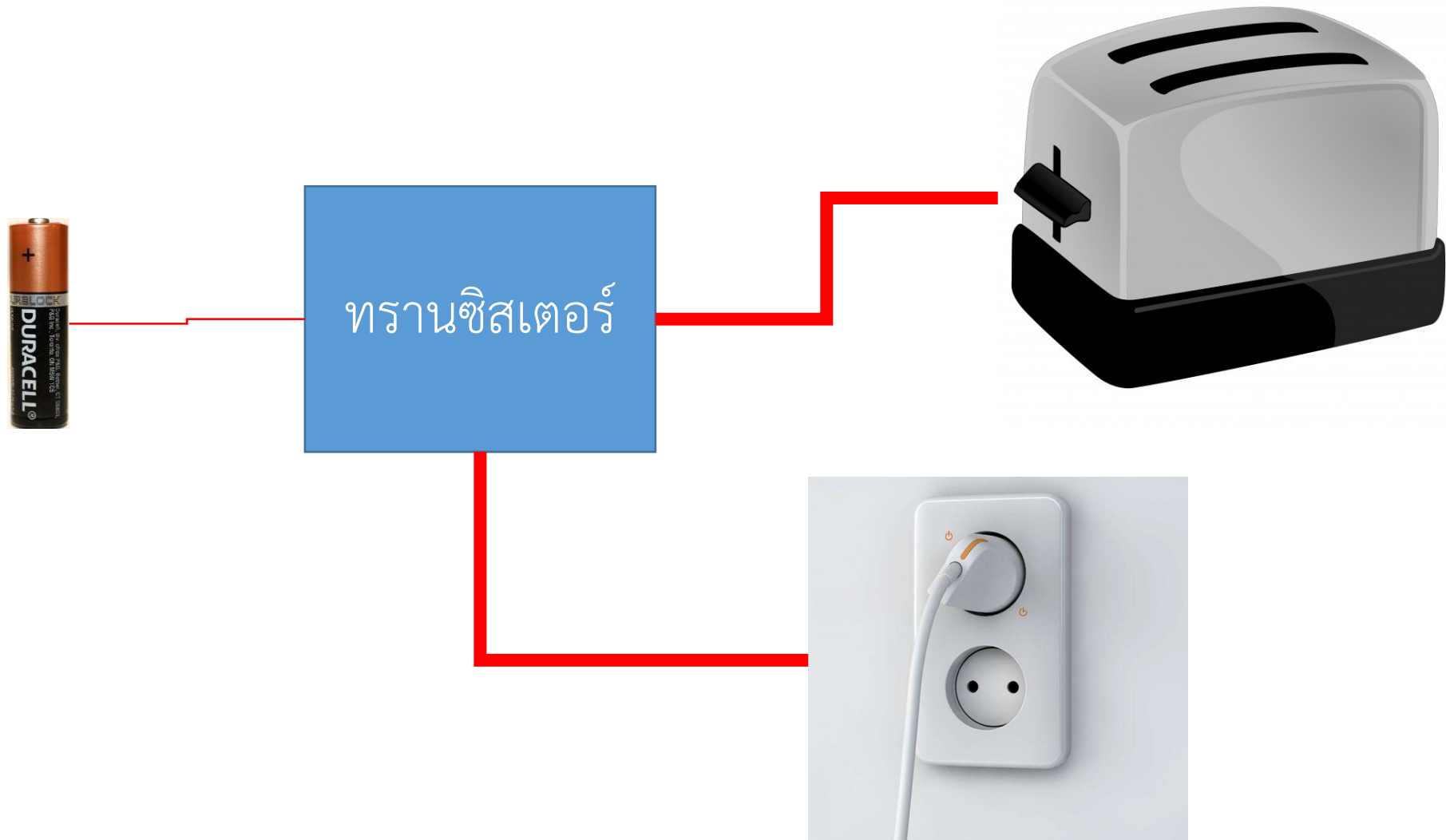
Bipolar Junction Transistor (BJT) ทรานซิสเตอร์ชนิดสองรอยต่อ

วิชานี้จะใช้ทรานซิสเตอร์แบบ NPN เป็นส่วนใหญ่
เนื่องจากใช้กระแส + ในการควบคุมการทำงาน



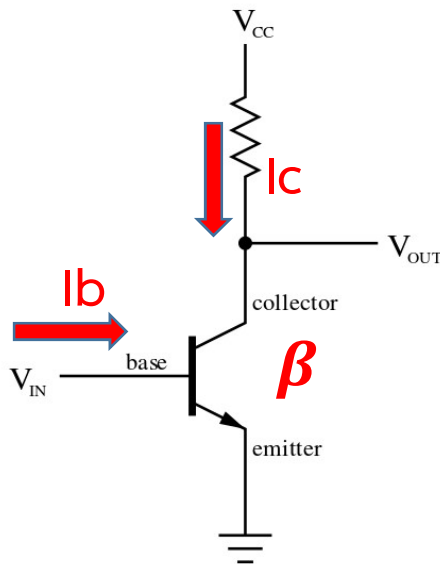
Bipolar Junction Transistor (BJT) ทรานซิสเตอร์ชนิดสองรอยต่อ

เราจะใช้ทรานซิสเตอร์มาทำงานเป็นสวิตช์ไฟ



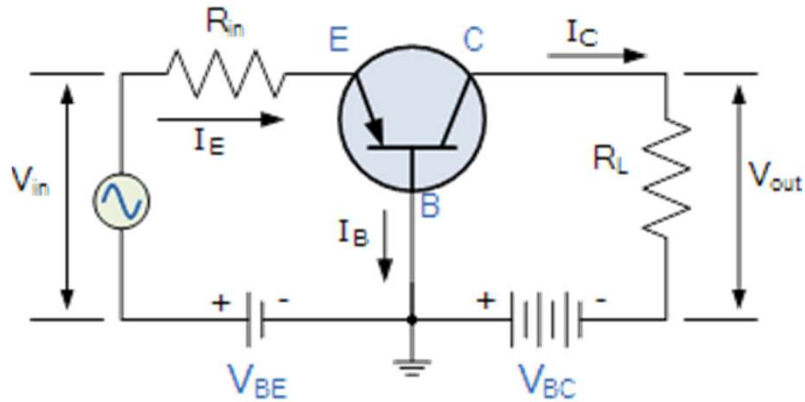
Bipolar Junction Transistor (BJT) ทรานซิสเตอร์ชนิดสองรอยต่อ

โหมดการทำงาน	คุณสมบัติ	การใช้งาน
Saturation	กระแส I_c สูงสุด	สวิตช์เปิด
Active Region	$I_c = \beta \times I_b$	ขยายสัญญาณ
Cut-off	$I_c = 0$	สวิตช์ปิด



เนื่องจากเราจะนำไปใช้ในทาง
ดิจิทัล เราจึงสนใจการทำงาน
เพียง 2 โหมด เท่านั้น

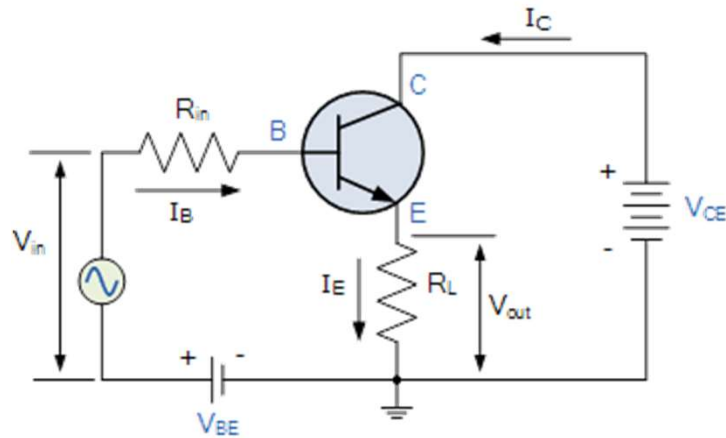
Bipolar Junction Transistor (BJT) ทรานซิสเตอร์ชนิดสองรอยต่อ



