머리말

본 Solution은 Smith의 재료과학과 공학(William F. Smith)의 연습문제를 토대로 국립금오공과대학교 신소재공학부 학생들을 위해서 제작되었습니다. 또한, 영리목적이 아닌 학생들의 학습능력 증진 및 학습보조를 위하여 제작되었음을 알립니다. 제작을 도와주신 모든 분들께 진심으로 감사드립니다.

제작 완료 날짜 : 2021년 8월 13일

만든 이 : 16김범수, 17전은관, 17장지호, 19김서현, 19김연주, 19남기림, 19박소연, 19 최윤호

수정한 이 : 16김범수, 17장지호, 17전은관, 18권성균, 19박소연, 19이주희, 19최윤호

참고문헌 : Smith의 재료과학과 공학 (William F. Smith)

도움을 주신 분 : KIT 교수학습개발센터, 이상우 교수님

- 목차 -

01. 머리말 -- p.1

02. 목차 -- p.2

03. 재료과학 1장 (재료과학과 공학 입문) -------------------- p.3

04. 재료과학 2장 (원자구조와 결합) ------------------------- p.5

05. 재료과학 3장 (재료의 결정구조와 비정질구조) ------------ p.13

06. 재료과학 4장 (응고와 결정결함) ------------------------- p.20

07. 재료과학 5장 (고체의 열적 활성화 과정과 확산) ---------- p.26

08. 재료과학 6장 (금속의 기계적 성질 Ⅰ) ------------------- p.30

09. 재료과학 7장 (금속의 기계적 성질 Ⅱ) ------------------- p.38

10. 재료과학 8장 (상태도) ----------------------------------- p.43

11. 재료과학 9장 (공업용 합금) ------------------------------ p.49

12. 재료과학 11장 (세라믹스) -------------------------------- p.55

13. 재료과학 12장 (복합재료) -------------------------------- p.60

14. 재료과학 14장 (재료의 전기적 특성) --------------------- p.64

15. 재료과학 15장 (광학적 특성과 초전도 재료) -------------- p.70

16. 재료과학 16장 (자성 특성) ------------------------------ p.74

재료과학 1장(재료과학과 공학 입문)

1.02

공업에 사용되는 재료는 무수히 많지만 재료과학을 토대로 5가지 주요공업재료를 분류하면 아래와 같다.
금속재료 : 결정구조를 가지고 있으며 규칙적인 배열을 하고 있어 열과 전기의 양도체이다. 실온에서 아주 강한 강도와 연성을 함께 가진다. 온도를 높여주면 가공성이 뛰어나다
고분자재료 : C, H, O, 을 주체로 하는 긴 사슬구조로 이루어진 유기물복합체이다. 대부분 전기전도도가 낮아서 절연체이다. 다른 재료들과 비교했을 때 강도와 밀도가 낮은 편이다.
세라믹재료 : 일반적인 재료중 경도가 아주 높다. 금속원소와 비금속원소가 화학적으로 결합한 무기재료이다. 인성을 제외한 모든 강성치들이 높다.
복합재료 : 두 개 이상의 재료가 결합된 재료로 각 재료의 이점을 융합시킨 재료이다. 값싼 가격으로 비교적 높은 강도를 발현할 수 있다.
전자재료 : 가장 중요한 재료는 순수 실리콘(Si)이다. 반도체, 디스플레이, 휴대용기기 등과 같은 전자제품을 만드는데 사용되는 재료이다.

1.06

P12의 1.3.4에 따르면, 복합재료란 두 개 또는 그 이상의 재료를 통합하여 이루어진 하나의 재료로 정의할 수 있고 이러한 복합재료의 예로써 (폴리에스터+아라미드 섬유)를 들 수 있다.

1.16

1)금속원소와 비금속원소가 화학적으로 결합하여 구성된 무기재료로 결정질 비정질 또는 둘의 혼합이다. 이 재료는 높은 경도와 고온강도를 가지나 취성이 있다는 특징이 있다.
2)이 재료는 가볍고 높은 강도와 경도, 우수한 열 및 내마모성, 감소된 마찰과 절연성질의 장점을 가진다.

1.31

재료를 여러 종류로 분류하게 되면 분류에 따른 재료에 대한 정확한 이해를 도모할 수 있고, 각 재료마다 갖는 성질을 구분할 수 있다. 또한 사용에 따른 열화의 정도를 알 수 있으며 경제성, 환경성 등의 판단하는 기준이 되기 때문에 분류하는 것이 중요하고 도움이 된다.

재료과학 2장 (원자구조와 결합)

2.7

(a) 원자번호 : 원소 중 원자핵의 양성자 수
(b) 원자질량 : 중성원자(원자번호 혹은 양성자수와 전하구름으로 존재 하는 같은 수의 전자를 가짐) 1개의 질량. (단위: amu)
(c) 원자질량단위 : 탄소 원자질량의 1/12을 기준으로 한 질량 단위
(d) 질량수 : 한 원자의 핵 안에 있는 양성자 수와 중성자수의 합 즉, 핵자의 수
(e) 동위원소 : 원자번호는 같으나 질량수가 다른 원소
(f) 몰 : 아보가드로 수 $6.02*10^{23}$개의 원자 혹은 분자를 갖는 물질의 양 어떤 계에 존재하는 특정 구성요소들의 수를 나타내는 척도.
(g) 상대 원자질량 : 1mol의 원자들의 질량을 그램으로 나타낸 것
(h) 평균 상대 원자질량 : 동위원소의 존재 비율을 고려한 원자량의 평균
(i) 아보가드로 수 : 어떤 물질 1몰에 해당하는 양에 담겨있는, 그 물질을 구성하는 입자의 개수

2.17

두 개 이상의 전자가 한 원자의 같은 오비탈을 차지할 수 없으며 그 두 개의 전자는 반대 방향의 스핀을 가져야 한다.

한 원자 안에서 4개의 같은 양자수를 가진 전자는 절대 존재하지 못한다.

2.20

1차 결합은 원자 간의 결합에서 결합하는 각 원자의 위치에너지가 낮아지면서 더 안정한 상태가 되고자 하는 것으로, 매우 높은 결합력을 갖게 된다.
이온결합은 매우 강한 양전하(금속) 원소와 매우 강한 음전하(비금속) 원소 간에 전자전이에 의해 형성되는 결합이다. 특히 전기음성도의 차이가 큰 원자들 간에 관찰되는데, 두 이온이 접근하면 정전기력에 의해 서로 끌리게 되고 이둘 사이의 인력과 반발력이 같아지는 이온 간의 평형 거리에서 강한 결합을 이루게 된다.
공유결합은 대부분의 비금속에서 전기음성도의 차이가 작은 원자들 간에 관찰된다. 비금속 원자들은 원자 사이에 전자를 국지적으로 공유하여 그들의 외각 전자구조를 형성하고 가장 낮은 에너지를 갖는 안정한 상태가 되고자 결합한다.
금속결합은 금속 응고 시 금속 원자들이 고밀도로 충진됨으로써 형성되는 결합이다. 고체 금속에서 원자들이 결합하는 것은 양이온 중심부(금속 양이온)과 전기적으로 음성을 띤 전자전하구름 간의 인력으로, 에너지를 낮추고 더 안정한 상태의 고체형태로 조밀하게 적층하기 위함이다.

2.32

(a) 0.00805mol*58.7g/mol = 0.473g
0.818mol*63.5g/mol = 51.9g
∴0.473g + 51.9g = 52.373g

(b) Cu -> 51.9g/52.373g*100(%) = 99.1%
Ni -> 0.473/52.373g*100(%) = 0.9%

2.33

20℃ -> 100℃ 로 가열, 100g H_2O -> 33440.0J E필요

λ = 1.20cm = 0.012m

E = hc/λ(오븐) = (6.63*10^{-34} J*sec)(3.00*10^{8}m/sec) / 0.012m

E(photons) = 1.66*10^{-23}J

광자의수 = 33440.0J / 1.66*10^{-23}J = 2.0*10^{27}

2.34

광자란 쉽게 말해 알알이 흐르고 있는 빛의 한 알이다.
위의 광선들은 파장이라는 굴곡을 가지고 있고 그 파 폭이 짧냐 기냐에 따라 종류도 다르다.

입자성 E = mc^2를 파동성 E = hc/λ로 변환해주면 된다.

자외선 = (6.63*10^{-34} J*sec)(3.00*10^{8}m/sec)/1.0*10^{-8}m

= 1.989*10^{-17}J

∴ 33.440J/1.989*10^{-17}J = 1.68*10^{21} 개의 광자를 방출해야함.

가시광선 = (6.63*10^{-34} J*sec)(3.00*10^{8}m/sec)/5.0*10^{-7}m

= 3.978*10^{-19}J

∴ 33.440J/3.978*10^{-19}J = 8.41*10^{22} 개의 광자를 방출해야 함.

자외선 = (6.63*10^{-34} J*sec)(3.00*10^{8}m/sec)/1.0*10^{-4} m

= 1.989*10^{-21}J

∴ 33.440J/1.989*10^{-21}J = 1.68*10^{25} 개의 광자를 방출해야 함.

2.36

Ti 의 원자량 : 47.88g/mol, Al 의 원자량 : 27g/mol

100g 있다고 가정하면 Ti 는 37g Al은 63g 이 존재한다.

Ti : 37g * 1mol/47.88g = 0.773mol Ti

Al : 63g * 1mol/27g = 2.33mol Al

몰분율로 바꾸면 X(Ti) = 0.773mol/(0.773mol+2.33mol) = 0.25

X(Al) = 2.33mol/(0.773mol+2.33mol) = 0.75

∴ $TiAl_3$

2.40

수소 원자의 전자가 n=4 상태에 있다.

전자가 n=3의 상태로 이동한다고 할 때,

(a) 광자가 방출하는 에너지는 $E = -13.6/n^2$ ev 에 의하여

$\Delta E = E_4 - E_3$

$= -13.6*(1.60*10^{-19}J)[1/4^2-1/3^2]$

$= 1.06*10^{-19}J$

(b) E = hv 이다.

$v = \Delta E/h = 1.06*10^{-19}J/6.63*10^{-34}$ J*sec

$= 1.60*10^{14}\ s^{-1}$

(c) $\Delta E = hc/\lambda$ -> $\lambda=hc/\Delta E$ 이므로

$\lambda = (6.63*10^{-34}$ J*sec$)(3.00*10^8$m/sec$)/1.06*10^{-19}J$

$= 1.88*10^{-6}$ = 188nm

2.46

(a) 틀림. l=0 이므로 ml=0 이다.

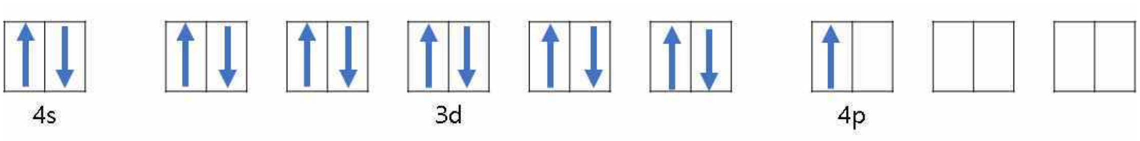
(b) 틀림. l=2 이므로 ml=-2, -1, 0, 1, 2

(c) 틀림. n=3 이므로 l= 0, 1, 2 중 하나.

(d) 맞음.

(a) $n = 3,\ l = 0,\ m_l = +1$
(b) $n = 6,\ l = 2,\ m_l = -3$
(c) $n = 3,\ l = 3,\ m_l = -1$
(d) $n = 2,\ l = 1,\ m_l = +1$

2.49



바닥 상태의 전자배열 : $1s^2 2s^2 2p^6 3p^6 4s^2 3d^{10} 4p^1$
총 전자의 수 : 2+2+6+2+6+2+10+1 = 31이므로 3A족의 원소이다.
그리고 원자번호 31인 원소의 이름은 Ga이다.

2.50

Al: $1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^1$, Ti: $1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^6 3d^2 4s^2$,
Fe: $1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^6 3d^6 4s^2$, W:
$1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^6 3d^{10} 4s^2 4p^6 4d 4f^{14}\ 5s^2 5d^4\ 6s^2$

2.58

서로 맞닿아 있는 상태는 평형상태이다.
이 두 이온간의 인력은 $F = -Z_1 Z_2 e^2/4\pi\varepsilon_o a^2$ 이 된다.

이온간 서로 맞닿아 있으므로 인력을 구하면

$F = -(+2)(-2)*(1.60*10^{-19}C)^2 / 4\pi*(8.85*10^{-12}C^2/N*M^2)*(0.317*10^{-19}m)^2$
$= 9.16*10^{-9}$ N

2.59

이온결합이 형성되었을 때 평형 상태에서 순 결합 힘은 0이다.
F(net) = F(인력) - F(척력) = 0
b = F(인력) * a^{n+1} = $(9.16*10^{-9}N)*(0.317*10^{-9}m)^{11.5}/10.5$
= $5.045*10^{-119}N*m^{10}$

E = $Z_1\ Z_2\ e^2/4\pi\varepsilon_o a + b/a^n$
= $(+2)(-2)*(1.60*10^{-19}C)^2\ /\ 4\pi*(8.85*10^{-12}C^2/N*m^2)*(3.17*10^{-10}m)$
+ $5.045*10^{-119}N*m^{10}/(0.317*10^{-9}m)^{10.5}$

= $-2.905*10^{-18}J + 2.765*10^{-19}J = -2.629*10^{-18}J$

2.60

F = $-\ Z_1\ Z_2\ e^2/4\pi\varepsilon_o a^2$
= $-\ (+1)(-1)*(1.60*10^{-19}C)^2\ /\ 4\pi*(8.85*10^{-12}C^2/N*M^2)*\{(0.165+\chi)m\}^2$
= $2.83*10^{-9}$ N
= $\{(0.165+\chi)m\}^2 = (1.60*10^{-19}C)^2/4\pi*(8.85*10^{-12}C^2/N*M^2)*2.83*10^{-9}$ N
= $(0.135+\chi)nm = 2.852*10^{-10}m$
∴ χ = 0.2852nm-0.135nm = 0.1202nm
I^- 이온의 이온반지름은 0.1202nm

2.62

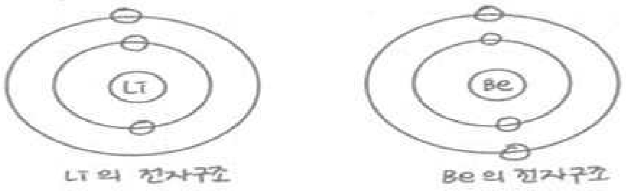
(a) LiCl 과 CsCl, (b) CsCl 과 RbCl, (c) LiF와 MgO, (d) MgO와 CaO
LiCl = 829kJ/mol, CsCl = 649kJ/mol, RbCl = 670kJ/mol,
LiF = 1036kJ/mol, MgO = 3791kJ/mol, CaO = 3401kJ/mol
따라서 (a) LiCl > CsCl, (b) CsCl < RbCl,
(c) LiF < MgO, (d) MgO > CaO
이 중에서 MgO의 격자에너지가 제일 크다.
그러므로 MgO가 가장 큰 융점을 가지는 것을 알 수 있다.

2.63

(a) 결합길이를 보아 모두 1차 결합이다.
결합의 세기는 S-Br < S-Cl < S-F 이다.
(b) C-C(1차), C=C(2차), C≡C(3차) 이고
결합 세기는 C-C < C=C < C≡C

2.75

금속의 결합 에너지와 용융점은 원자가 전자 수와 금속의 결합 정도에 크게 차이가 있다. 전자수가 증가하면 양성 중심부와 전자 전하 구름간의 인력이 증가하므로 원자가 전자가 1개인 Li에 비해 Be이 융점이 더 높다.



2.79

Na^+ 이온은 이온화된 후에 최외각 전자가 n=3 궤도가 아닌 n=2 궤도에만 존재한다. 또한, 핵과 전자 전하 구름간의 균형이 사라지고 핵은 전자에 더 강한 인력을 작용할 수 있어 더 가까이 끌어당기므로 Na^+이온은 Na원자보다 크기가 작다. Cl^- 이온은 Na^+가 내놓은 전자를 얻으면서 핵이 전자에 더 약한 인력을 작용하여 Cl^- 이온은 Cl 원자보다 크기가 더 크다.

2.83

물은 수소와 산소의 전기음성도 차이 때문에 극성분자이고, 전기음성도가 큰 산소 원자에 수소 원자가 결합 되어 있어 물 분자 사이에 수소결합을 형성한다. 수소결합은 다른 분자 간의 인력보다 훨씬 강하다. 메탄분자의 경우 무극성 분자이기 때문에 분산력이 분자 간에 작용한다. 이것은 수소결합보다 훨씬 약한 힘이다. 따라서 물이 메탄보다 끓는점이 높다.

2.87

(a) Ni - 금속결합, (b) ZrO_2 - 이온결합, (c) graphite - 공유결합
(d) solid Kr - 반데르발스결합, (e) Si - 공유결합, (f) BN - 공유결합
(g) SiC - 공유결합, (h) Fe_2O_3 - 이온결합, (i) MgO - 이온결합
(j) W - 금속결합, (k) H_2O - 공유결합 (l) H_2O 분자 간 결합 - 수소결합

재료과학 3장 (재료의 결정구조와 비정질 구조)

3.1 (a) 결정질 고체 : 장범위의 원자간에 반복적이거나 주기적인 배열이 존재하는 고체

(b) 장범위 규칙성 : 재료내의 원자배열 규칙성이 어느곳에서나 균일한 상태

(c) 단범위 규칙성 : 원자간의 배열이 아주 짧은 범위안에서만 일어나 상대적으로 배열규칙성이 매우 낮은 상태

(d) 비정질 : 결정화되지 않은 재료. 즉, 장범위 규칙성이 존재하지 않는 재료

3.2 (a) 결정구조 : 공간 내에서 규칙적이고 3차원배열의 원자상태

(b) 공간격자 : 각각 동일한 기하학적 환경을 가진 3차원 점 배열

(c) 격자점 : 공간 격자 내 배열의 한 점

(d) 단위격자 : 공간 격자의 최소반복 단위

(e) 모티프 : 서로 상대적으로 조직되어 격자 점으로 배열된 원자들

(f) 격자상수 : 똑같은 형태와 구조의 분자가 모여있는 결정 안의 원자간의 가로·세로·높이와 같은 간격

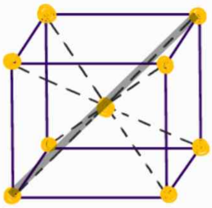
3.3 14개의 단위격자는 단순입방정, 체심입방정, 면심입방정, 단순정방정, 체심정방정, 단순사방정, 체심사방정, 저심사방정, 면심사방정, 단순삼방정, 단순육방정, 단순단사정, 저심단사정, 단순삼사정으로 이루어져 있다.

3.4 1) BCC – α철, 바나듐, 텅스텐, 니오븀, 크로뮴

2) FCC – 구리, 알루미늄, 납, 니켈, 은

3) HCP – 마그네슘, α-티타늄, 아연, 베릴륨, 카드뮴

3.5



(a) 중심에 1개 + 외곽에 $\frac{1}{8}$ 크기 8개 = 총 2개

(b) 중심 원자를 8개의 원자가 둘러싸고 있으므로 배위수 = 8

(c) 그림에서 회색 대각선을 살펴보면

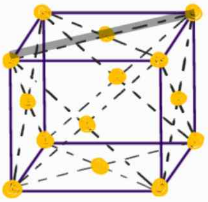
모양은 다음과 같고

$\sqrt{3}a = 4R$ 임을 확인할 수 있다.

