



전자회로

SEMICONDUCTOR



@ INDEX

1. Conductors, Insulators, Semiconductors
2. Conduction in Semiconductors
3. The N-Type and P-Type Semiconductors
4. The PN Junction

1.1

Conductors
Insulators
Semiconductors



학습목표

전기적 특성을 갖는 물질은

도체, 반도체 및 절연체의 3그룹으로

분류되며

이 장에서는 반도체의 특성을 시험하여

반도체를 도체, 절연체와 비교한다

I. Conductors

+ 자유전자가 많아 전류가 쉽게 흐르는 물질

+ 좋은 도체 : Au, Ag, Cu, Al..

(원자에 매우 약하게 구속된 가전자
→ 자유전자가 될 수 있다)

I. Conductors + α

B-4 CONDUCTIVITIES†

Material	Conductivity, σ (S/m)	Material	Conductivity, σ (S/m)
Silver	6.17×10^7	Fresh water	10^{-3}
Copper	5.80×10^7	Distilled water	2×10^{-4}
Gold	4.10×10^7	Dry soil	10^{-5}
Aluminum	3.54×10^7	Transformer oil	10^{-11}
Brass	1.57×10^7	Glass	10^{-12}
Bronze	10^7	Porcelain	2×10^{-13}
Iron	10^7	Rubber	10^{-15}
Seawater	4	Fused quartz	10^{-17}

1280

† Note that the constitutive parameters of some of the materials are frequency and temperature dependent. The listed constants are average low-frequency values at room temperature.



2. Insulator

- + 부도체 또는 절연체
- + 자유전자양小, 전류가 흐르지 못하는 물질
- + 가전자들이 원자에 구속
(절연체 내부에는 자유전자가 적음)
- 가장 좋은 절연체 : 복합물질로 구성

3. Semiconductor

+ 평상시에는 절연체와 같은 역할.

하지만 전기, 열, 빛 등 외부자극을 받으면

공유결합에 의해 전자가 자유전자로 변해

전류를 흐르게 함

3. Semiconductor

+ 반도체의 종류

- **진성반도체** (Intrinsic Semiconductor)
- **외인성반도체** (Extrinsic Semiconductor)

3. Semiconductor

+ 진성반도체

- 불순물을 첨가하지 않은 순수한 반도체.
- 반도체 자체 밀도가 캐리어 밀도 결정

+ 외인성(불순물) 반도체

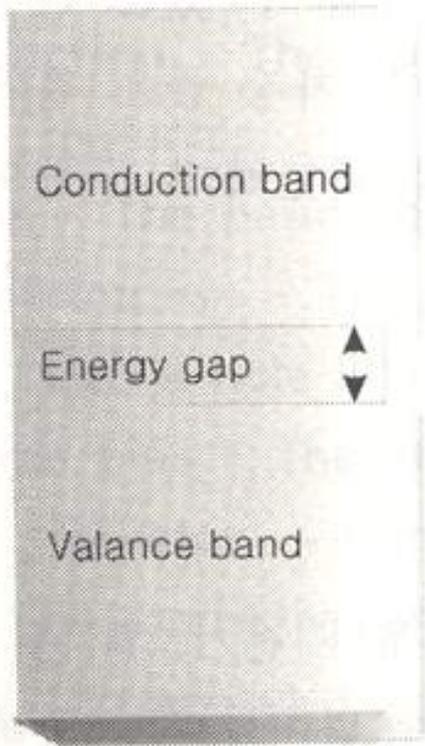
- 진성반도체에 불순물 소량첨가(도핑)
- 도핑하는 원소가 종류에 따라서
 - > 캐리어가 홀인 P형 반도체
 - > 캐리어가 전자인 N형 반도체

4. Energy Bands

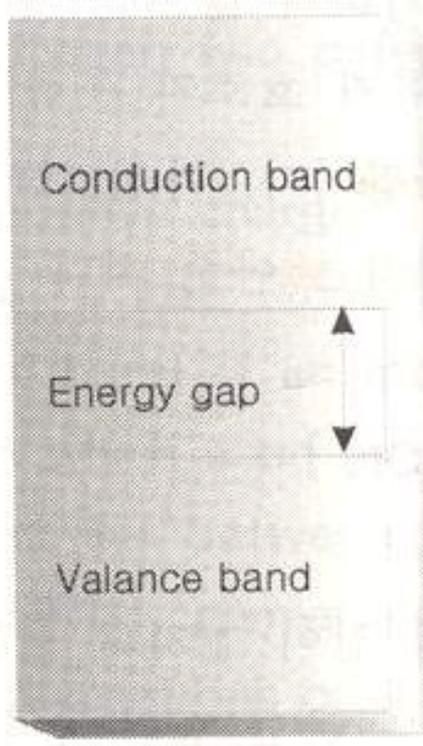
+ 에너지 대역

- 서로 가까이 있는 전자 여러 개의 힘이 모여서 마치 띠(band) 모양을 이룬다 하여 에너지밴드라 함
- 밴드의 크기는 전자가 원자 궤도의 어느 위치에 따라서 다름

4. Energy Bands

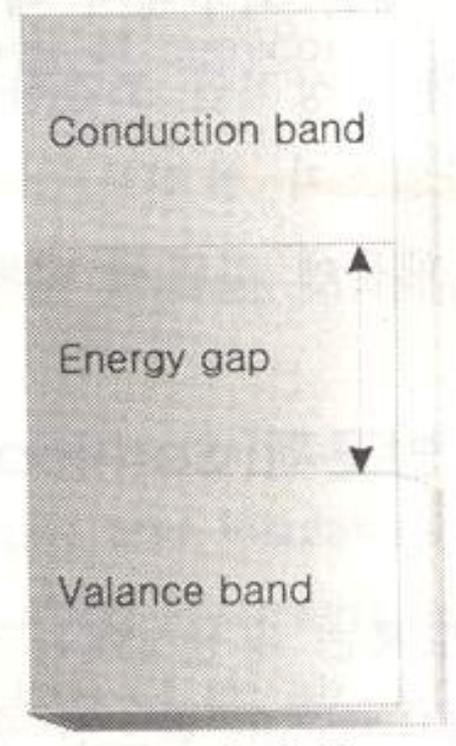


a) 도체



b) 반도체

에너지 대역



c) 절연체

가전자대 / 전도대 / 에너지갭(금지대)

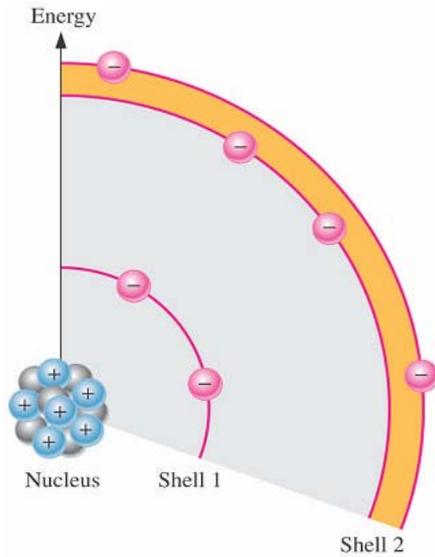
5. Shell

+ 전자 껍질

- 원자 구조 모델(전자 궤도 모임)

+ 近궤도 전자위치E < 遠궤도 전자위치E

5. Shell



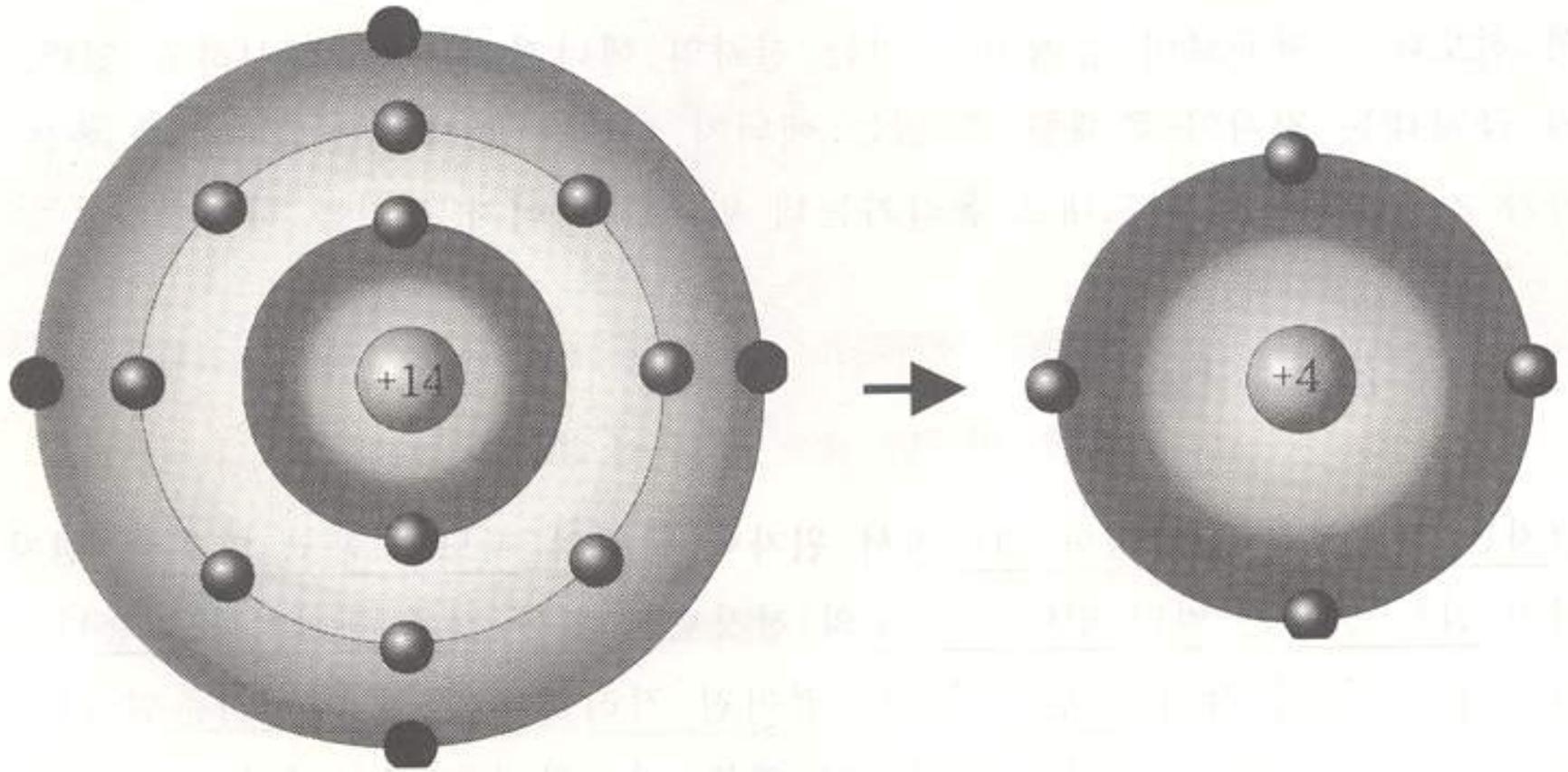
$$\begin{aligned} K\text{각} : n = 1 &\rightarrow N_e = 2n^2 = 2(1)^2 = 2 \\ L\text{각} : n = 2 &\rightarrow N_e = 2n^2 = 2(2)^2 = 8 \\ M\text{각} : n = 3 &\rightarrow N_e = 2n^2 = 2(3)^2 = 18 \\ N\text{각} : n = 4 &\rightarrow N_e = 2n^2 = 2(4)^2 = 32 \end{aligned}$$