Common Base

ทำงานเร็ว นิยมใช้ในงานความถี่สูง

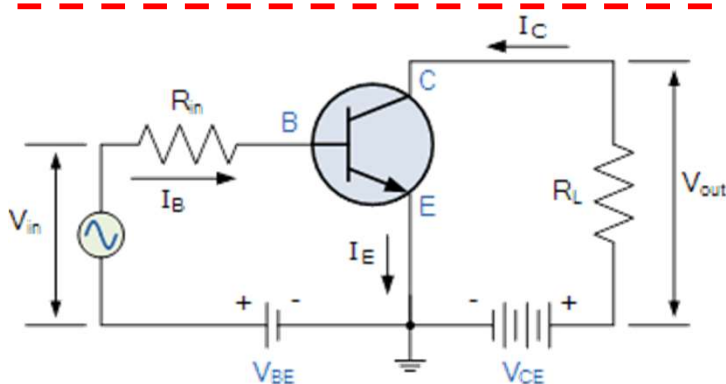
ไม่ขยายกระแส



Common Collector

นิยมใช้ปรับแต่งความต้านทานของระบบ

ไม่ขยายกระแส

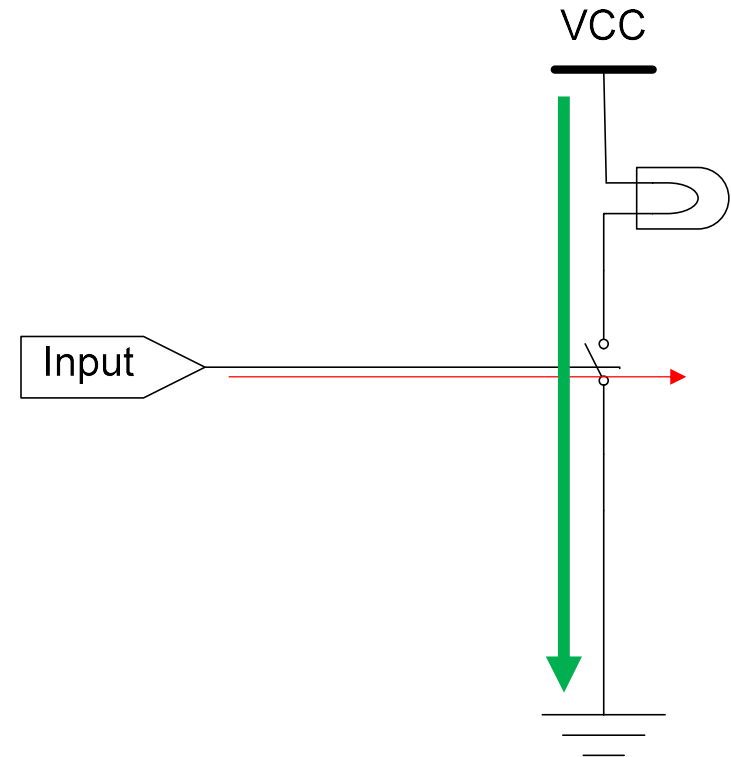
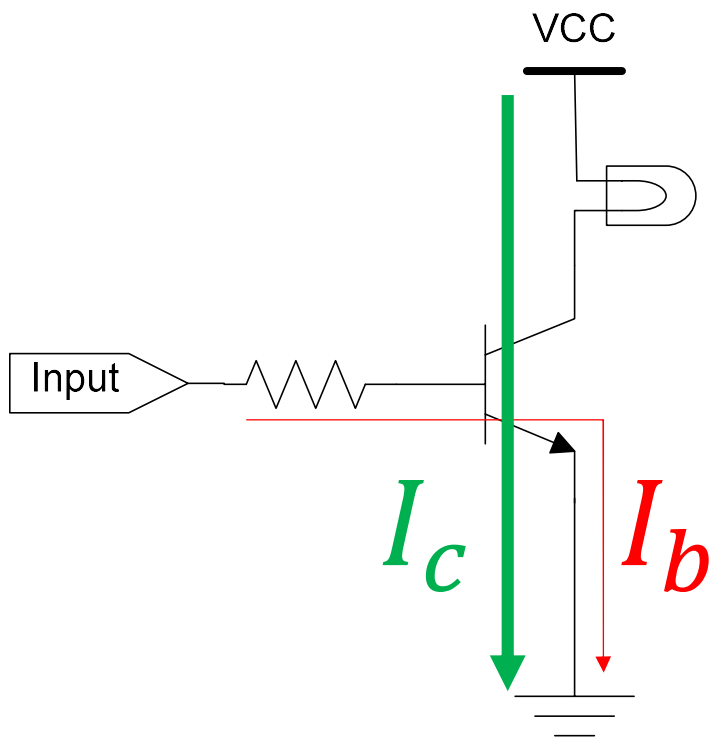


Common Emitter

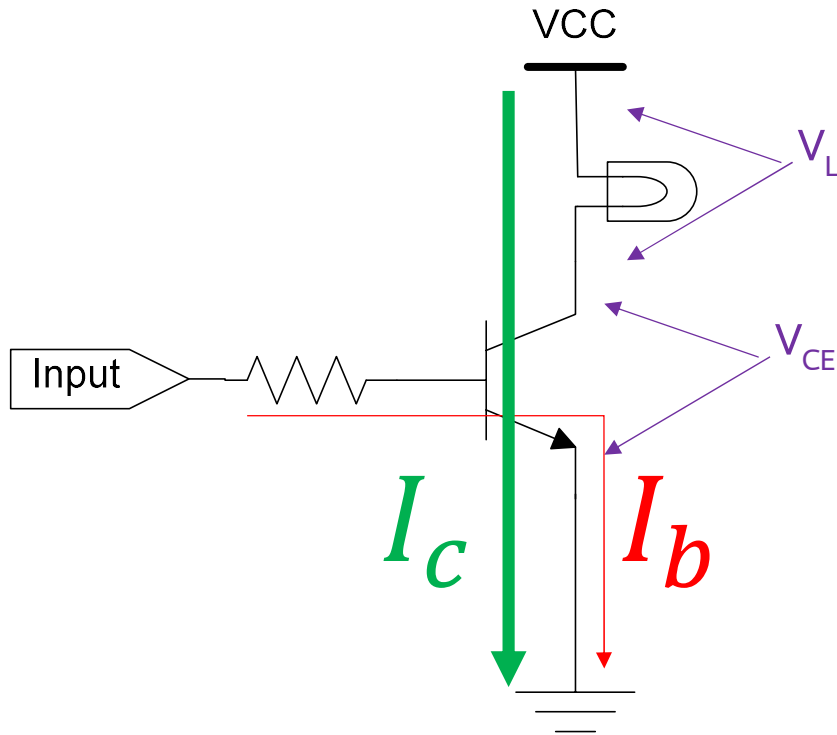
นิยมใช้ขยายสัญญาณ หรือใช้เป็นสวิตช์

ขยายกระแสได้สูง

วงจรทรานซิสเตอร์สวิตช์ (Transistor as a Switch)



วงจรทรานซิสเตอร์สวิตช์ (Transistor as a Switch)



I_B มากเกินไป ทรานซิสเตอร์จะไหม้

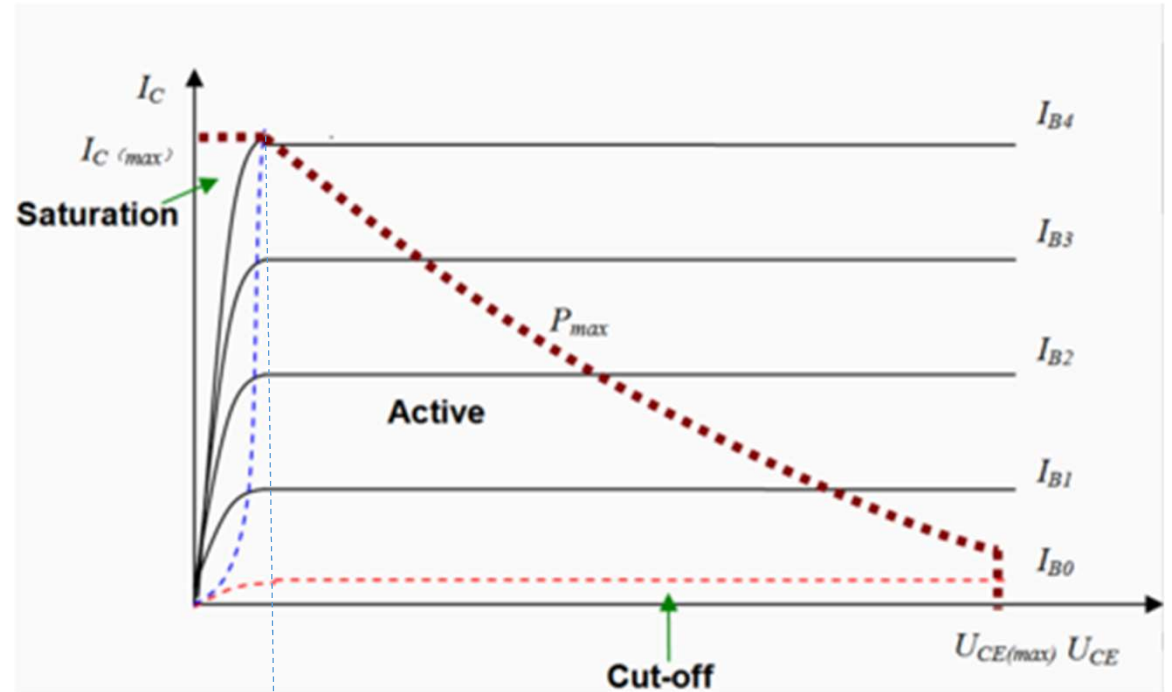
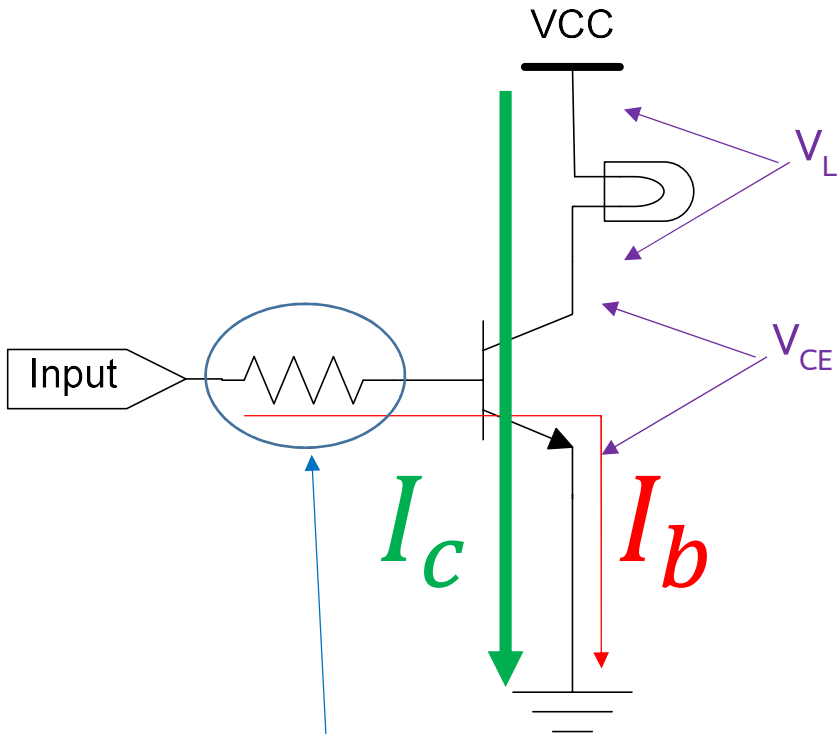
I_C มากเกินไป ทรานซิสเตอร์จะไหม้