(d) 원자충전율(APF) = $\frac{\text{단위격자 내 원자의 체적}}{\text{단위격자의 체적}}$ 으로

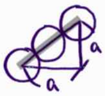
$APF = \frac{2 \times \frac{4}{3}\pi R^3}{\left(\frac{4R}{\sqrt{3}}\right)^3} = 0.68$ 이 된다.

3.6



(a) 모서리에 $\frac{1}{8}$ 크기 8개 + 표면에 $\frac{1}{2}$ 크기 6개 = 총 4개

(b) 중심 원자를 12개의 원자가 둘러싸고 있으므로 배위수 = 12

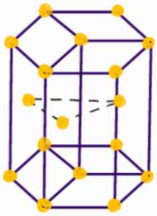
(c) 그림에서 회색 대각선을 살펴보면 

모양은 이와 같고

$\sqrt{2}a = 4R$ 임을 확인할 수 있다.

(d) 원자충전율(APF) = $\frac{\text{단위격자 내 원자의 체적}}{\text{단위격자의 체적}}$ 으로 $APF = \frac{4 \times \frac{4}{3}\pi R^3}{\left(\frac{4R}{\sqrt{2}}\right)^3} = 0.74$

3.7



(a) 원자 1/6 크기 4개 + 원자 1/12 크기 4개 + 원자 1개 = 총 2개

(b) 배위수 = 12

(c) $APF = \frac{\frac{4}{3}\pi R^3 \times 2}{a^2 \sin 60° \times 1.623a} = 0.74$

(d) 이상적인 c/a 비 = 1.633

(e) - a) $\frac{1}{2}$ 원자 2개 + $\frac{1}{6}$ 원자 12개 + 원자 3개 = 총 6개

b~c 는 동일하다

3.8

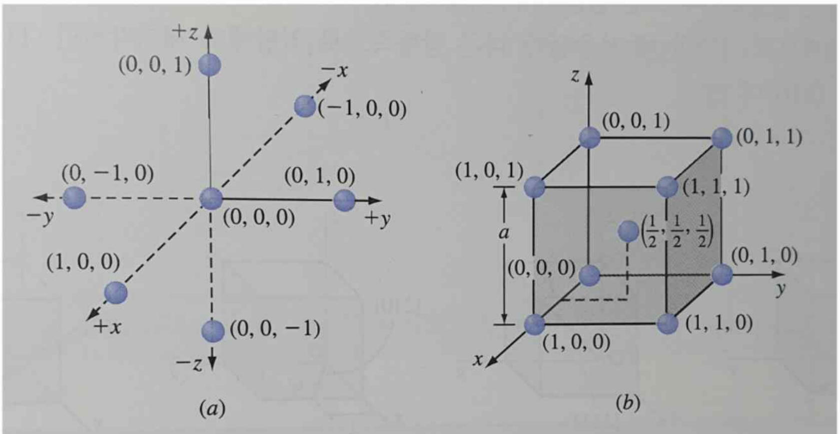


그림 3.9 (*a*) 입방 단위격자에서 원자의 위치를 지정하는 *x*, *y*, *z* 직교좌표축. (*b*) BCC 단위격자 내의 원자 위치.

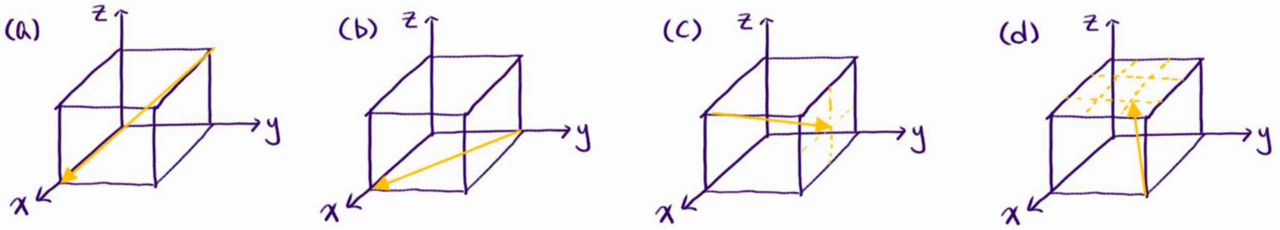
3.16 FCC 구조는 ABC 적층배열 이지만 HCP는 AB 층이 반복되는 적층배열을 가진다.

3.17 a) $\langle \bar{1}11 \rangle$ b) $\langle 1\bar{1}0 \rangle$ c) $\langle 11\bar{2}0 \rangle$

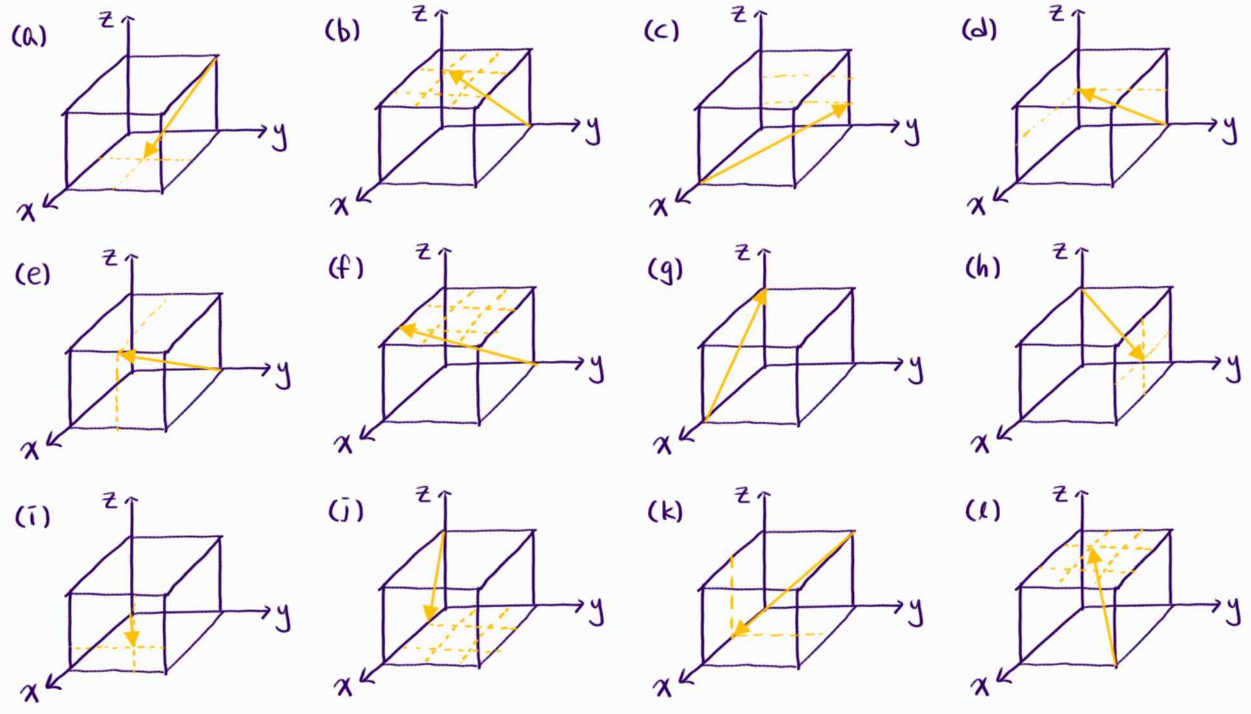
3.18 a) (최대) 조밀충진면 : $\{110\}$면 b) $\{111\}$면 c) $\{0001\}$면

3.24 $\sqrt{3}a = 4R$ 이므로 $a = \frac{4}{\sqrt{3}}R = \frac{4}{\sqrt{3}} \times 0.140\text{nm} = 0.323\text{nm}$ 이다.

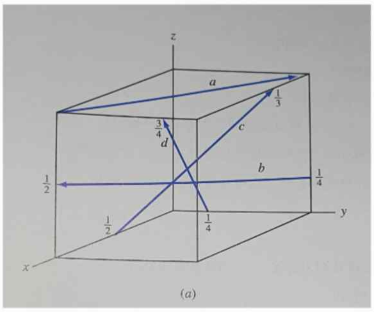
3.32



3.33

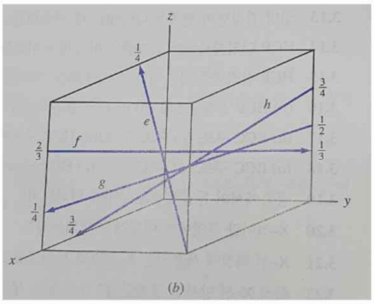


3.34



(a) [$\bar{1}10$] (b) [$4\bar{4}1$]

(c) [$\bar{1}66$] (d) [212]



(e) [$\bar{3}\bar{4}4$] (f) [$\bar{3}3\bar{1}$]

(g) [$4\bar{4}\bar{1}$] (h) [$3\bar{4}3$]

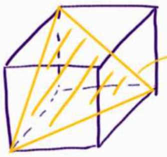
3.35 $(\frac{1}{2}, 1, 0) - (\frac{3}{4}, 0, \frac{1}{4}) = (-\frac{1}{4}, 1, -\frac{1}{4})$

∴ 방향지수 = [$\bar{1}4\bar{1}$]

3.36 $(\frac{1}{4}, 1, \frac{1}{4}) - (1, 0, \frac{3}{4}) = (-\frac{3}{4}, 1, -\frac{2}{4})$

∴ 방향지수 = $[\bar{3}4\bar{2}]$

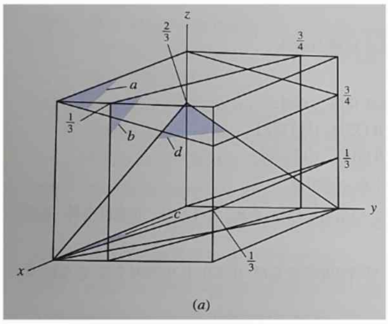
3.37 $[100], [010], [001], [\bar{1}00], [0\bar{1}0], [00\bar{1}]$

3.39 

→ (111)면

$[0\bar{1}1], [01\bar{1}], [\bar{1}01], [10\bar{1}], [\bar{1}10]\ [1\bar{1}0]$

↳ 이 방향이 (111) 면에 놓인다.

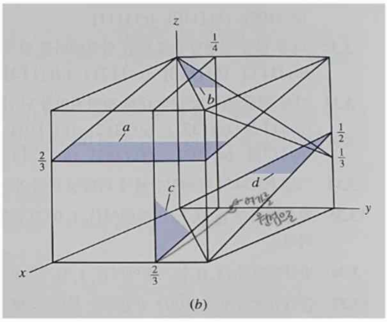
3.42 

a) $(\infty, -1, -\frac{1}{4}) \to (0, -1, -4) \Rightarrow (0\bar{1}\bar{4})$

b) $(-1, -\frac{5}{12}, \infty) \to (-1, -\frac{12}{5}, 0) \Rightarrow (\bar{5}\bar{1}\bar{2}0)$

c) $(\infty, -1, \frac{1}{3}) \to (0, -1, 3) \Rightarrow (0\bar{1}3)$

d) $(1, 1, \frac{2}{3}) \to (1, 1, \frac{3}{2}) \Rightarrow (223)$



a) $(-1, \infty, -\frac{1}{3}) \to (-1, 0, -3) \Rightarrow (\bar{1}0\bar{3})$

b) $(1, -1, -\frac{2}{3}) \to (1, -1, -\frac{3}{2}) \Rightarrow (2\bar{2}\bar{3})$

c) $(1, -\frac{5}{12}, \infty) \to (1, -\frac{12}{5}, 0) \Rightarrow (5\bar{1}\bar{2}0)$

d) $(1, -1, \frac{1}{2}) \to (1, -1, 2) \Rightarrow (1\bar{1}2)$

3.46 $(\frac{1}{3}, -\frac{2}{3}, \frac{1}{2}) \to (3, -\frac{3}{2}, 2) \Rightarrow$ Miller 지수 : $(6\bar{3}4)$

3.53 a) $d_{111} = \frac{0.38044nm}{\sqrt{1^2+1^2+1^2}} = 0.21965nm$

b) $d_{200} = \frac{0.38044nm}{\sqrt{2^2+0^2+0^2}} = 0.19022nm$

c) $d_{220} = \frac{0.38044nm}{\sqrt{2^2+2^2+0^2}} = 0.13451nm$

3.54 a) $d_{110} = \dfrac{0.31648\text{nm}}{\sqrt{1^2+1^2+0^2}} = 0.22379\text{nm}$

b) $d_{220} = \dfrac{0.31648\text{nm}}{\sqrt{2^2+2^2+0^2}} = 0.11189\text{nm}$

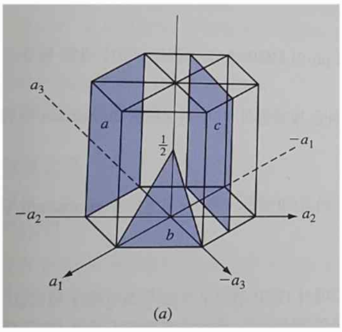
c) $d_{310} = \dfrac{0.31648\text{nm}}{\sqrt{3^2+1^2+0^2}} = 0.10008\text{nm}$

3.55 a) $d_{310} = \dfrac{a}{\sqrt{10}} = 0.1587\text{nm}$ $\therefore a = 0.502\text{nm}$

b) BCC에서 $R = \dfrac{\sqrt{3}}{4}a = 0.217\text{nm}$

c) 원자반지름이 0.217인 원소는 Ba이다. (부록 P.930 참고)

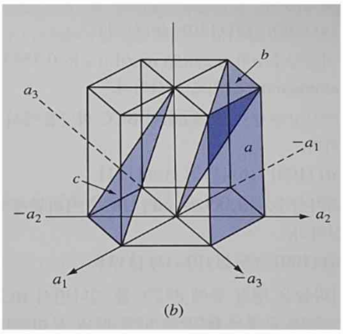
3.58



a) $(\infty, -1, 1, \infty) \rightarrow (0, -1, 1, 0) \Rightarrow (0\bar{1}10)$

b) $(1, \infty, -1, \frac{1}{2}) \rightarrow (1, 0, -1, 2) \Rightarrow (10\bar{1}2)$

c) $(-\frac{1}{2}, \frac{1}{2}, \infty, \infty) \rightarrow (-2, 2, 0, 0) \Rightarrow (\bar{2}200)$



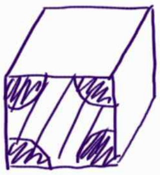
a) $(\infty, 1, -1, \infty) \rightarrow (0, 1, -1, 0) \Rightarrow (01\bar{1}0)$

b) $(1, -1, \infty, 1) \rightarrow (1, -1, 0, 1) \Rightarrow (1\bar{1}01)$

c) $(1, -1, \infty, 1) \rightarrow (1, -1, 0, 1) \Rightarrow (1\bar{1}01)$

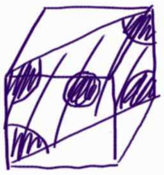
3.64 $\rho_v = \dfrac{(4\text{atoms})(195.09\text{g/mol}) \div (6.023\times10^{23}\text{ atoms/mol})}{(0.39239\times10^{-9}\text{m})^3} = 21445113\text{g/m}^3 = 21.45\text{g/cm}^3$

3.65

a) 

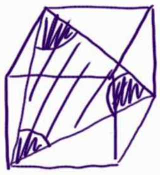
$\rho_p = \dfrac{1\,\text{atom}}{(0.28846\times10^{-9}\,m)^2}$

$= 1.202\times10^{13}$ atoms/mm²

b) 

$\rho_p = \dfrac{2\,\text{atoms}}{\sqrt{2}\times(0.28846\times10^{-9}\,m)^2}$

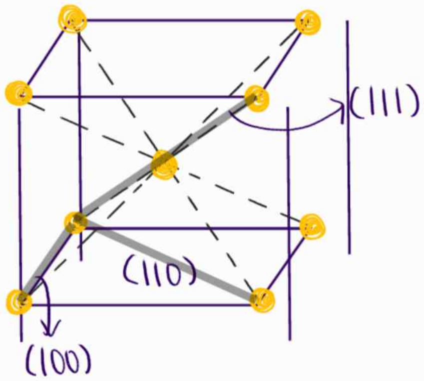
$= 1.6996\times10^{13}$ atoms/mm²

c) 

$\rho_p = \dfrac{1/2\,\text{atoms}}{\sqrt{3}/4\times(0.28846\times10^{-9}m)^2}$

$= 4.00\times10^{18}$ atoms/mm²

3.68



a) 1atoms / 0.3039×10^{-6}mm $= 3.2910\times10^{6}$ atoms/mm

b) 1atoms / $\sqrt{2}\times(0.3039\times10^{-6}mm) = 2.3268\times10^{6}$ atoms/mm

c) 2atoms / $\sqrt{3}\times(0.3039\times10^{-6}mm) = 3.7996\times10^{6}$ atoms/mm

3.71 $a_{BCC} = \dfrac{4R}{\sqrt{3}}$ $a_{FCC} = \dfrac{4R}{\sqrt{2}}$

$V_{BCC} = \dfrac{a^3}{2} = \left(\dfrac{4R}{\sqrt{3}}\right)^3\times\dfrac{1}{2} = 6.16R^3$

$V_{FCC} = \dfrac{a^3}{4} = \left(\dfrac{4R}{\sqrt{2}}\right)^3\times\dfrac{1}{2} = 5.66R^3$

} 여기서 V는 Fe원자 1개가 차지하는 부피

부피변화율 $= \dfrac{\Delta V}{V_{BCC}} = \left(\dfrac{5.66R^3-6.16R^3}{6.16R^3}\right)\times100\% = -8.12\%$

3.73 $d_{221} = \dfrac{\lambda}{2\sin\theta} = \dfrac{0.1541\,nm}{2\sin(44.419^\circ)} = 0.1101nm$

$a = d_{221}\sqrt{9} = (0.1101nm)3 = 0.3303nm$

3.75 a) $\dfrac{\sin^2\theta_1}{\sin^2\theta_2} = \dfrac{\sin^2(20.535^\circ)}{\sin^2(23.891^\circ)} = \dfrac{0.12304}{0.16402} = 0.75$ ∴ FCC구조

b) $a_{111} = \dfrac{\lambda}{2}\sqrt{\dfrac{h^2+k^2+l^2}{\sin^2\theta_1}} = \dfrac{0.15402nm}{2}\times\sqrt{\dfrac{3}{0.12304}} = 0.38034nm$

c) FCC 구조에 a=0.38034에 유사한 원소는 Rh이다.

재료과학 4장(응고와 결정결함)

4.01

P.162를 참고하면 순수한 금속의 융체는 자유에너지 상태가 고체보다 높다. 그래서 충분한 과냉을 해주어서 임계점을 극복하는 동시에 느리게 움직이는 원자들이 서로 결합함으로써 수많은 균질핵들이 생성된다.

4.03

응고과정 3단계는 간단하게 핵 생성, 핵 성장, 결정립계 형성으로 나눌 수 있다. 핵생성은 금속응고 그래프에서 γ*부분을 기점으로 왼쪽은 엠브리오 상태, 오른쪽은 핵성장 상태이다. γ*기점을 넘어서면 안정된 핵이 지속적으로 성장하면서 끝으로 결정립들이 맞닿아 계면이 형성된다.

