

➤ 교재

“Semiconductor Physics and Devices : Basic Principles”

3rd Ed. Donald A. Neamen, McGraw-Hill

“반도체 물성과 소자” , 3rd Ed. 김광호 외 5인 공역, (주) 한국 맥그로힐

➤ 범위

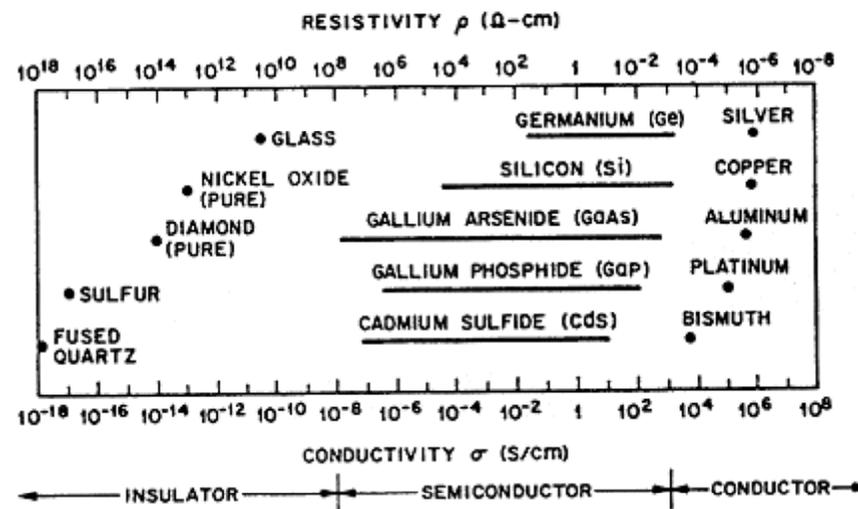
- Chapter 1 고체의 결정구조
- Chapter 2 양자역학의 입문
- Chapter 3 고체양자이론의 입문
- Chapter 4 평형상태의 반도체
- Chapter 5 캐리어 전송 현상
- Chapter 6 반도체 내에서의 비평형 과잉캐리어
- Chapter 7 pn 접합
- Chapter 8 pn 접합 다이오드
- Chapter 9 금속-반도체 이종접합 및 반도체 이종접합

1.1 반도체 재료

(1) 반도체 재료의 성질

① Resistivity(저항률)의 크기가 도체(導體)와 부도체(不導體) 사이

고체의 종류	저항률의 크기	비 고
도체(conductor)	10^{-3} [Ω -cm] 이하	금속(metal)
반도체(semiconductor)	$10^{-3} \sim 10^8$ [Ω -cm]	
부도체(insulator)	10^8 [Ω -cm] 이상	절연체(insulator), 유전체(dielectric)



② 온도, 빛, 불순물, 전장 등에 의해서 저항률이 쉽게, 그리고 큰 폭으로 변화

1 장 고체의 결정구조

(2) 반도체 재료의 종류 : IV족, III족- V족, II족- VI족 원소들

① elemental semiconductor(元素 반도체)

IV족 원소 한가지로 이루어진 반도체 재료

(예) Si, Ge

II	III	IV	V	VI
	B	C	N	
	Al	Si	P	S
Zn	Ga	Ge	As	Se
Cd	In		Sb	Te

② compound semiconductor(化合物 반도체), intermetallic semiconductor(金屬間 반도체)

2가지 이상의 원소들의 화합물로 이루어진 반도체 재료

(예: binary)

SiGe(IV-IV), ...

GaAs(III-V), ...

ZnS(II-VI), ...

