



Ch. 10. The Solid State



William Bradford Shockley
(1910-1989)

John Bardeen
(1908-1991)

Walter Houser Brattain
(1902-1987)

© 2005 Brooks/Cole - Thomson



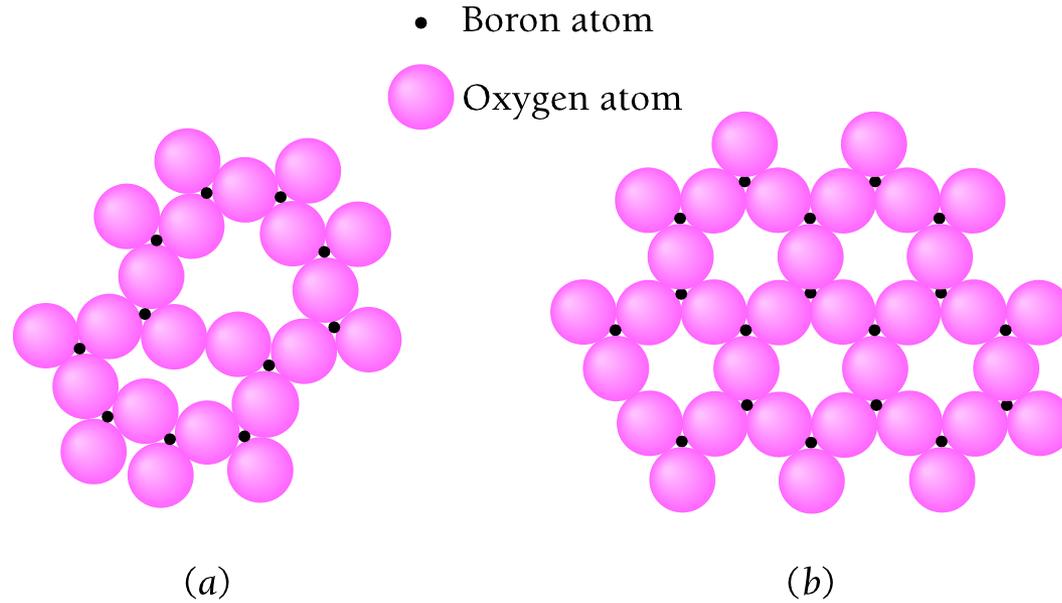
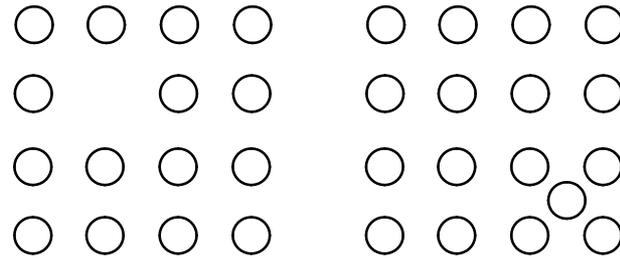
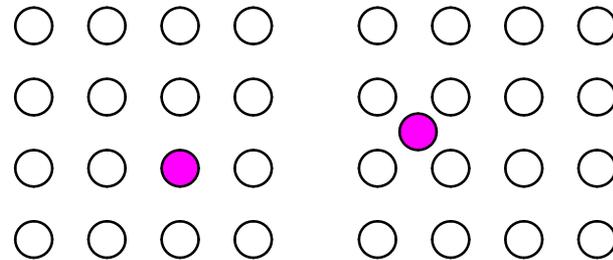


그림 10.1 B₂O₃의 2차원 표현. (a) 비결정 B₂O₃는 단거리 질서만을 드러낸다. (b) 결정 B₂O₃는 장거리 질서도 같이 드러내 보여준다.



(a)

(b)



(c)

(d)

그림 10.2 결정에서의 점 결함. (a) 빈자리, (b) 틈새에 낀, (c) 대체된 불순물, (d) 틈새에 낀 불순물.

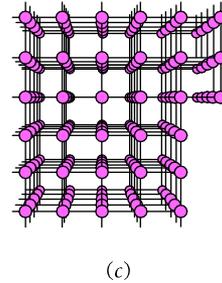
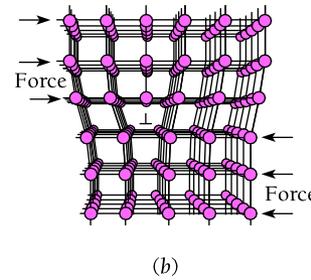
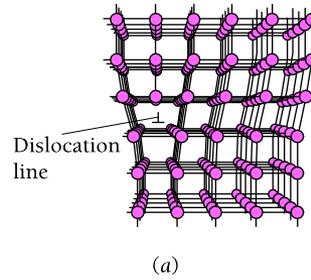


그림 10.3 결정에 변형력을 가하여 어긋나기가 구조상의 본래 위치로부터 벗어 날 때, 영구적인 변형을 일으킨다. (a) 모서리 어긋나기를 가지고 있는 처음의 결정구조. (b) 어긋나기는 어긋나기 아래층에 있는 원자들이 위층 원자와의 결합을 동시에 바꿈으로써 오른쪽으로 이동한다. (c)결정은 영구히 변형되었다. 이런 단계적 과정을 거치게 하는데는 한 층의 원자 모두들을 한꺼번에 다른 층에 대해 미끄러지게 하는데 필요한 힘보다 훨씬 적은 힘을 필요로 한다.