4.07

응고과정에서 과냉도 즉, 얼마나 온도폭을 급격히 냉각해주는지가 입자의 임계 반지름을 좌우한ㄴ다. 식에서 보면 온도 변화폭이 클수록(빨리 냉각할수록=과냉도가 클수록) 핵의 임계반지름은 점점 작아지는 것을 도출 해 낼 수 있다. 본 식의 기반은 깁스에너지 식이다. $\gamma^* = \dfrac{-2\gamma T_m}{\Delta H_f \Delta T}$ (r^*=핵의 임계반지름, γ=표면 자유에너지, ΔH_f=응고잠열, ΔT=핵생성 시의 과냉도)

4.12

치환형 고용체는 용매원자의 자리에 용질원자가 대신 들어가는 고용체이다. 용매원자의 결정구조가 달라지는 것은 아니지만 용질원자가 들어감으로써 격자가 뒤틀어질 수 있다. 뒤틀림은 용질원자와 용매원자의 지름 차이가 크면 클수록 더 크다. 침입형 고용체는 한 원자가 다른 원자보다 훨씬 클 때 형성될 수 있다. 이유는 침입형 고용체에서 용질 원자는 용매 또는 모상원자들 사이의 공간으로 끼어 들어가는데 이 공간을 쉽게 들어가려면 용질원자는 크기가 작고 용매원자는 크기가 커야한다.

4.15

1. 원소들의 원자 지름이 약 15%이상 차이가 나지 않아야 한다.
2. 두 원소의 결정구조가 같아야 한다.
3. 두 원소의 전기음성도에 큰 차이가 없고 화합물을 형성하지 않아야 한다.
4. 두 원소는 같은 원자가를 가져야 한다.

4.16

(a) Frenkel 결함이란 이온 결정에서 양이온이 침입형 위치로 이동하면 정상적 이온위치에 양이온 공공이 생성되는 것이다.
(b) Schotkky 결함이란 Frenkel 결함과는 달리 이온결정이 반대 전하를 가진 두 이온을 잃어버린 양이온-음이온 2중 공공을 뜻한다.
(c) 공유결합에서도 불순물 원자가 침입형 위치로 이동하면 frenkel 결함을 가질 수 있다.

4.17

(a) 공공(vacancy)이란 어떤 원자 위치가 원자를 잃어버린 것을 말한다. 이러한 공공은 응고 중에 결정이 성장하는 동안에 국부적 교란에 의해 생성, 원자 이동에 기인한 기존 결정의 원자적 재배열에 의해 형성된다.
(b) 비형형 공공은 서로 집합체를 이루는 경향이 있어 2중 공공 등을 형성하며 이 과정은 이동이나 확산에 중요하다. 예를 들면 Schotkky 결함이 있다.
(c) 결정 내에서 어떤 원자가 정상적인 원자 위치에 있는 원자들 사이를 침입할 수 있는데, 이를 자기침입형 또는 침입형 원자라고 한다.

4.20

결정립계는 결정을 구분하는 면결함이며 결정립들 사이의 원자적 불일치 영역이다. 또한 면결함에서 표면 원자 주위의 이웃 원자의 수가 작으면 결정 내부와 비교할 때 더 높은 수준의 에너지를 가지므로 주변 원소들과의 반응이 더 쉽게 일어나게 된다. 따라서 결정립계에서는 더 높은 에너지를 가지고 개방된 구조이기 때문에 석출물의 핵생성과 성장이 일어나기 쉬운 것이다.

4.21

(a) 쌍정이란 어떤 면이나 경계를 통해 거울에 비친 상과 같은 구조가 존재하는 영역이다. 재료에 영구 또는 소성변형이 일어날 때(변형쌍정), 변형된 영역에서 원자가 원위치로 돌아가는 재결정 과정에서도 나타날 수 있다(어닐링쌍정).
(b) 저각경사경계란 결정에서 일련의 칼날전위가 두 결정 영역의 방향이 어긋나거나 기울어진 것과 같은 방법으로 정렬 때의 면결함을 말한다.
(c) 경사경계와는 달리 나선전위들이 연결되면 저각경사경계와 비슷한 현상이 나타날 수 있는데, 이를 저각비틀림경계라고 한다.
(d) 외부표면이란 가장 흔한 형태의 면결함으로, 표면의 원자들은 한쪽만 다른 원자들과 결합하고 있어 결함으로 간주한다.
(e) 적층결함이란 원자면의 층이 쌓이면서 결정질재료가 성장할 때, 공공 집합체의 붕괴 또는 전위의 상호작용이 있거나 하나 이상의 적층 원자면을 잃어버리면 FCC와 HCP 결정구조에서 적층결함이 ABCABAACBABC와 ABAABBAB로 생기는 것을 확인 할 수 있다.
이에 이러한 대부분의 결함들은, 예를 들어 결정립계와 같은 면결함은 전위이동을 방해하기 때문에 전위가 결정립계와 같은 빈 공간에 쌓이게 되어 금속과 합금을 강화한다. 이는 쌍정이나 저각경계(경사 또는 비틀림), 적층결함도 포함된다.
또한 이는 외부표면과 같이 표면에서 원자가 가지는 높은 에너지는 부식이나 주변 원소의 반응(확산)이 더 쉽게 일어나는 경향을 가진다.

4.32

$P.129$에 표4.1을 참고하면 $\gamma^* = \dfrac{-2YT_m}{\triangle H_f \triangle T}$

γ^* = 핵의 임계반지름
Y = 표면자유에너지 $= 204\times10^{-3} J/m^2$
$\triangle H_f$ = 응고잠열 $= -2098\times10^6 J/m^3$
T_m = 응고온도 $= 1808K$
$\triangle T$ = 핵생성 시의 과냉도 $= 0.2T_m$으로 가정 $= 0.2\times1808K = 361.6K$

$$\gamma^* = \frac{-2\times(204\times10^{-3}J/m^2)\times(1808K)}{(-2098\times10^6 J/m^3)\times(361.6K)} = 9.72\times10^{-10}m = 0.972nm$$

4.35

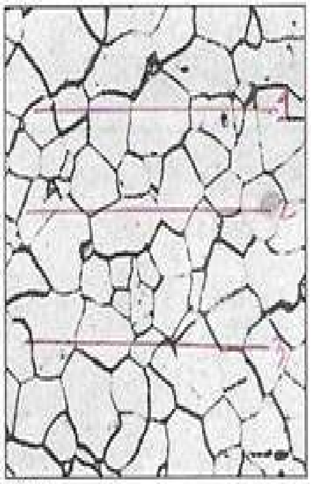
$$백금의 임계핵 반지름 = r^* = \frac{2\gamma T_m}{\triangle H_f \triangle T} = \frac{2(240\times10^{-3}J/m^2)(2045K)}{(2160\times10^6)(332K)} = 1.11\times10^{-9}m = 1.11nm$$

$$임계크기 핵의 체적 = \frac{4}{3}\pi(r^*)^3 = \frac{4}{3}\pi(1.11nm)^3 = 5.73\times10^{-27}m^3$$

$$백금 단위격자 체적 = \alpha^3 = (0.32939nm)^3 = 3.574\times10^{-29}m^3$$

$$\frac{체적/핵}{체적/원자} = \frac{5.73\times10^{-27}m^3}{(3.574\times10^{-29}m^3)/(4atoms/단위격자)} = 641atoms$$

4.41 문제 4.46의 결정립구조에 대하여 평균 결정립 지름을 판정하라.



100×

그림 P4.46

선1이 가로지르는 결정립 수 : 9개
선2가 가로지르는 결정립 수 : 9개
선3이 가로지르는 결정립 수 : 8개

$$d = \frac{C}{n_L M} \quad (d = 평균 입경, C = 상수(일반적으로 1))$$

$(M = 현미경 사진의 배율 = 100)$
$(n_L = 실제 선에 대한 결정립 수의 비)$

$$d_1 = \frac{1.5}{(\frac{9}{3\times10^{-2}m})\times100} = 5.00\times10^{-5}m = 50\mu m = d_2$$

$$d_3 = \frac{1.5}{(\frac{8}{3\times10^{-2}m})\times100} = 5.63\times10^{-5}m = 56.3\mu m$$

$$d_{avg} = \frac{50\mu m + 50\mu m + 56.3\mu m}{3} = 52.1\mu m$$

4.44

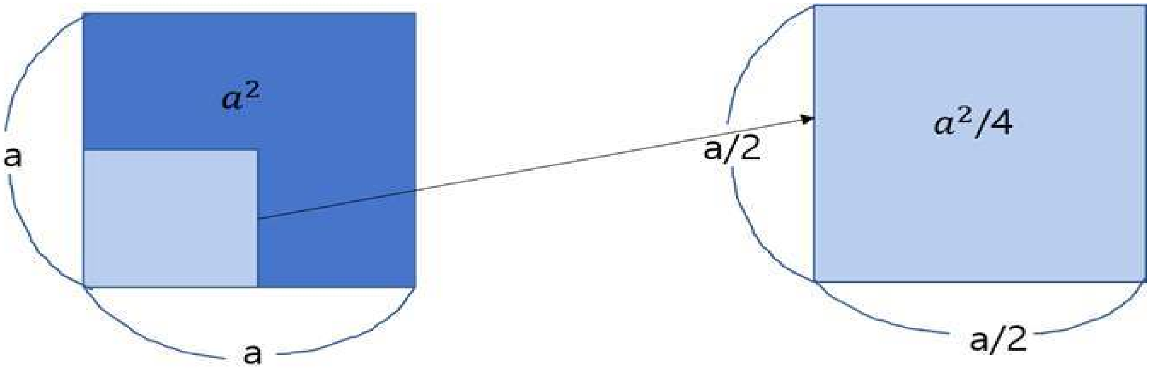
$N = 2^{n-1}$ $(N = 100\times 의 배율에서 (2.54\times10^{-2}m)^2 당 결정립 수)$
$(n = * M 결정립 크기 번호)$

$$N = (\frac{200}{100})^2[400 결정립/(2.54\times10^{-2)}] = 1600 = 2^{n-1}$$

$$\log1600 = (n-1)(\log2) = (n-1)(0.301). \qquad \therefore n = 11.64$$

4.61

배율이 2배로 증가할 때 면적은 4배 감소한다.



재료과학 5장(고체의 열적 활성화 과정과 확산)

5.02

열적 활성화 과정은 활성화 에너지 장벽을 극복하고 반응 상태로 진입하기 위해 일정한 양의 열에너지가 필요한 공정이다. 이 과정의 활성화 에너지는 원자의 평균 에너지 이상으로 필요로 하는 부가적 에너지를 말한다.

5.05

이 효과는 2원 확산 쌍에서 가장 빠르게 움직이는 화학종과 반대 방향으로 확산 계면의 표시자가 느리게 움직이는 것을 보여주었다.

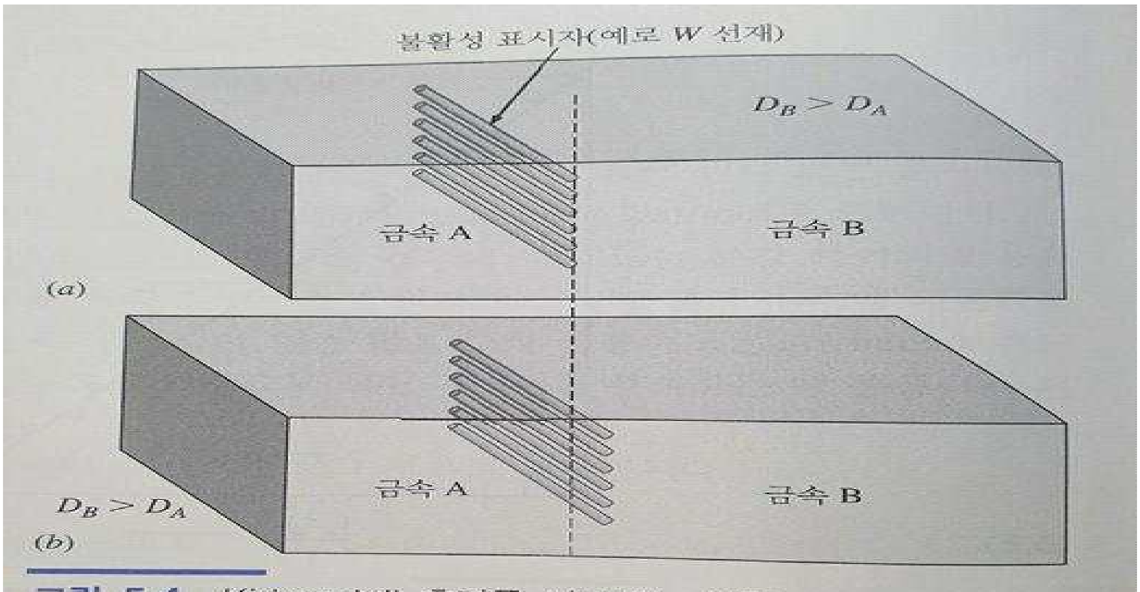


그림 5.4 Kirkendall 효과를 나타내는 실험. (*a*) 확산 실험의 초기 상태(t = 0). (*b*) t시간 경과 후 표시자는 대부분 빠르게 확산하는 화학종 B와 반대 방향으로 움직인다.

5.11

a) 입방 미터당 평형 공공의 수는 $n_v = N^{-E_V/kT}$

$N = N_0\rho_{Cu}/$(Cu 원자 질량)

$=\{6.02\times10^{23}/$(원자 질량)$\}\times\{1/$(63.54g/원자 질량$\}\}\times(8.96\times10^6 g)/m^3$

$=8.49\times10^{28} atoms/m^3$

$E_V = 1.00eV$(850℃→11234K에서)

$$n_v = (8.49\times10^{28} atoms/m^3)\exp[-\frac{1.00eV}{(8.62\times10^{-5}eV/K)(1123K)}] = 2.77\times10^{24}\text{공공}/m^3$$

b) 공공의 분율은 $\frac{n_v}{N}$ 비율로 구한다.

$$\frac{n_v}{N} = \exp[\frac{-1.00eV}{(8.62\times10^{-5}eV/K)(1073K)}] = e^{-10.81} = 2.02\times10^{-5}\text{공공}/atoms$$

5.14

$C_s = 1.15wt\%,\ C_x = 0.35wt\%,\ C_0 = 0.18wt\%,\ D = 1.28\times10^{-11}m^2/s,\ x = 0.40mm = 4.0\times10^{-4}m$

$$\frac{C_s - C_x}{C_s - C_0} = \frac{(1.15-0.35)wt\%}{(1.15-0.18)wt\%} = erf(\frac{4\times10^{-4}m}{2\sqrt{1.28\times10^{-11}m^2/s\times t}}) = 0.8247$$

$= erf(\frac{55.90}{\sqrt{t}}) \rightarrow z = x_1$으로두고

erf z	z
0.8209	0.95
0.8427	1.0

(P.181 표 5.3 참고)

$$\rightarrow \frac{0.8247-0.8209}{0.8427-0.8209} = \frac{x_1 - 0.95}{1.0-0.95} \rightarrow x_1 = 0.9587 = \frac{55.90}{\sqrt{t}} \rightarrow t = 3399.8\text{sec}$$

$\therefore t = 56.66\text{min}$

5.17

$D=1.28\times10^{-11}m^2/s,\ C_s=1.15wt\%,\ C_0=0.20wt\%,\ t=7h=25200s,\ x=1.0\times10^{-3}m$

$\frac{1.15-C_x}{1.15-0.20}=erf(\frac{1.0\times10^{-3}m}{2\sqrt{1.28\times10^{-11}m^2/s\times25200s}})\rightarrow0.8804=z'$

$\rightarrow C_x=-erfz'\times0.95+1.15$

z	erfz
0.85	0.7707
0.90	0.7907

(P.181 표 5.3 참고)

$\rightarrow\frac{0.8804-0.85}{0.90-0.85}=\frac{erfz'-0.7707}{0.7907-0.7707}\rightarrow erfz'=0.7829$

$\therefore C_x=0.406wt\%$

5.22

$C_s=10^{18}atoms/cm^3,\ C_x=10^{17}atoms/cm^3,\ C_0=0,\ D=4\times10^{-13}m^2/s,\ t=5h=18000s$

$\frac{(10^{18}-10^{17})atoms/cm^3}{(10^{18}-0)atoms/cm^3}=erf(\frac{x}{2\sqrt{4\times10^{-13}cm^2/s\times18000s}})=0.9$

erfz	z
0.8802	1.1
0.9103	1.2

(P.181 표 5.3 참고)

$\frac{x}{2\sqrt{4\times10^{-13}cm^2/s\times18000s}}\Rightarrow y$ 로두고

$\rightarrow\frac{0.9-0.8802}{0.9103-0.8802}=\frac{y-1.1}{1.2-1.1}\rightarrow1.166=y$

$\rightarrow1.166\times2\sqrt{4\times10^{-13}cm^2/s\times18000s}=1.979\times10^{-4}cm=x$

$\therefore x=1.979\times10^{-4}cm$

5.27

$D=D_0\bullet e^{-Q/RT}$

$D_0=7.7\times10^{-5}m^2/s,\ Q=280kJ/mol,\ R=8.314J/mol\bullet k,\ T=1473.15K$

$D=7.7\times10^{-5}m^2/s\bullet exp(\frac{-280000J/mol}{8,314J/mol\bullet k\times1473.15K})=9.089\times10^{-15}m^2/s$

5.30

$$\frac{D_{600℃}}{D_{400℃}} = e^{[-\frac{Q}{R}(\frac{1}{T_2}-\frac{1}{T_1})]}$$

$$T_1 = 400℃ = 673K,\ T_2 = 600℃ = 873K$$

$$\frac{7.5\times 10^{-13}m^2/s}{2.5\times 10^{-15}m^2/s} = e^{[-\frac{Q}{8.314J/mol}(\frac{1}{873K}-\frac{1}{673K})]}$$

$$\therefore Q = 139320.529mol$$

5.37

(a) 활성화 에너지를 비교해보면 $Q_N > Q_C$ 이므로 탄소가 Ni보다 확산이 더 쉽다.

(b) C-Fe는 침입형 확산이고 Ni-Fe는 치환형 확산이다. (P.176 참고)

(c) 1g의 물을 1℃ 올릴 때 4.2J의 에너지가 쓰인다.
33809g의 물을 1℃ 올릴 때 142kJ의 에너지가 쓰인다.

5.39

$$D = D_0 \bullet e^{-Q/RT},\ D_{0(Ti)} = 25.5D_{0(Fe)},\ Q_{Ti} = 1.28Q_{Fe}$$

$$D_{Ti\ 500℃} = 3\times 10^{-16}m^2/s,\ D_{Fe\ 500℃} = 5\times 10^{-15}m^2/s$$

$$\frac{D_{Ti}}{D_{Fe}} = \frac{3\times 10^{-16}m^2/s}{5\times 10^{-15}m^2/s} = 25.5 \bullet e^{-\frac{Q_{Ti}+Q_{Fe}}{RT}} = 25.5 \bullet e^{\frac{-(1.28Q_{Fe}+Q_{Fe})}{RT}}$$

$$\therefore Q_{Fe} = 139000J,\ D_{0\ Fe} = 5\times 10^{-15}\times e^{\frac{139000}{8.314\times 773}} = 1.2\times 10^{-5}$$

D_0	Q
2.0×10^{-5}	142000J

(표 5.4 참고)

재료과학 6장(응고와 결정결함)

6.01

온도가 낮을수록 연성이 작아서 가공하기 어려우므로 먼저 가공이 잘되는 고온으로 주괴를 가열하여 열간압연으로 단면적을 줄인 다음에 냉간압연으로 얇게 만든다. 금속은 고온상태일 때 각 압연 패스의 단면축소율을 크게 할 수 있기 때문에 열간압연부터 진행한다.