(예: ternary)

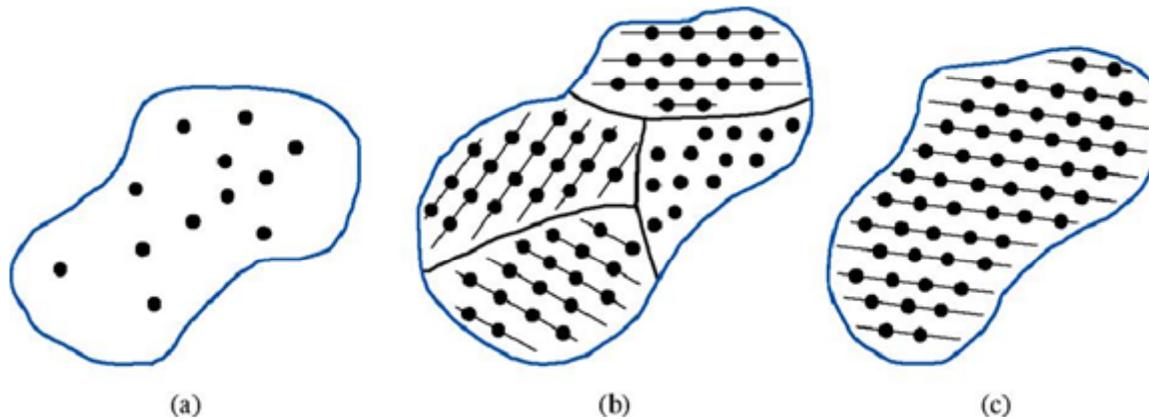
$Al_xGa_{1-x}As$ (III-III-V), ...

Elemental	IV compounds	Binary III-V compounds	Binary II-VI compounds
Si	SiC	AlP	ZnS
Ge	SiGe	AlAs	ZnSe
		AlSb	ZnTe
		GaN	CdS
		GaP	CdSe
		GaAs	CdTe
		GaSb	
		InP	
		InAs	
		InSb	

1.2 고체의 형태

→ 고체의 결정 구조는 그 결정체의 기계적, 전기적 성질을 좌우

✓ 週期성에 따른 결정질 고체의 분류



(a) 非晶質(amorphous) : 원자 배열에 주기성이 없는 고체

(b) 多결정(polycrystalline, polycrystal) : 작은 single crystal의 조각(grain)들로 구성되어 있는 고체

(c) 單결정(crystalline, single crystal) : 결정을 구성하고 있는 원자(atom)가 공간적으로
주기성을 가지고 배열되어 있는 고체

* 대부분의 반도체 소자들은 **single crystal**로 만들어진다.

* 고체의 결정 구조는 에너지밴드(energy band) 구조에 영향을 준다.

1.3 공간 격자

1.3.1 기본 셀과 단위 셀

✓ 결정구조학의 기본 용어

- ① 格子(lattice) : 결정 내에서 원자의 주기적 배열
- ② 단위 세포(unit cell) : 결정체 전체를 통해서 규칙적으로 되풀이 되는 기본 volume
- ③ 기본 세포(primitive cell) : unit cell 중에서 최소의 크기를 갖는 것
- ④ 기본 벡터(unit vector) : unit cell의 원자들을 연결할 때 생기는 벡터