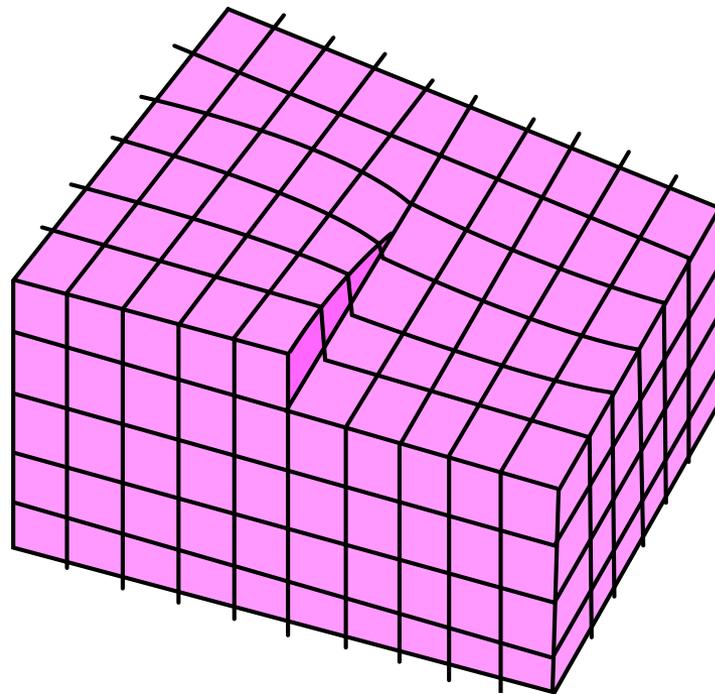


그림 10.4 나사형 어긋나기(screw dislocation).



Ionic Crystals

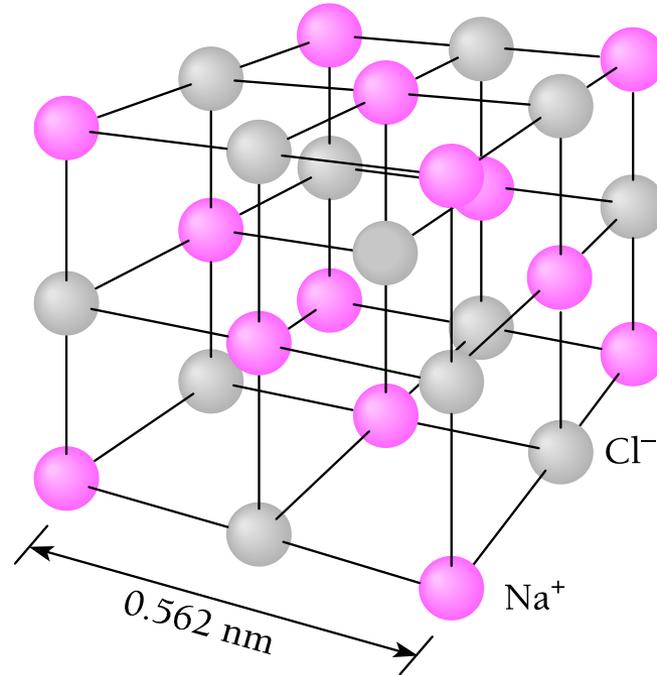


그림 10.5 NaCl 결정의 면심입방 구조. 배위수(coordination number: 각 이온 주위에 가장 근접한 이웃 이온들의 수)는 6이다.



