

1. sc, bcc, fcc, diamond 격자구조 총진률

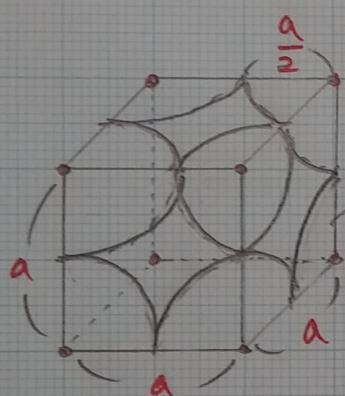
◦ 총진률 P.F (Packing Factor)

단위 셀당 원자가 차지하는 체적의 비.

$$\Rightarrow \frac{\text{단위 셀 내의 원자의 체적}}{\text{단위 셀 체적}} \times \text{원자개수} \times 100 (\%)$$

격자상수: a 인 입방체

★ < SC > Simple Cubic



★ 부피: a^3

★ 셀당 원자수: $\frac{1}{8} \times 8 = 1$

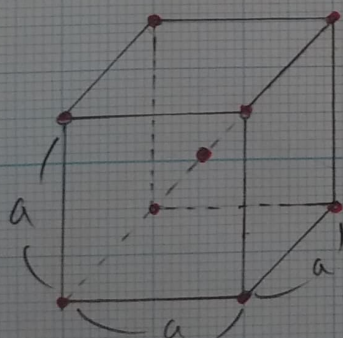
구의 $\frac{1}{8}$, 8개

★ 구체의 반지름: $r = \frac{a}{2}$

★ 총진률

$$\frac{\frac{4}{3}\pi\left(\frac{a}{2}\right)^3}{a^3} \times 1 \times 100 = \frac{\pi}{6} \times 100 = \underline{52\%}$$

★ < Bcc > Body-Centered Cubic



★ 부피: a^3

★ 셀당 원자수: $\frac{1}{8} \times 8 + 1 = 2$

구 1개

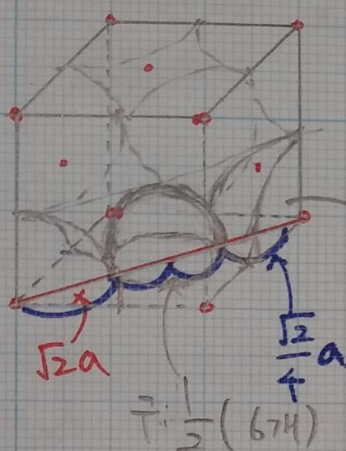
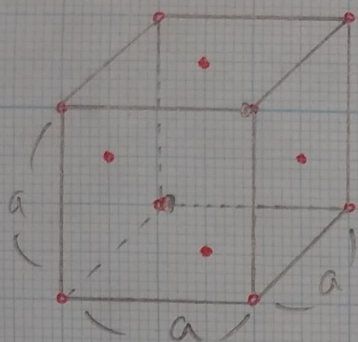
$\frac{1}{8} \times 8$

★ 구체의 반지름: $r = \frac{\sqrt{3}}{4} a$

★ 총진률

$$\frac{\frac{4}{3}\pi\left(\frac{\sqrt{3}}{4}a\right)^3}{a^3} \times 2 \times 100 = \frac{\pi\sqrt{3}}{8} \times 100 = \underline{68\%}$$

★ < Fcc > Face - Centered Cubic



★ 부피: a^3

★ 셀당 원자수: $\frac{1}{8} \times 8 + \frac{1}{2} \times 6 = 4$

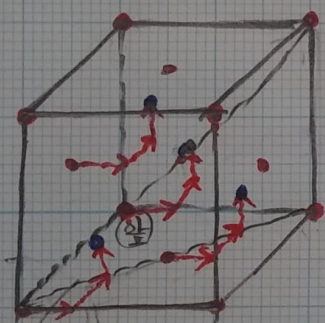
★ 구체의 반지름: $r = \frac{\sqrt{2}}{4} a$

★ 충전률

$$\frac{\frac{4}{3}\pi \left(\frac{\sqrt{2}}{4}a\right)^3}{a^3} \times 4 \times 100 = \frac{\sqrt{2}}{6}\pi \times 100 = 74\%$$