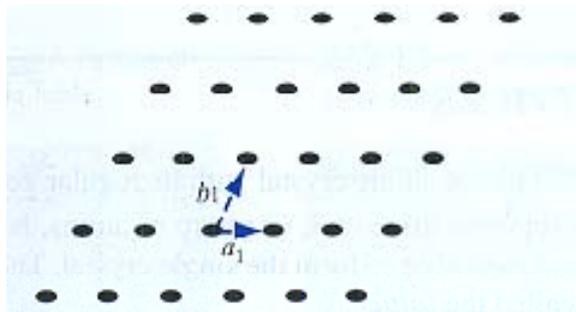


Figure 1.2 Two-dimensional representation of a single-crystal lattice

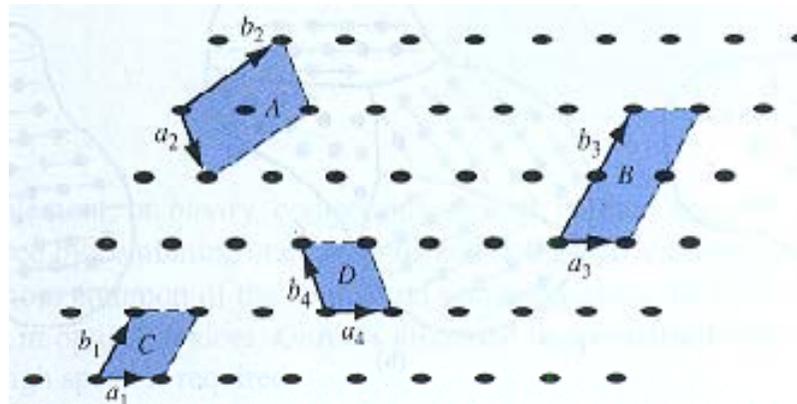


Figure 1.3 Two dimensional representation of a single-crystal lattice showing various possible unit cells

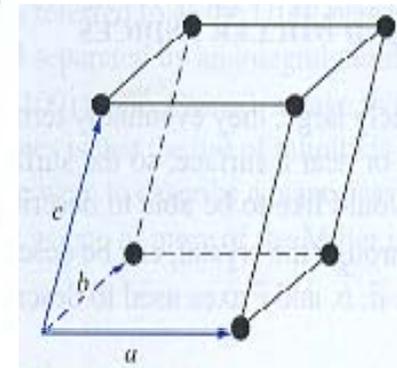
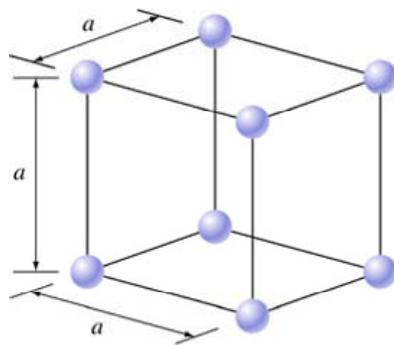


Figure 1.4 A generalized primitive unit cell

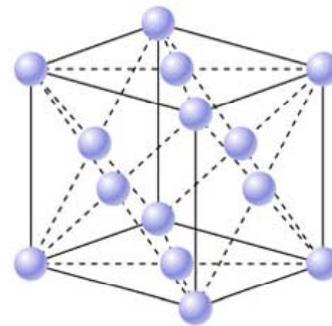
1.3.2 기본 격자구조

✓ 立方 격자(cubic lattice)



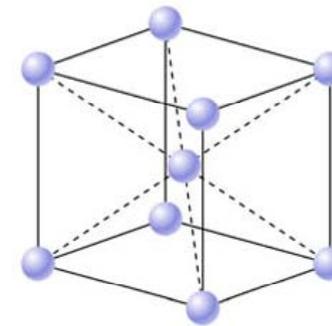
(a)

單純 입방격자
(Simple Cubic, SC)



(b)

面心 입방격자
(Face-Centered Cubic, FCC)



(c)

體心 입방격자
(Body-Centered Cubic, BCC)

a : 격자상수(lattice constant)

1.3.3 결정면과 밀러 지수(Miller Index)

✓ Miller Index : 결정체의 결정 구조를 표현하기 위해 정해놓은 규칙

✓ Miller Index 만드는 방법

- i) crystal axis(결정축)과 면과의 교점을 구한다.
- ii) 교점의 역수를 취한다.
- iii) 최소공배수를 곱하여 자연수로 만들고 적당한 기호를 붙인다.