‘K, L, M, N.. 각(orbit)’

핵에 가깝다
위치 小

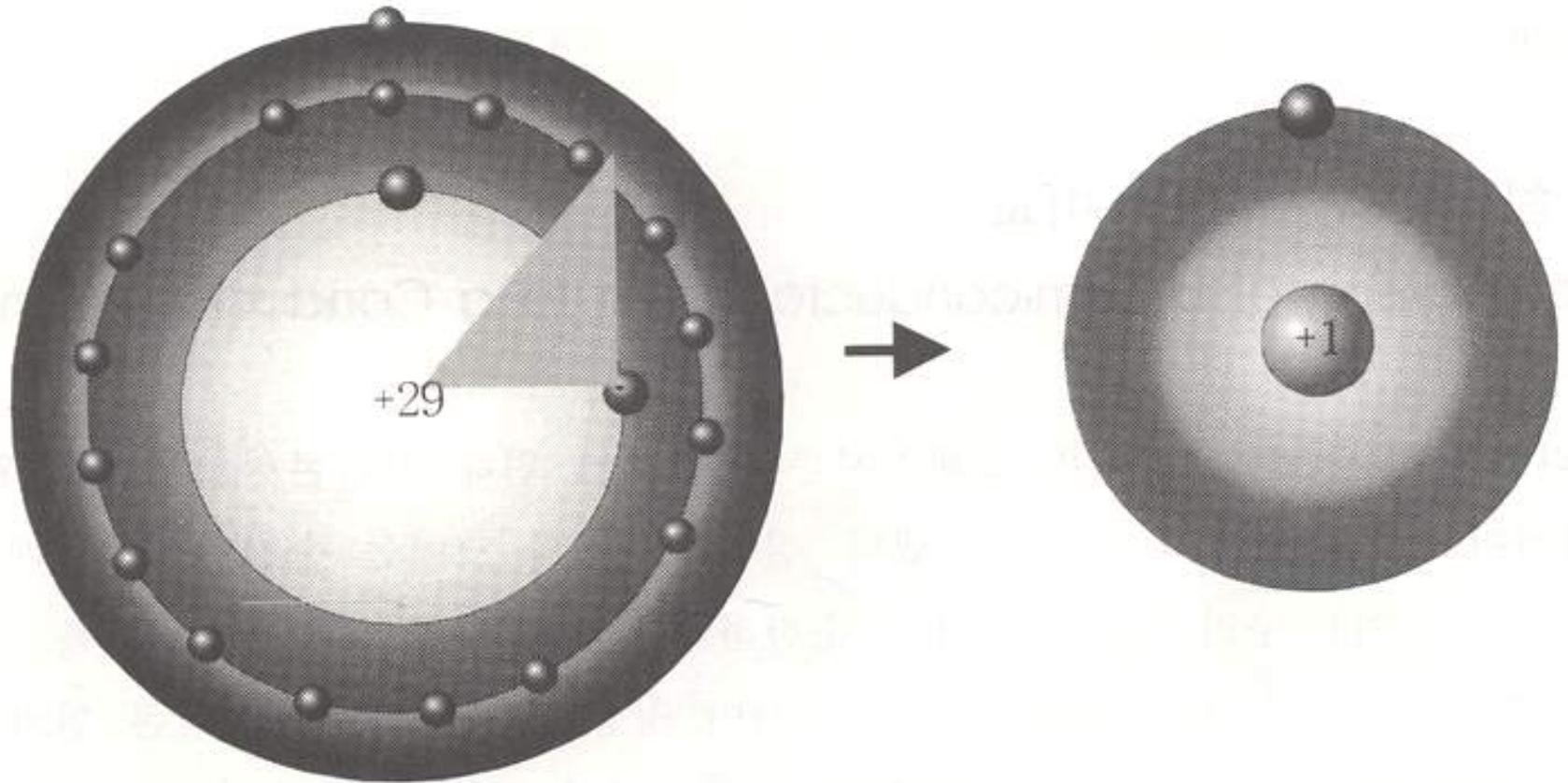
핵에 멀다
위치 大

b. Si와 Cu의 비교



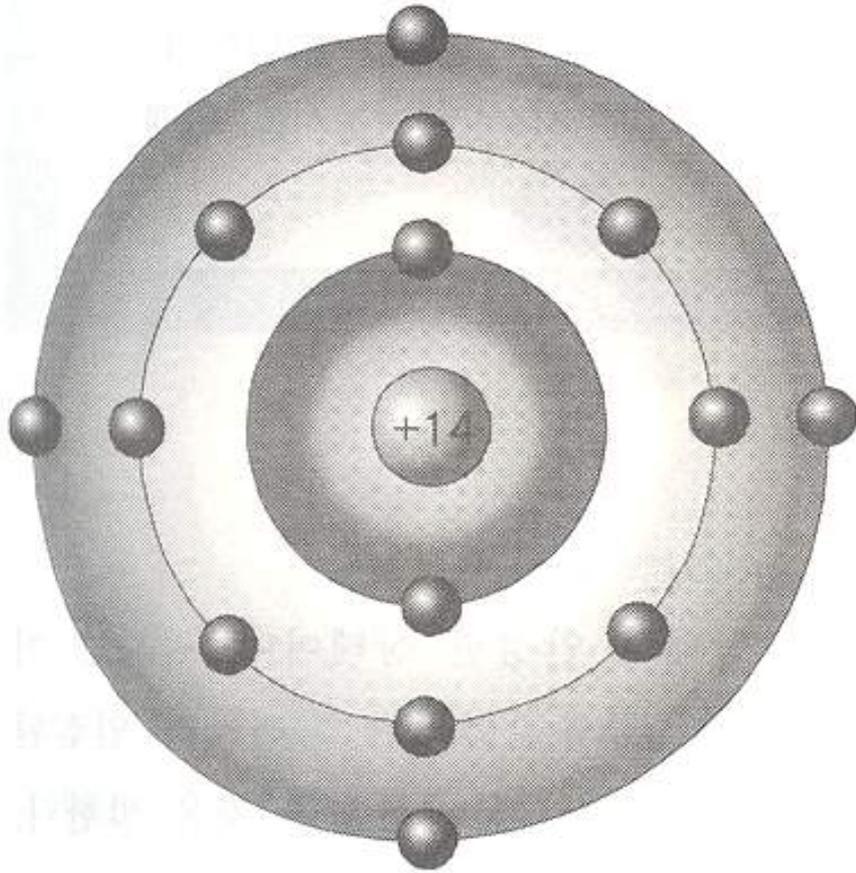
a) 실리콘(Si^{14})

b. Si와 Cu의 비교

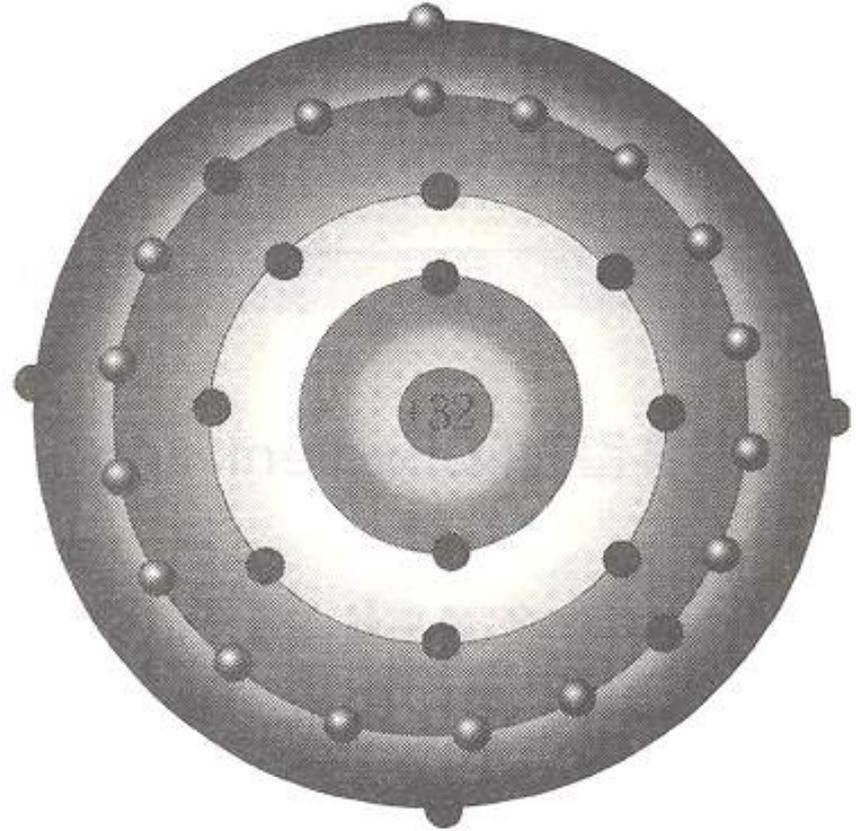


b) 구리원자(Cu^{29})

b. Si와 Ge의 비교



a) 실리콘(Si^{14})



b) 게르마늄(Ge^{32})