(D) < Diamond >

(Fcc + Fcc)



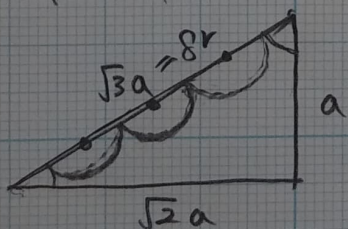
★ 결정구조 안에 이동시킨 Fcc 원자 4개가 포함되어 있다.

★ 부피: a^3

→ 격자점이 대각선 방향으로 $\frac{1}{4}$ 씩 이동한 지점에 Fcc 부속자 존재

★ 셀당 원자수: $\frac{1}{8} \times 8 + \frac{1}{2} \times 6 + 4 = 1 + 3 + 4 = 8$

★ 구체의 반지름: $r = \frac{\sqrt{3}}{8} a$



★ 충전률

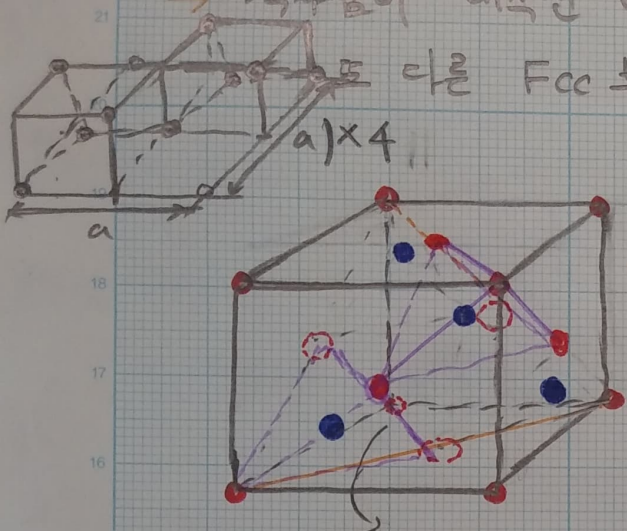
$$\frac{\frac{4}{3}\pi \left(\frac{\sqrt{3}}{8}a\right)^3}{a^3} \times 8 \times 100 = \frac{\sqrt{3}}{16}\pi \times 100 = 34\%$$

2. < 다이아몬드 격자구조와 섬아연광 격자구조 : D & Z st >

- FCC 구조를 기반으로 2개의 부격자로 이루어짐

⇒ 격자점이 대각선 방향으로 $\frac{1}{4}$ 이동하여 그 지점에

또 다른 FCC 부격자가 존재하는 구조, $= (FCC + FCC)$



$$\star = FCC + \frac{1}{2} T (\text{tetra})$$

★ 단위셀안의 원자수 : $FCC : \frac{1}{8} \times 8 + \frac{1}{2} \times 6 = 4$

면심 원자 : $\frac{1}{2} \times 6$

꼭짓점 원자 : $\frac{1}{8} \times 8$

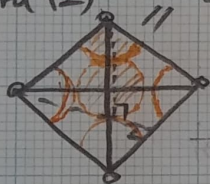
테트라곤 원자 : 8×1

: $\frac{1}{2} T : 8 \times 1 \times \frac{1}{2} = 4$

Cell 원자수 = 8개

- 한개의 대각선 원자가

(Tetra곤) 3개의 면심과 1개의 꼭짓점과 결합한것.



★ 두 종류의 부격자를 구성하는 원자가...