✓ Miller Index의 종류

(1) 면에 관한 Miller Index

$(h\ k\ l)$: 1개의 평면

$\{h\ k\ l\}$: 등가적인 평면들의 집합

* (예) $\{1\ 1\ 1\}$ 과 $\{2\ 2\ 2\}$ 는 등가 평면

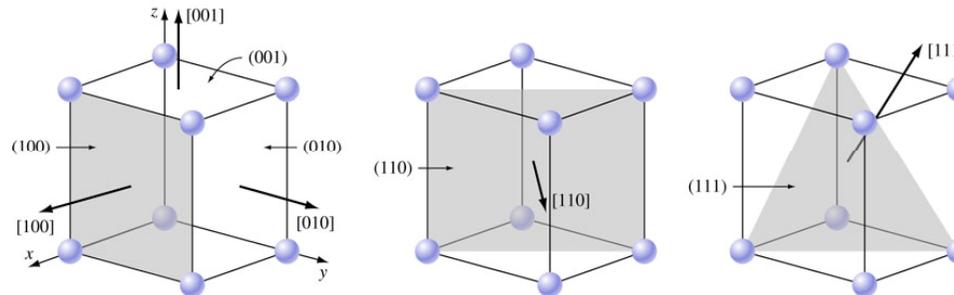
(2) 방향에 관한 Miller Index

$[h\ k\ l]$: 1개의 방향

$\langle h\ k\ l \rangle$: 등가적인 방향들의 집합

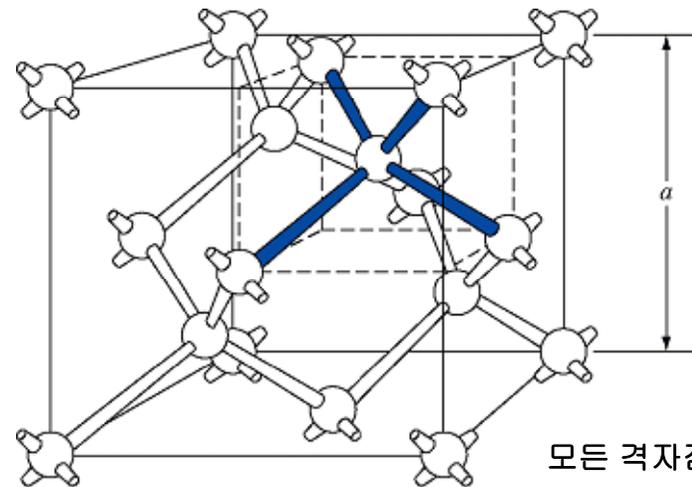
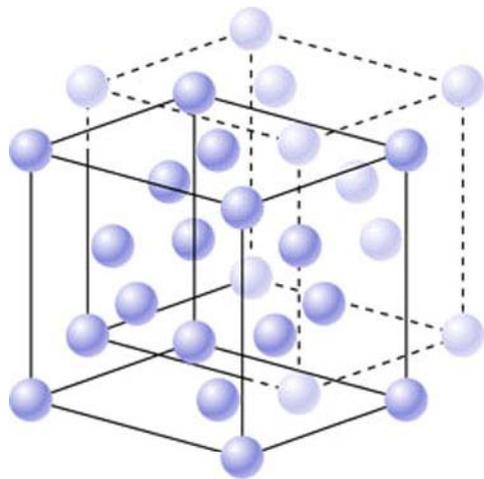
* (예) $\langle 1\ 0\ 0 \rangle$ 과 $\langle 2\ 0\ 0 \rangle$ 은 등가 방향

Cubic lattice의 경우 항상 $(h\ k\ l) \perp [h\ k\ l]$



1.3.4 다이아몬드 구조(Diamond structure)

- ✓ Diamond는 C(탄소)로 이루어진 single crystal
- ✓ Diamond는 독특한 격자구조를 가지며 그것을 “diamond structure”라 함