1.2

Conductor in Semiconductors



학습목표

다이오드나 TR과 같은 소자와 같은
반도체 물질에서의
전자 소자의 동작 원리와
기본적인 전류현상(전도)을 이해한다.

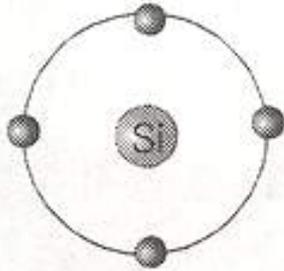
I. Covalent Bonds(공유 결합)

+ 가전자가 인접 원자 공동 소유

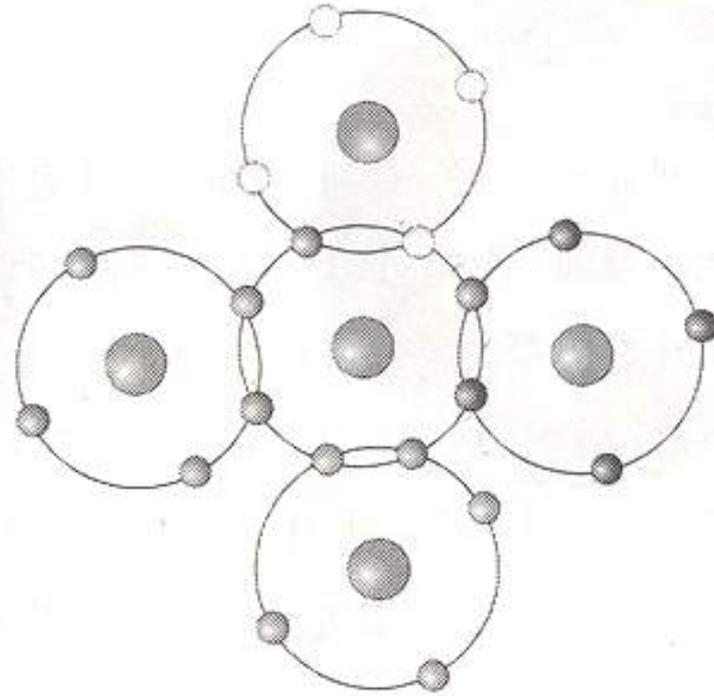
→ 원자끼리 서로 강하게 결합한 상태

- 가전자들의 상호작용에 의해 만들어짐

I. Covalent Bonds(공유 결합)



a) 4가 Si 원자



b) 공유 결합

실리콘 결정을 이루기 위한 원자 결합관계

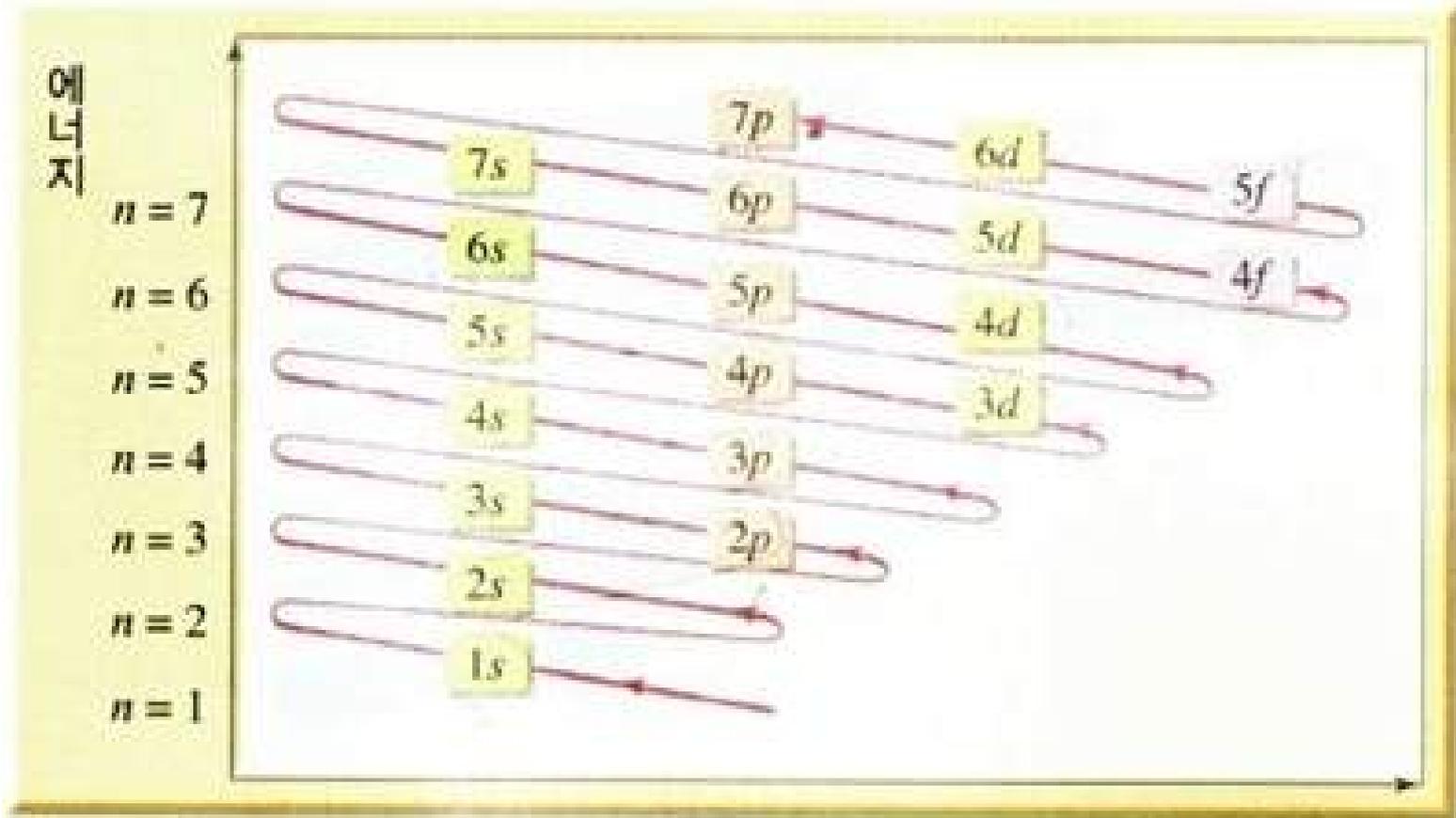
I. Covalent Bonds(공유 결합)

(표) 2. 3주기 공유 결합 화합물의 전자점식

주기 \ 족	2	3	4	5	6	7
2	$\begin{array}{c} \text{:}\ddot{\text{Cl}}\text{:Be}\text{:}\ddot{\text{Cl}}\text{:} \\ \text{:}\ddot{\text{Cl}}\text{:Be}\text{:}\ddot{\text{Cl}}\text{:} \end{array}$	$\begin{array}{c} \text{:}\ddot{\text{F}}\text{:} \\ \text{:}\ddot{\text{F}}\text{:B}\text{:}\ddot{\text{F}}\text{:} \\ \text{:}\ddot{\text{F}}\text{:} \end{array}$	$\begin{array}{c} \text{H} \\ \text{H}:\ddot{\text{C}}:\text{H} \\ \text{H} \end{array}$	$\begin{array}{c} \text{H} \\ \text{:}\ddot{\text{N}}\text{:H} \\ \text{H} \end{array}$	$\begin{array}{c} \text{:}\ddot{\text{O}}\text{:H} \\ \text{H} \end{array}$	$\text{H}:\ddot{\text{F}}\text{:}$
3			$\begin{array}{c} \text{H} \\ \text{H}:\ddot{\text{Si}}:\text{H} \\ \text{H} \end{array}$	$\begin{array}{c} \text{H} \\ \text{:}\ddot{\text{P}}\text{:H} \\ \text{H} \end{array}$	$\begin{array}{c} \text{:}\ddot{\text{S}}\text{:H} \\ \text{H} \end{array}$	$\text{H}:\ddot{\text{Cl}}\text{:}$