→ 같은 경우 : 다이아몬드 격자구조 : Diamond structure (D)

→ 다른 경우 : 섬아연광 격자구조 : Zincblende Structure (Z)

예시)

- 다이아몬드 격자구조 구성원자.

Si : 실리콘, Ge : 게르마늄

- 섬아연광 격자구조 구성원자.

InP : 인화인듐 (Indium phosphide)

GaAs : 갈륨비소 (Gallium arsenide)

3. (100), (111), (110) 결정면의 Si 원자 밀도

실리콘 격자상수 $a_{Si} = 5.43 \text{ \AA} [\text{cm}]$

1) (100) 면

$$\star \text{ 원자 밀도} = \frac{\text{원자개수}}{\text{면적}} = \frac{\text{원자개수(atoms)}}{(a_{Si})^2}$$

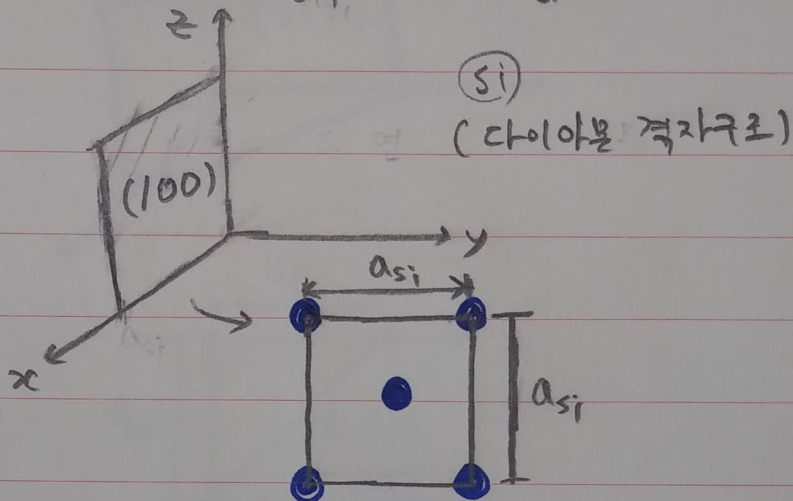
$$\star a_{Si} = 5.43 \text{ \AA} [\text{cm}]$$

$$= 5.43 \times 10^{-8} [\text{cm}]$$

$$\star \text{ 면적} : (a_{Si})^2$$

\star 면당 원자수

$$: \frac{1}{4} \times 4 + 1 = 2 \text{ atoms}$$



$$\star \text{ 원자 밀도} = \frac{2 \text{ atoms}}{(5.43 \times 10^{-8})^2 \text{ cm}^2}$$