Ionic Crystals

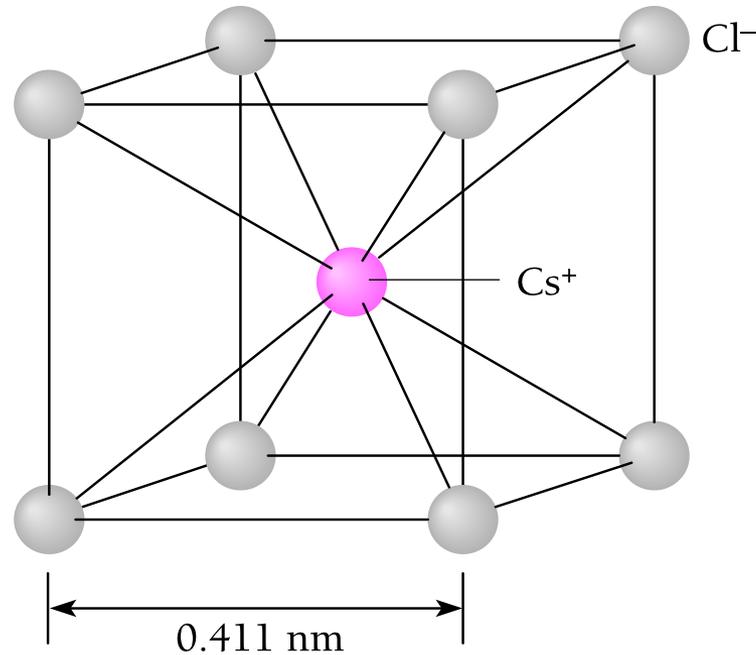
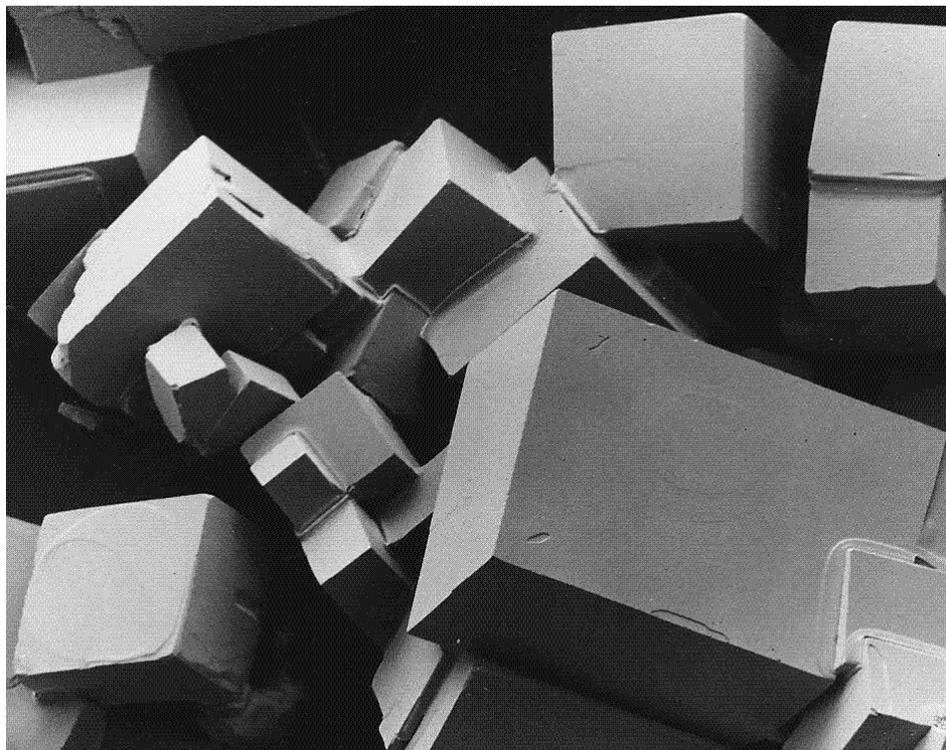
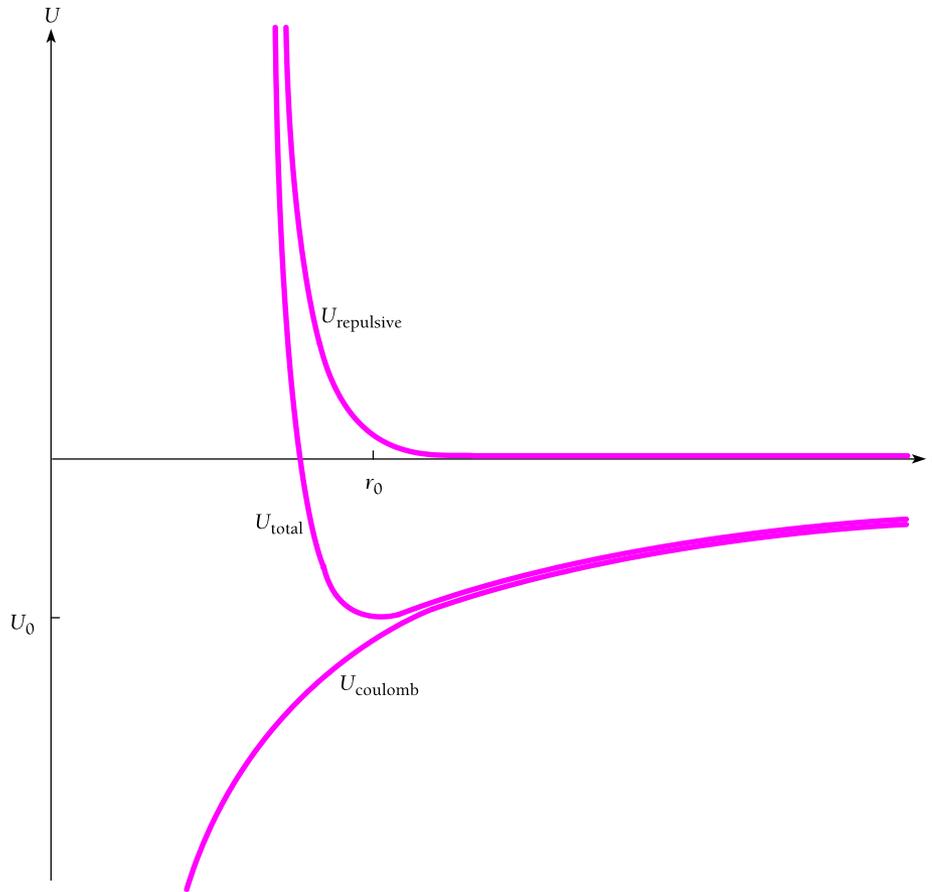


그림 10.6 CsCl 결정의 체심입방 구조. 배위수는 8이다.