1. Covalent Bonds(공유 결합)

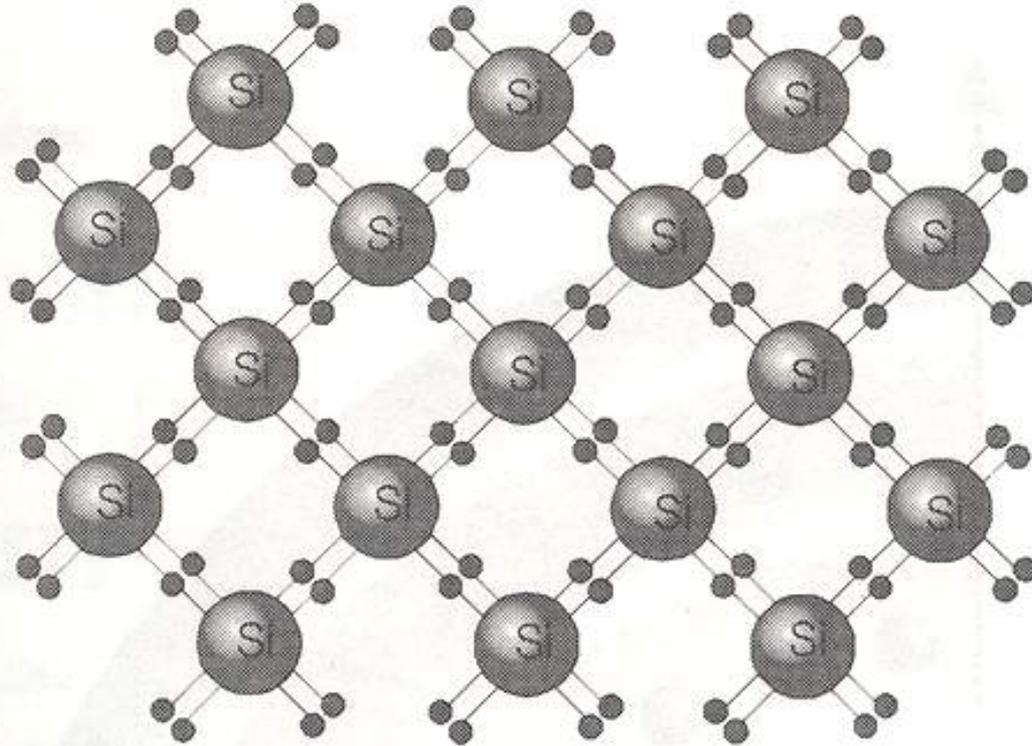
다전자 원자에서 전자가 채워지는 순서



I. Covalent Bonds(공유 결합)

원자 기호	원소 기호	오비탈							문자로 표시한 전자배치		
		1s	2s	2p			3s	3p		3d	4s
1	H	●									1s ¹
2	He	●●									1s ²
3	Li	●●	●								1s ² 2s ¹
4	Be	●●	●●								1s ² 2s ²
5	B	●●	●●	●							1s ² 2s ² 2p ¹
6	C	●●	●●	●	●						1s ² 2s ² 2p ²
7	N	●●	●●	●	●	●					1s ² 2s ² 2p ³
8	O	●●	●●	●●	●	●					1s ² 2s ² 2p ⁴
9	F	●●	●●	●●	●●	●					1s ² 2s ² 2p ⁵
10	Ne	●●	●●	●●	●●	●●					1s ² 2s ² 2p ⁶
11	Na	●●	●●	●●	●●	●●	●				1s ² 2s ² 2p ⁶ 3s ¹
12	Mg	●●	●●	●●	●●	●●	●●				1s ² 2s ² 2p ⁶ 3s ²
13	Al	●●	●●	●●	●●	●●	●●	●			1s ² 2s ² 2p ⁶ 3s ² 3p ¹
14	Si	●●	●●	●●	●●	●●	●●	●	●		1s ² 2s ² 2p ⁶ 3s ² 3p ²
15	P	●●	●●	●●	●●	●●	●●	●	●	●	1s ² 2s ² 2p ⁶ 3s ² 3p ³
16	S	●●	●●	●●	●●	●●	●●	●●	●	●	1s ² 2s ² 2p ⁶ 3s ² 3p ⁴
17	Cl	●●	●●	●●	●●	●●	●●	●●	●●	●	1s ² 2s ² 2p ⁶ 3s ² 3p ⁵
18	Ar	●●	●●	●●	●●	●●	●●	●●	●●	●●	1s ² 2s ² 2p ⁶ 3s ² 3p ⁶
19	K	●●	●●	●●	●●	●●	●●	●●	●●	●	1s ² 2s ² 2p ⁶ 3s ² 3p ⁶ 4s ¹
20	Ca	●●	●●	●●	●●	●●	●●	●●	●●	●●	1s ² 2s ² 2p ⁶ 3s ² 3p ⁶ 4s ²
전자껍질		K		L			M			N	

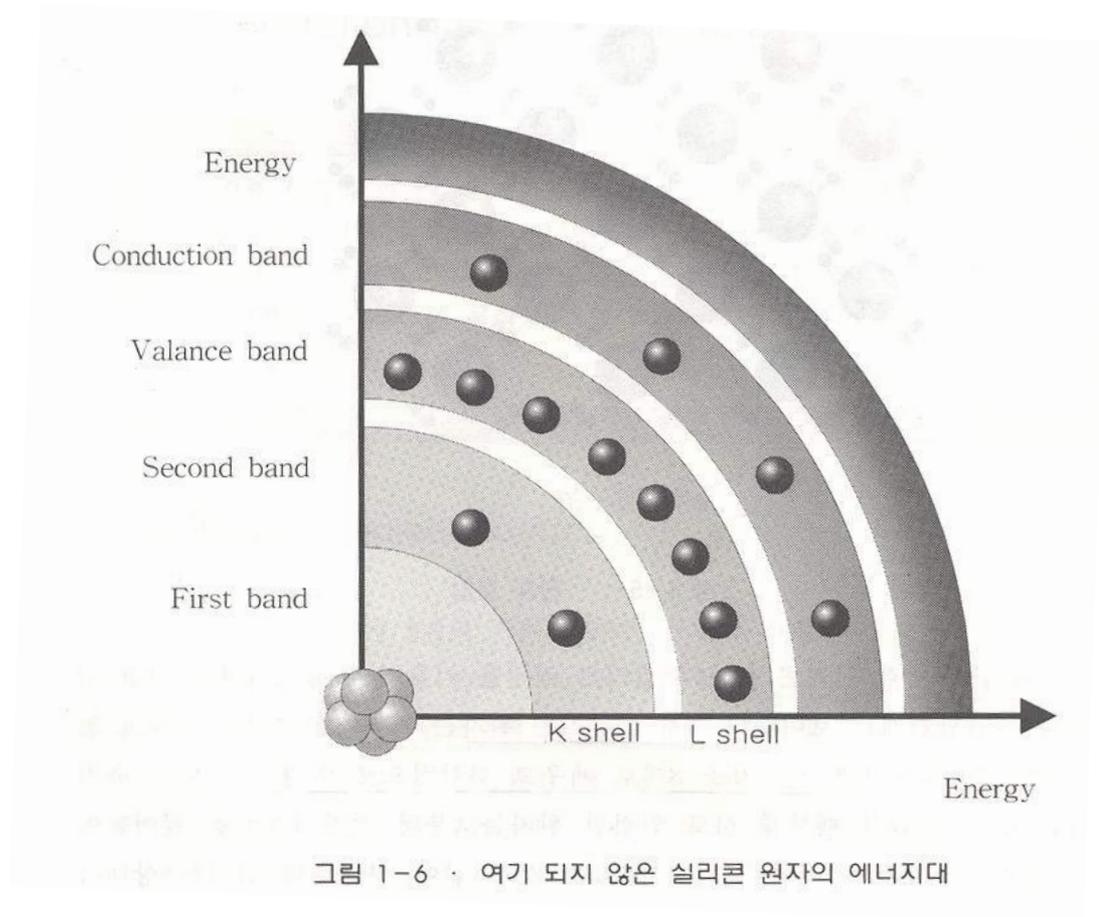
I. Covalent Bonds(공유결합)



c) 결정구조

진성 실리콘 결정 내에서 공유결합 상태

I. Covalent Bonds(공유 결합)



여기 되지 않은 실리콘 원자의 에너지대

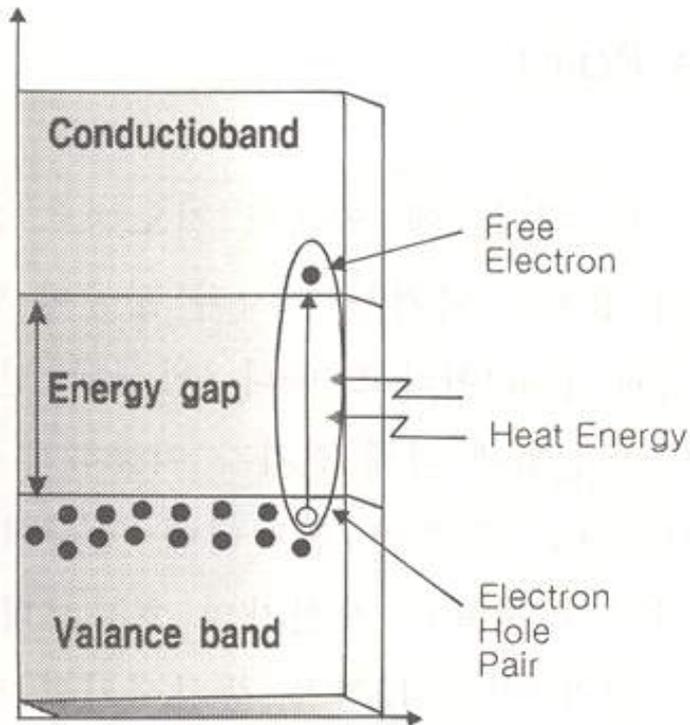
2. 전도전자와 정공

+ 전도전자

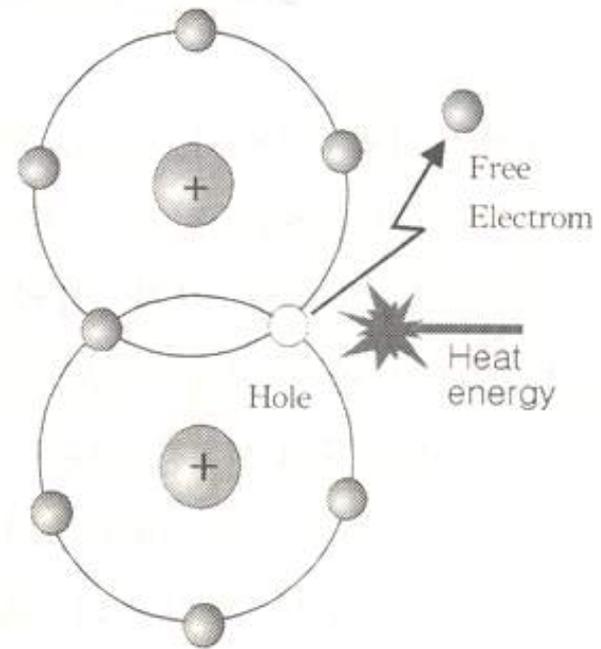
- 에너지를 외부로부터 받으면 일부의 가전자들은 원자로부터 구속력 이기고 자유전자가 됨.