V_{CE} มักจะเท่ากับ V_d ของไดโอด

V_L น้อยกว่า V_{CC} เสมอ

V_{BE} มากกว่า 0.7 v ถึงจะเริ่มทำงาน

วงจรทรานซิสเตอร์สวิตช์ (Transistor as a Switch)



เราจะคำนวณค่า R เพื่อให้ทรานซิสเตอร์ทำงานใน 2 โหมดคือ Saturation (fully-on) และ cut-off (fully-off)

กระแส I_b สูงสุดที่ทำให้ ทรานซิสเตอร์อยู่ในโหมด cut-off เรียกว่า Collector Cutoff Current
กระแส I_b ต่ำสุดที่ทำให้ ทรานซิสเตอร์อยู่ในโหมด saturation คือกระแสที่ทำให้เกิด

Collector-Emitter Saturation Voltage

วงจรทรานซิสเตอร์สวิตช์ (Transistor as a Switch)

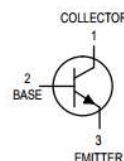


CASE 29-04, STYLE 17
TO-92 (TO-226AA)

MOTOROLA
SEMICONDUCTOR TECHNICAL DATA

Amplifier Transistors
NPN Silicon

BC337,-16,-25,-40
BC338,-16,-25,-40



กระแส I_b สูงสุดที่ทำให้ ทรานซิสเตอร์อยู่ในโหมด cut-off เรียกว่า Collector Cutoff Current
กระแส I_b ต่ำสุดที่ทำให้ ทรานซิสเตอร์อยู่ในโหมด saturation คือกระแสที่ทำให้เกิด

Collector-Emitter Saturation Voltage

MAXIMUM RATINGS

Rating	Symbol	BC337	BC338	Unit
Collector-Emitter Voltage	V_{CEO}	45	25	Vdc
Collector-Base Voltage	V_{CBO}	50	30	Vdc
Emitter-Base Voltage	V_{EBO}	5.0		Vdc
Collector Current — Continuous	I_C	800		mAdc
Total Device Dissipation @ $T_A = 25^\circ\text{C}$ Derate above 25°C	P_D	625 5.0		mW mW/ $^\circ\text{C}$
Total Device Dissipation @ $T_C = 25^\circ\text{C}$ Derate above 25°C	P_D	1.5 12		Watt mW/ $^\circ\text{C}$
Operating and Storage Junction Temperature Range	T_J, T_{stg}	-55 to +150		$^\circ\text{C}$

OFF CHARACTERISTICS

Collector-Emitter Breakdown Voltage ($I_C = 10\text{ mA}, I_B = 0$)	BC337 BC338	$V_{(BR)CEO}$	45 25	— —	— —	Vdc
Collector-Emitter Breakdown Voltage ($I_C = 100\text{ }\mu\text{A}, I_E = 0$)	BC337 BC338	$V_{(BR)CES}$	50 30	— —	— —	Vdc
Emitter-Base Breakdown Voltage ($I_E = 10\text{ }\mu\text{A}, I_C = 0$)		$V_{(BR)EBO}$	5.0	—	—	Vdc
Collector Cutoff Current ($V_{CB} = 30\text{ V}, I_E = 0$) ($V_{CB} = 20\text{ V}, I_E = 0$)	BC337 BC338	I_{CBO}	— —	— —	100 100	nAdc
Collector Cutoff Current ($V_{CE} = 45\text{ V}, V_{BE} = 0$) ($V_{CE} = 25\text{ V}, V_{BE} = 0$)	BC337 BC338	I_{CES}	— —	— —	100 100	nAdc
Emitter Cutoff Current ($V_{EB} = 4.0\text{ V}, I_C = 0$)		I_{EBO}	—	—	100	nAdc

ON CHARACTERISTICS

DC Current Gain ($I_C = 100\text{ mA}, V_{CE} = 1.0\text{ V}$) ($I_C = 300\text{ mA}, V_{CE} = 1.0\text{ V}$)	BC337/BC338 BC337-16/BC338-16 BC337-25/BC338-25 BC337-40/BC338-40	h_{FE}	100 100 160 250 60	— — — — —	630 250 400 630 —	—
Base-Emitter On Voltage ($I_C = 300\text{ mA}, V_{CE} = 1.0\text{ V}$)		$V_{BE(on)}$	—	—	1.2	Vdc
Collector-Emitter Saturation Voltage ($I_C = 500\text{ mA}, I_B = 50\text{ mA}$)		$V_{CE(sat)}$	—	—	0.7	Vdc

$I_{b_{cut-off}} = 0$ ถึง 100 nA

$I_{b_{sat}} = 50\text{ mA}$ ถึง $(800\text{ mA} - 50\text{ mA})$

$V_{ce_{sat}} = 0.7\text{ V}$

วงจรทรานซิสเตอร์สวิตช์ (Transistor as a Switch)



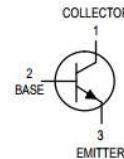
CASE 29-04, STYLE 17
TO-92 (TO-226AA)

MOTOROLA
SEMICONDUCTOR TECHNICAL DATA

Amplifier Transistors
NPN Silicon

BC337,-16,-25,-40

BC338,-16,-25,-40



กระแส I_b สูงสุดที่ทำให้ ทรานซิสเตอร์อยู่ในโหมด cut-off เรียกว่า Collector Cutoff Current
กระแส I_b ต่ำสุดที่ทำให้ ทรานซิสเตอร์อยู่ในโหมด saturation คือกระแสที่ทำให้เกิด

Collector-Emitter Saturation Voltage

$I_{b_{cut-off}} = 0$ ถึง $100nA$ จ่าย $0V$ หรือจิ้มขา B ลง ground ก็ cut off แล้ว

$V_{ce_{sat}} = 0.7V$ คงที่เหมือนไดโอด ไม่ค่อยมีผลกับวงจร

$I_{b_{sat}} = 50mA$ ถึง $800mA$ ช่วงกระแส กว้างมาก กะเอาก็ได้
ไม่เห็นต้องคำนวณ

วงจรไหนๆ ก็ใช้ค่า $R_b = 4.7k$ กันทั้งนั้น

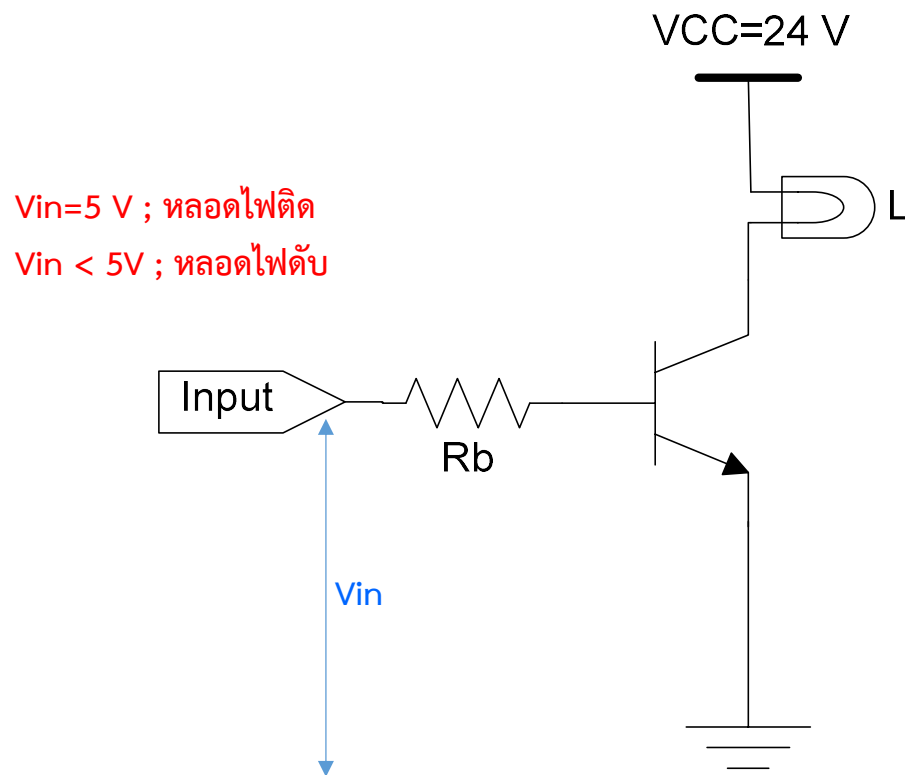
กระแสที่เกิน ก็จะถูกระบายทิ้งโดยไหลลงกราวด์ผ่านทางขา E

วงจรทรานซิสเตอร์สวิตช์ (Transistor as a Switch)



เราอยากจะทำอะไรที่เราสนใจจริงๆหรือ ?