소금의 전자 현미경사진. 결정의 입방구조가 모서리 어긋나기에 의해 종종 뒤 형클어진다.





$$U_{total} = -\alpha \frac{e^2}{4\pi\epsilon_0 r} + \frac{B}{r^n}$$

α : Madelung constant

$$\left(\frac{dU_{total}}{dr} \right)_{r=r_0} = 0$$

$$U_0 = -\frac{\alpha e^2}{4\pi\epsilon_0 r} \left(1 - \frac{1}{n} \right)$$

그림 10.7 이온 결정에서의 이온 간격 r 에 따르는 이온적인 퍼텐셜 에너지.



Covalent Crystals



가공되지 않은 다이아몬드. 인접한 탄소원소사이의 공유결합 세기가 다이아몬드를 단단하게 만든다.





Covalent Crystals

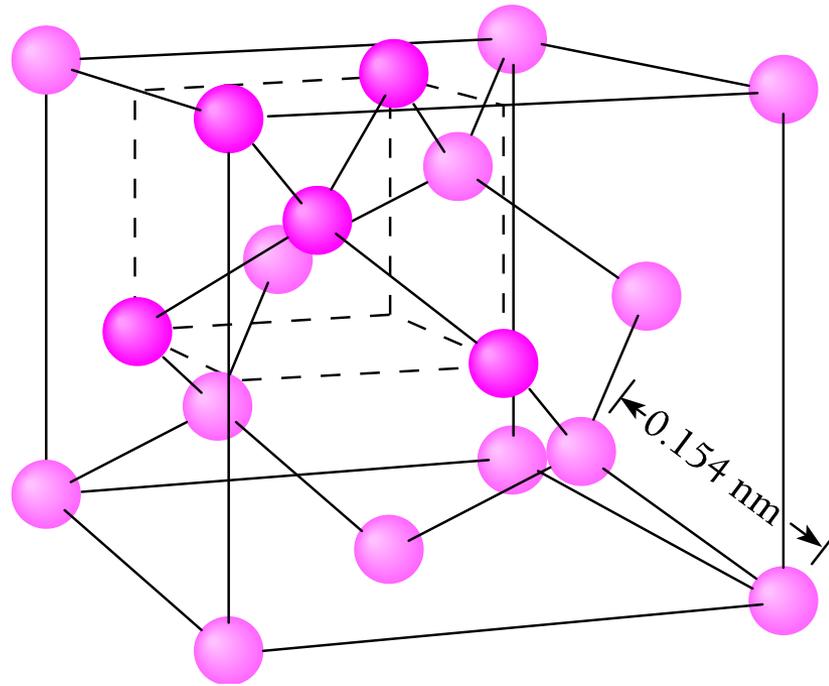


그림 10.8 다이아몬드의 사면체(tetrahedral)구조.
배위수는 4이다.

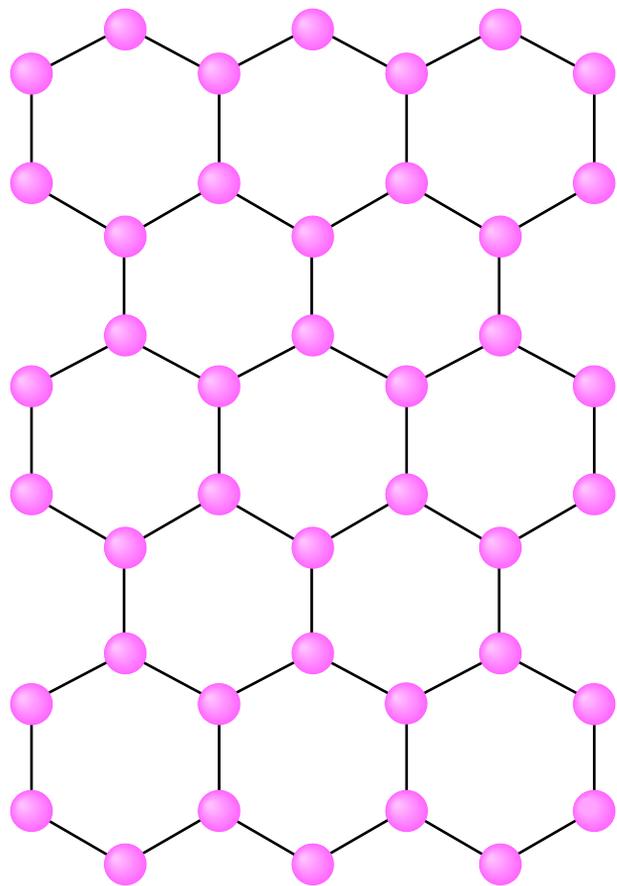


그림 10.9 흑연은 육각형의 탄소원자 층으로 이루어져 있고, 각각의 원자는 세 개의 다른 원자와 결합되어 있다. 각 층들은 약한 van der Waals 힘에 의해 결합되어 있다.