2. 전도전자와 정공

+ 전도전자



a) 에너지 다이어그램



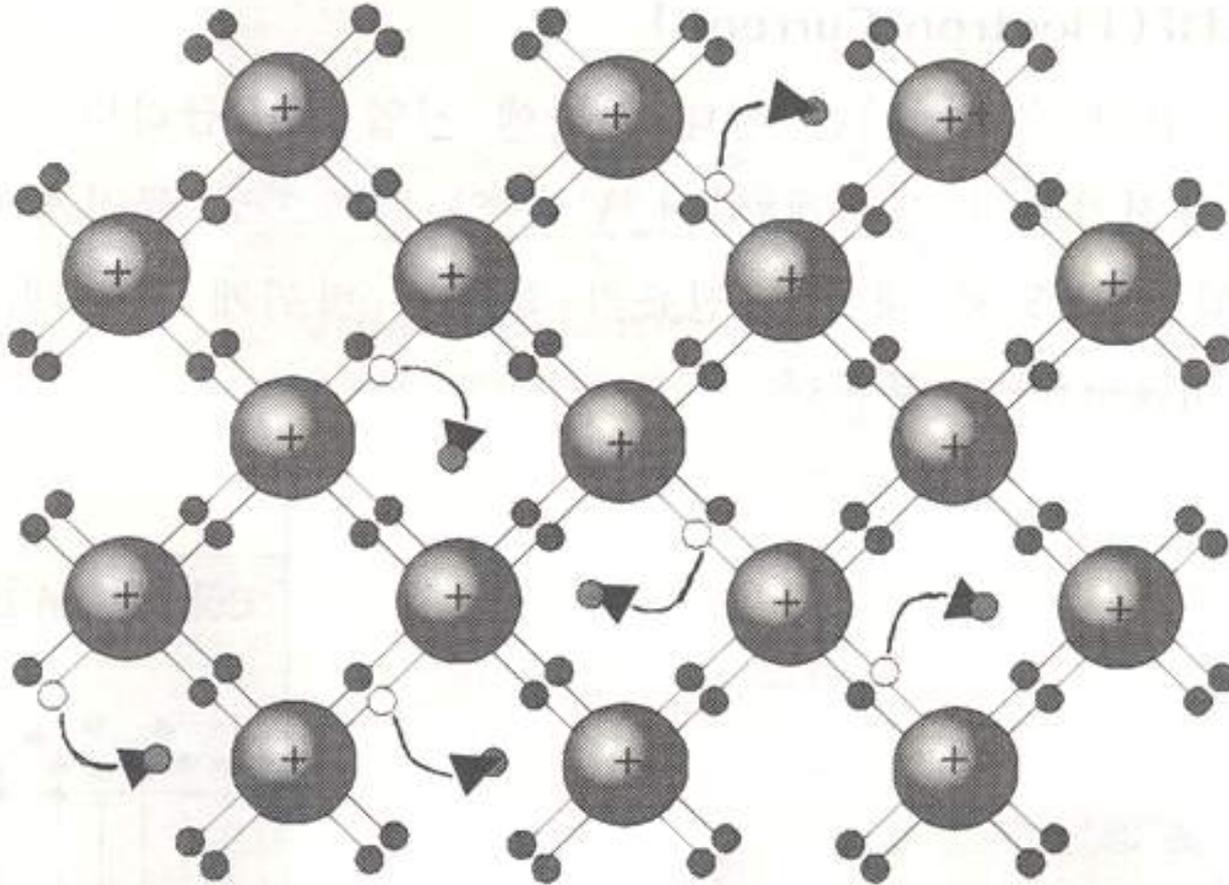
b) 결합 다이어그램

2. 전도전자와 정공

+ 정공

- 전자가 가전대에서 전도대로 이탈
가전자대에서 빈자리 생성
→ 이 빈자리가 '정공'임.

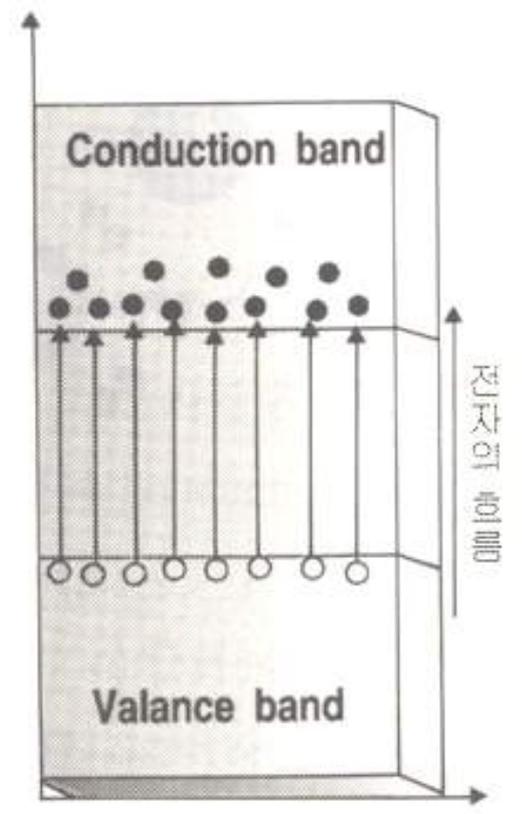
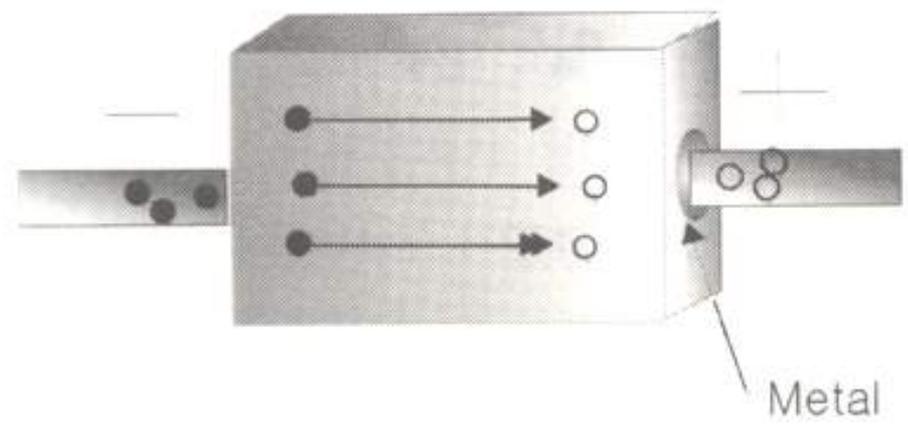
3. Electron-Hole Pair



c) 결정내의 전자-정공쌍(EHP)