วงจรทรานซิสเตอร์สวิตช์ (Transistor as a Switch)



จงคำนวณค่าตัวต้านทาน Rb เมื่อกำหนดให้

Vin=5 V ; หลอดไฟติดสว่างเต็มกำลัง

Vin < 5V ; หลอดไฟดับ

$I_{b\text{ sat}} = 50\text{mA}$, $\beta=70$, $V_{be}=0.7\text{V}$

$$R_b = \frac{V_{in} - V_{be}}{I_b} = \frac{5 - 0.7}{.05} = 86$$

ตอบ Rb ควรใกล้เคียง 86 แต่ห้ามเกินค่านี้

การออกแบบในลักษณะนี้ไม่ค่อยปลอดภัย เพราะไม่ได้จำกัดกระแส Ic ซึ่งมีโอกาสจะเกินขีดจำกัดของทรานซิสเตอร์ได้

วงจรทรานซิสเตอร์สวิตช์ (Transistor as a Switch)

กำหนดให้กระแสผ่านโหลด 100mA

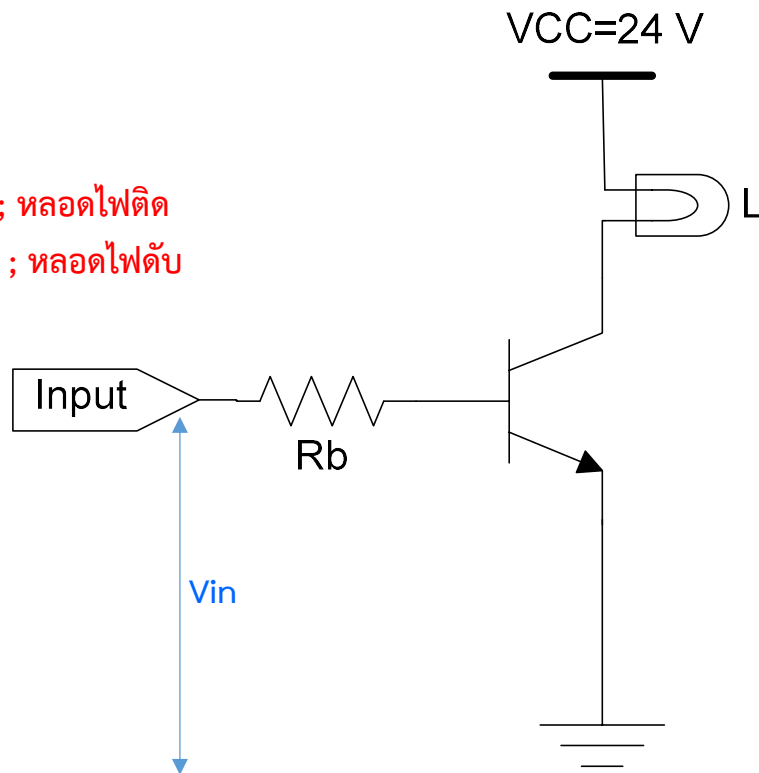
จงคำนวณค่าตัวต้านทาน R_b เมื่อกำหนดให้

$V_{in}=5\text{ V}$; หลอดไฟติด

$V_{in} < 5\text{ V}$; หลอดไฟดับ

$I_{b\text{ sat}} = 50\text{ mA}$, $\beta=70$, $V_{be}=0.7\text{ V}$

$V_{in}=5\text{ V}$; หลอดไฟติด
 $V_{in} < 5\text{ V}$; หลอดไฟดับ



$$I_b = \frac{I_c}{\beta} = \frac{0.100}{70} = 0.0014\text{ A}$$

$$R_b = \frac{V_{in} - V_{be}}{I_b} = \frac{5 - 0.7}{.0014} = 3.071\text{ k}$$

ตอบ R_b ควรใกล้เคียง 3.071k แต่ห้ามเกินค่านี้

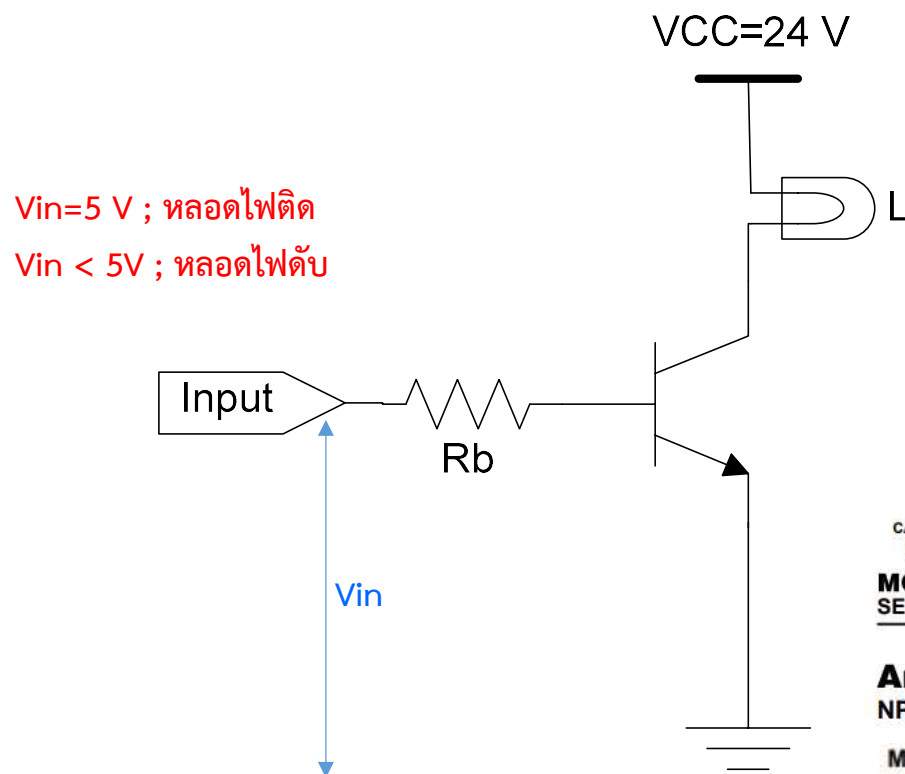
กระแสไม่ถึงระดับ sat

แต่ค่ากระแสจะผ่านโหลดตามที่ออกแบบ

เพราะกระแสถูกขยายตาม β

ก็ถือว่า OK แล้ว

วงจรทรานซิสเตอร์สวิตช์ (Transistor as a Switch)



จงคำนวณค่าตัวต้านทาน Rb เมื่อกำหนดให้

มีกระแสผ่านหลอด 300mA

Vin=5 V ; หลอดไฟติด

Vin < 5V ; หลอดไฟดับ

กำหนดให้ใช้ทรานซิสเตอร์เบอร์ BC337



CASE 29-04, STYLE 17
TO-18 (TO-226AA)

MOTOROLA
SEMICONDUCTOR TECHNICAL DATA

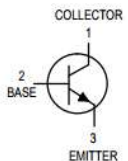
Amplifier Transistors
NPN Silicon

BC337,-16,-25,-40

BC338,-16,-25,-40

MAXIMUM RATINGS

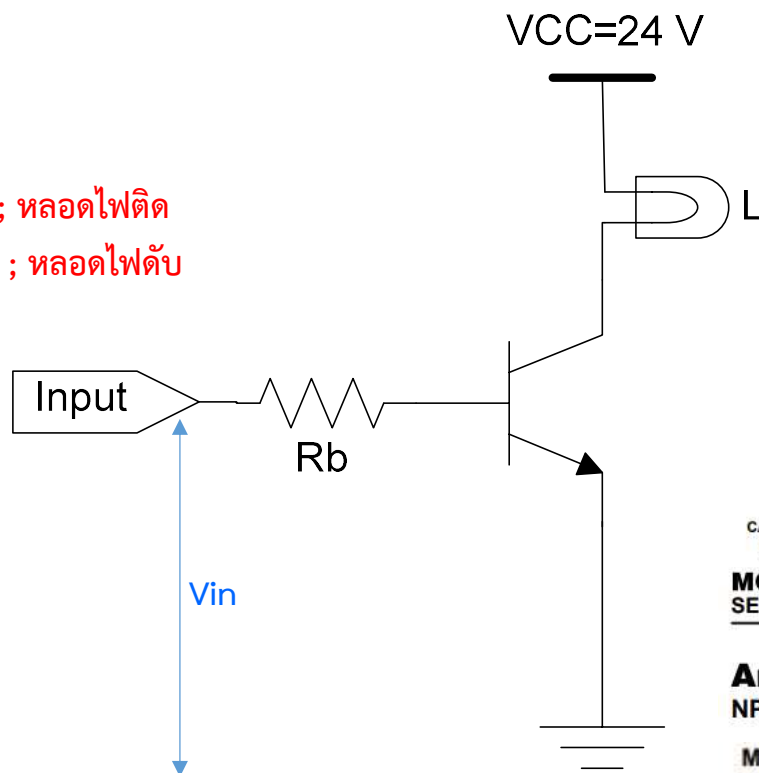
Rating	Symbol	BC337	BC338	Unit
Collector-Emitter Voltage	V _{CEO}	45	25	V _{dc}
Collector-Base Voltage	V _{CBO}	50	30	V _{dc}
Emitter-Base Voltage	V _{EBO}	5.0		V _{dc}
Collector Current — Continuous	I _C	800		mA _{dc}
Total Device Dissipation @ T _A = 25°C Derate above 25°C	P _D	625 5.0		mW mW/°C
Total Device Dissipation @ T _C = 25°C Derate above 25°C	P _D	1.5 12		Watt mW/°C
Operating and Storage Junction Temperature Range	T _J , T _{stg}	-55 to +150		°C



Vcc= 24V สามารถรับได้ ไม่พัง!