Fullerene

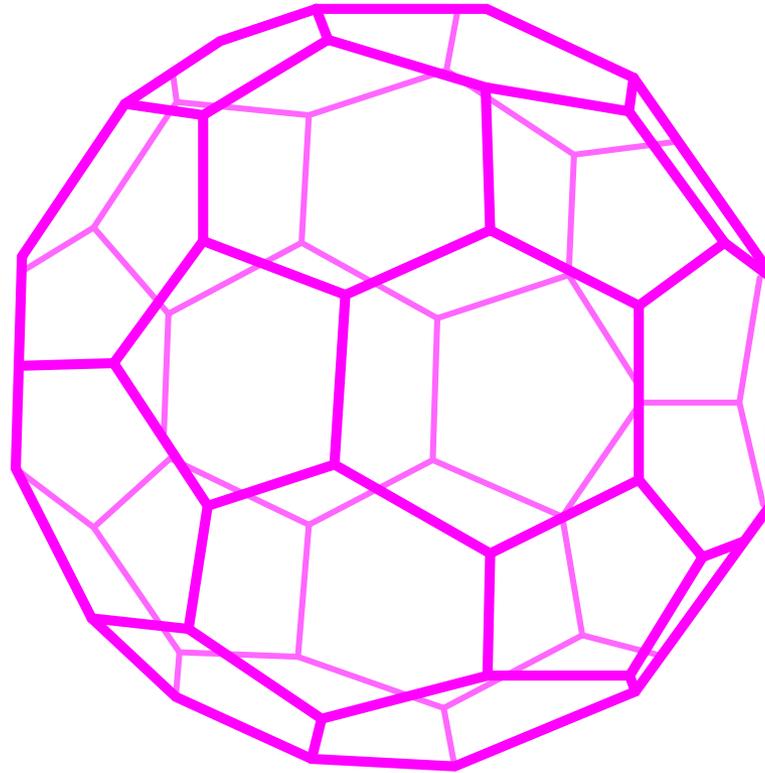
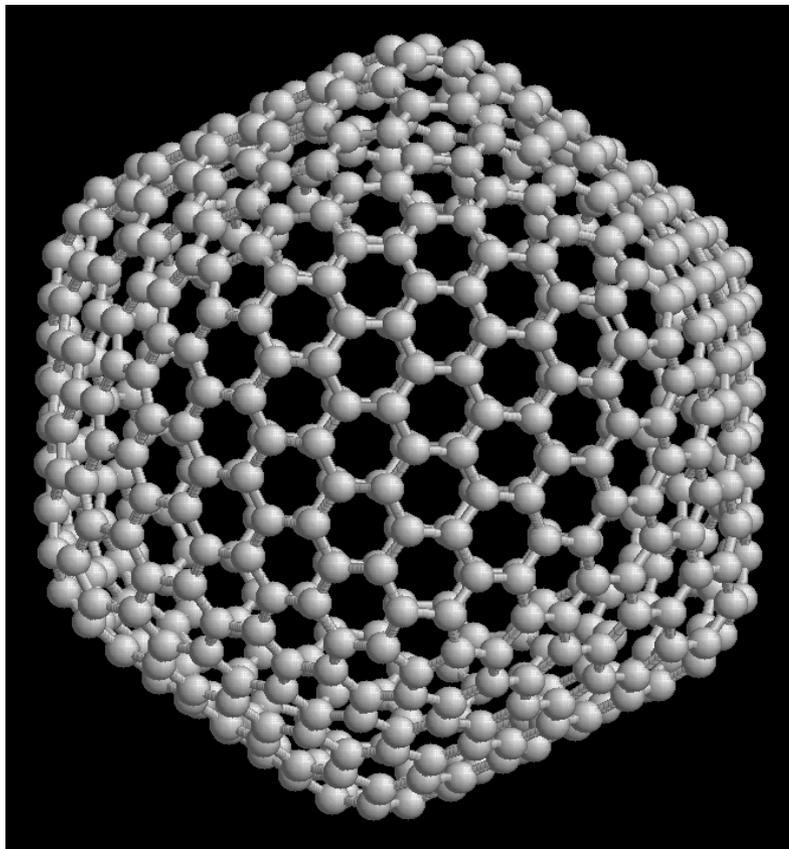


그림 10.10 벅키볼에서의 탄소들은, 각 탄소가 세 개의 다른 탄소들과 결합한 새장 모양의 구조를 이룬다. 그림은 C_{60} 벅키볼이며 60개의 탄소원자로 되어있다. 그림에 서의 선은 탄소-탄소 결합을 나타낸다. 6각형, 5각형 패턴은 축구공의 솔기 모양과 매우 닮았다. 다른 벅키볼들은 다른 수의 탄소원자들을 가지고 있다.