6.08

탄성 변형이란 1축 인장력을 가해줬을 때, 이 힘을 제거하게 되면 원래상태로 되돌아가는 경우를 말한다. 소성변형은 이와 반대로 금속의 원상태로 완전히 돌아가지 못할 정도로 영구변형된 경우를 뜻한다. 탄성변형이 이루어질 때 원래 위치와는 달라지지만 원자 위치까지 새롭게 변하지는 않으므로 힘을 제거했을 때 원위치로 돌아가나, 소성변형 중에 금속 원자는 원래 위치에서 완정히 새로운 원자 위치로 이동하기 때문에 원상태와는 다른 양상을 보이는 것이다.

6.09

a) 공칭 응력이란 평균 1축 인장력을 초기 단면적으로 나눈 것이고, 공칭 변형률이란 봉에 1축 인장력이 작용했을 때 힘 방향으로 시편의 길이 변화를 시편의 초기 길이로 나눈 비이다.

$$\text{공칭응력}\,\sigma = \frac{F(\text{평균일축인장하중})}{A_0(\text{초기단면적})} \quad \text{공칭변형률}\,\epsilon = \frac{\Delta l(\text{길이변화})}{l_0(\text{초기길이})} = \frac{l - l_0}{l_0}$$

b) 진응력과 진변형률은 시편의 순간 최소 단면적과 길이를 고려해준 것으로 다음과 같이 정의된다.

$$\text{진응력}\,\sigma = \frac{F(\text{시편애 작용한 힘})}{A_0(\text{시편의 순간 단면적})} \quad \text{진변형률}\,\epsilon_t = \int_{l_0}^{l_i} \frac{dl}{l} = \ln\frac{l_i}{l_0} = \ln\frac{A_0}{A_i}$$

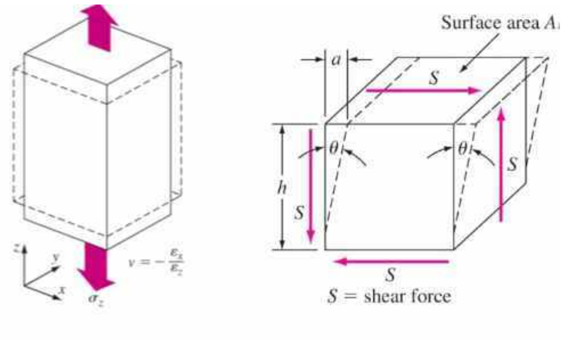
(만약 시험동안 시편의 표점거리 부분의 체적이 동일하다고 하면 성립)

c) 응력의 단위는 U.S단위: lb_f/in^2 또는 psi, SI단위: N/m^2 또는 Pa

변형률의 단위는 U.S단위:in/in, SI단위: m/m

d) 인장/압축응력은 수직응력과 같은 의미로 보통 1축 인장력이라 한다. 이와 반면 전단 응력이란 크기가 같고 방향이 서로 반대인 힘이 대상물체에 작용하는 것으로 가해지는 면에 평행하게 작용하며 간단히 보자면 인장, 압축은 위로 늘이기와 줄이기, 전단은 옆으로 밀기라고 볼 수 있다.

e) 인장/압축 변형률은 앞에서 나온 대로 정의되며 전단 변형률은 밑 사진에서와 같이 전단 변위의 양 a를 전단력이 작용하는 거리 h로 나눈 것으로 정의된다. 따라서 전단 변형률은 tanθ가 된다.



6.14

a) 원자의 위치가 변하는데 필요한 전단응력이 덜 충진된 면보다 더 작아서 슬립이 일어나기 쉽다.
b) 원자들끼리 가까우면 원자가 한쪽 자리에서 다른 쪽 자리로 이동하는데 필요한 에너지가 보다 적게 들기 때문이다.

6.15

슬립은 조밀충진면에서 잘 일어나는데 이는 원자의 변위에 필요한 전단응력이 덜 충진된 면보다 더 작기 때문이다. 또한, 슬립은 조밀충진 방향으로 우선적으로 이동하는데, 이는 원자들끼리 가까우면 원자가 한쪽 자리에서 다른 쪽 자리로 이동하는데 필요한 에너지가 보다 적게 들기 때문이다.
a) FCC 결정 구조의 금속에서 슬립은 {111} 조밀충진면에서 ,<1$\bar{1}$0> 방향으로 일어난다.
b) BCC 구조는 조밀충진 구조가 아니어서 FCC처럼 가장 높은 원자충진의 우세한 면이 없다. {110}면이 가장 원자 밀도가 높아서 슬립은 보통 이 면에서 일어난다. 그리고 슬립방향은 항상 <$\bar{1}$11> 방향이다.
c) HCP 구조에서는 {0001}면이 가장 조밀충진된 면이다. 슬립방향은 모든 경우에 <11$\bar{2}$0> 이다.

6.17

슬립은 원자면들이 미끄러지는 현상이고, 쌍정은 원자 격자의 일부분이 바로 옆의 변형되지 않은 격자와 거울상을 형성하도록 변형하는 것이다. 슬립처럼 쌍정도 쌍 벙방향으로 일어난다. 그러나 슬립에서는 슬립면의 한쪽 측면 원자는 모두 같은 거리를 이동하는데 비해, 쌍정에서는 쌍정면으로부터의 거리에 비례하여 이동한다.

6.21

금속의 결정립계를 강화하기 위해 결정립 미세화를 진행한다. 결정립 미세화는 결정립의 크기를 줄여 강도를 증가시킨다. 이렇게 되면 다결정 물질이 되고 결정립이 증가한다. 이때 결정립계가 증가하고 이가 전위의 이동을 막는 장애물 역할을 하게 된다. 그로 인해 결정립계에 전위가 쌓인다. 이렇게 결정립 미세화를 하면 강도와 경도, 인성이 증가하지만 내부식성과 내크리프성은 감소한다.

6.27

a) 내부 잔류응력은 완화된다.
b) 강도는상당히 감소한다.
c) 연성은 매우 증가한다.
d) 경도가 상당히 감소한다.

6.30

알루미늄과 같이 냉간 가공된 금속에 회복 열처리를 하면 소경각 결정립계를 가진 아결정립 조직이 형성된다. 이와 같은 회복과정은 다각형화라 부리우며 이는 재결정에 선행하는 구조적 변형이다. 회복된 금속의 내부 에너지는 냉간가공된 상태보다 더 낮아지는데, 이는 회복과정에 의해 많은 전위가 상쇄되거나 낮은 에너지 상태로 이동하기 때문이다. 회족 중에 냉간가공된 금속의 강도는 약간 감소하지만 그 연성은 일반적으로 크게 증가한다.

6.38

$$단면축소율 = \frac{초기두께 - 최종두께}{초기두께} \times 100\%$$ 이므로

$$단면축소율 = \frac{0.12cm - xcm}{0.12cm} \times 100\% = 20\%$$

$$\therefore 0.12cm - xcm = 0.2 \times 0.12cm$$

$$xcm = 0.096cm$$

6.43

$$공칭변형률\epsilon = \frac{\Delta l(시편의\ 길이\ 변화)}{l_0(시편의\ 초기\ 길이)}$$ 이므로

$$\epsilon = \frac{63mm - 51mm}{51mm} = 0.235$$이다.

6.44

$$냉간축소율 = \frac{A_0 - A_f}{A_0} \times 100\% = \frac{\frac{\pi}{4}d_0^2 - \frac{\pi}{4}0.90^2}{\frac{\pi}{4}d_0^2} \times 100\% = 30\%$$

$$\Rightarrow d_0 = 1.076mm$$

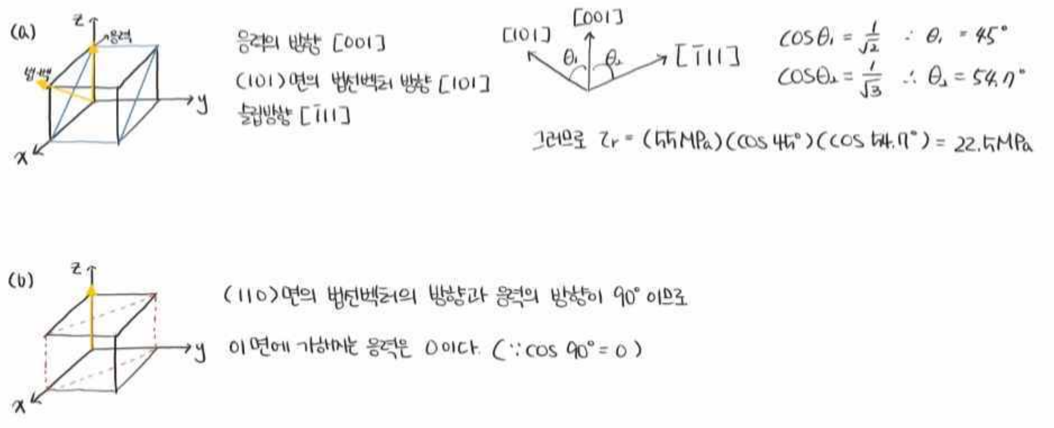
$$총\ 냉간축소율 = \frac{\frac{\pi}{4}1.076^2 - \frac{\pi}{4}0.70^2}{\frac{\pi}{4}1.076^2} \times 100\% = 57.7\%$$

6.49

a) $\sigma_t = \sigma(1 + 0.34) = 180MPa(1.34) = 241.2MPa$

b) $\epsilon_t = \ln(1 + 0.34) = 0.293 \therefore 29.3\%$

6.50



6.52

F=5000N, $2\sigma_0 = 0.250cm \rightarrow 2\sigma_1 = 0.210cm$, l =20cm

$$A_0 = \pi \cdot (\frac{0.250cm}{2})^2 = 0.0491cm^2 = 4.91 \times 10^{-6} m^2$$

$$A_i = \pi \cdot (\frac{0.210cm}{2})^2 = 0.0346cm^2 = 3.46 \times 10^{-6} m^2$$

$$A_0 l_0 = A_i l_i$$

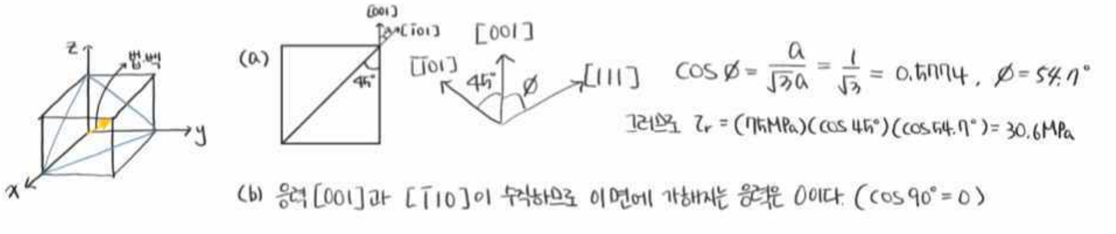
a) $\sigma = \frac{F}{A_0} = \frac{5000N}{4.91 \times 10^{-6} m^2} = 1.02 \times 10^9 N/m^2 = 1.02 \times 10^3 MPa$

$$\epsilon = \frac{A_0}{A_i} - 1 = \frac{4.91 \times 10^{-6} m^2}{3.46 \times 10^{-6} m^2} - 1 = 0.419$$

b) $\sigma_i = \sigma(1+\epsilon) = 1.02 \times 10^9 (1.419) = 1.45 \times 10^9 N/m^2 = 1.45 \times 10^3 MPa$

$\epsilon_i = \ln(1+\epsilon) = \ln(1.414) = 0.350$

6.53



6.55

$$\sigma_y = \sigma_0 + \frac{k}{\sqrt{d}}$$

a) $185MPa = \sigma_0 + \frac{k}{\sqrt{14 \times 10^{-6}}m}$ $(k = 0.36)$

$185MPa = \sigma_0 + \frac{0.36}{\sqrt{14 \times 10^{-6}}m} \Rightarrow \sigma_0 \simeq 89MPa$

b) $220MPa = 89MPa + \frac{0.36MPa \cdot m^{\frac{1}{2}}}{\sqrt{d}}$

$\sqrt{d} = \frac{0.36MPa \cdot m^{\frac{1}{2}}}{131MPa} = 0.0027m^{\frac{1}{2}}$

$d = (0.0027m^{\frac{1}{2}})^2 = 7.5\mu m$

6.57

$$\sigma_y = \sigma_0 + \frac{k}{\sqrt{d}}$$

p.232를 따르면 $\sigma_0 = 80MPa, k = 0.40MPa/m^{\frac{1}{2}}$

$\therefore 140MPa = 80MPa + \frac{0.4MPa/m^{\frac{1}{2}}}{\sqrt{d}} \Rightarrow \sqrt{d} = \sqrt{0.0066}m^{\frac{1}{2}}$

$d = 0.00004356m = 0.004356cm = 43.56\mu m$

6.59

$t_1 = 6900\min = Ce^{Q/RT_1} = Ce^{Q/523k \cdot R}$

$t_2 = 600\min = Ce^{Q/RT_2} = Ce^{Q/558k \cdot R}$

$\frac{t_1}{t_2} = \exp\frac{Q}{R}[\frac{1}{T_1} - \frac{1}{T_2}]$

$\frac{6900\min}{600\min} = \exp\frac{Q}{8.314J/K \cdot mol}[\frac{1}{523K} - \frac{1}{558K}]$

$11.5 = \exp(1.443 \times 10^{-5}) \cdot Q$

$Q = 169.3 kJ/mol$

6.60

$t_1 = 12\min = Ce^{Q/RT_1} = Ce^{Q/413k \cdot R}$

$t_2 = 200\min = Ce^{Q/RT_2} = Ce^{Q/361k \cdot R}$

$\frac{t_1}{t_2} = \exp\frac{Q}{R}[\frac{1}{T_1} - \frac{1}{T_2}]$

$\frac{12}{200} = \exp\frac{Q}{9.314}[\frac{1}{413} - \frac{1}{361}]$

$\frac{3}{50} = \exp - 4.195 \times 10^{-5} \times Q$

$Q = 67065 J/mol$

$\frac{12}{t_3} = \exp\frac{67065}{8.314}[\frac{1}{413} - \frac{1}{373}]$

$\therefore t_3 = 97.4\min$

6.61

$0.20 = \frac{\frac{\pi}{4}d_1^2 - \frac{\pi}{4}2.80^2}{\frac{\pi}{4}d_1^2}$ (d_1 = 초기지름) $\Rightarrow d_1 = 3.12mm$

a) 냉간가공% $= \frac{3.13^2 - 2.45^2}{3.13^2} = 0.387 \ \therefore 38.7\%$

b) 그림 6.44를 따르면 연신율=6%, 항복강도=430MPa, 인장=520MPa

6.95

지구상에서 가장 이상향이 되는 재료는 강도와 연성 모두 뛰어난 재료를 개발하는 것이다. 물론 아직까지 세라믹과 같은 강도와 금속과 같은 연성을 함께 지닌 재료가 쉽게 발견되지 않는 이유는 지구상에 존재하는 모든 물체의 결정학적 지표는 내부 결정립이 미세할수록 강도가 높아지는데 그 이유는 내부의 변화기구인 응력이 결정립계에 막혀 변형을 억제하기 때문이다. 하지만 반대로 연성은 전위의 이동이 쉬울수록 높아지는 특성을 가져 두가지 모두를 향상시키는 것이
어려운 이유이다.

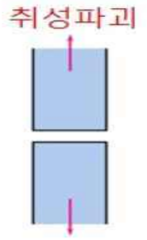
재료과학 7장(금속의 기계적 성질 II)

7.01

취성 파괴는 보통 벽개면이라는 특정한 결정면을 따라 진행되며, 상당한 소성변형이 일어난 이후에 파괴되는 연성 파괴와는 달리 표면에 목(neck)을 형성하지 않고 균열 전파가 빠르게 진행되어 파괴된다는 특징이 있다.

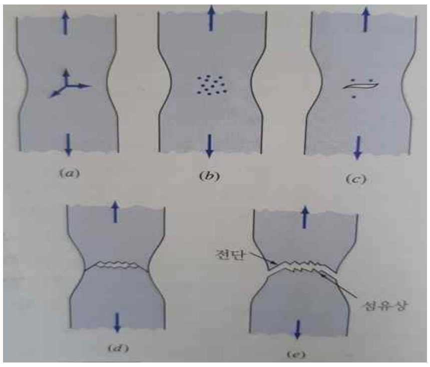
7.02

1)소성변형에 의해 슬립면 상의 전위가 장애물에 집중된다.
2)전위의 이동이 막힌 곳에서 전단응력이 커져,
결과적으로 미세균열 핵이 생성된다.
3)추가적 응력이 미세균열을 전파시키고,
저장된 탄성변형 에너지도 균열의 전파에 기여한다.



7.03

(1)시편이 가늘어진 목(neck)을 형성하고 목 부분에 공동(cavity)이 생긴다.
(그림 a와 b)
(2)목 부분의 공동들이 결합하여 시편 중앙에 균열이 생기며, 가해진 응력의 수직 방향으로 시편의 표면을 향해 균열이 바뀐다. (그림 c)
(3) 균열이 표면에 접근하면 균열은 인장 축에 대해 45° 방향으로 바뀌어 컵-원추(cup-and-cone) 파괴로 변한다.(그림 d와 e)



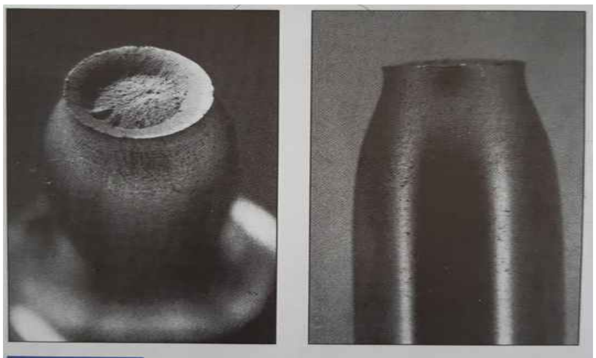


그림 7.1 알루미늄합금의 연성(컵-원추) 파괴.

7.04

컵-원추 모양으로 파괴가 발생한다. 따라서 주사현미경으로 표면을 관찰하면 연성 파괴로 인한 원추형 등축 딤플을 볼 수 있다.

7.05

판의 파괴를 일으키게 하는 응력확대계수의 임계값(K_{IC})을 파괴인성이라 한다.
$K_{IC} = Y\sigma_f\sqrt{\pi\alpha}$의 식을 갖는다.

7.07

입내파괴는 균열이 결정립의 기지조직을 가로질러서 전파하여 파괴되는 것을 말한다. 입계파괴는 결정립계가 취약한 막을 가지고 있거나 결정립계 영역이 유해원소의 편석에 의해서 취화되면 결정립계를 따라서 파괴되는 것을 말한다.