วงจรทรานซิสเตอร์สวิตช์ (Transistor as a Switch)

$V_{in}=5\text{ V}$; หลอดไฟติด
 $V_{in} < 5\text{ V}$; หลอดไฟดับ



จงคำนวณค่าตัวต้านทาน R_b เมื่อกำหนดให้
 มีกระแสผ่านหลอด 300mA
 $V_{in}=5\text{ V}$; หลอดไฟติด
 $V_{in} < 5\text{ V}$; หลอดไฟดับ
 กำหนดให้ใช้ทรานซิสเตอร์เบอร์ BC337

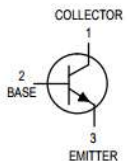


MOTOROLA
 SEMICONDUCTOR TECHNICAL DATA
Amplifier Transistors
 NPN Silicon

BC337,-16,-25,-40
BC338,-16,-25,-40

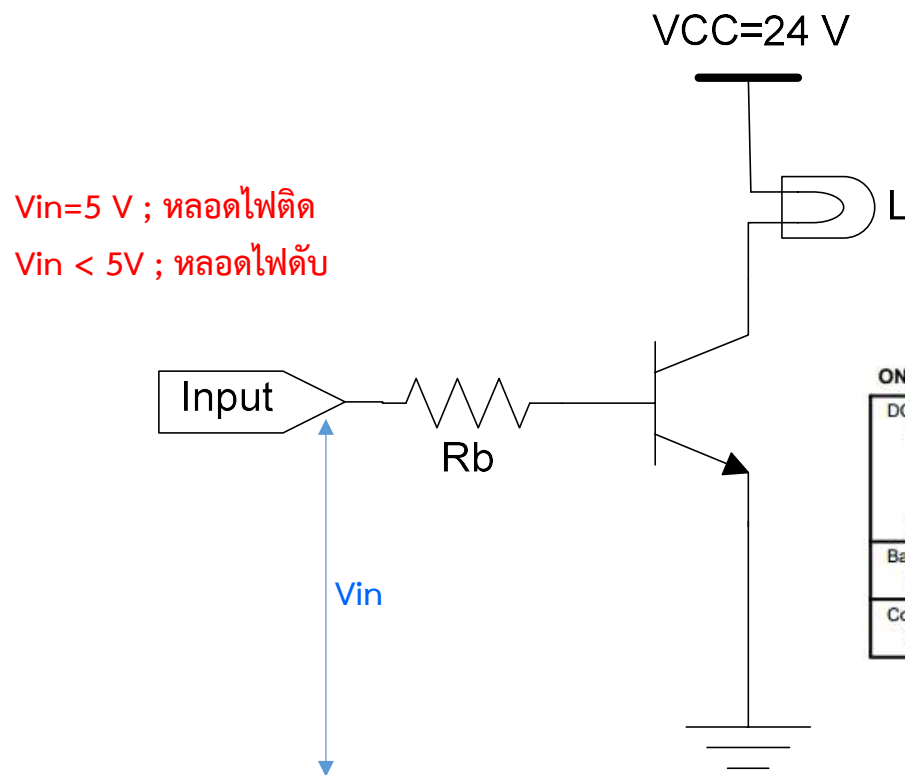
MAXIMUM RATINGS

Rating	Symbol	BC337	BC338	Unit
Collector-Emitter Voltage	V_{CEO}	45	25	Vdc
Collector-Base Voltage	V_{CBO}	50	30	Vdc
Emitter-Base Voltage	V_{EBO}	5.0		Vdc
Collector Current — Continuous	I_C	800		mA dc
Total Device Dissipation @ $T_A = 25^\circ\text{C}$ Derate above 25°C	P_D	625 5.0		mW mW/ $^\circ\text{C}$
Total Device Dissipation @ $T_C = 25^\circ\text{C}$ Derate above 25°C	P_D	1.5 12		Watt mW/ $^\circ\text{C}$
Operating and Storage Junction Temperature Range	T_J, T_{stg}	-55 to +150		$^\circ\text{C}$



กระแสผ่านหลอด 300mA สามารถทนได้
 ไม่พัง

วงจรทรานซิสเตอร์สวิตช์ (Transistor as a Switch)



จงคำนวณค่าตัวต้านทาน R_b เมื่อกำหนดให้

มีกระแสผ่านหลอด 300mA

$V_{in}=5\text{ V}$; หลอดไฟติด

$V_{in} < 5\text{ V}$; หลอดไฟดับ

กำหนดให้ใช้ทรานซิสเตอร์เบอร์ BC337

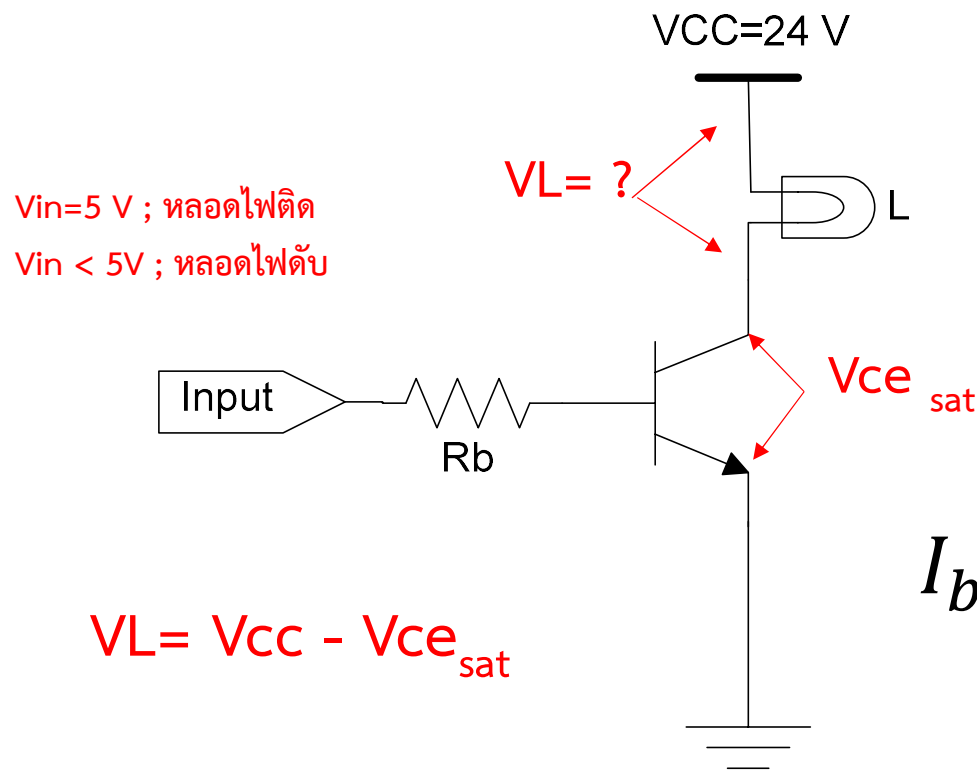
ON CHARACTERISTICS

DC Current Gain ($I_C = 100\text{ mA}$, $V_{CE} = 1.0\text{ V}$)	BC337/BC338 BC337-16/BC338-16 BC337-25/BC338-25 BC337-40/BC338-40	h_{FE}	100 100 160 250 60	— — — — —	630 250 400 630 —	—
Base-Emitter On Voltage ($I_C = 300\text{ mA}$, $V_{CE} = 1.0\text{ V}$)		$V_{BE(on)}$	—	—	1.2	V_{dc}
Collector-Emitter Saturation Voltage ($I_C = 500\text{ mA}$, $I_B = 50\text{ mA}$)		$V_{CE(sat)}$	—	—	0.7	V_{dc}

β ใน datasheet มักนิยมเรียกว่า h_{FE}
และระบุเป็นช่วง ในตัวอย่างจะบอกว่ายู่
ในช่วง 100-630 ให้เราเลือกใช้ค่าต่ำสุด
คือ 100

V_{be}

วงจรทรานซิสเตอร์สวิตช์ (Transistor as a Switch)