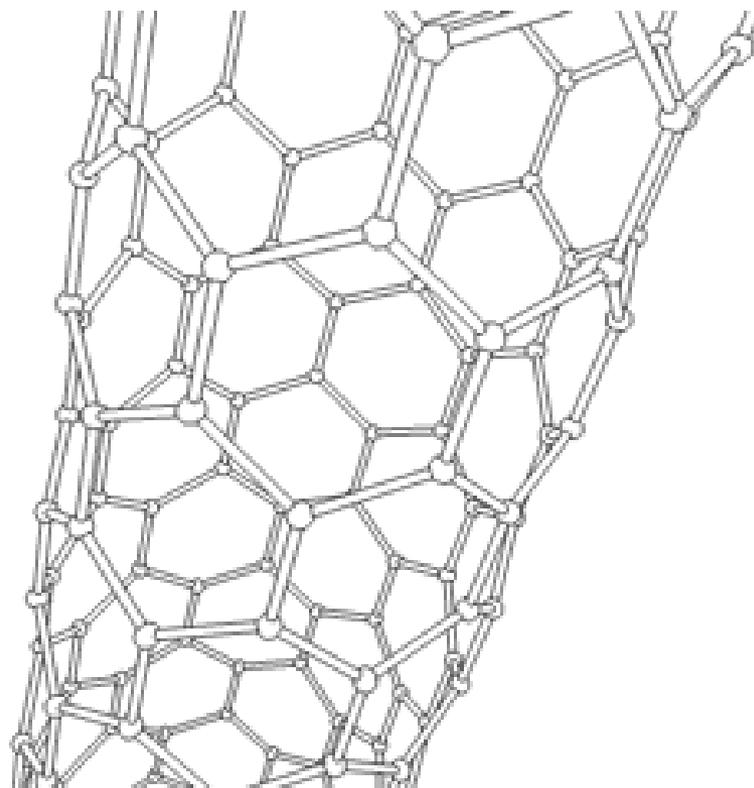




Fullerene



The Icosahedral Fullerene C₅₄₀



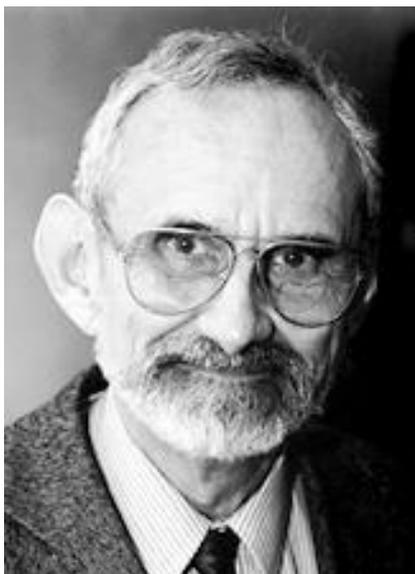
Carbon Nanotube



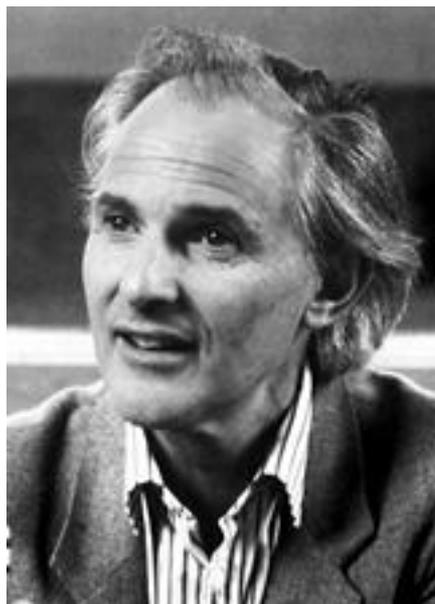


The Nobel Prize in Chemistry 1996

"for their discovery of fullerenes"



Robert F. Curl Jr.
(1933-)



Sir Harold W. Kroto
(1939-)



Richard E. Smalley
(1943-2005)





Bucky Fuller



Richard Buckminster "Bucky" Fuller
(1895 – 1983)



Montreal's Expo 67
American pavilion at night





Van der Waals Bond

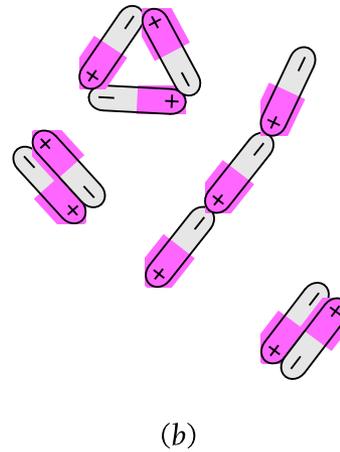
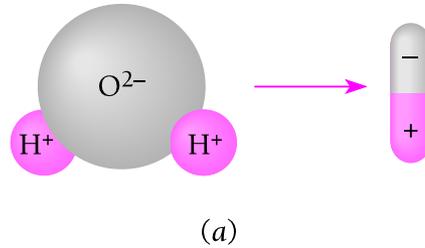


그림 10.11 (a) 물분자는 극성분자이다. 왜냐하면, H원자가 붙어있는 쪽 끝은 양으로 대전된 것처럼 행동하고, 반대쪽 끝은 음으로 대전된 것처럼 행동하기 때문이다. (b) 극성 분자는 서로를 끌어당긴다.