4. 전자 전류와 정공 전류

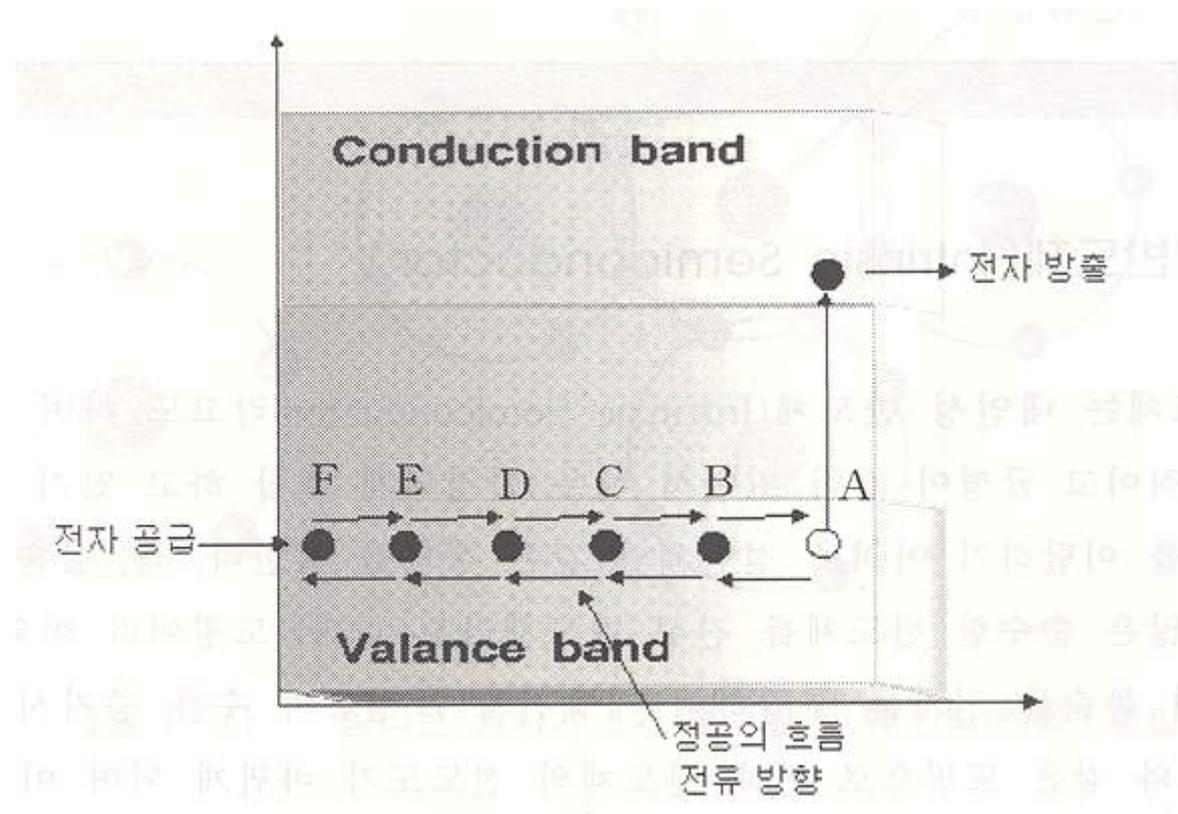
1) Electron Current



전자의 흐름을 나타낸 에너지 밴드

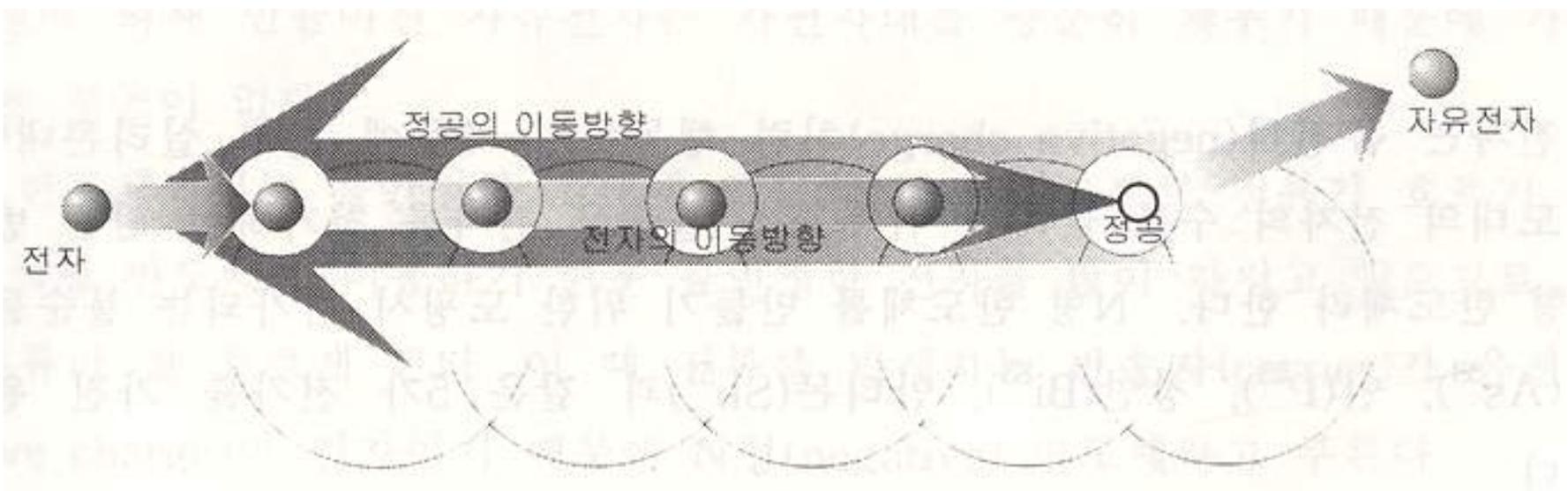
4. 전자 전류와 정공 전류

2) Hole Current



4. 전자 전류와 정공 전류

3) 순수 반도체 내의 정공전류



1.3

The N-Type and P-Type Semiconductors



학습목표

진성 상태 반도체, 전류현상이 거의 없다.
따라서 전도성을 증가시키기 위해선
자유전자 or 정공의 수를 늘려야한다.
순수반도체에 불순물을 도핑함으로써
반도체의 전도성을 증가방법을 알아보자

1-1. 진성 반도체(Intrinsic)

+ 내인성 반도체

+ 원자의 위치가 규칙적, 균형있음

- 매우 안정적인 결합 → 절연체 상태

- 불순물이 전혀 없는 순수 반도체 상태

1-2. 외인성 반도체 (Extrinsic)