$$= 6.78 \times 10^{14} [\text{atoms/cm}^2]$$

2) (111) 면

$$a_{Si} = 5.43 \text{ \AA} [\text{cm}]$$

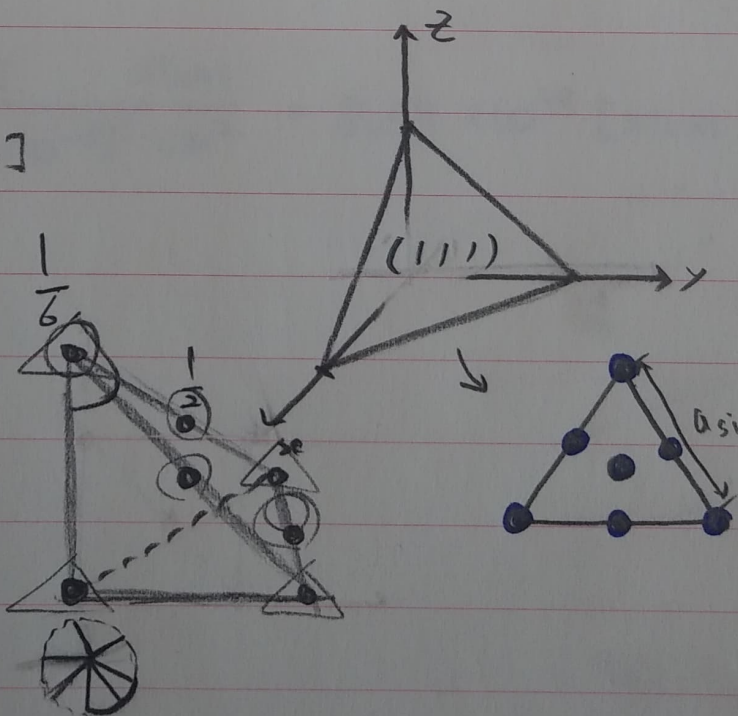
$$= 5.43 \times 10^{-8} [\text{cm}]$$

$$\text{면적} : \frac{\sqrt{3}}{2} (a_{Si})^2$$

면당 원자수

$$\frac{1}{2} \times 3 + \frac{1}{6} \times 3$$

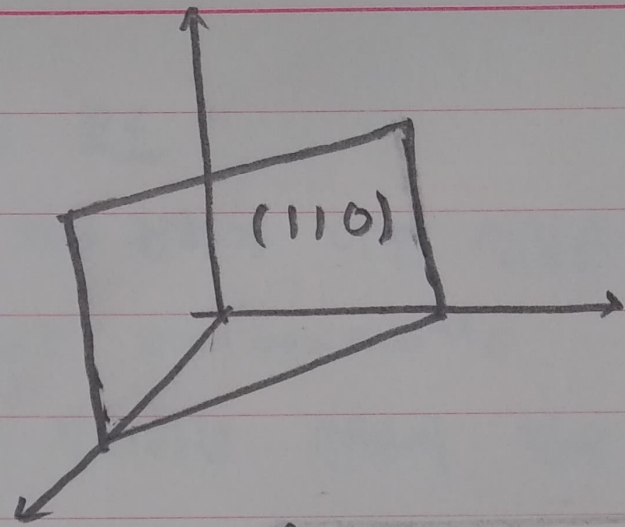
$$= 2 \text{ atoms}$$



$$\text{원자 밀도} = \frac{2 \text{ atoms}}{\frac{\sqrt{3}}{2} (5.43 \times 10^{-8})^2 \text{ cm}^2} = 7.843 \times 10^{14} [\text{atoms/cm}^2]$$

3) (110) 면

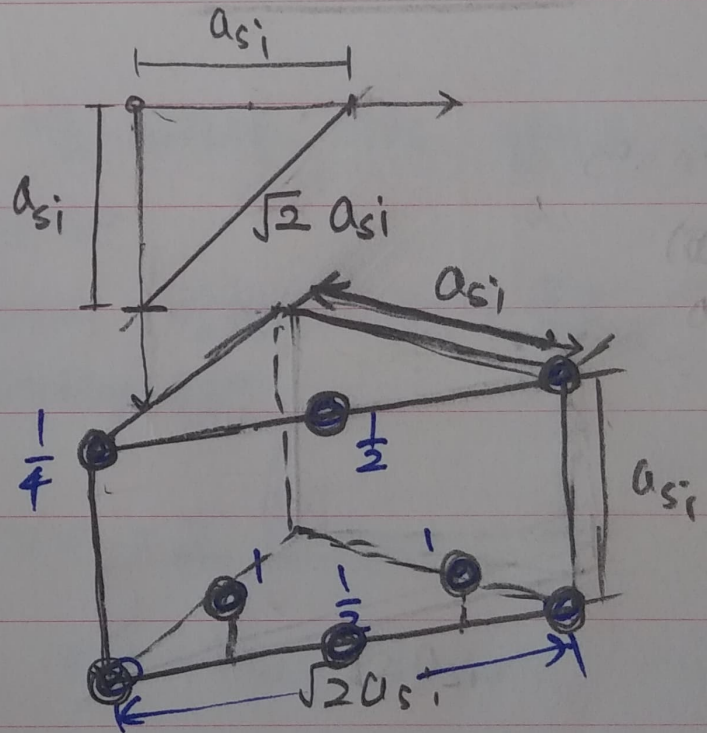
$$\star a_{Si} = 5.43 \text{ \AA [cm]} \\ = 5.43 \times 10^{-8} \text{ [cm]}$$