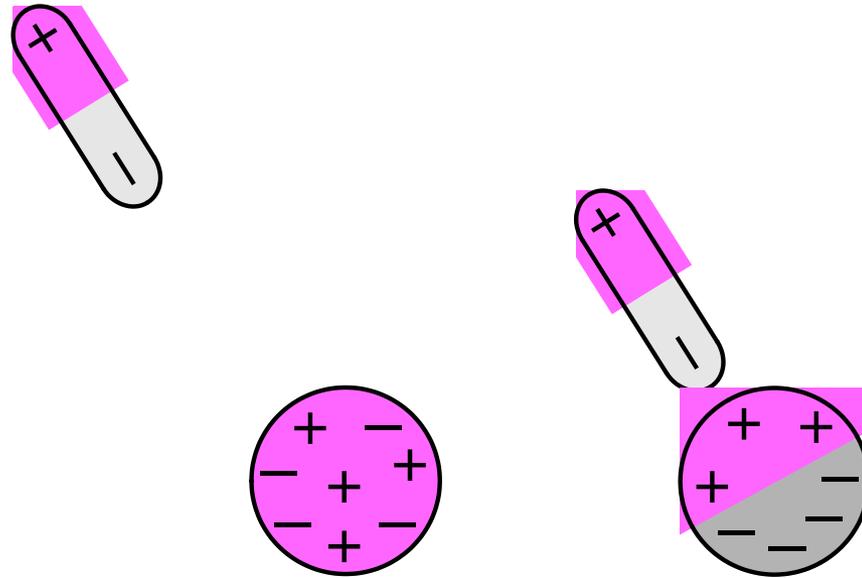


그림 10.12 극성 분자는 분극성의 분자를 끌어당긴다.

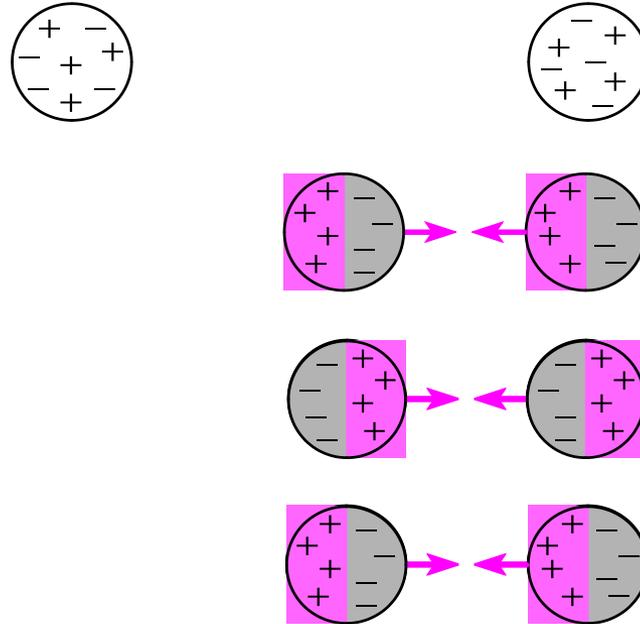


그림 10.13 비극성 분자의 전하분포는 평균적으로는 대칭적이거나, 순간 순간 마다는 그 분포가 비대칭적이 된다. 이웃한 두 분자의 전하 분포 요동을 그림에 나타내었다. 이와 같은 요동으로 두 분자 사이에 $1/r^7$ 에 비례하는 인력이 생긴다. 여기서 r 은 분자간의 거리이다.



Hydrogen Bonds

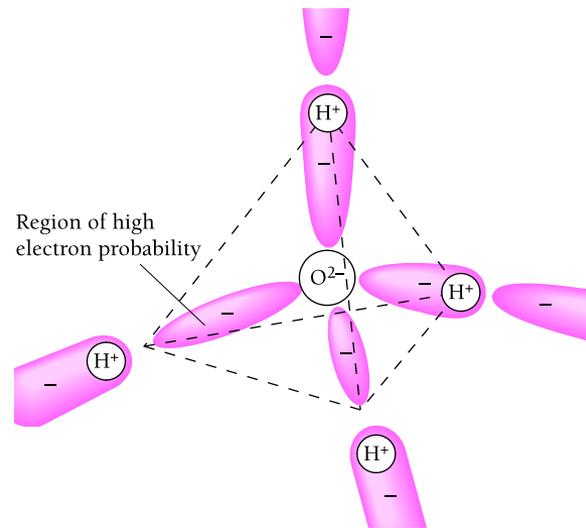


그림 10.14 H₂O에서, 산소 원자 주변의 원자가 전자 네 쌍(전자 6개는 산소 원자에서 나머지 2개는 각 수소 원자에서 각각 하나씩 기여 받는다.)이 우선적으로 네 구역을 차지하여 사면체 패턴을 형성한다. 각각의 H₂O분자는 네 개의 다른 H₂O분자와 수소 결합을 할 수 있다.