+ 불순물 반도체

- 도핑으로 인한 반도체 전도도가 바뀜

+ 도핑

- 진성반도체에 불순물 원자를 주입

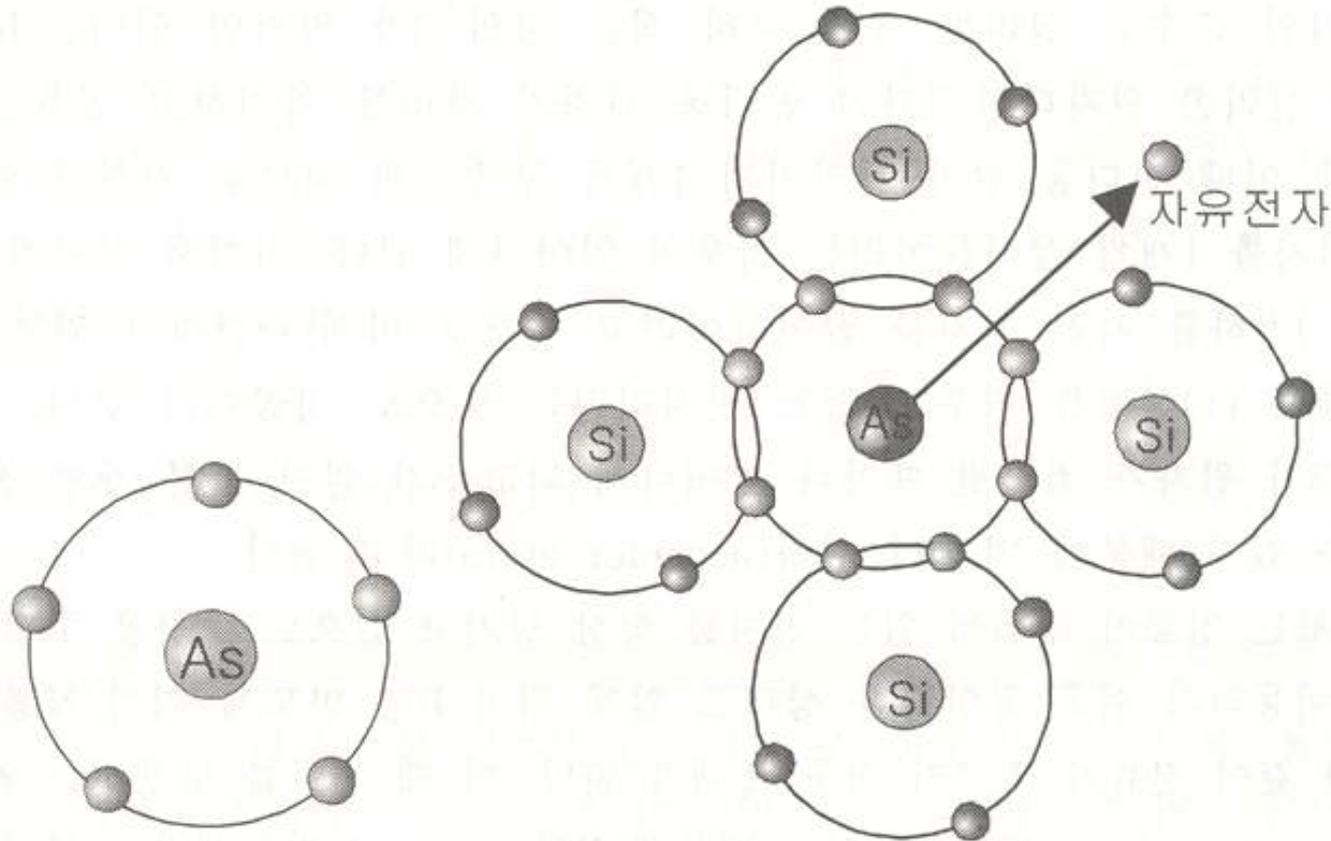
→ 자유전자 or 정공 수 증가

2. N-Type Semiconductor

+ 순수 Si 내에 있는 전도대의 전자수 ↑
→ 5가 불순물 원자를 첨가

+ 도핑시 첨가되는 불순물의 종류
- As³³, P¹⁵, Bi⁸³, Sb⁵¹

2. N-Type Semiconductor



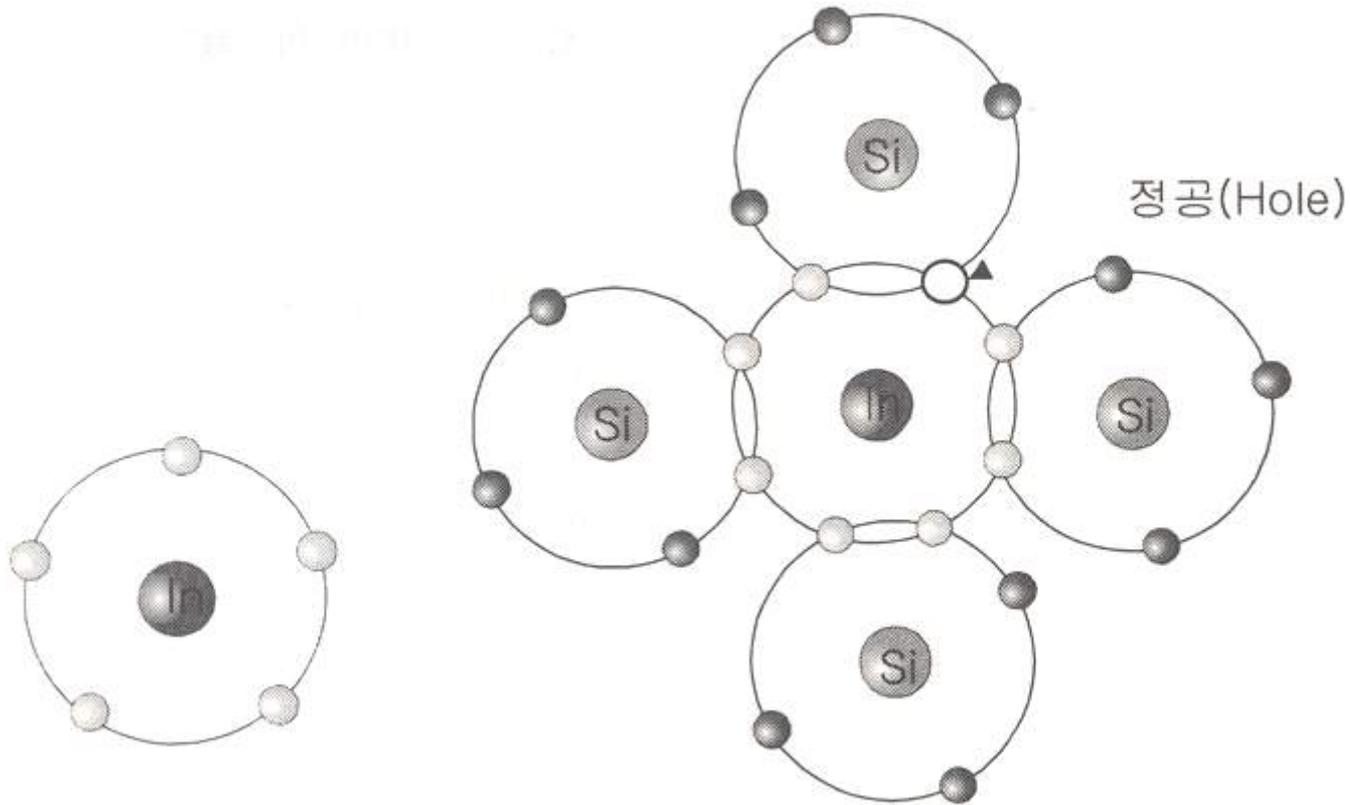
실리콘 원자가 5가 불순물 원자(As)와 결합

3. P-Type Semiconductor

+ 순수 Si 내에 있는 정공(Hole)수 ↑
→ 3가 불순물 원자를 도핑

+ 도핑시 첨가되는 불순물의 종류
- Al¹³, B⁵, In⁴⁹, Ga³¹

3. P-Type Semiconductor



실리콘 원자가 3가 불순물 원자(In)와 결합

4. 다수캐리어 & 소수캐리어

+ N형 반도체 물질

- 5가 도너 원자 도핑, 음전하 유지
- 이러한 전자를 N형 반도체의 다수캐리어

+ 전자-정공쌍이 열적으로 생성될 때

→ 소수의 정공 생성 = 소수캐리어

4. 다수캐리어 & 소수캐리어

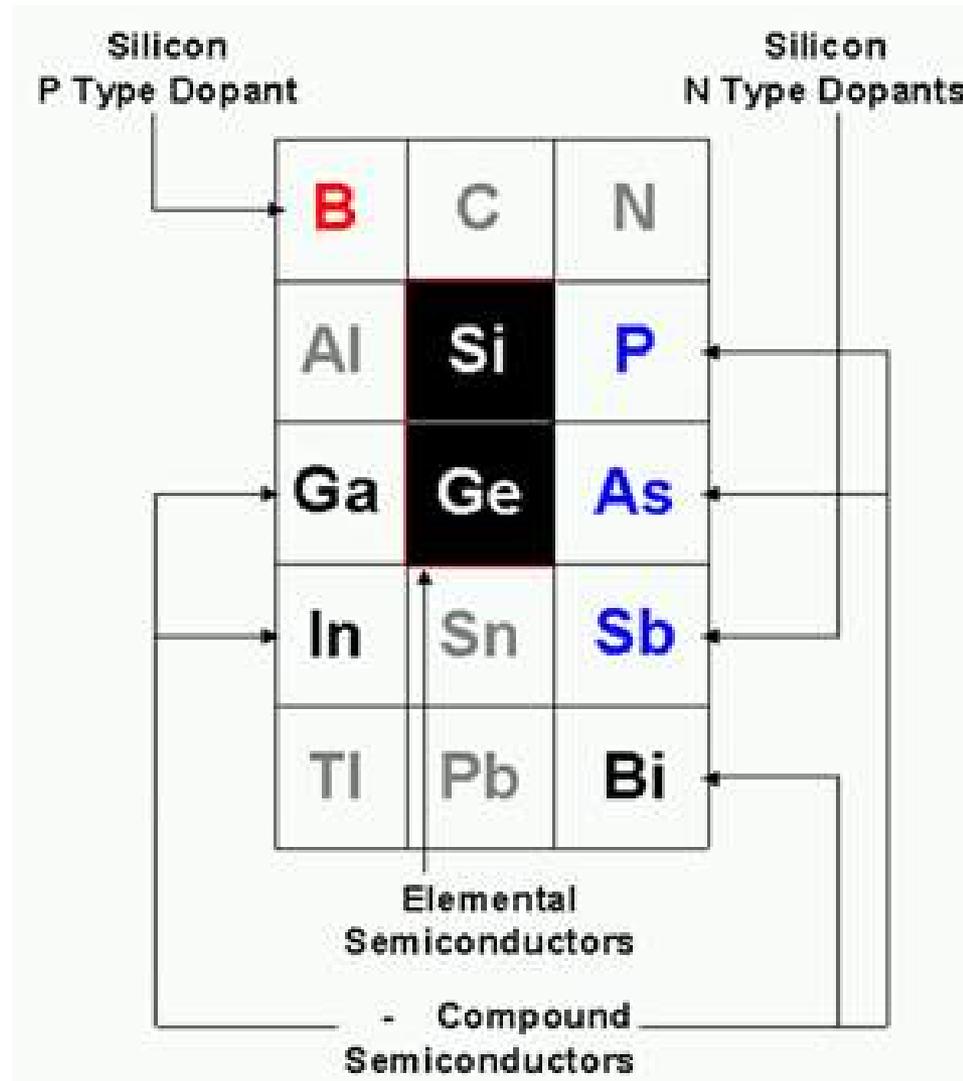
+ P형 반도체 물질

- 3가 억셉트 원자 도핑, 양전하 유지
- 이러한 정공를 P형 반도체의 다수캐리어

+ 전자-정공쌍이 열적으로 생성될 때

→ 소수의 전자 생성 = 소수캐리어

A. 불순물 정리



1.4

The PN Junction



학습목표

Si에 각각 절반씩

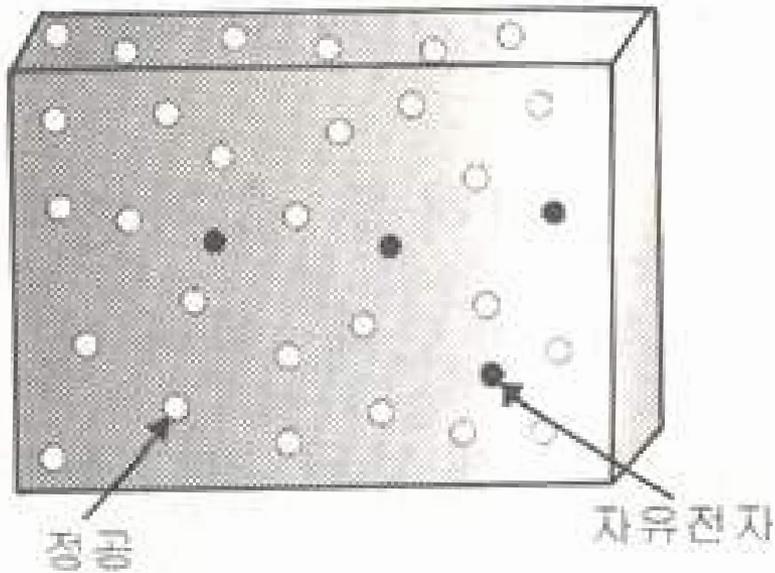
3가 불순물로, 5가 불순물로 도핑하면

N형 P형 사이에 PN접합 영역형성

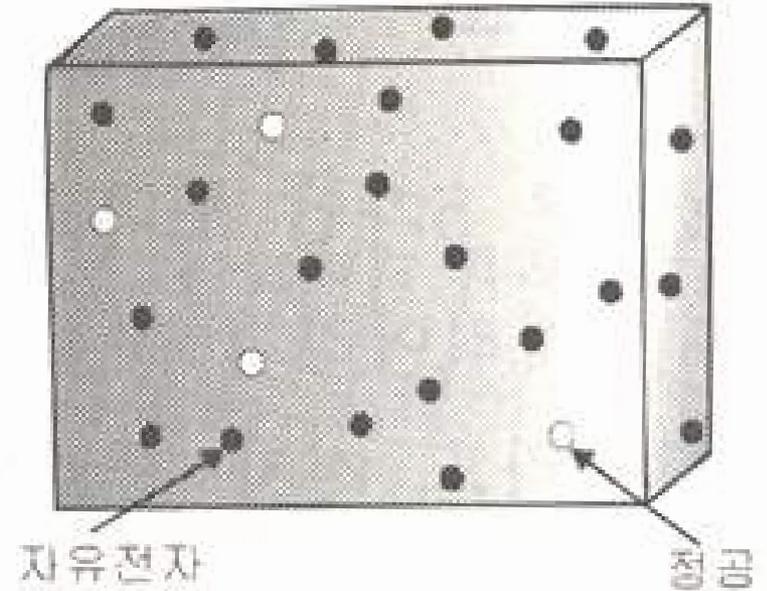
반도체 소자의 기본구성인 PN 접합에

대해 알아보도록 하자

0. P형 N형 반도체

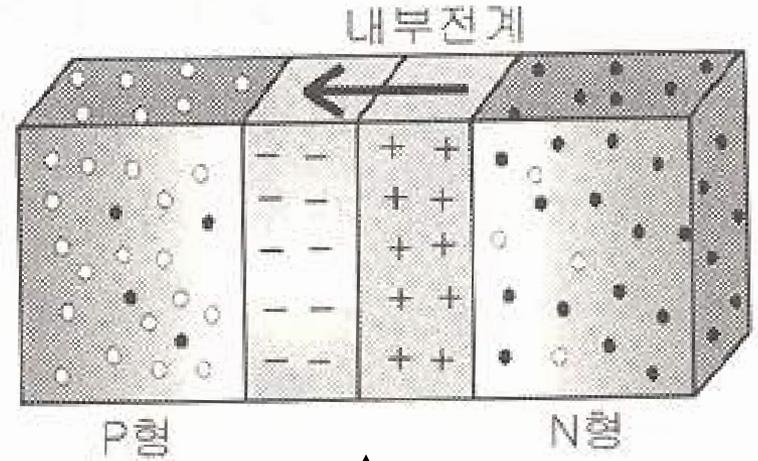
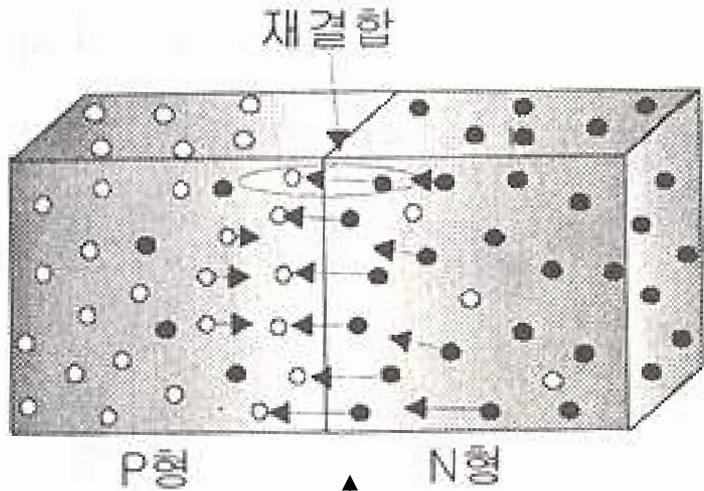


a) p형 반도체



b) n형 반도체

1. 공핍층 (Depletion Region)



PN 접합이
형성되는 순간
<확산과 재결합>

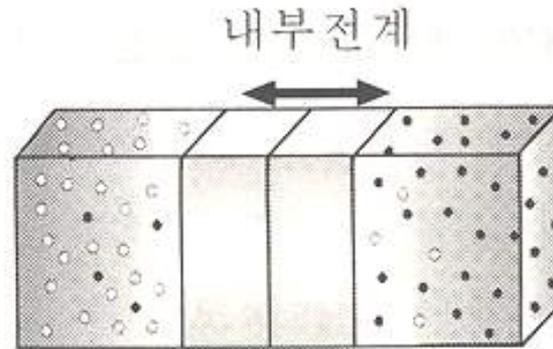
공핍층 생성

1. 공핍층 (Deflation Region)

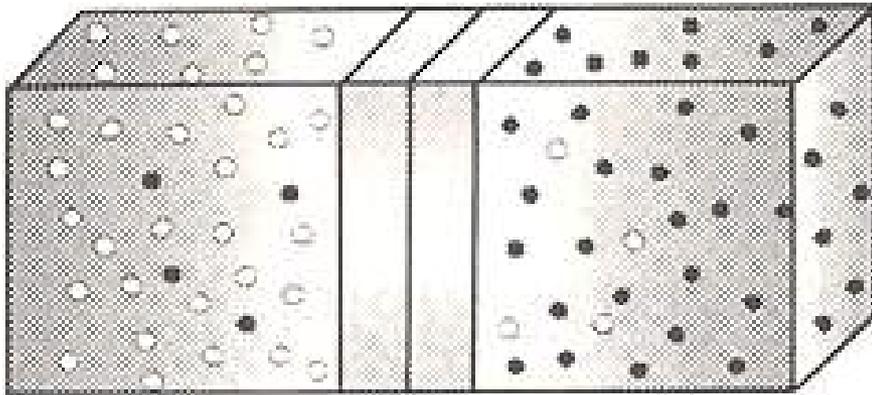
+ 공핍층의 폭

- 불순물의 농도에 따라 정해짐
- 농도多 = 좁은 폭의 공핍층
- 농도小 = 넓은 폭의 공핍층

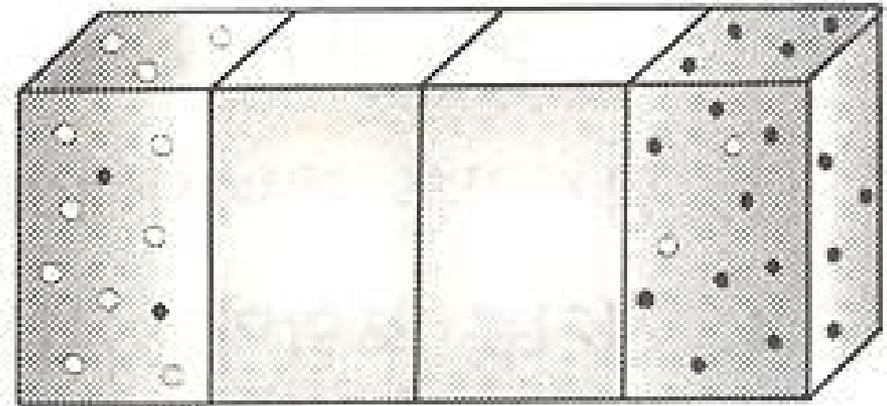