7.08

Ductille -Brittle 구간에서 금속재료는 온도에 따라서 흡수할 수 있는 충격에너지양이 편하게 되는데 이 에너지가 온도에 따라 특별히 상이하게 변하는 부분을 연성-취성 전이온도 라고 한다. 이 온도는 샤르피 충격시험으로 구하며 DBTT 라고 한다. 정리하자면, 각 소재별 연성과 취성이 변하는 온도이다.
온도상승 -> 연성증가, 온도감소 -> 취성증가

7.16

p.276에 의하면, 금속이나 합금이 일정 하중이나 일정 응력 하에서 오랜 시간에 걸쳐 점진적인 소성변형을 겪을 때, 이와 같은 시간 의존성 변형률을 크리프(creep)라 한다.

7.20

$K_{Ic} = Y \sigma_f \sqrt{\pi a}$

K_{Ic} = 파괴인성 값 = 24 MPa $\sqrt{m}$, Y = 1의 오더를 갖는 무차원 기하학적 상수

σ_f = 파괴 응력 = 560 MPa , a = 측면균열길이 (내부균열길이의 반)

$$\sqrt{a} = \frac{K_{Ic}}{Y \sigma_f \sqrt{\pi}} = \frac{24\ MPa\sqrt{m}}{560\ MPa \times \pi} = 0.01364 \sqrt{m}$$

$a = 1.861 \times 10^{-4}\ m$ = 내부균열 길이의 반

$\therefore 2a = 3.772 \times 10^{-4}\ m$

7.23

$K_{IC} = 24.22 Mpa\sqrt{m}, \sigma_{항복} = 495 Mpa$

$$a) 24.22 Mpa\sqrt{m} = 1 \times 495 Mpa \times \frac{3}{4} \times \sqrt{\pi a},\ a = 1.35mm.\ \therefore 2a = 2.7mm$$

$$b) 24.22 Mpa\sqrt{m} = 1 \times 495 Mpa \times \frac{1}{2} \times \sqrt{\pi a},\ a = 3.05mm.\ \therefore 2a = 6.1mm$$

7.29

$$a_f = \frac{1}{\pi}\left(\frac{K_{IC}}{Y\sigma_f}\right)^2 = \frac{1}{\pi}\left(\frac{35}{1.3 \times 120}\right)^2 = 0.016m = 16.0mm$$

$$N_f = \frac{a_f^{-(m/2)+1} - a_o^{-(m/2)+1}}{[-(\frac{m}{2})+1] A \alpha^m \pi^{m/2} Y^m}$$

$$= \frac{(0.016m)^{-0.75} - (0.001)^{-0.75}}{[-0.75](5.0 \times 10^{-12})(120)^{3.5} \pi^{1.75} (1.3)^{3.5}} = 1.18 \times 10^5 cycles$$

7.30

$$\alpha_m = \frac{\sigma_f^{-(m/2)+1} - \alpha^{-(m/2)+1}}{[-(m/2)+1]A\pi^{m/2}Y^m N_f}$$

$$\sigma^3 = \frac{(0.012m)^{-\frac{3}{2}+1} - (0.00125m)^{-\frac{3}{2}+1}}{[-\frac{3}{2}+1](6.0\times10^{-13})(\pi^{1.5})(1.2)^3(2.0\times10^6)}$$

$$= 3.318\times10^6$$

$$\alpha = 149MPa$$

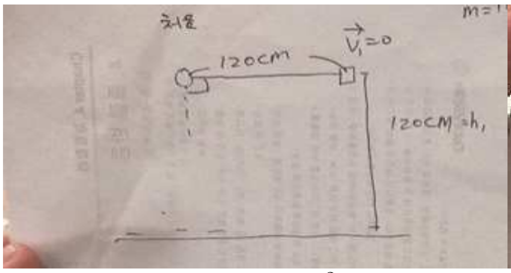
7.35

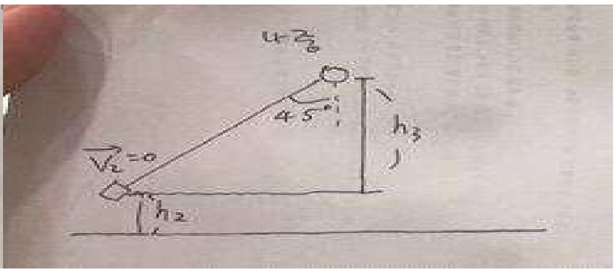
$$P = T(K)(20+\log T_r).\ T = (273+850) = 1123K$$

$$26.3\times10^3 = 1123K(20+\log T_r),\ \ \log T_r = 3.41$$

$$T_r = 2626.71h$$

7.39





$(a)\ mgh_1 = 15kg\times9.81m/s^2\times1.20m = 176.58J$

$(b) h_3 = 1.2m\times cos45° = 60\sqrt{2} = 84.7cm$

$h_2 = 120 - 60\sqrt{2} = 35.1cm,\ mgh_2 = 51.6J$

(c)위치에너지(최종) $= (176.58 - 51.6)J = 124.98J$

7.40

$mgh = 15kg \times 9.81m/s^2 \times (1.2 + (1.2 \times cos30)) = 264.87J$
이에 시편은 파괴된다.

남은 에너지 $= (264.87 - 220)J = 44.87J$
$mgh_2 = 44.87J = 15kg \times 9.81m/s^2 \times h_2$
$\therefore 41.4°$ 까지 올라가며 해머는 $0.305m$ 높이에 있다.

재료과학 8장(상태도)

8.1

(p. 294 참고)
(a)조성 및 구조가 주변영역과 다른 영역
(b) 여러 온도, 압력, 조성에서 재료 내에 어떤 상이 존재하는가를 도식적으로 나타낸 것

8.4

P+F=C+2
P= 주어진계에서 공존하는 상의 수
C=계 내의 성분의 수
F= 자유도

8.7

1. 두 원소의 원자 반지름은 차가 15% 이내 여야 한다.
2. 두 원소가 화합물을 형성해서는 안된다. 즉, 두 원소의 전기음성도의 차가 크지 않아야 한다.
3. 고용체를 이루는 각 원소의 결정구조가 같아야 한다.
4.두 원소의 원자가가 같아야 한다.

8.16

공정 : $L \rightarrow \alpha + \beta$
공석 : $\alpha \rightarrow \beta + \gamma$
편정 : $L_1 \rightarrow \alpha + L_2$
포정 : $\alpha + L \rightarrow \beta$
포석 : $\alpha + \beta \rightarrow \gamma$
2원계 상태도에서 F=3-P인데 불변 반응점에서 P=3이므로 자유도는 0이다.

8.22

(a)액상 100%

(b)액상-78wt% β상 $-93\%Ag$

액상 $wt\%$ β상 $wt\%$

$\frac{93-88}{93-78}\times 100\% = 33.3\%$ $\frac{88-78}{93-78}\times 100\% = 66.6\%$

(c)액상-71.9%Ag β상 $-91.2\%Ag$

액상wt% β상 $wt\%$

$\frac{91.2-88}{91.2-71.9}\times 100\% = 16.6\%$ $\frac{88-71.9}{91.2-71.9}\times 100\% = 83.4\%$

(d)α상 $-7.9\%Ag$ β상 $-91.2\%Ag$

α상 $wt\%$ β상 $wt\%$

$\frac{91.2-88}{91.2-7.9}\times 100\% = 3.84\%$ $\frac{88-7.9}{91.2-7.9}\times 100\% = 96.16\%$

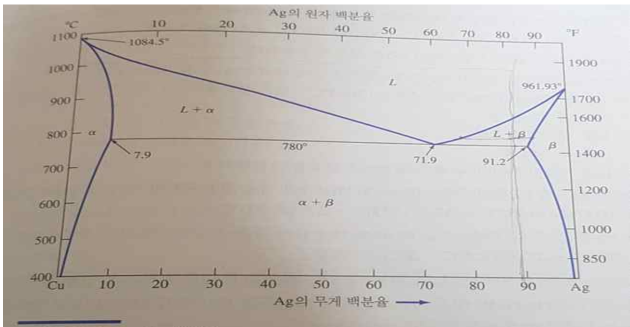
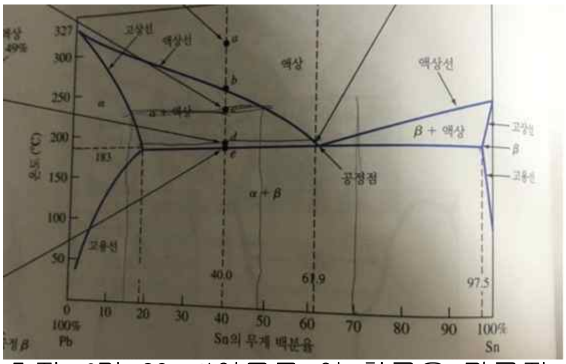


그림 P8.22 Cu-Ag 상태도.
(출처: "Metals Handbook," vol. 8, 8th ed., American Society for Metals, 1973, p. 253)

8.24



초정 β가 60wt%이므로 이 합금은 과공정 합금이며,

$\frac{x-61.9}{97.5-61.9} = 0.6$, $x = 83.26wt\%\ Sn, 16.74wt\%Pb$

8.27

(a)-(i) $L+\alpha$

(ii) $\alpha: 40wt\%Os + 60wt\%Ir,\ L: 20wt\%Os + 80wt\%Ir$

(iii) $\alpha: \dfrac{30-20}{40-20} \times 100wt\% = 50wt\%$, $L: \dfrac{40-30}{40-20} \times 100wt\% = 50wt\%$

(b)-(i) $L+\beta$

(ii) $L: 23wt\%Os + 77wt\%Ir,\ \beta: 61.5wt\%Os + 38.5wt\%Ir$

(iii) $L: \dfrac{61.5-30.0}{61.5-23.0} \times 100wt\% = 81.8wt\%,\ \beta: \dfrac{30.0-23.0}{61.5-23.0} \times 100wt\% = 18.2wt\%,$

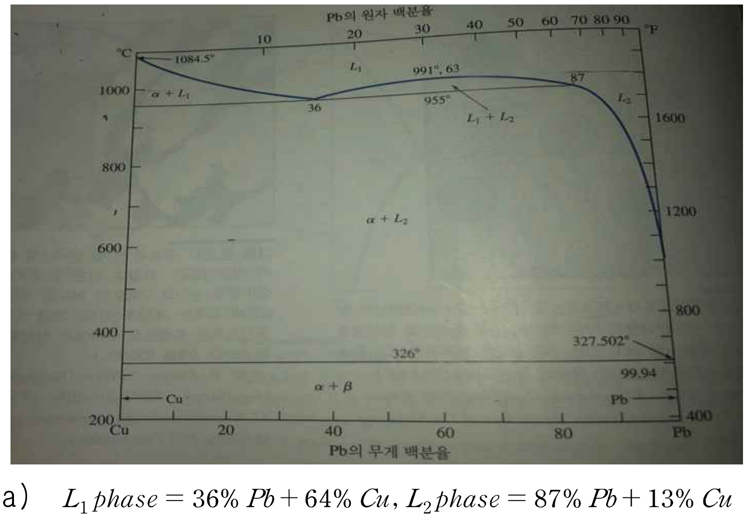
(c)-(i) $L+\alpha$

(ii) $\alpha: 43wt\%Os + 57wt\%Ir$, $L: 23wt\%Os + 77wt\%Ir$

(iii) $\alpha: \dfrac{30.0-23.0}{43.0-23.0} \times 100wt\% = 35.0wt\%$

$L: \dfrac{43.0-30.0}{43.0-23.0} \times 100wt\% = 65.0wt\%$

8.31



(a) $L_1\,phase = 36\%\,Pb + 64\%\,Cu,\ L_2\,phase = 87\%\,Pb + 13\%\,Cu$

$wt\%\,L_2 = \dfrac{70-36}{87-36} \times 100\% = 66.7\%,\ wt\%\,L_1 = \dfrac{87-70}{87-36} = 33.3\%$

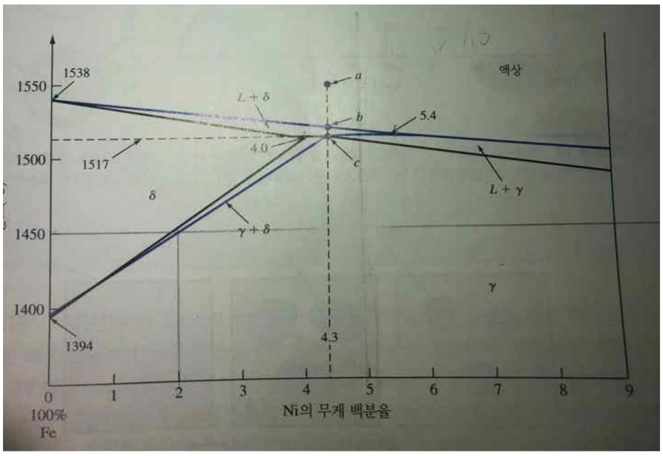
(b) $L_2\,phase = 87\%\,Pb + 13\%\,Cu,\ \alpha\,phase = 0\%\,Pb + 100\%\,Cu$

$wt\%\,L_2 = \dfrac{70-0}{87-0} \times 100\% = 80.5\%,\ wt\%\,\alpha = \dfrac{87-70}{87-0} = 19.5\%$

(c) $\alpha\,phase = 0\%\,Pb + 100\%\,Cu,\ \beta\,phase = 99.94\%\,Pb + 0.06\%\,Cu$

$wt\%\,\alpha = \dfrac{100-70}{100-0} \times 100\% = 30\%,\ wt\%\,\beta = \dfrac{30}{100-0} = 70\%$

8.34



$$\gamma = \frac{(5.4-5.0)wt}{(5.4-4.3)wt} \times 100\% = 36.4\%$$

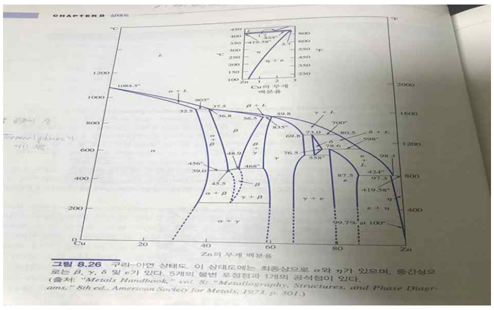
8.38

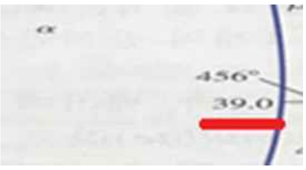
(a) α상의 최대 고용선의 부분을 읽어주면 Cu에서 Zn의 최대고용도는 39 wt% 이다.

(b) 상태도에서 최종상인 α, η상을 제외한 나머지를 보면 중간상이 되는 것이다. 중간상 : γ δ β ε

(c) 불변계 반응의 조성과 온도, 반응식, 반응식의 이름을 모두 읽어주면

- (903도) α+ L= β 포정반응 - (700도) γ+ L = δ 포정반응
- (835도) β+ L = γ 포정반응 - (598도) δ+ L = ε 포정반응
- (424도) ε+ L= η 포정반응 - (558도) δ = ε+ γ 공석반응
- (250도) β = α+ γ 공석반응





8.43

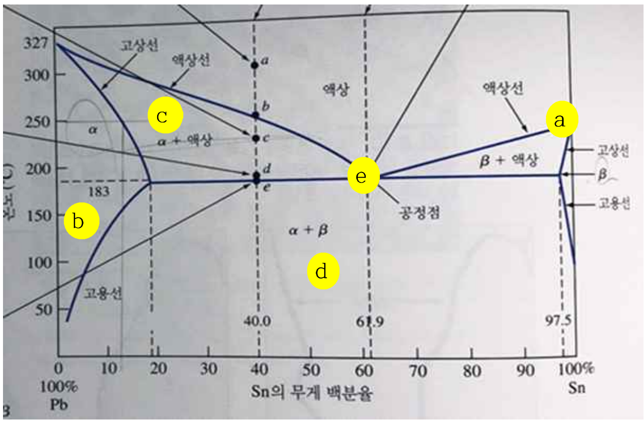
(a) 순수 Sn의 융점에서 자유도 F= -P+C+N, 압력이 고정되므로 비조성 변수는 온도만 해당 N=1, 순수 Sn은 성분이 1로 고정되므로 C=1
융점이므로 액상과 고상이 공존 P=2, F=-2+1+1=0

(b) Alpha 상 영역에서
자유도 F= -P+C+N, 압력이 고정되므로 비조성 변수는 온도만 해당 N=1, 2성분계 상태도 이므로 C=2, Alpha 상 1개가 있으므로 P=1, F=-1+2+1=2

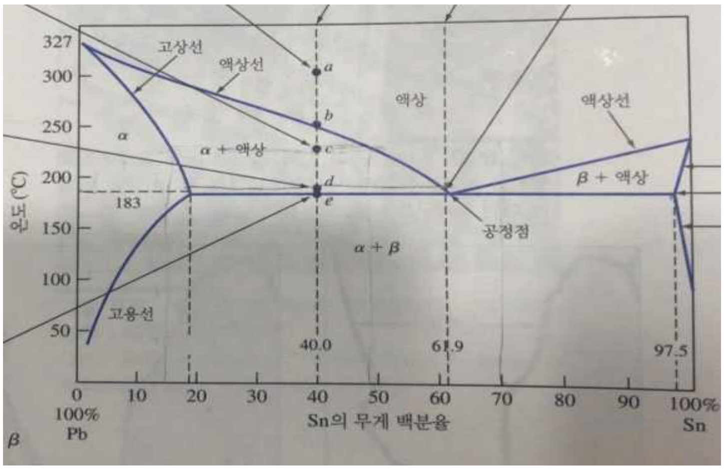
(c) Alpha+액상 영역에서
자유도 F= -P+C+N, 압력이 고정되므로 비조성 변수는 온도만 해당 N=1,
2성분계 상태도 이므로 C=2, Alpha 상과 액상이 공존하므로 P=2, F=-2+2+1=1

(d) Alpha+Beta 영역에서
자유도 F= -P+C+N, 압력이 고정되므로 비조성변수는 온도만 해당 N=1,
2성분계 상태도 이므로 C=2, Alpha상과 Beta상이 공존하므로 P=2, F=-2+2+1=1

(e) 공정점에서
자유도 F= -P+C+N, 압력이 고정되므로 비조성 변수는 온도만 해당 N=1,
2성분계 상태도 이므로 C=2, Alpha 상과 Beta 상과 액상이 공존하므로 P=3,
F=-3+2+1=0



8.44



(a) 모상 Pb원자단에 용질 상 Sn 원자가 고용된 상을 α상이라 하고 모상 Sn에 용질상 Pb 원자가 고용된 상을 β상 이라 한다.

(b) 19.2wt%,183℃

(c) 온도가 낮아짐에 따라 α상의 한계 고용도를 넘어 β상이 석출된다.

(d) 61.9wt%,183℃

(e) 19.2wt%

8.61

(a) 액상(소금물)이 상온에서 -30℃로 온도가 떨어지면 얼음(고상)과 소금(고상)이 석출되는 공정반응이 일어난다. 즉 액상이 다른 고상과 고상으로 변태된다.