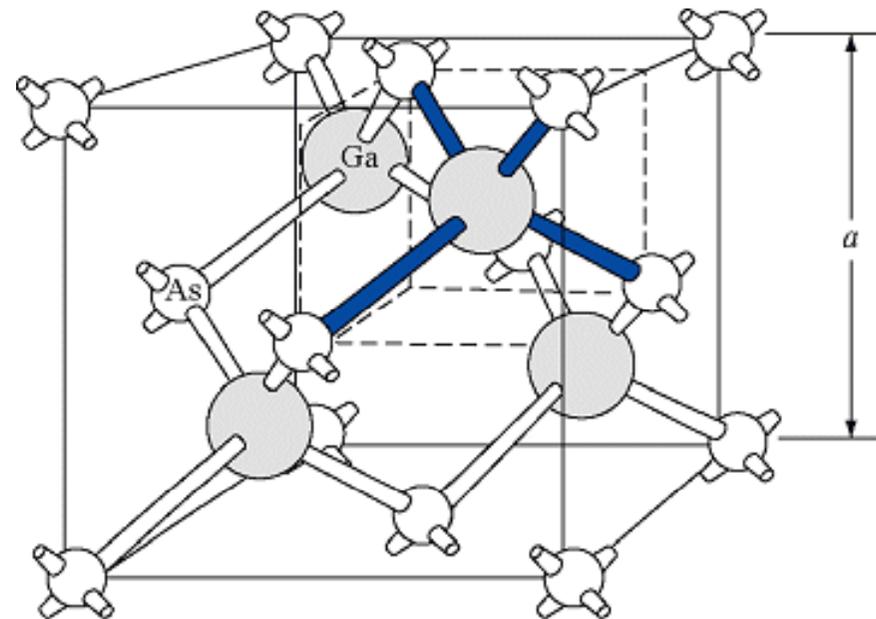
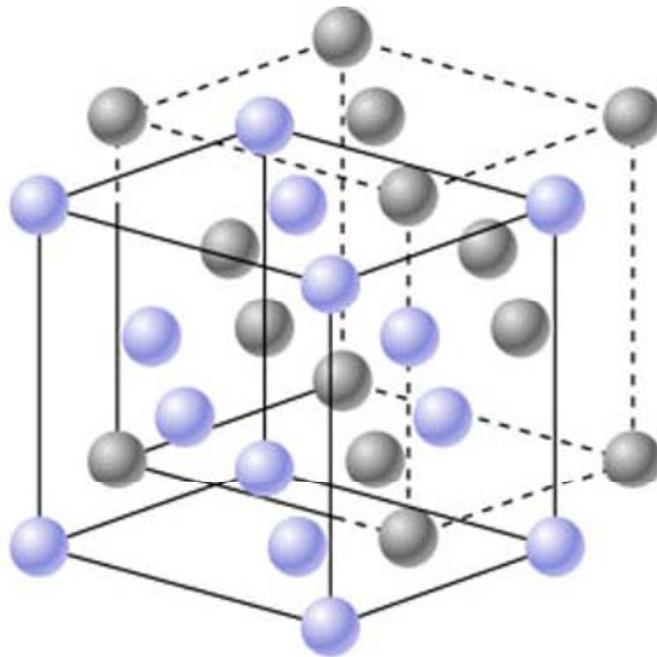
모든 격자점에 'C'가 위치

두 개의 면심 입방 격자로 겹쳐서 구성. 두 번째 면심 입방 정육면체를 $\frac{1}{4}, \frac{1}{4}, \frac{1}{4}$ 만큼 이동하여 첫 번째 면심 입방 격자에 침투해 있음. 입방 격자 안에 4개의 원자가 더 추가되어 있음

- ✓ Si과 Ge의 single crystal 역시 “diamond structure”임
(예) $a=5.43 \text{ \AA}$, $5 \times 10^{22} \text{ atoms/cm}^3$ for single crystal silicon

1 장 고체의 결정구조

- ✓ III-V compound : 'Zincblende' lattice
: GaAs



- ✓ II-VI compound : 'Wurtzite' lattice
: ZnS

1.4 원자결합

- ① 이온 결합(ionic bond) : +이온과 -이온의 정전기적 인력에 의한 결합으로 절연체 재료가 이에 속함

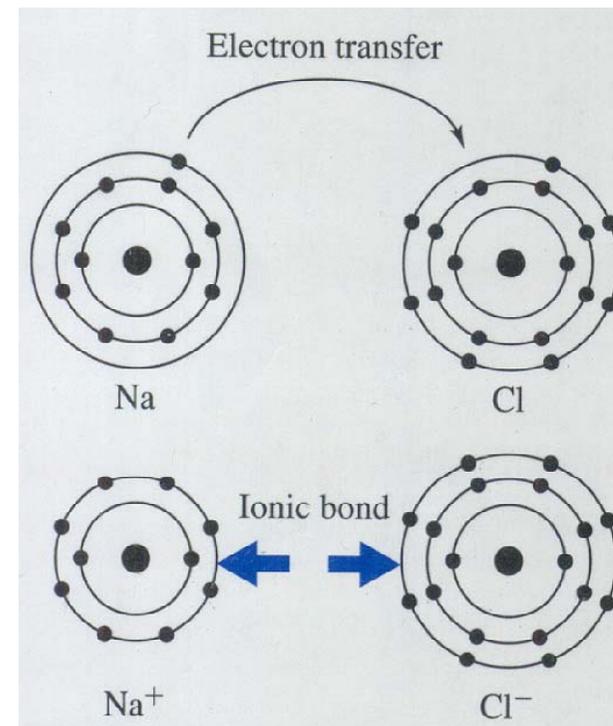
예) $\text{Na}^+ + \text{Cl}^- \rightarrow \text{NaCl}$