1. 공핍층 (Depletion Region)



a) PN접합



b) 불순물 농도가 높은 경우

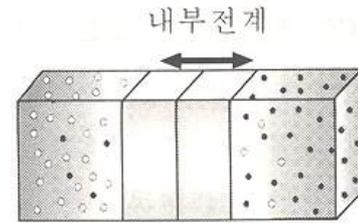


c) 불순물 농도가 낮은 경우

2. 전위장벽 (Barrier Potential)

+ 공핍영역

- 음, 양전하 대전 → 전계형성



+ 전계가 형성된 공핍영역을 넘어
N영역에서 P영역으로 전자가 이동하기
위해서는 충분한 에너지가 공급되어야함

공핍영역 양단의 전계 전위차 : 전위장벽

2. 전위장벽 (Barrier Potential)

+ 전위장벽

- 전압 값으로 나타냄
- 에너지 공급 방법

+ 전위장벽에 영향주는 것들

- 반도체 물질형태, 도핑량, 온도 등

+ 25°C 에서 Si(0.7V), Ge(0.3V) 전위장벽

@ 요약 정리

1. 원자는 물질의 특성을 유지하는 원소의 가장 작은 입자이다.
2. 원자는 양성자와 중성자로 구성된 원자핵과 그 주위의 궤도를 돌고 있는 전자로 구성된다.
3. 원자각은 에너지대이다.

@ 요약 정리

4. 전자를 포함하는 최외각은 원자가 껍이다
5. 양이온은 가전자를 잃은 원자이다
6. 전도대 전자를 자유전자라 부른다
7. Si과 Ge은 우수한 반도체 재료이다
8. 결정구조 속의 원자는 공유결합으로 결합되어 있다.

@ 요약 정리

9. 전자-정공 쌍은 열적으로 생성된다.

10. 진성 반도체는 상대적으로 자유전자가 적은 순수한 물체이다.

11. 진성 반도체에서 전도성을 변화시키기 위하여 불순물을 첨가시키는 과정을 도핑이라고 한다.

@ 요약 정리

12. N형 반도체는 5가 불순물 원자로 도핑
13. P형 반도체는 3가 불순물 원자로 도핑
14. PN접합은 N형과 P형 반도체 사이의 경계
15. 공핍층은 다수캐리어를 포함하지 않는 PN접합의 인접 영역이다.
16. 장벽전위는 공핍층 양단의 고유전압

@ 참고 문헌

<http://www.wikipedia.org> – “electronic device / diode / TR / 전자회로”

<http://www.icbank.com/elecinfo>

<http://www.google.com> – “electronic device / TR”

http://www.semipark.co.kr/semidoc/basic/pn_junction.asp

\$ Microelectronic Circuits 5th Edition / Paperback – Adel S. Sedra, Oxford.

\$ 전자회로(Electronic Devices) 제 7판 – Floyd , 한국피어슨에듀케이션

% 뇌이버 – 통합사전 / 엠파스 – 통합사전



@ 마치면서..

질문이나 보충사항 있으시면
말씀해주십시오.

고주현

신민섭, 허영민, 장민아, 김방글, 이명민