จงคำนวณค่าตัวต้านทาน Rb เมื่อกำหนดให้

มีกระแสผ่านหลอด 300mA

Vin=5 V ; หลอดไฟติด

Vin < 5V ; หลอดไฟดับ

กำหนดให้ใช้ทรานซิสเตอร์เบอร์ BC337

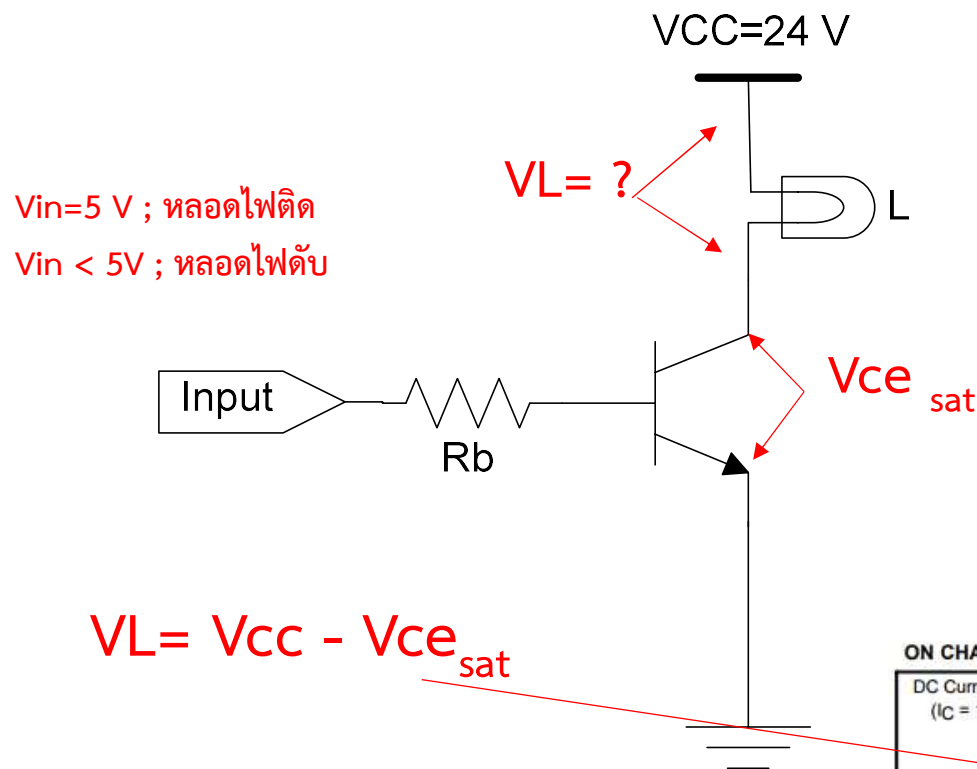
$$\beta = 100, V_{be} = 1.2$$

$$I_b = \frac{I_c}{\beta} = \frac{0.300}{100} = 0.003A$$

$$R_b = \frac{V_{in} - V_{be}}{I_b} = \frac{5 - 1.2}{.003} = 1.266k$$

ตอบ Rb ไม่เกิน 1.266k

วงจรทรานซิสเตอร์สวิตช์ (Transistor as a Switch)



จงคำนวณค่าตัวต้านทาน R_b เมื่อกำหนดให้

มีกระแสผ่านหลอด 300mA

$V_{in} = 5\text{ V}$; หลอดไฟติด

$V_{in} < 5\text{ V}$; หลอดไฟดับ

กำหนดให้ใช้ทรานซิสเตอร์เบอร์ BC337

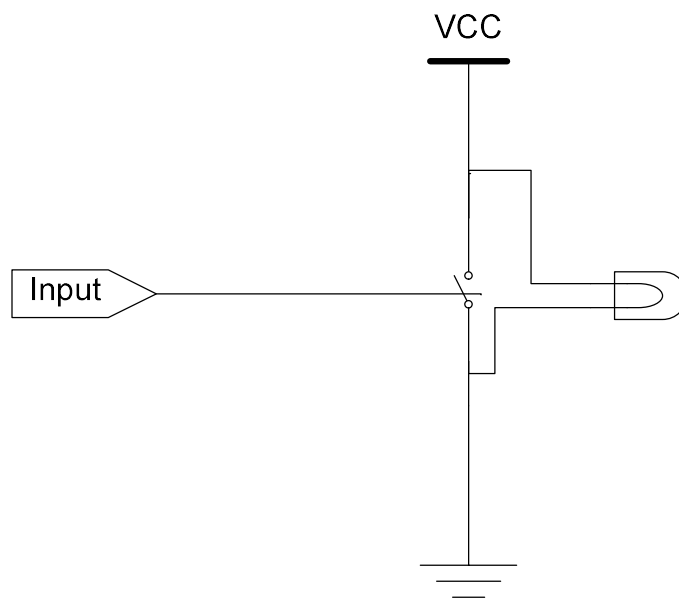
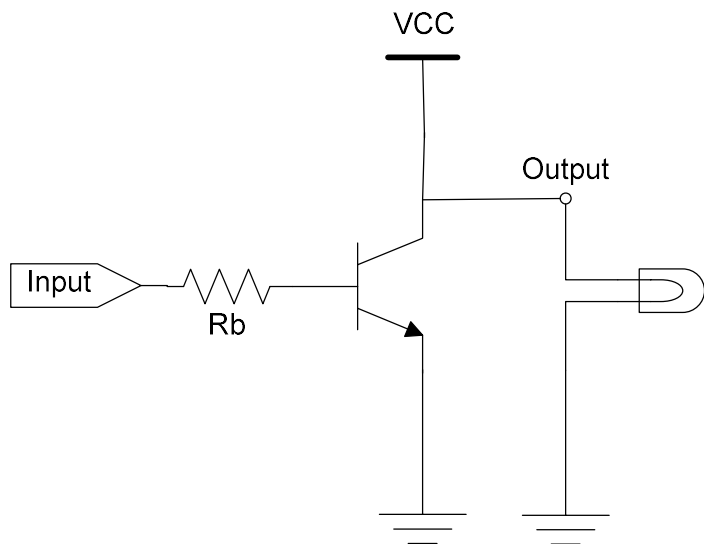
ON CHARACTERISTICS

DC Current Gain ($I_C = 100\text{ mA}$, $V_{CE} = 1.0\text{ V}$)	BC337/BC338 BC337-16/BC338-16 BC337-25/BC338-25 BC337-40/BC338-40	h_{FE}	100 100 160 250 60	— — — — —	630 250 400 630 —	—
Base-Emitter On Voltage ($I_C = 300\text{ mA}$, $V_{CE} = 1.0\text{ V}$)		$V_{BE(on)}$	—	—	1.2	V_{dc}
Collector-Emitter Saturation Voltage ($I_C = 500\text{ mA}$, $I_B = 50\text{ mA}$)		$V_{CE(sat)}$	—	—	0.7	V_{dc}

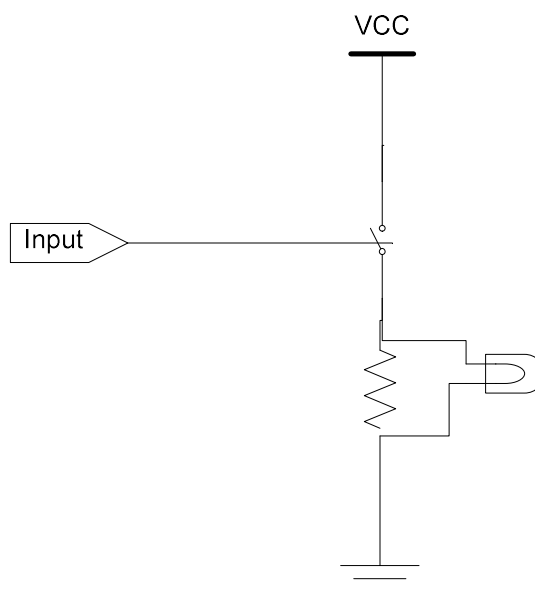
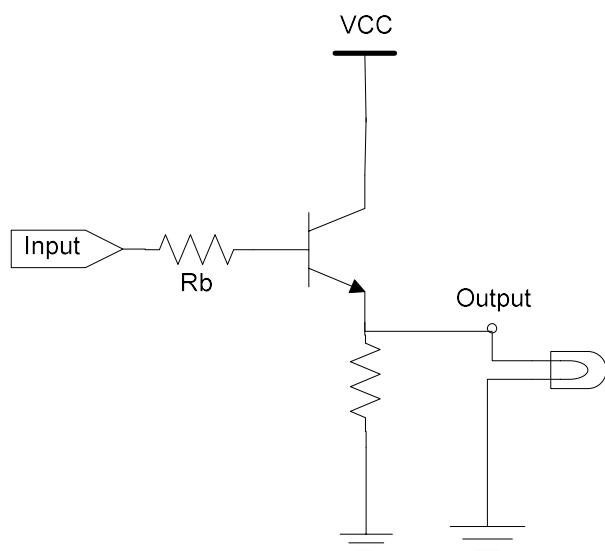
ถ้าใช้ทรานซิสเตอร์เบอร์นี้ แรงดันคร่อมหลอดจะไม่มีวันเกิน $V_{cc} - 0.7 = 23.3\text{ V}$

ถ้าต้องการให้แรงดันคร่อมหลอดสูงกว่า 23.3V ให้เพิ่ม V_{cc}

วงจรทรานซิสเตอร์สวิตช์ (Transistor as a Switch)



มี Input = หลอดดับ



มี Input = หลอดสว่าง

วงจรทรานซิสเตอร์สวิตช์ (Transistor as a Switch)