Na : $1\text{S}^2 2\text{S}^2 2\text{P}^6 3\text{S}^1$

쉽게 전자를 빼앗김 $\rightarrow \text{Na}^+$

Cl : $1\text{S}^2 2\text{S}^2 2\text{P}^6 3\text{S}^2 3\text{P}^5$

쉽게 전자를 받음 $\rightarrow \text{Cl}^-$

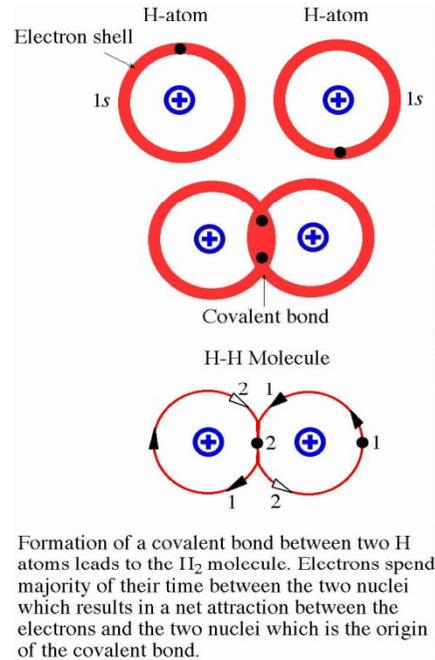


- ② 금속 결합(metallic bond) : “+”의 중심핵과 주위의 자유전자와 상호작용에 의한 결합으로 도전체 재료가 이에 속함

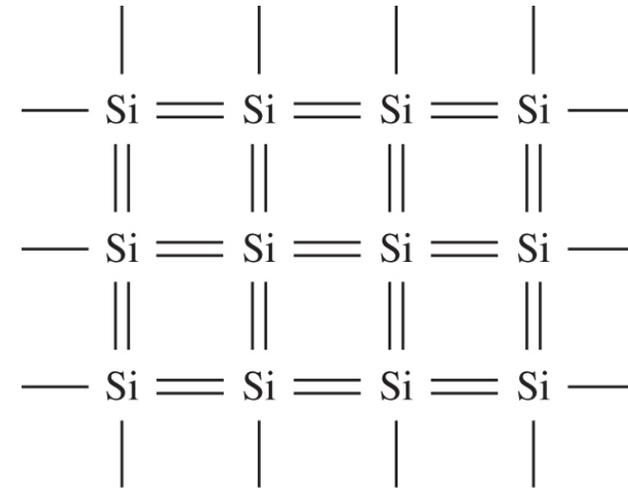
예) 금속

③ 共有 결합(Covalent bond) : 공유된 전자들 사이의 量子力學적 상호작용에 의한 결합으로 **반도체 (Si, Ge)** 재료가 이에 속함

#. 간단한 공유결합의 예



<2개의 H 원자의 공유결합에 의한 H₂ 분자의 완성>

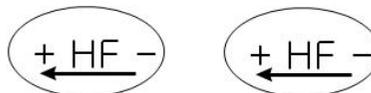


<단결정 실리콘>

*. Compound Semiconductor : Ionic bond와 covalent bond의 혼합(GaAs, ...)