$$\star \text{면적} : a_{Si} \times \sqrt{2} a_{Si} \\ = \sqrt{2} (a_{Si})^2$$

\star 면당 원자수

$$\frac{1}{8} \times 4 + \frac{1}{2} \times 2 + 2 \\ = \frac{1}{2} + 1 + 2 = 3.5 \text{ atoms}$$



\star 원자밀도.

$$= \frac{3.5 \text{ atoms}}{\sqrt{2} (5.43 \times 10^{-8})^2 \text{ cm}^2} = 8.39 \times 10^{14} \text{ [atoms/cm}^2\text{]}$$

4. 용어 정리.

(2차)

반도체의 전기적인 특성을 설명하는 요소

◦ $Q [C]$: 전하: 전류 형성에 기여하는 자유 전하가 어떤 성질을 띠는가?

정공 (+)와 전자 (-) $e = 1.602 \times 10^{-19} C$

◦ $N [cm^{-3}]$: 농도 (도핑): 전류 형성에 기여하는 전하의 단위 체적당 농도가 얼마인가?

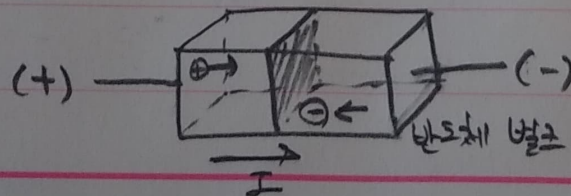
◦ $v [cm/s]$: 전계 속 전하의 속도: 어떤 이동 과정에 의해 얼마나 빨리 (방향) 이동하는가?

→ 전계의 방향과 세기가 중요.
"Switching 속도"

전류 → 전류밀도 $J [A/cm^2] = \sum Q' N v = \sum Q' Flux$

$N v = Flux [1/cm^2 s] = \text{유동밀도}$

→ 단위면적 당 흐르는 전류의 양



(원자의 구성)

(atomic nucleus) 원자핵: 양성자 (p.e. proton), 중성자 (neutron)

★ 전자 (electron) ($-e$): 최소단위의 음의 전하인
전하량 및 질량을 가진 소립자

◆ 비전하. $\frac{e}{m_0} = 1.758 \times 10^7 \text{ [C/kg]}$ m_0 : 전자의 정지질량
[g/m]

→ 전자는 질량이 아닌 전하가 매우 큰 영향을 미친다.

(포아송 방정식)

→ 임의의 공간 내부에서 체적 전하밀도 ρ 가 존재할 때

체적 내부의 임의의 점에서 전위는 $\nabla^2 V = -\frac{\rho}{\epsilon_0}$ ☆☆

→ $\rho = 0$ 이면 $\nabla^2 V = 0$

(Electron Volt , 전자볼트) ☆☆☆☆

전하 한 개가 1V의 전위차를 통과할 때 얻는 에너지 또는
소요되는 에너지 혹은 그 전하가 가지는 위치 에너지

⇒ 1 [eV]로 정의

$$\begin{aligned} \circ \quad 1[\text{eV}] &= 1.602 \times 10^{-19} [\text{C}] \times 1[\text{V}] \\ &= 1.602 \times 10^{-19} [\text{J}] \end{aligned}$$

(1C의 전하량의 전자 개수)

$$e = 1.602 \times 10^{-19} [\text{C}]$$

$$★ \quad 1[\text{C}] = \frac{1}{1.602 \times 10^{-19}} = 6.24 \times 10^{18} \text{ 개}$$