(b) 공정반응

(c) $L_{(소금물)} \leftrightarrow S_{(얼음)} + S_{(소금)}$

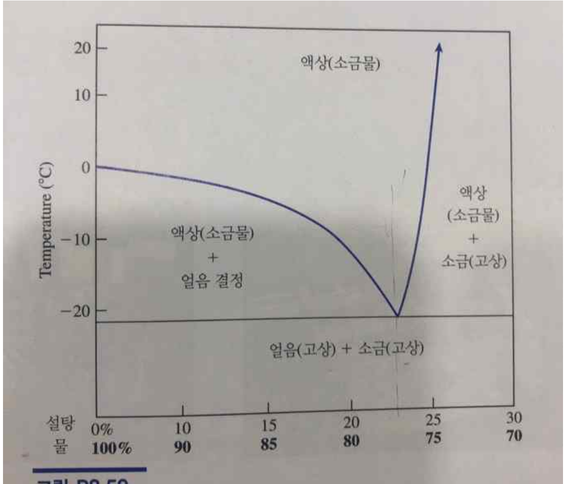


그림 P8.59

재료과학 9장(공업용 합금)

9.2

(a) 그 이유는 화합물(Fe_3C)은 실제 평형상이 아니기 때문이다. 어떤 조건 하에서 Fe_3C는 시멘타이트라하는데 철과 탄소의 더욱 안정된 상으로 분해된다. 대부분의 실제적인 경우 매우 안정되어 있다. 따라서 $Fe-Fe_3C$ 상태도는 실제 평형상태도가 아니라 준안정상태도이다.

(b)

(i) 오오스테나이트 : γ-Fe에 탄소의 침입형 고용체이다. FCC 결정구조이고 α 페라이트보다 더 높은 탄소의 고용도를 가지고 있다. 탄소 고용도는 1148일 때 2.08%로 최고이고, 723에서는 0.8%로 감소한다.

(ii) α 페라이트 : BCC Fe 결정격자 내의 탄소의 침입형 고용체이다. 탄소는 α 페라이트에 소량만 고용되고 723℃에서 0.02%의 최대 고용도를 가지게 된다.

(iii) 시멘타이트: 6.67% C와 93.3% Fe의 조성이다. 화학식은 Fe_3C이며 원자백분율로는 Fe 75at%-C 25at%이며 결정구조는 사방정(orthorhombic)이다.

(iv) δ 페라이트: δ철의 탄소 침입형 고용체이다. α 페라이트와 같은 BCC 결정구조이지만 더 큰 격자상수를 가지고 있다. 탄소의 최대고용도는 1465℃에서 0.09%이다.

(c)

포정반응

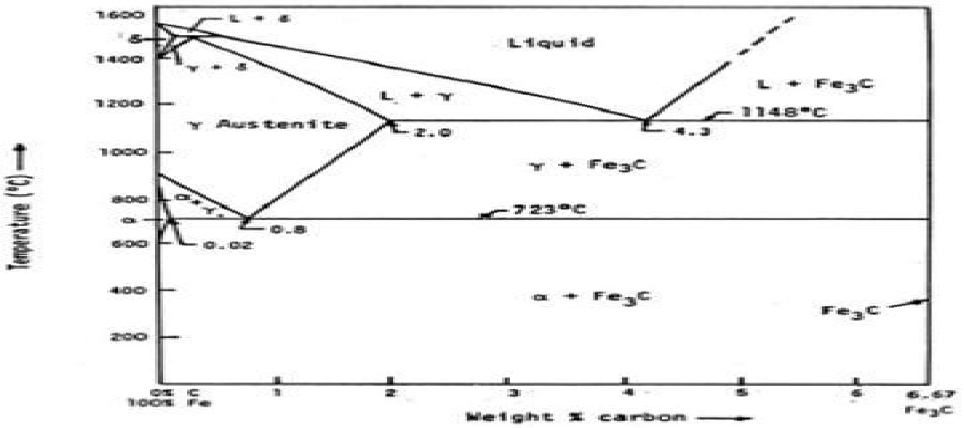
액상(0.53%C) + δ 페라이트(0.09%C) $\xrightarrow{1495℃}$ γ 오스테나이트(0.17%C)

공정반응

액상(4.3%C) $\xrightarrow{1148℃}$ + γ 오스테나이트(2.08%C) + 시멘타이트(6.67%C)

공석반응

오스테나이트(0.8%C) $\xrightarrow{723℃}$ α 페라이트(0.02%C) + 시멘타이트(6.67%C)



9.3

$$\alpha Fe = \frac{6.67-0.8}{6.67-0.02} \times 100 = 88\%$$
$$Fe^3C = \frac{0.8-0.02}{6.67-0.02} \times 100 = 12\%$$

9.4

(a) 공석강은 0.8% C를 함유한 보통 탄소강이다.
(b) 아공석강은0.8% C 이하를 함유한 탄소강이다.
(c) 과공석강은0.8% C 이상을 함유한 탄소강이다.

9.5

접두사 초(pro)는 "먼저"라는 뜻으로 초석 페라이트라는 용어는 먼저 생성된 성분으로 냉각 중 나중에 공석반응에 의해 생기는 공석 페라이트와 구분하기 위해서 사용한다.

9.6

(a) 보통 탄소강에서 마르텐사이트는 준안정상태로, BCC 또는 BCT 철의 과포화 칩입형 탄소 고용체로 이루어져 있다. 마르텐사이트는 오오스테나이트에서 급속 냉각에 형성된다.

(b)

1) 래스마르텐사이트는 Ms온도가 높고 탄소함량이 적을 때 슬립이 발생하면서 변태가 일어난다. 또한 전위(dislocation)밀도가 높다.

2) 판상 마르텐사이트는 Ms온도가 낮고 탄소함량이 높을 때 쌍정이 발생한다.

(c) 냉각속도가 빨라서 원자의 확산이 일어나지 못하고 오스테나이트로 과냉되다가 저온이 되어 에너지적으로 불안(높은 에너지)해지고 에너지를 낮추기 위하여 전단(shear)에 의해 FCC에서 BCC로 격자변태가 발생한다.

(d) 탄소 함량이 0.2% C보다 적은 Fe-C 마르텐사이트의 경우는 오오스테나이트가 BCC α 페라이트 조직으로 변태한다. Fe-C합금의 탄소 함량이 증가하면, BCC구조는 뒤틀려서 BCT(체심 정방격자) 결정구조로 변화한다. γ철 FCC 결정구조에서 가장 큰 침입형 공간은 지름이 0.104nm (그림9.17a)인 반면 α철 BCC구조에서 가장 큰 침입형 공간은 지름이 0.072nm(그림9.17b)이다. 탄소 원자의 지름이 0.154nm이기 때문에 FCC γ철 격자에서 최대한으로 침입형 고용체로 이루어질 수 있다. 0.2% C 이상의 Fe-C 마르텐사이트는 오오스테나이트에서 급랭하여 생성되고 BCC 격자에서 축소된 침입형 공간은 탄소 원자가 BCC 단위격자의 C축을 기준으로 뒤틀어 탄소 원자를 수용될 수 있게 한다, (그림9.17c). 그림 9.18은 탄소 함량이 증가함에 따라 Fe-C 마르텐사이트 격자의 c축이 어떻게 증가하는가를 보여주고 있다.

(e) 탄소함량이 증가하면 경도와 강도 모두 증가하게 되는데 이는 고농도의 전위가 형성되거나 칩입형 고용체 강화에 의해 강도가 높아지는 것이고, 판상 마르텐사이트 내의 수많은 쌍정계면들이 경도를 증가시킨다.

9.12

강이 오스테나이트 영역으로 가열되었다가 대기에서 냉각하는 것으로 목적은 결정립을 미세화하기 위해, 강의 강도를 증가시키기 위해(어닐링과 비교하여), 주조품, 단조품의 경우 조성적 편석을 줄여 더욱 균일한 구조를 얻기 위함이다.

9.13

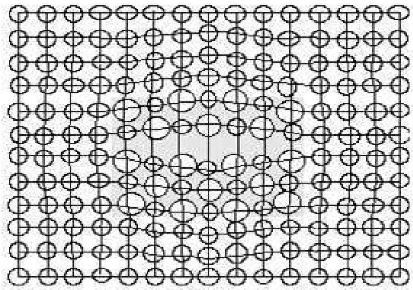
공석 변태온도 이하의 온도에서 마르텐사이트강을 가열하여 연하게 하고 더욱 연성을 주는 열처리이다.

9.18

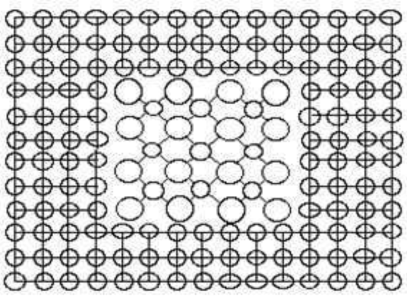
강의 경화능은 오스테나이트조건에서 급랭했을 때 얻어지는 경도의 깊이와 분포를 결정하는 성질이다. 강의 경화능은 (1) 강의 조성, (2) 오스테나이트 결정립 크기, (3) 급랭 전 강의 조직에 달려있다. 경화능은 강의 경도와는 다른 것이다.

9.24

석출물이란 고용체에서 고용한계선 아래까지 냉각하면 고용되어 있던 합금 원소가 냉각에 의한 과포화를 견디지 못하면서 석출되게 되는 현상이다. 그렇게 석출되는 것은 정합 석출물과 부정합 석출물이 있는데 둘의 차이는 명확하다. 정합 석출물은 모상과 석출물의 격자가 연속적으로 연결되어 있어서 계면은 없고 석출물 주위에 탄성변형장이 형성된다. 부정합 석출물은 모상과 석출물의 격자들 사이에 연속성이 없어서 탄성변형장은 없고 대신 계면에너지가 발생하게 된다.



<정합 석출물>



<부정합 석출물>

9.32

(a) 스테인리스에는 일반 탄소강에 니켈과 크롬이 함유되는데 녹을 방지하는 내식성은 크롬(약 12~13 wt%) 원소가 영향을 준다.

(b) 크롬산화물(Cr_2O_3)가 부동태 피막을 이룬다. 산화막의 구조가 매우 치밀하여 산소의 투과를 막는 passive layer이다.

(c) 마르텐사이트계 스테인리스강, 페라이트계 스테인리스강, 오스테나이트계 스테인리스강, 듀플렉스 스테인리스강 (페라이트+오스테나이트))

9.54

점차 냉각이 되면서 α페라이트(초석) + ɣ오스테나이트(L)영역이 형성이 되는데 온도가 더 내려감에 따라서 α페라이트(초석)의 양이 증가하면서 오스테나이트의 탄소 농도가 증가하고 공석변태온도 직상에서 오스테나이트의 탄소농도가 공석조성(0.8%C)가 되어 이것이 펄라이트로 변하는데 이때 펄라이트는 α페라이트 + 시멘타이트(Fe_3C)로 구성이 되어 있다.

9.59

$723℃-\Delta T$ 에서 공액선을 그어주면, 지렛대의 원리에 의해,

(a) 초석 페라이트(α) wt% = $\frac{0.8-0.25}{0.8-0.02}\times 100\% = 71\%$

(b) 공석 시멘라이트(Fe_3C) wt% = $\frac{0.25-0.02}{6.67-0.02}\times 100\% = 3\%$

(초석 시멘라이트는 생성되지 않았다.)

공석 페라이트(α) wt% = 전체 페라이트 wt% - 초석 페라이트 wt% = 97% - 71% = 26%

9.71

$723℃-\Delta T$ 에서 공액선을 그어주면, 지렛대의 원리에 의해,

(a) 초석 시멘타이트(Fe_3C) wt% = $\frac{1.10-0.8}{6.67-0.8}\times 100\% = 5.1\%$

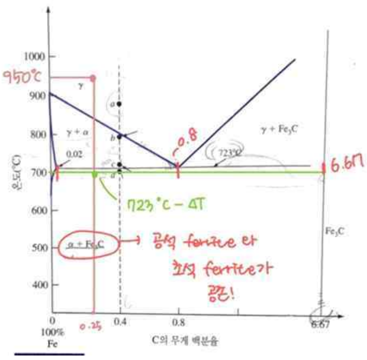
(b) 공석 페라이트(α) wt% = $\frac{6.67-1.10}{6.67-0.02}\times 100\% = 83.8\%$

(초석 페라이트는 생성되지 않았다.)

전체 시멘타이트(Fe_3C)wt% = $\frac{1.10-0.02}{6.67-0.02}\times 100\% = 16.2\%$

공석 시멘타이트 = 전체 시멘타이트 - 초석 시멘타이트

= 16.2%-5.1%=11.1%



9.91

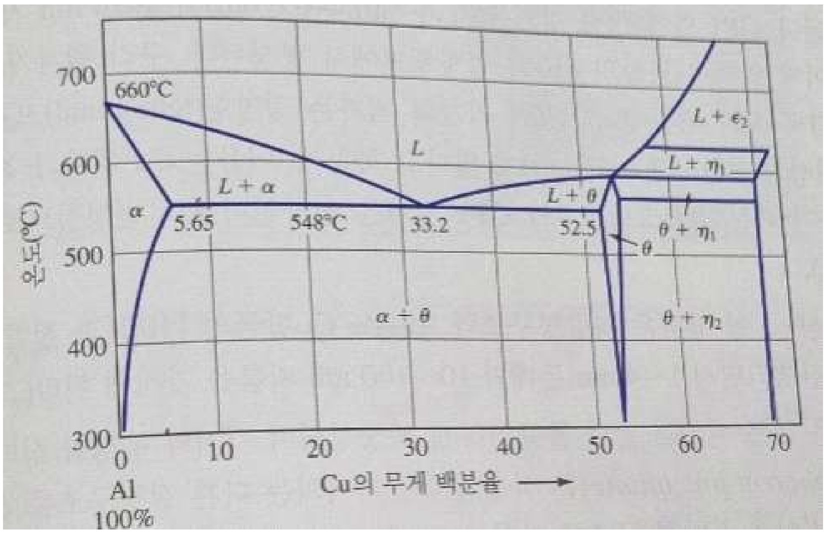
$$\theta\,wt\% = \frac{5.0-0.02}{54.0-0.02}\times 100\% = 9.22\%$$

9.92

$$(a)\text{초정}\alpha = \frac{33.2-8.5}{33.2-5.65}\times 100\% = 89.7\%$$

$$(b)\text{공정}\alpha = \frac{52.5-8.5}{52.5-5.65}\times 100\% = (93.2-89.7)\% = 4.2\%$$

$$(c)\theta\,wt\% = \frac{8.5-5.65}{52.5-5.65}\times 100\% = 6.08\%$$



<Al-Cu 이원계 상태도>

재료과학 11장(세라믹스)

11.1

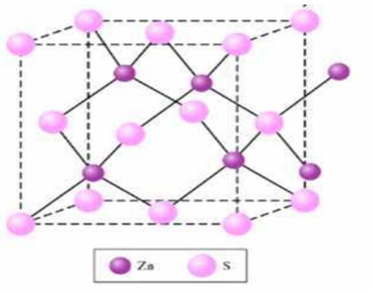
세라믹은 비금속 무기재료로 금속과 비금속원소로 구성된다.
또한 세라믹 재료는 이온 결합 및 공유결합에 의해 결합된다.

11.5

(a) 배위수는 중앙에 존재하는 양이온을 둘러싸고 있는 음이온의 수이다.
(b) 임계반경비는 중심 양이온의 반지름 대 주변 음이온의 반지름의 비율을 말한다.

11.6

단위격자에 4개의 Zn원자와 4개의 S원자가 존재하는 것으로, Zn 또는 S가 FCC의 격자점에 있고, 다른 것은 FCC 격자의 사면체 자리에 위치한다.또한, 배위수는 4를 가지며 다른 원자와
사면체를 이루면서 공유결합하고 CdS, InAs, InSb, ZnSe, SiC, ZnO가 비슷한 구조를 가진다.



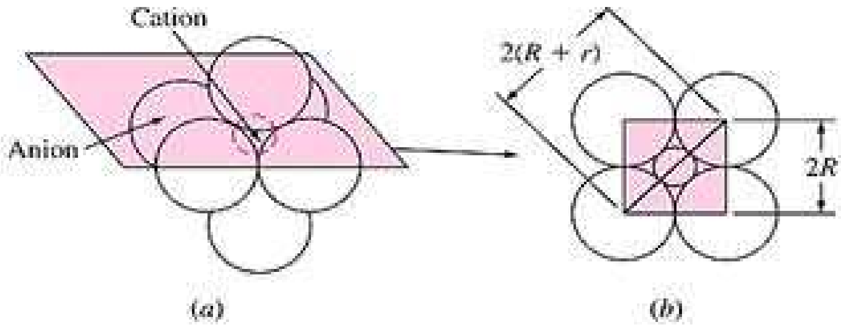
11.48

비부피, 온도 좌표평면 그래프에서 온도가 내려감에 따라 비부피 대 온도의 기울기 곡선이 상대적으로 급격히 변화하는 좁은 온도범위에서 고무처럼 연한 가소성상태에서 취성을 가진 유리질 상태로 전이하는 범위의 평균온도. 상대적으로 취성이 큰 상태에서 기울기와 점성이 낮은 상태에서 기울기가 만나는 점으로 고무 상태에서 유리질로 변화하는 온도로 정리할 수 있다.

11.64

$2(R+r):2R=\sqrt{2}:1$이므로 $\sqrt{2}R=R+r$이다.

따라서 $\frac{r}{R}=0.414$이고 양이온은 6개의 음이온으로 둘러 쌓여있다.



11.65

(a) BaO 의 이온반지름 비는 $\frac{r_{양이온}}{r_{음이온}}$

$$\frac{Ba^{2+}}{O^{2-}}=\frac{0.143nm}{0.132nm}=1.08\ (\text{반지름 비})$$

(b) LiF 의 이온반지름비는 $\frac{r_{양이온}}{r_{음이온}}$

$$\frac{Li^{+}}{F^{-}}=\frac{0.078}{0.133}=0.59\ (\text{반지름 비})$$

11.67

이온 반지름은 Ba^{2+}= 0.143nm, O^{2-}= 0.132nm,
Li^{+}= 0.078nm , F^{-}= 0.133nm 임.

CsCl 의 격자 길이 a를 구하는 식은 $\sqrt{3}\,a = 2r + 2R$ 이다.