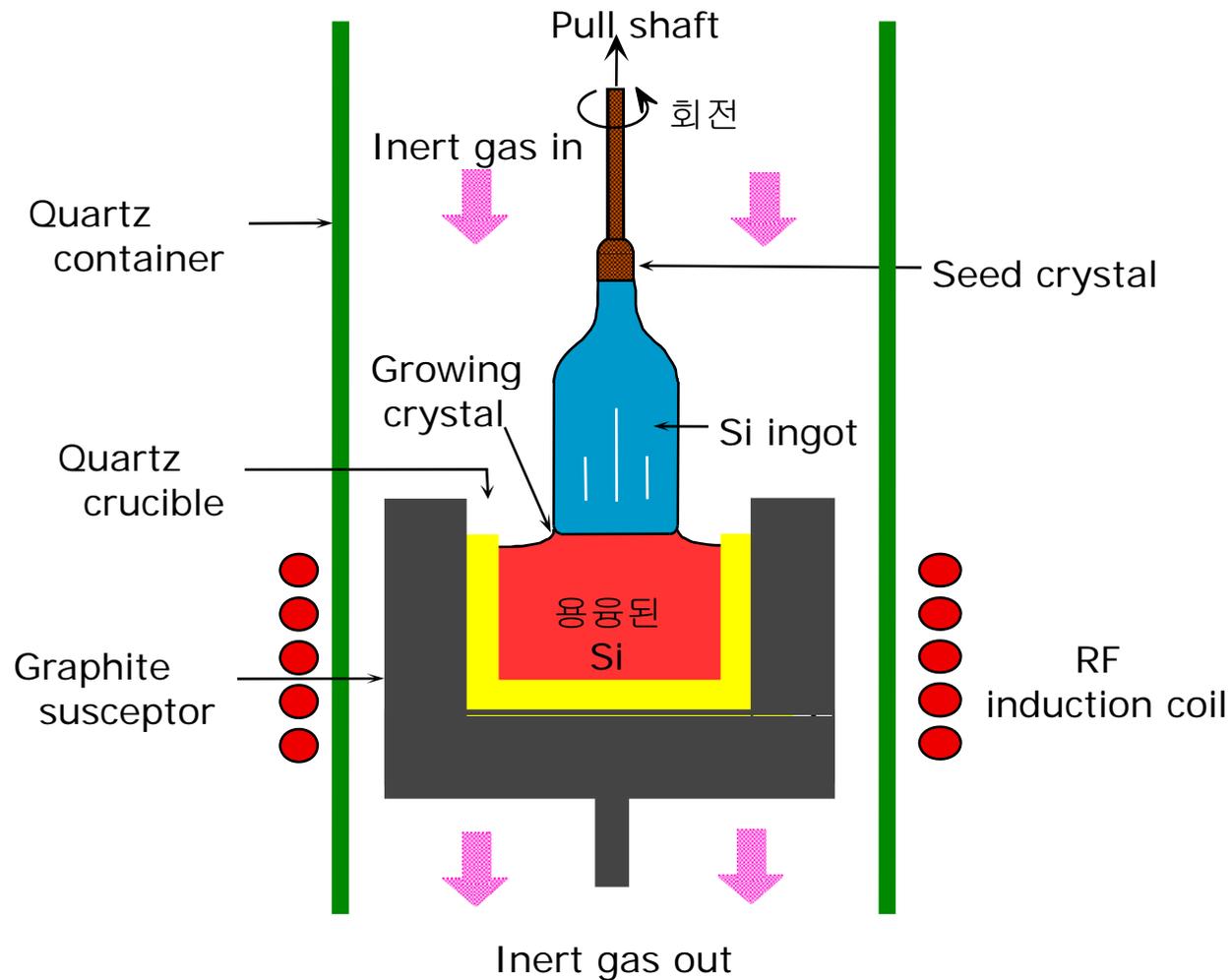
④ Van der Waals 결합(Covalent bond) : 가장 약한 결합력

예) HF 분자 간의 쌍극자 상호작용(dipole interaction)에 의한 결합



1.6 반도체의 성장

✓ Czochralski method



1 장 고체의 결정구조

#) Si wafer 특성 구분을 위한 가장자리