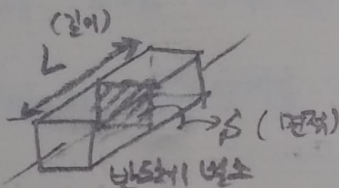
$$★ \quad 1[\text{nC}] = \frac{10^{-9}}{1.602 \times 10^{-19}} = 6.24 \times 10^9 \text{ 개}$$

(반도체의 기본 특성)

저항률(ρ) : 전기전도가 일어나는 정도를 정하는 물질상수
(resistivity)

전기전도도(σ) : 저항률의 역수 $\sigma = \frac{1}{\rho} \left[\frac{1}{\Omega \text{cm}} \right]$
(도전율) : 재료의 전기전도도를 나타내는 상수
(conductivity)

$$R = \rho \frac{L}{S}$$



(단위) $R = \rho \cdot \frac{L}{S} \Rightarrow \left[\rho \frac{\text{cm}}{\text{cm}^2} \right] = \Omega$
 $\rho = [\Omega \text{cm}]$

(특징)

반도체 : 도체와 절연체 사이의 전기전도도를 가짐
(Semiconductor) 도핑에 의해 전도도가 크게 변함

온도가 상승하면 저항값이 오히려 감소하는 등의 온도계수를 가짐

전기전도도 $10^{-2} \sim 10^9 [\Omega \text{cm}]$

열진동 : 열에 의해 물질 내의 원자들이 진동을 일으킴
(thermal vibration)

→ 전자들의 이동을 방해하여 저항을 증가시킴 (산란 scattering)

온도계수 :
(thermal coefficient)

온도에 따른 저항의 변화 비

저항 변화
온도 변화

도핑 : 반도체에 전기전도도를 변화시킬 목적으로 불순물을 첨가하는 공정
(doping)

채적당 전하개수 : 농도 : 개/cm³
(Concentration)
비율 : 8/cm³

(impurity)
즉, 농도를 결정시키는 행위

$$J = \sum Q(N)V$$

운반자 : 전하를 운반해주는, 나르는 매개체
(carrier)

이동도(μ) : 움직일 수 있는 정도, 캐리어 개수에 영향을 받음
mobility

속도를 결정

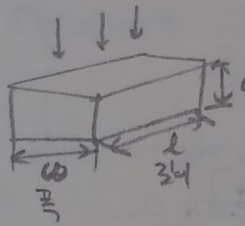
$$J = \sum Q(N)V$$

단위 : $\mu [\text{cm}^2/\text{Vs}] = \frac{V [\text{cm/s}]}{E [\text{V/cm}]}$

(반도체와 비저항)

전류 \rightarrow 전류밀도 $\vec{J} = \frac{1}{A} \vec{I} \text{ [A/cm}^2\text{]}$ ^{전압 \rightarrow} + 전계 $E \text{ [V/cm]}$
 전체 저항 \rightarrow 단위 면적 당 저항 $\text{[cm}^2\text{]}$

○ 면저항과 체적 저항으로부터 전기비저항을 구할 수 있다.



$$R = \rho \cdot \frac{l}{wd}$$

$$= \left(\frac{\rho}{d} \right) \cdot \frac{l}{w}$$

R_s (상수) \rightarrow ($l=w$ 인, 정사각형 박막의 개수)

$$R_s = R \cdot \frac{w}{l}$$

○ 면저항 $R_s = \frac{\rho}{d} \text{ [}\Omega/\square\text{]}$

○ 회로에서는 저항을 일반적으로 사용하는데 이는 도선을 흐르는 전체 저항을 지칭하는 것이고, 반도체 칩에서 직접 저항을 정의하는데, 면저항이라는 단위를 사용한다.

○ 반도체는 크게 보면 표면에 전기전도가 일어난다고 볼 수 있다.