$a = \frac{2}{\sqrt{3}}(0.165nm + 0.196nm) = 0.42nm$ 이다.
단위가 g/cm^3 이니, $4.2 \times 10^{-8}cm = a$

이온격자 내 충진량 = $\frac{(1Cs^{+} \times 132.9g/mol) + (1Br^{-} \times 79.90g/mol)}{6.02 \times 10^{23}(ions)/mol} = 3.53 \times 10^{-22}g$

배위수 = $\frac{\text{격자내이온부피}}{\text{격자부피}} = \frac{3.53 \times 10^{-22}g}{(4.2 \times 10^{-8}cm)^3} = 4.76g/cm^3$

11.71

(a) r/R=0.689이므로 CN=6이다. 1:1결합을 하며 배위수가 6인
결정구조 는 염화나트륨 결정구조를 이룬다.
a=2R+2r=0.446nm, 단위격자 내에는 Mn^{2+}4개, O^{2-}4개가 들어간다.

$$APF = \frac{4 \times \frac{4}{3}\pi(0.091nm)^3 + 4 \times \frac{4}{3}\pi(0.132nm)^3}{(0.446nm)^3} = 0.58$$

(b) r/R=0.962이지만 예외로 결정구조는 염화나트륨 결정구조를 이룬다.
a=2R+2r=0.518nm, 단위격자 내에는 Sr^{2+}4개, O^{2-}4개가 들어간다

$$APF = \frac{4 \times \frac{4}{3}\pi(0.127nm)^3 + 4 \times \frac{4}{3}\pi(0.132nm)^3}{(0.518nm)^3} = 0.52$$

11.72

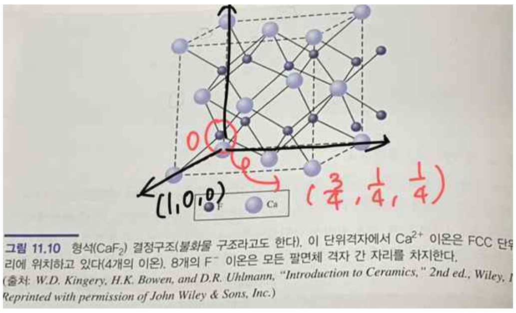
$$ZnTe\text{의 질량} = \frac{4Zn^{2+}atom \times 65.38g/mol + 4Te^{2-}atom \times 127.6g/mol}{6.02 \times 10^{23}atom/mol} = 1.28 \times 10^{-21}g$$

$$\frac{\sqrt{3}}{4}a = R + r\text{이므로 } a = 0.679nm = 6.79 \times 10^{-8}cm$$

$$ZnTe\text{의 밀도} = \frac{1.28 \times 10^{-21}g}{(6.79 \times 10^{-8}cm)^3} = 4.09g/cm^3$$

11.74

CaF_2 의 결정구조는 왼쪽 사진과 같다.
따라서 ZrO_2s 는 8개의 산소이온과 4개의 아연 이온으로 이뤄져있다.



$$\text{밀도} = \frac{\text{질량/단위격자}}{\text{부피/단위격자}}$$ 이므로,

$$ZrO_2\text{의 질량} = \frac{(4Zr^{4+} \times 91.22g/mol) + (8O^{2-} \times 16g/mol)}{6.02 \times 10^{23}atoms/mol} = 8.19 \times 10^{-22}g$$

단위격자의 부피 = a^3 인데 산소 이온의 위치는 $(\frac{3}{4}, \frac{1}{4}, \frac{1}{4})$ 이므로,

$$R + r = \frac{\sqrt{3}}{4}a, \; a = \frac{4}{\sqrt{3}}(R + r) = 0.505nm$$

따라서 밀도는 $\text{밀도} = \frac{8.19 \times 10^{-22}g}{(0.505 \times 10^{-7}cm)^3} = 6.359g/cm^3$

11.90

$K_{ic} = Y\sigma_f\sqrt{\pi a} =$ 파괴인성 $= 3.4Mpa \cdot \sqrt{m}$ Y = 무차원 상수 = 1

$\sigma_f =$ 파괴응력 $= 250Mpa$ a = 가장큰 내부흠 크기의 반

$$\sqrt{a} = \frac{K_{ic}}{Y\sigma_f\sqrt{\pi}} = \frac{3.4Mpa\sqrt{m}}{1\times 250Mpa\times\sqrt{\pi}} = 7.67\times 10^{-3}\sqrt{m}$$

$$a = 5.89\times 10^{-5}m \quad \therefore 2a = 1.18\times 10^{-4}m$$

11.103

$$\eta^* = \eta_o e^{+Q/RT},\ \eta_1 = \eta_o e^{+Q/RT_1},\ \eta_2 = \eta_o e^{+Q/RT_2},\ T_1 = 843K$$

$$\frac{\eta_1}{\eta_2} = \exp\left[\frac{Q}{R}\left(\frac{1}{T_1} - \frac{1}{T_2}\right)\right]$$

$$\frac{10^{14.3}p}{10^{9.9}p} = \exp\left[\frac{430\times 10^3 J/mol}{8.314J/mol\cdot K}\left(\frac{1}{843K} - \frac{1}{T_2}\right)\right]$$

$$\ln 10^{4.4} = \left[51720\left(\frac{1}{843K} - \frac{1}{T_2}\right)\right]$$

$$T_2 = -\left(\frac{\ln 10^{4.4}}{51720} - \frac{1}{843K}\right)^{-1}$$

$$= 1009.7K = 736.7℃$$

재료과학 12장(복합재료)

12.1

재료계의 관점에서 볼 때 복합재료란 형태와 화학조성이 다르고 서로 용해되지 않는 2개 혹은 그 이상의 미시 혹은 거시적 성분의 혼합이나 조합에 의해 구성된 재료를 말한다.

12.8

일반적으로 3단계 공정을 거쳐 생산된다. 1단계로는 안정화, 2단계로는 탄화 3단계 로는 흑연화 단계이다. 안정화 단계에서 PAN 섬유는 인장응력이 가해진 상태에서 각 섬유들이 섬유의 방향으로 배열되며 망상이 형성되도록 늘어난 후 200~220C에서 공기 중 산화반응이 일어난다. 탄화단계에서는 안정화된 섬유로부터 O,H,N이 제거되어 탄소섬유로 변화될 때까지 가열시킨다. 대게 1,000~1,500C에서 하며 각 섬유 내에 흑연성 미세섬유나 리본이 생성되며 이로 인해 인장강도가 매우 크게 증가한 다. 흑연화 단계에서는 탄성계수가 증가하는데 1,800C 정도에서 열처리되어 각 섬유 내부에 흑연 결정의 우선 방위가 증가된다.

12.32

아라미드섬유 내부에서는 아미노기와 카르복시기에서 물이 빠지고 결합하는 방식인 아마이드결합을 통하여서 결합하고 있으며 아라미드 섬유 사이에서는 수소 결합에 의해 횡 방향으로 붙잡혀 있다.

12.39

CFRP이라고 하는 탄소섬유강화 플라스틱에서 탄소섬유는 Renforecing Material (보강재)의 역할을 수행하며 기지재에 들어가 고강도, 고인성의 강성을 부여해준다. 기지 플라스틱은 Matrix라고 하여 fiber(섬유)를 고정해주고 강화 플라스틱의 본래 구조를 잘 조성시켜주는 바탕의 역할을 한다.

12.41

복합재료의 부피가 $1cm^3$라고 가정하면 복합재료의 무게는 1.615g이 된다. 이때 탄소섬유의 부피는 $V_f cm^3$이라고 가정하면 에폭시수지의 부피는 $(1-V_f)cm^3$이 된다. 에폭시수지와 탄소섬유의 무게 합은 복합재료 무게와 같음을 이용하여 구한
다.

1.165g = 1.21g$(1-V_f)$ + 1.74g $\times V_f$

1.165g - 1.21g = (1.74 - 1.21) V_f

$V_f = 0.764cm^3$ $V_m = 0.236cm^3$

부피백분율$= \frac{V_f}{Ve} \times 100\% = 76.4\%$

(b) $m_f = 1.33g$ $m_m = 0.286g$

$W_f = \frac{m_f}{m_f + m_m} \times 100\% = 82.3\%$ $W_m = \frac{m_m}{m_f + m_m} \times 100\% = 17.7\%$

12.43

54×10^6psi = 373GPa, 0.550×10^6psi = 3.8GPa (1ksi=6.9Mpa, 1000ksi=1psi)

$E_c = E_f V_f + E_m V_m$

$V_f = 0.64$ $V_m = 0.36$

$E_f = 373GPa$ $E_m = 3.8GPa$ $E_c = 240GPa$

12.44

문제 12.43은 등변형률을 나타내고 있으므로 p.596의 (식12.2)에 의하여 등변형 조건에서

$\sigma_c = \sigma_f V_f + \sigma_m V_m$ $\sigma_c =$(0.64×0.31×10^6psi) + (0.36×9.20×10^3psi) = 201.×10^3 psi=1.39GPa

탄소섬유에 걸리는 하중의 정도는

$$E_c = E_f V_f + E_c V_c = (54\times10^6)(0.64) + (0.55\times10^6)(0.36) = 34.75\ psi = 239.7GPa$$

$$\frac{P_f}{P_c} = \frac{E_f V_f}{E_c V_c} = \frac{(372.3GPa)(0.64)}{(239.7GPa)(1.0)} = 0.995$$

12.48

p.599의 (식12.17)에 의해서 등 응력 조건일 때,

$$E_c = \frac{E_m E_f}{V_f E_m + V_m E_f} = \frac{340\times10^9 pa \times 4.50\times10^9 pa}{(0.62\times4.50\times10^9 pa) + (0.38\times340\times10^9 pa)} = 11.6\,GPa$$

12.52

$$2C_3S + 6H_2O \rightarrow C_3S_2 \cdot 3H_2O + 3Ca(OH)_2$$
$$2C_2S + 4H_2O \rightarrow C_3S_2 \cdot 3H_2O + Ca(OH)_2$$

C_3S는 매우 빨리 경화되어 포클랜드 시멘트 초기 강도의 주요 원인이 된다.

이는 수화가 매우 빨리 진행되어 빠른 속도로 열을 방출한다.

C_2S는 수화반응이 느리므로 1주일 이후 강도가 증가하는 원인이 된다.

12.80

$$E_{comp} = f_{sic}E_{sic} + f_{Ti_3Al}E_{Ti_3Al} \quad \rightarrow \quad f_{Ti_3Al} = 1 - f_{sic}$$

$$220GPa = f_{sic}(390GPa) + (1-f_{sic})(145GPa) \quad \rightarrow \quad 220GPa - 145GPa = 390GPa \cdot f_{sic} - 145GPa \cdot f_{sic}$$

$$f_{sic} = \frac{220GPa - 145GPa}{390GPa - 145GPa} = 0.306$$

12.85

탄성계수: $E_{comp} = f_{Al_2O_3} E_{Al_2O_3} + f_{sic} E_{sic} = 0.70 \times 350GPa + 0.30 \times 340GPa = 347.0GPa$

탄성변형률: $\varepsilon_{comp} = \dfrac{\sigma_{comp}}{E_{comp}} = \dfrac{P_{comp}/A_{comp}}{E_{comp}} = \dfrac{8MN/(55 \times 10^{-4} m^2)}{347 \times 10^3 MPa} = 4.19 \times 10^{-3}$

재료과학 14장 (재료의 전기적 특성)

14.01

옴의법칙

$i=\frac{V}{R}$(거시적 형태), $J=\frac{E}{\rho}$ or $J=\sigma E$(미시적 형태)

거시적 형태 전류(A), V=전위차(V), R=선의 저항(Ω)

미시적형태

J=전류밀도(A.), E=전기장(V/m), ρ=전기비저항(Ω*m), σ=전기전도도$(\Omega * m)^{-1}$

14.02

전기전도도는 전기비저항의 역수이며 반비례 관계를 가진다.

14.05

금속의 온도가 증가하면 이온 중심부들은 보다 더 진동을 하게 되고, 다수의 열적 여기된 탄성파들은 전도전자들을 산란시켜, 충돌 간의 평균자유행정과 시간을 감소시키게 하여 전기비저항이 증가하게 된다.

Phonon(포논) : 결정 속을 파동으로 전파되는 격자의 열적 진동을 나타내는 입자

14.12

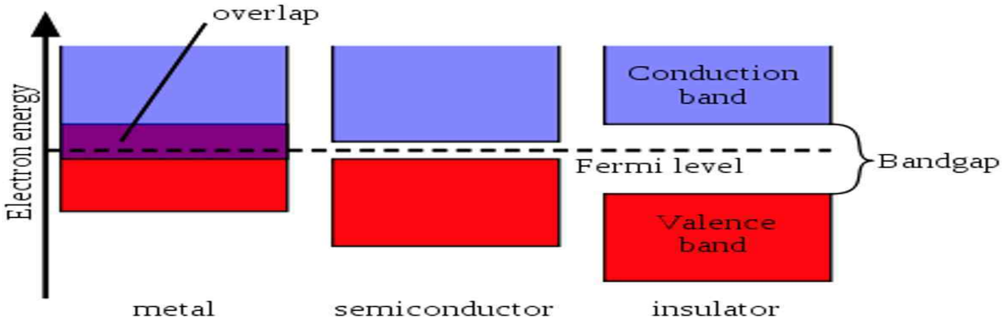
3s 에너지띠가 채워져 있다. 그럼에도 불구하고 좋은 전기전도도를 갖는 이유는 3s 띠가 3p 띠와 겹쳐져있고 그 안으로 일부의 전자들을 허용함으로써 부분적인 3sp결합띠(혼성오비탈)를 생성해서 부분적으로 채워진 3p 에너지띠를 보강해주기 때문이다.

14.13

순수반도체 즉 고유반도체는 순도가 매우 높은 반도체를 의미하며 이 말은 즉 이들의 전기전도도는 이들 원소의 고유전기특성에 좌우 된다는 말이다. 중요한 원소 2가지는 실리콘과 게르마늄이다. (이유=각각 4개의 가전자를 내놓음)

14.14

금속은 에너지띠가 중첩되어 있기 때문에 전기전도도가 높다. 하지만 반도체와 절연체는 밴드갭이 존재하는데, 절연체의 밴드갭은 반도체의 밴드갭보다 크다. 전자가 가전자대에서 전도대로 여기될 때 전도가 일어나므로, 밴드갭이 큰 절연체는 전도도가 낮다.



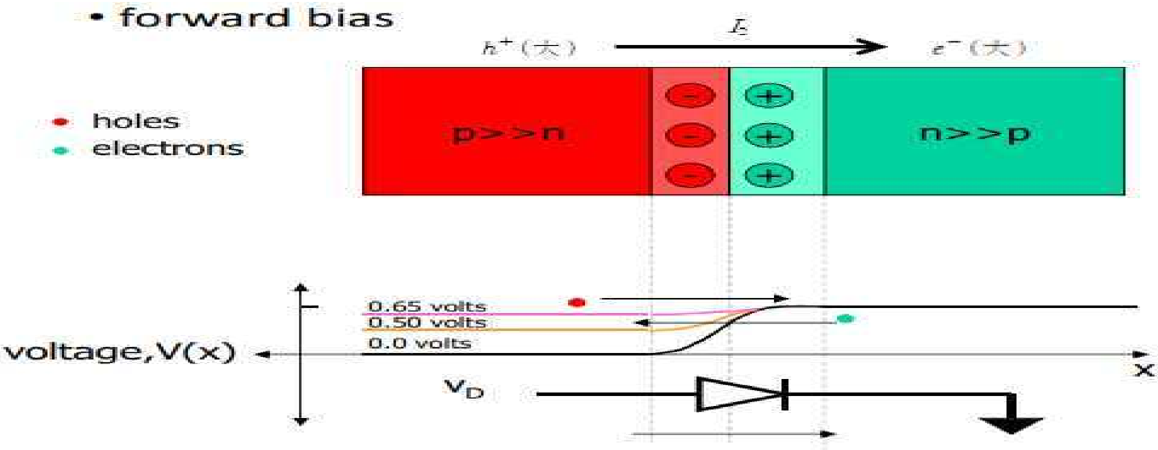
14.20

1) 5개의 원자가 전자를 가진 15족 원소를 Si반도체에 첨가하여 만든다. 15족 원소는 4개의 원자가를 가진 Si와 공유결합을 하게 되고 5번째 전자는 약하게 결합되었기 때문에 15족 원소로부터 쉽게 나올 수 있게 된다. 이 전자가 자유전자가 된다. 15족 원소는 전자를 내놓으면서 양이온이 되며, Si와 공유결합을 이루어 움직일 수 없다. n-type 반도체는 전자가 전기전도에 참여한다.

2) 3개의 원자가 전자를 가진 13족 원소를 Si반도체에 첨가하여 만든다. 13족 원소는 원자가 전자를 3개 가지고 있어서 Si로부터 전자하나를 받아들이게 된다. 전자를 받아들이면서 13족 원소는 정공을 내놓게 된다. 정공은 전자와 반대인 운동을 하며, p-type 반도체는 정공이 전기전도에 기여한다.

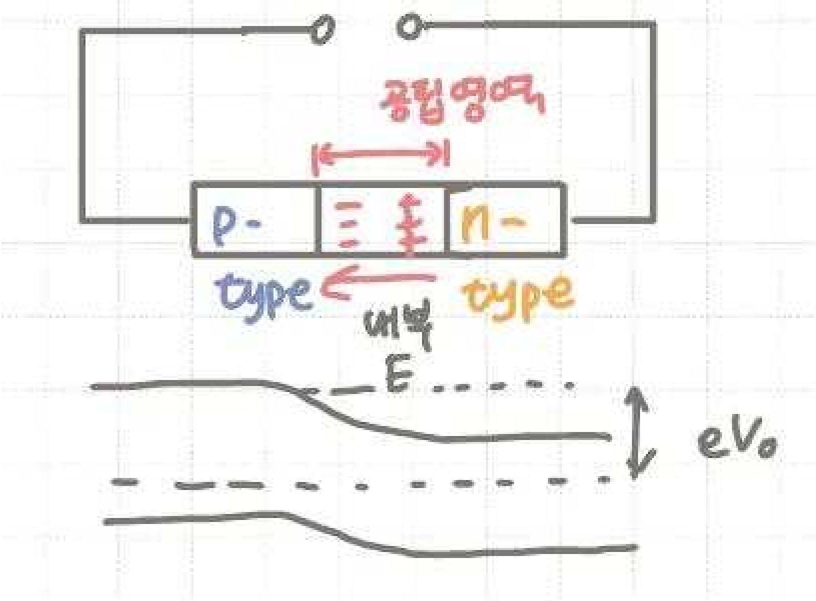
14.27

p-type에 높은 전위를 n-type에 낮은 전위를 인가한다. 외부에서 전압을 인가하면 평형상태에서 형성되어 있던 전압장벽이 외부 순방향 바이어스 전압만큼 감소하게 된다. 그래서 확산하는 정공과 전자가 증가된다. 이때 정공은 n-type로, 전자는 p-type로 확산하게 된다.