ข้อดีของการใช้ทรานซิสเตอร์สวิตช์

- ทำงานได้เร็ว
- ใช้กระแสควบคุมน้อย
- จำกัดกระแสที่ผ่านโหลดได้
- ราคาถูก

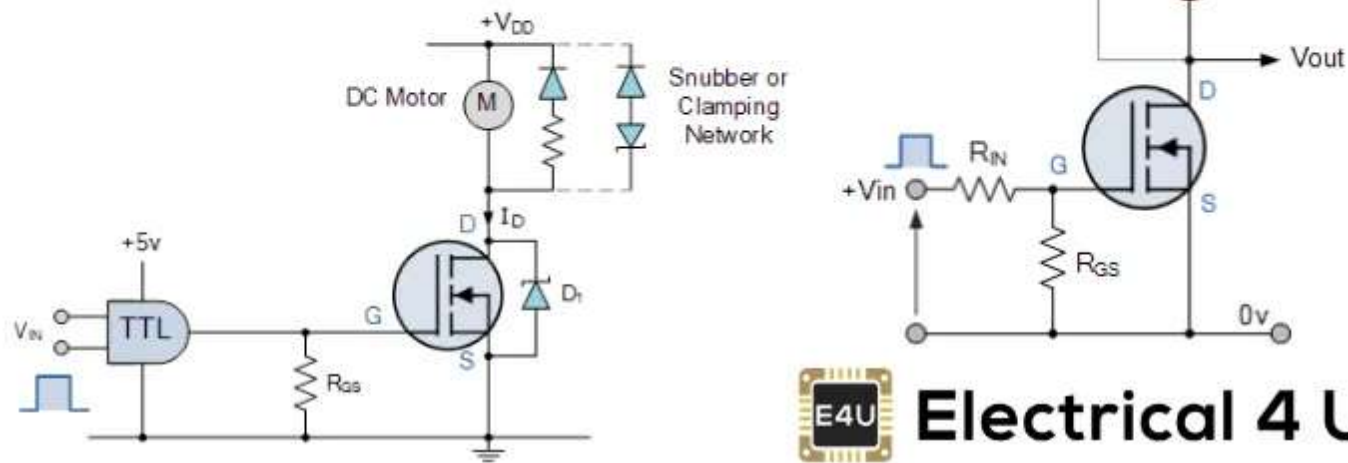
ข้อเสียของการใช้ทรานซิสเตอร์สวิตช์

- ทนกระแสได้น้อย
- มีการสูญเสียเป็นความร้อน
- ได้แรงดันคร่อมโหลดไม่เต็ม (on ไม่สุด)

ปัญหาเหล่านี้ถูกแก้ไขใน MOSFET

Field Effect Transistor

What is MOSFET as a Switch?



FET จะเข้าสู่สภาวะ ON เมื่อ V_{GS} มากกว่าค่า Threshold และ OFF เมื่อ $V_{GS}=0$
แรงดันตกคร่อม V_{DS} ขณะ ON มีค่าน้อยมาก และมีความต้านทานต่ำมาก
เนื่องจากการควบคุมการเปิด ปิดด้วยแรงดัน วงจรจึงออกแบบง่ายกว่า
การคำนวณจึงพิจารณาเพียง แรงดันที่ทนได้ และแอมป์ที่ทนได้ และความสามารถในการระบายความร้อนของ FET
ข้อเสียคือ แรงดันควบคุมมักมีระดับสูงกว่า BJT จึงนิยมใช้ร่วมกับไมโครคอนโทรลเลอร์

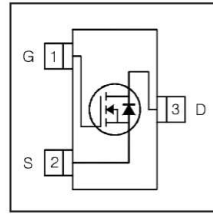
ตัวอย่าง MOSFET เบอร์ IRFML8244

International
IR Rectifier

PD - 97587A

IRFML8244TRPbF

HEXFET® Power MOSFET



V_{DS}	25	V
$V_{GS\ Max}$	± 20	V
$R_{DS(on)\ max}$ (@ $V_{GS} = 10V$)	24	m Ω
$R_{DS(on)\ max}$ (@ $V_{GS} = 4.5V$)	41	m Ω

Application(s)

- Load/ System Switch

Features and Benefits

Features

Low $R_{DS(on)}$ ($\leq 24m\Omega$)
Industry-standard pinout
Compatible with existing Surface Mount Techniques
RoHS compliant containing no lead, no bromide and no halogen
MSL1, Consumer qualification

results in

Benefits

Lower switching losses
Multi-vendor compatibility
Easier manufacturing
Environmentally friendly
Increased reliability

ทนแรงดันได้สูงสุด

Absolute Maximum Ratings

Symbol	Parameter	Max.	Units
V_{DS}	Drain-Source Voltage	25	V
I_D @ $T_A = 25^\circ C$	Continuous Drain Current, V_{GS} @ 10V	5.8	A
I_D @ $T_A = 70^\circ C$	Continuous Drain Current, V_{GS} @ 10V	4.6	A
I_{DM}	Pulsed Drain Current	24	A
P_D @ $T_A = 25^\circ C$	Maximum Power Dissipation	1.25	W
P_D @ $T_A = 70^\circ C$	Maximum Power Dissipation	0.80	W
	Linear Derating Factor	0.01	W/ $^\circ C$
V_{GS}	Gate-to-Source Voltage	± 20	V
T_J, T_{STG}	Junction and Storage Temperature Range	-55 to + 150	$^\circ C$

Thermal Resistance

Symbol	Parameter	Typ.	Max.	Units
$R_{\theta JA}$	Junction-to-Ambient ①	—	100	$^\circ C/W$
$R_{\theta JA}$	Junction-to-Ambient ($t < 10s$) ④	—	99	$^\circ C/W$

ORDERING INFORMATION:

See detailed ordering and shipping information on the last page of this data sheet.

Notes ① through ④ are on page 10

www.irf.com

ระบายความร้อนได้สูงสุด

IRFML8244TRPbF

International
IR Rectifier

แรงดันที่ทำให้ ON

Electric Characteristics @ $T_J = 25^\circ C$ (unless otherwise specified)

Symbol	Parameter	Min.	Typ.	Max.	Units	Conditions
$V_{(BR)DS}$	Drain-to-Source Breakdown Voltage	25	—	—	V	$V_{GS} = 0V, I_D = 250\mu A$
$\Delta V_{(BR)DS}/\Delta T_J$	Breakdown Voltage Temp. Coefficient	—	0.02	—	V/ $^\circ C$	Reference to $25^\circ C, I_D = 1mA$
$R_{DS(on)}$	Static Drain-to-Source On-Resistance	—	20	24	m Ω	$V_{GS} = 10V, I_D = 5.8A$ ②
		—	32	41	m Ω	$V_{GS} = 4.5V, I_D = 4.6A$ ②
$V_{GS(th)}$	Gate Threshold Voltage	1.35	1.7	2.35	V	$V_{DS} = V_{GS}, I_D = 10\mu A$
I_{DSS}	Drain-to-Source Leakage Current	—	—	1.0	μA	$V_{DS} = 20V, V_{GS} = 0V$
		—	—	150	μA	$V_{DS} = 20V, V_{GS} = 0V, T_J = 125^\circ C$
I_{GSS}	Gate-to-Source Forward Leakage	—	—	100	nA	$V_{GS} = 20V$
	Gate-to-Source Reverse Leakage	—	—	-100	nA	$V_{GS} = -20V$
R_G	Internal Gate Resistance	—	1.6	—	Ω	
g_{fs}	Forward Transconductance	10	—	—	S	$V_{DS} = 10V, I_D = 5.8A$
Q_g	Total Gate Charge	—	5.4	—	nC	$I_D = 5.8A$
Q_{gs}	Gate-to-Source Charge	—	1.0	—	nC	$V_{DS} = 13V$
Q_{gd}	Gate-to-Drain ("Miller") Charge	—	0.81	—	nC	$V_{GS} = 10V$ ②
$t_{d(on)}$	Turn-On Delay Time	—	2.7	—	ns	$V_{DS} = 13V$ ②
t_r	Rise Time	—	2.1	—	ns	$I_D = 1.0A$
$t_{d(off)}$	Turn-Off Delay Time	—	9.0	—	ns	$R_G = 6.8\Omega$
t_f	Fall Time	—	2.9	—	ns	$V_{GS} = 10V$
C_{iss}	Input Capacitance	—	430	—	pF	$V_{DS} = 0V$
C_{oss}	Output Capacitance	—	110	—	pF	$V_{DS} = 10V$
C_{rss}	Reverse Transfer Capacitance	—	49	—	pF	$f = 1.0MHz$