(반도체의 종류)

○ 원소반도체: Si, Ge 등 단일 원소로 구성된 반도체

(elemental semiconductor)

○ 화합물 반도체: InP, GaAs 등 2종 이상의 원소로 구성된 반도체.

(Compound semiconductor)

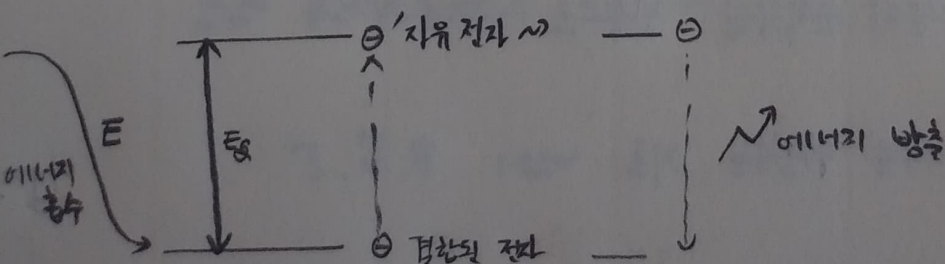
(이원계 3-5족
 이원계 2-6족
 삼원계, 사원계
 등...) 평균 4족 원소가 되는 화합물 구성

(에너지 밴드갭 E_g)

전자가 존재할 수 없는 특정 범위의 에너지 영역

- 전자에 의한 전류의 흐름 가능성을 결정하는 에너지.

- 에너지의 흡수, 방출, 다이오드의 발광 파장, 흡수 파장을 결정하는 척도.



○ 반도체의 E_g 는 4[eV] 이하.

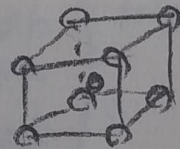
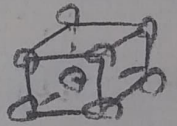
(결정학적 용어와 결정구조의 원자배열)

- 단결정 (single crystalline) : 결정의 원자배열이 규칙적으로 일정한 결정구조
- 비정질 (amorphous) : 결정의 원자배열이 불규칙적인 결정구조
- 다결정 (poly crystalline) : 결정면 grain과 결정면 boundary가 존재하여 결정면마다 원자배열의 방향이 다른 결정구조

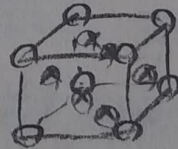
- 격자 (lattice) : 결정 내 원자의 주기적인 배열을 나타내는 추상적 용어.
- 격자점 (lattice point) : 격자 내부의 원자가 차지하는 자리.

(대표적인 단위 격자) (unit lattice)

- 단순입방 (Simple Cubic) : 정육면체를 이루며 각 꼭짓점마다 원자가 존재하는 격자구조
- 체심입방 (body-centered cubic) : 단순입방 구조를 가지며 격자 정 중심에 또 하나의 원자를 가지는 격자구조

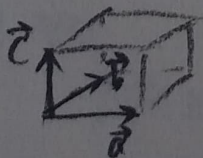


- 면심입방 (Face-centered cubic) : 단순입방 구조를 가지며 각 면의 정중앙에 원자가 존재하는 격자구조



- 단위셀 (unit cell) : 전체 격자를 대표하는 단위 격자이다.
단위 셀의 규칙적인 반복으로 전체 결정을 형성

- 기저 벡터 (basis vector) : 단위셀을 구성하는 기저 벡터 \vec{a} , \vec{b} , \vec{c}



(결정면과 방향)

결정면과 방향: 반도체 결정을 절단했을 때 보이는 면 방향

밀러지수: 결정면과 방향을 표현: $(h k l)$

(결정면을 구하는 과정)

1. 축과 만나는 교점을 기본 벡터의 정수배로 표현
2. 역수값을 구한다
3. 최소공배수를 곱하여 정수로 묶어서 면 $(h k l)$ 로 표현.