14.29

pn접합 다이오드 내에서 접합지점 또는 그 근처의 다수 운반자는 확산에 의해 접합을 건너가 재결합을 한다. 다수 운반자의 일부가 재결합한 후 반발에 의해 어느 정도의 시간이 흐르면 재결합이 멈추게 된다. 접합지점에서 움직임이 어려워지면 다수 운반자가 소진된 범위를 생성하며, 이를 고갈영역이라고 한다. P.722



14.31

정류 다이오드란 교류전압을 직류전압으로 변환하는 공정에 사용되는 다이오드를 말한다. AC(교류)신호가 접합 다이오드에 가해질 때, p영역이 n영역에 비해 양의 전압으로 인가될 경우에만 전도를 하며, 그 결과 반파 정류가 생성되게 된다. 이 출력신호는 다른 전자 소자와 회로에 의해 순화되어서 정상 DC신호가 생성되는 것이다. P.723~724

14.59

i= 전류, l=길이, P=전력, A=선의 단면적, σ=전기전도도, ρ=비저항

a) $P = iV = i^2 R,\ R = \rho \frac{l}{A},\ \rho = \frac{1}{\sigma}.\quad \therefore \sigma = \frac{i^2 l}{PA}$

$$\sigma = \frac{(25A)^2(1m)}{(2.5W)(1.26\times 10^{-5}m^2)} = 1.98\times 10^7(\Omega * m)^{-1}$$

b) $J = A/m^2 = 25A/(1.26\times 10^{-5}m^2) = 1.98\times 10^6 A/m^2$

14.66

$$R = \frac{V}{I}, A = \frac{\pi}{4}d^2$$

$$d = \sqrt{\frac{4\rho i}{\pi(V/l)}}$$

$$\rho_T = \rho_{0^\circ C}(1+\alpha_T T) = (9.0\times 10^{-6})[1+\frac{0.0045}{^\circ C}(20^\circ C)] = 9.81\times 10^{-6}\Omega \bullet C$$

$$d = \sqrt{\frac{4(9.81\times 10^{-6})(6.5)}{\pi(0.005)}} = 0.127cm = 0.00127m$$

14.70

(a) n형 반도체

$$N_a + n = N_d + p$$
$$N_a = 0, (n \gg p)$$
$$n_n = N_d = 10^{21}\text{원자}/m^3$$
$$np = n_i^2$$
$$p_n = \frac{n_i^2}{n_n} = \frac{n_i^2}{N_d} = \frac{(2.0\times10^{16})^2}{10^{21}} = 4\times10^{11} holes/m^3$$

(b) p형 반도체

$$\rho = \frac{1}{n_n q \mu_n}$$
$$= \frac{1}{10^{21}\times1.60\times10^{-19}\times0.39}$$
$$= 1.6\times10^{-2}\Omega \cdot m$$

14.72

$$p_p = \frac{1}{\rho q \mu_p} = \frac{1}{(2.6\Omega \cdot m)(1.60\times10^{-19}C)(0.048m^2/V \cdot s)}$$
$$= 5.01\times10^{19}/m^3$$

14.74

As는 n형 실리콘 반도체를 형성한다. 그러므로 전하운반자의 이동도는 300K에서 실리콘 내 전자의 이동도인 0.135$m^2/(V \cdot s)$라고 가정한다 따라서

$$\rho = \frac{1}{n_n q \mu_n} \therefore n_n = \frac{1}{\rho q \mu_n}$$
$$n_n = \frac{1}{(7.50\times10^{-4}\Omega \cdot cm)(1.60\times10^{-19}C)(0.1350m^2/V \cdot s)(10^4 cm^2/m^2)}$$
$$= 6.17\times10^{18}\text{전자}/cm^3$$

각각의As원자가 하나의 전자 전하운반자를 제공한다고 가정하면 , 이 재료에는 $6.17\times10^{18} As\, atoms/m^2$가 있게 된다. 입방미터당 실리콘 원자의 개수를 계산하면, 밀도는 2.33g/cm^3이고 원자량은 28.08g/mol이다.

$$\frac{Si\text{원자}}{m^3} = \left(\frac{6.023\times10^{23}\text{원자}}{mol}\right)\left(\frac{1}{28.08g/mol}\right)\left(\frac{2.33\times10^6 g}{m^3}\right)$$
$$= 5.00\times10^{28}\text{원자}/m^3 = 5.00\times10^{22} atoms/cm^3$$
$$\frac{As}{Si} = \frac{6.17\times10^{18} atoms/cm^3}{5.00\times10^{22} atoms/cm3} = 1.23\times10^{-4}$$

14.80

$q = e = 1.60 \times 10^{-19} C, n_i = 1.4 \times 10^{12} m^{-3}$
$\mu_n = 0.720 m^2 / V \bullet s, \mu_p = 0.020 m^2 / V \bullet s$
$\sigma_{300K} = n_i q(\mu_n + \mu_p) = 1.4 \times 10^{12} m^{-3} \bullet 1.60 \times 10^{-19} C[(0.720 + 0.020) m^2 / V \bullet s]$
$= 1.66 \times 10^{-7} (\Omega \bullet m)^{-1}$
$\sigma_{398K} = \sigma_0 \bullet e^{-1.47eV/2K \bullet 398}$
$\sigma_{300K} = \sigma_0 \bullet e^{-1.47eV/2K \bullet 300}$
$\frac{\sigma_{398K}}{\sigma_{300K}} = \exp(-1.47eV/2K \bullet 398 + 1.47eV/2K \bullet 300) = 1094.9$
$\sigma_{398K} = 1094.9 \times 1.66 \times 10^{-7} (\Omega \bullet m)^{-1}$
$= 1.82 \times 10^{-4} (\Omega \bullet m)^{-1}$

14.86

$C = \frac{q}{V} = \frac{6.5 \times 10^{-5} C}{12000 V} = \frac{k \epsilon_0 A}{d} = 5.42 \times 10^{-9} F$
$k = \frac{cd}{\epsilon_0 A}, \epsilon_0 = 8.85 \times 10^{-12} F/m, A = 3.0 \times 10^{-5} m^2, d = 0.18 mm$
$k = \frac{5.42 \times 10^{-9} F \bullet 1.8 \times 10^{-4} m}{8.55 \times 10^{-12} F/m \bullet 3.0 \times 10^{-5} m^2} = 3675$

재료과학 15장 (광학적 특성과 초전도 재료)

15.02

가시광선: 400nm~700nm의 파장

3.89×10^{14}Hz에서 7.69×10^{14}Hz의 진동수

자외선: 10nm~400nm의 파장

7.69×10^{14}Hz에서 3.00×10^{16}Hz의 진동수

적외선: 700nm~1mm의 파장

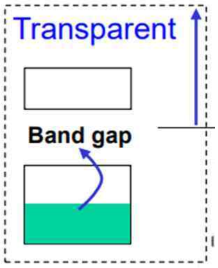
3.00×10^{11}Hz에서 3.89×10^{14}Hz의 진동수

15.06

금속의 에너지준위는 가전자대와 전도대가 중첩이 되어있어서 전자를 여기시키기 쉽지만 만약 너무 높은 에너지(전도대를 넘은)를 받게 된다면 빛은 밴드 갭에 있기 때문에 흡수되지 못하고 투과된다. 그래서 자외선 영역에선 중간까지 입사광을 흡수 또는 반사할 수 있다.

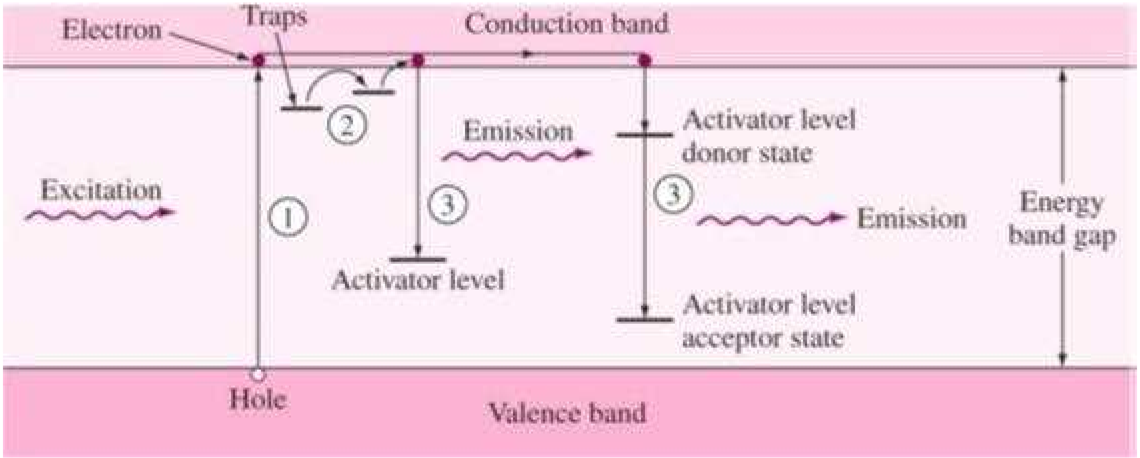
15.07

금속이 흡수하는 에너지량은 각각의 금속의 전자구조에 결정된다. Au는 가시광선이 들어오면 모두 흡수되고 파장이 큰 빨간색, 노랑색 계열만 방출하게 된다. 그래서 금은 황색으로 보인다. Ag는 가시광선이 들어오면 모두 흡수되고 다시 모두 방출시키기 때문에 은빛으로 보인다.



15.08

전자가 전도대 또는 트랩으로 여기함에 따라 전자-홀 싸이가 생성된다. 전자는 한 트랩에서 다른 트랩 혹은 전도대로 열적으로 여기될 수 있으며 이 전자는 상위 도너 준위로 떨어지고, 연속적으로 억셉터 준위로 떨어지면서 가시광선을 방출하게 된다.



15.14

‘레이저 박동’으로 표현한다. 이는 광자의 자극된 복사가 레이저에서 일어나기 전에 기저상태인 E_1보다 높은 비평형 준안정 에너지 전위 E_2로 더 많은 전자를 ‘박동해야 함을 나타낸다.

15.22

수은과 같은 금속이 온도가 감소함에 따라 전기저항값이 측정할 수 없을 정도로 낮은 값을 갖는 현상을 말한다.

15.33

$\Delta E = \frac{hc}{\lambda}$

h(플랑크상수) : $6.62 \times 10^{-34} J \cdot S$

C(빛의 속도) : $3.00 \times 10^{8} m/s$ (진공)

λ(파장) : $5.20 \times 10^{-7} m$

$\Delta E = \frac{hc}{\lambda} = \frac{(6.62 \times 10^{-34} J \cdot S)(3.00 \times 10^{8} m/s)}{5.20 \times 10^{-7} m} = 3.82 \times 10^{-19} J$

$1eV = 1.60 \times 10^{-19} J$

$\frac{3.82 \times 10^{-19} J}{1.60 \times 10^{-19} J} = 2.39 eV$

15.35

$(a) R = (\frac{n-1}{n+1})^2 = (\frac{1.47-1}{1.47+1})^2 = 0.036$

$\%R = 3.6\%$

$(b) R = (\frac{n-1}{n+1})^2 = (\frac{1.53-1}{1.53+1})^2 = 0.044$

$\%R = 4.4\%$

15.38

$R = (\frac{n-1}{n+1})^2 = (\frac{1.51-1}{1.51+1})^2 = 0.0413$

$I = (1-R)^2 (I_0 e^{-\alpha t}) = (1-0.0413)^2 [(1.0) \times e^{-(0.03cm^{-1})(0.60cm)}] = 0.903$

15.41

$(a)\ CdSb$의 $E_g = 2.59eV$

$$\lambda_c = \frac{h_c}{E_g} = \frac{(6.62\times10^{-34}J\cdot s)(3.00\times10^{8}m/s)}{(2.59eV)(1.60\times10^{-19}J/eV)} = 4.792\times10^{-7}m = 479.2nm$$

$\lambda_c = 479.27m \le 500nm$ $\therefore$투과한다.

$(b)\ ZnSe$의 $E_g = 2.67eV$

$$\lambda_c = \frac{h_c}{E_g} = \frac{(6.62\times10^{-34}J\cdot s)(3.00\times10^{8}m/s)}{(2.67eV)(1.60\times10^{-19}J/eV)} = 4.649\times10^{-7}m = 464.9nm$$

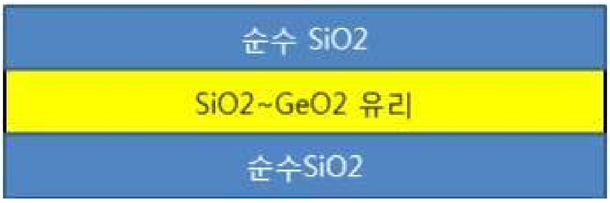
$\lambda_c = 464.9m \le 500nm$ $\therefore$투과한다.

(c) 다이아몬드의 $E_g = 5.40eV$

$$\lambda_c = \frac{h_c}{E_g} = \frac{(6.62\times10^{-34}J\cdot s)(3.00\times10^{8}m/s)}{(5.40eV)(1.60\times10^{-19}J/eV)} = 2.299\times10^{-7}m = 229.9nm$$

$\lambda_c = 229.9m \le 500nm$ $\therefore$투과한다.

15.49



$Snell's\ Law$를 이용하면 $\frac{n}{n'} = \frac{\sin\phi}{\sin\phi_c}$ $(n =$ 유리의 굴절지수, n' 대기의 굴절지수$)$

$\frac{1.4597}{1.4580} = \frac{\sin 90^\circ}{\sin\phi_c}$ 이므로 $\sin\phi_c = 0.99884$

따라서 $\phi_c = 87.2^\circ$ 이다.

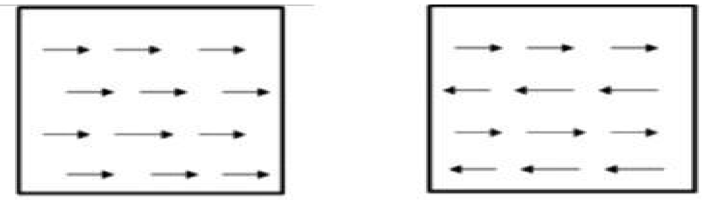
재료과학 16장(자성 특성)

16.1

$$B=\mu H=\mu_o H+\mu_o M=\mu_0 H+\mu_o \chi_m H=\mu_o(1+\chi_m)H=\mu_o \mu_r H$$

16.14

외부에서 자장을 가하면 자기상극자는 서로 반대방향으로 배열되는 자성이다. 망간(Mn), 크롬(Cr)은 실온에서 이러한 반강자성을 갖는다.



(b) 강자성 (c) 반강자성

16.15

원하는 자성체에 자장을 유지하거나 제거하는 큰 자장에 의해 나타난다. 외부의 자기장이 가해지지 않아도 자성을 유지한다. 강자성을 띠는 원소는 철(Fe), 코발트(Co), 니켈(Ni)이며, 희토류인 가돌리늄(Gd)은 16℃ 이하에서 강자성의 특징을 보이나 공업적으로 이용되지 않는다.

16.18

준강자성체는 원자의 자기모멘트가 이웃원자의 자기 모멘트와 반대 방향으로 배열되어도, 전체적인 자기 모멘트가 한 방향으로 배열되는 것이다. 또한, 이런 준강자성체를 페라이트라고 하며 화합물 중에는 마그네타이트(Fe_3O_4)가 있다. 또한 전기전도도가 낮은 페라이트는 많은 전자회로부품에 응용되고 있다.

16.19

자장 하에서 작은 양의 자화율을 나타내는 자성체를 상자성체라고 하며 외부 자장을 제거하면 곧바로 사라진다. 상자성체의 자화율은 10^{-6}에서10^{-2} 사이이며, 여러 가지 재료에서 나타난다.

16.21

강자성 또는 준강자성 재료에 있는 자기쌍극자 모멘트가 모두 한방향인 영역을 자구라고 한다.

16.23

외부에서 자장을 가하면서 궤도운동을 하는 전자의 상태가 조금 변화되어 외부인가 자장에 반대가 되는 원자들 사이에 작은 자기쌍극자를 형성한다. 이러한 음의 자성 효과를 반자성효과라 하며 이러한 특성을 가지는 재료를 반자성체라고 한다. 반자성체는 -10^{-6}정도의 매우 작은 음의 자화율을 나타낸다. 또한 이러한 대부분 음의 자기효과는 양의 자기효과에 상쇄된다.

16.24

철, 코발트, 니켈에서 짝을 이루지 않는 내부 3d 궤도 전자가 있기 때문이다.
또한 양의 교환에너지 값을 갖고 평행배열의 원자간의 거리가 3d 궤도 지름의 1.4 ~ 2.7배의 범위 내에 있기 때문에 강자성이다.

16.27

큐리온도는 가열할 때 강자성 재료가 강자성을 잃고 상자성체로 바뀌는 온도를 말한다.

16.41

연자성 재료란 쉽게 자화되고 탈자화 되는 재료를 말하며 경자성 재료란 자화하기도 어렵고 탈자화 하기도 어려운 재료를 말한다.

16.60

$MO \cdot M_2O_3$로 산소이온이 FCC격자를 이루고 M^{2+}이온이 8면체 공극을 차지하고, M^{3+}이온이 4면체 공극과 8면체 공극을 반씩 차지하는 세라믹 화합물이다.

16.61

산소이온이 FCC구조를 이루며 Mg^{2+}이온이 4면체 공극을 채우고 M^{3+}이온이 8면체 공극을 채우는 일반적인 세라믹 화합물이다.

16.66

FCC -> 4개의 원자, Ni -> 원자가 전자(홀전자) 수 = 2

$$M = [\frac{4 \times 2 Bohr\ Magneton/\text{단위격자}}{(3.52 \times 10^{-10} m)^3/\text{단위격자}}] \times (\frac{9.27 \times 10^{-24} Am^2}{\text{보어마그네톤}}) = 1.7 \times 10^6 A/m$$

16.68

$$N_{\mu_B} = \frac{M_s}{(\text{원자}/m^3)(\mu_B)},\ Cobalt = HCP\text{구조이다.}$$

$$HCP\text{의 부피} = a^2 c sin 60^\circ = 2.213 \times 10^{-29}\ (Co\text{의 } a = 0.2506nm,\ C = 0.4069nm)$$

$$\text{원자밀도} = \frac{2atom/HCP\ \text{단위격자}}{(2.213 \times 10^{-29} m^3)/HCP\text{단위격자}} = 9.038 \times 10^{28} atoms/m^3$$

$$N_{\mu_B} = \frac{1.42 \times 10^6 A/m}{(9.038 \times 10^{28} atoms/m^3)(9.27 \times 10^{-24} A \cdot m^2)} = 1.7 \mu_B/atom$$

16.72

$$\chi_m = \frac{M_s}{H},\ H = 10^5 A/m,\ \chi_m = 1.1 \times 10^{-6}\text{이므로 } M_s = 0.11A/m\text{이다.}$$

$$B = \mu_o (M_s + H) = (4\pi \times 10^{-7})\, T \cdot m/A \times (0.11A/m + 10^5 A/m) = 0.1257\,T$$

16.77

자성코어에 절연체 피복을 하거나 얇은 판을 여러 장 겹쳐 사용함으로써 손실을 줄인다. 또한, 전도자성 재료 사이에 각 층간의 절연층은 층간에 흐르는 와전류를 막는다. 높은 주파수에서 절연체인 연자성 재료를 사용하는 방법도 있다.

16.92

히스테리시스 루프를 도출해보면 루프 면적이 결정질 금속자성재료와 달리 비정질 금속자성재료는 면적이 좁다. 즉 비정질 금속자성재료는 연자성체이므로 약한 세기의 자기장으로도 자화와 탈자화가 쉽게 일어난다.

16.95

Ni^{2+}는 전자수가 26개로 4s오비탈에 전자 0개, 3d오비탈에 전자 8개가 존재한다. 따라서 자기모멘트는 $2\mu_B$를 갖는다. 1개의 단위정은 8개의 아격자로 이루어져 있으므로 단위정 내 자기모멘트는 $16\mu_B$이다.

$$\mu_B = \frac{eh}{4\pi m} = \frac{1.6\times10^{-19}C\times6.63\times10^{-34}J\bullet s}{4\pi\times9.11\times10^{-31}kg} = 9.27\times10^{-24}Am^2$$

$$M_s = \frac{8atoms/\text{단위정}}{(0.834\times10^{-9}m)^3/\text{단위정}} \times \frac{16\mu_B}{8atom} \times \frac{9.27\times10^{-24}Am^2}{1\mu_B} = 2.557\times10^5 A/m$$

$$\mu_o = 4\pi\times10^{-7}Tm/A$$

$$B_s = \mu_o \times M_s = 4\pi\times10^{-7}Tm/A\times2.557\times10^5A/m = 0.3213T$$