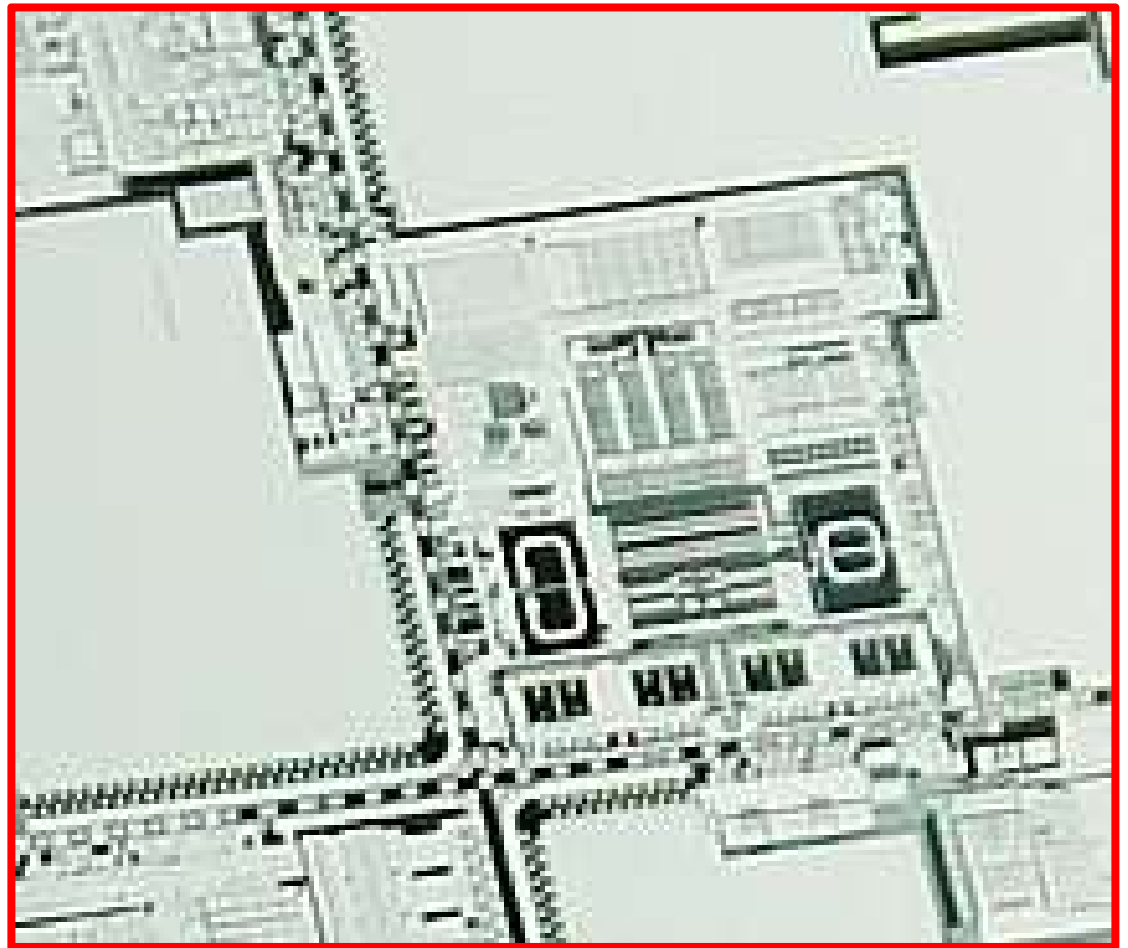
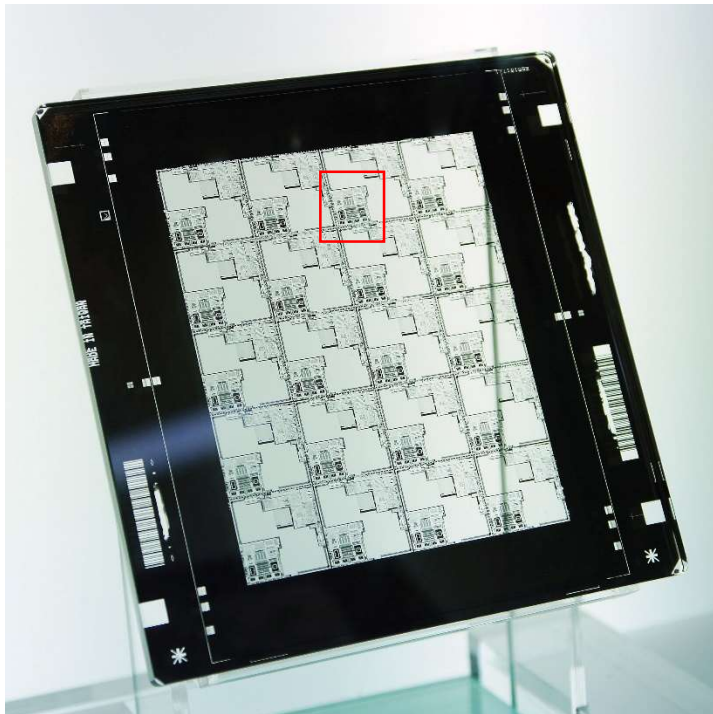
Source - Drain Ratings and Characteristics

Symbol	Parameter	Min.	Typ.	Max.	Units	Conditions
I_S	Continuous Source Current (Body Diode)	—	—	1.25	A	MOSFET symbol showing the integral reverse p-n junction diode.
I_{SM}	Pulsed Source Current (Body Diode) ①	—	—	24	A	
V_{SD}	Diode Forward Voltage	—	—	1.2	V	$T_J = 25^\circ C, I_S = 5.8A, V_{GS} = 0V$ ②
t_{rr}	Reverse Recovery Time	—	11	17	ns	$T_J = 25^\circ C, V_R = 20V, I_F = 5.8A$
Q_{rr}	Reverse Recovery Charge	—	4.2	6.3	nC	$di/dt = 100A/\mu s$ ②

ทนกระแสได้สูงสุด

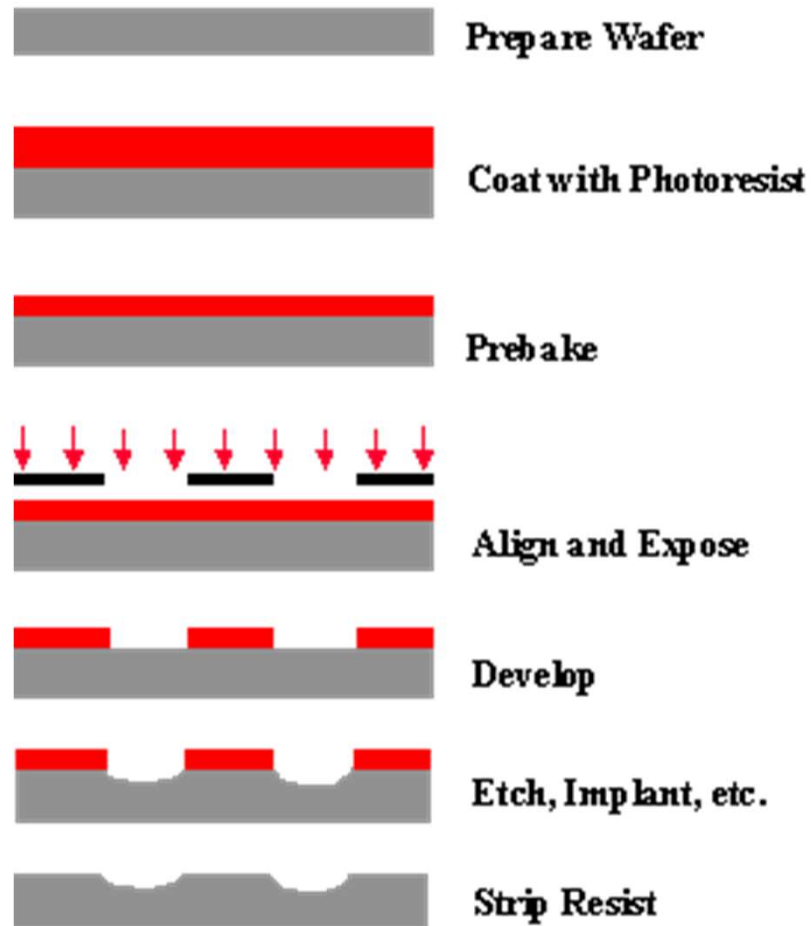
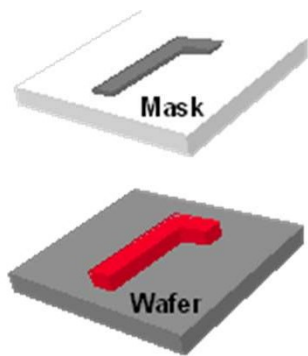
วงจรทรานซิสเตอร์สวิตช์ (Transistor as a Switch)

ทรานซิสเตอร์จำนวนมากถูกสร้างให้มีขนาดเล็กและราคาถูกลงได้ด้วยกระบวนการ
Semiconductor Lithography (Photolithography)



วงจรทรานซิสเตอร์สวิตช์ (Transistor as a Switch)

ทรานซิสเตอร์จำนวนมากถูกสร้างให้มีขนาดเล็กและราคาถูกลงได้ด้วยกระบวนการ
Semiconductor Lithography (Photolithography)



จบเนื้อหาสำหรับครึ่งภาคการศึกษาแรก
อิเล็กทรอนิกส์ภาคแอนาล็อก

ครึ่งภาคการศึกษาถัดไปจะเป็น
อิเล็กทรอนิกส์ภาคดิจิทัล

สอบกลางภาค

วันที่ 11 กย 2563 เวลา 12:00 - 15:00

นำเอกสารเข้าได้ 1 แผ่น A4 จะจดหรือพิมพ์ก็ได้

ให้นำเครื่องคิดเลขเข้าห้องสอบได้

(ห้ามใช้โทรศัพท์มือถือ)

ข้อสอบเก็บคะแนน 30%

มีทั้ง กา และ เต็มคำ