(입방체)

- 단순입방체 (sc)
- 체심입방체 (bcc)
- 면심입방체 (fcc)

격자상수(a): 한 입방체의 변의 길이.

충진율(PF): 단위 체적을 같은 크기의 구로 가장 조밀하게
충진했을 때 총 부피에 대한 충전 부피의 비율

$$P.F = \frac{\text{최대 충전 부피}}{\text{단위체적}}$$

D (다이아몬드 격자 구조) Diamond structure

- FCC 구조를 기반으로 2개의 부격자로 이루어져
격자점이 대각선 방향으로 $\frac{1}{4}$ 이동하여 2 지점에
또 다른 FCC 부격자가 존재하는 격자구조.
- 두 부격자를 구성하는 원자가 같다.

Z (심아연광 구조) Zincblende structure

다이아몬드 구조에서 두 부격자를 구성하는 원자가
다른 경우 심아연광 구조라 한다.

(벌크 결정 성장법)

* 초크랄스키 성장법

- 단결정 실리콘 seed를 용융된 실리콘과 접촉시키고 일정한 회전 속도로 천천히 위로 끌어올리며 냉각하여 단결정 실리콘 덩어리 주괴를 성장시킨다.

(초크랄스키 성장법) 관련 요소

◦ 결정 방향과 종자

- 디스로케이션 : 성장 초기 용융된 실리콘에 seed를 접촉시킬 때 dislocation 온도 충격에 의해 발생하는 2차원적 결함.

◦ 도펀트 농도, dopant

- 고용도 : 불순물의 최대 용융 농도 (도핑의 최대 값)

- 분리계수 : $k = \frac{C_s}{C_l}$: 용융상의 도펀트 농도와 성장 중인 결정의 불순물 농도 비.

◦ 불순물, 산소 제거.

(O, C, 오염물질)

◦ 주괴의 모양

ingot

◦ 웨이퍼 가공

wafers

주면 : 웨이퍼 가공 위치

부가면 : 웨이퍼 방향

C_s : 도펀트 고상 농도

분리계수 < 1 일 때

C_l : 도펀트 액상 농도

- 결정 성장 진행
- 도펀트 농도 증가

도펀트란 즉, 실리콘의 전기적 특성을

조절하기 위해 첨가한 불순물들을 의미한다.

(화합물 반도체의 에피택시) 성장

에피택시: 기판 웨이퍼 위에 일정한 방향성의 단결정물 (epitaxy) 성장시키는 방법.

에피층의 두께: Å의 단위를 가진다 $1\text{\AA} = 10^{-10}\text{m} = 10^{-8}\text{cm}$

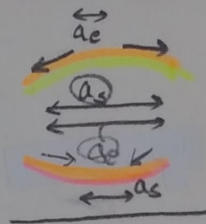
격자정합: 기판(s)와 에피층(e)의 격자 상수의 유사성. (lattice matching)

격자부정합 상수(f): 격자정합의 정도를 나타내는 상수. (mismatching)

스트레스: 성장 중인 에피층이 받는 물리적 힘 (장력·압력)

(+) $f > 0$: 장력 스트레스

(-) $f < 0$: 압축 스트레스



$$f = \frac{a_s - a_e}{a_e}$$

반도체는 늘어나려는 성질만 있다.
= stress를 받고 있다.

(변위층 초격자 SLS (strained layer super lattice))

• 수십[Å] 두께의 격자부정합 층을 결정 웨이퍼 위에 성장시킨다.

이때 부정합 층이 매우 얇고 격자부정합 계수가 작으면

에피층은 종자인 웨이퍼 결정의 격자 상수를 따라 성장하는데

이 층을 부정합형이라 하여 이 층을 번갈아 성장시킨 것이

변위층 초격자이다.

• 각 층은 장력과 압축 스트레스가 균형을 이루어 스트레스가 없는 것과 같다.

• SLS의 격자상수는 두 물질의 평균값으로 주어진다.