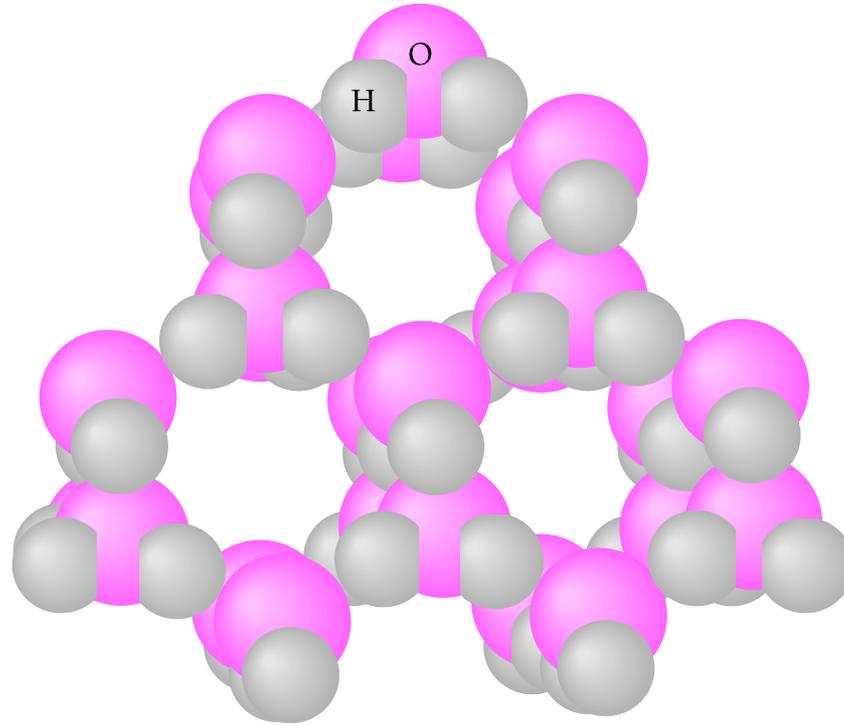
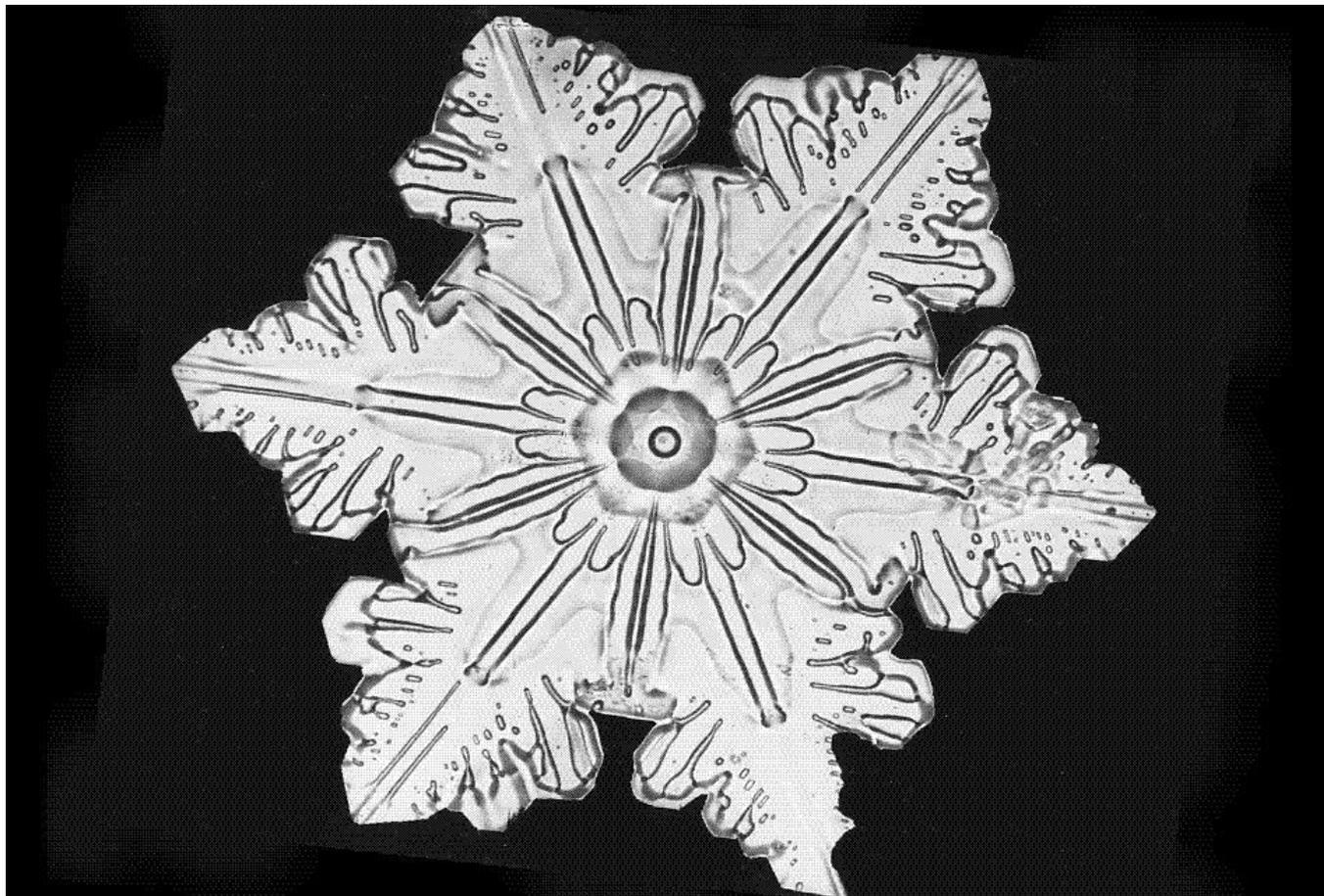


그림 10.15 얼음 결정의 구조. H_2O 분자의 열린 육각형 배열이 보인다. 물은 얼음 보다 덜 규칙적이어서 분자들이 서로 더 가까워 질 수 있다. 따라서, 얼음의 밀도는 물보다 작고 얼음이 물에 뜬다.

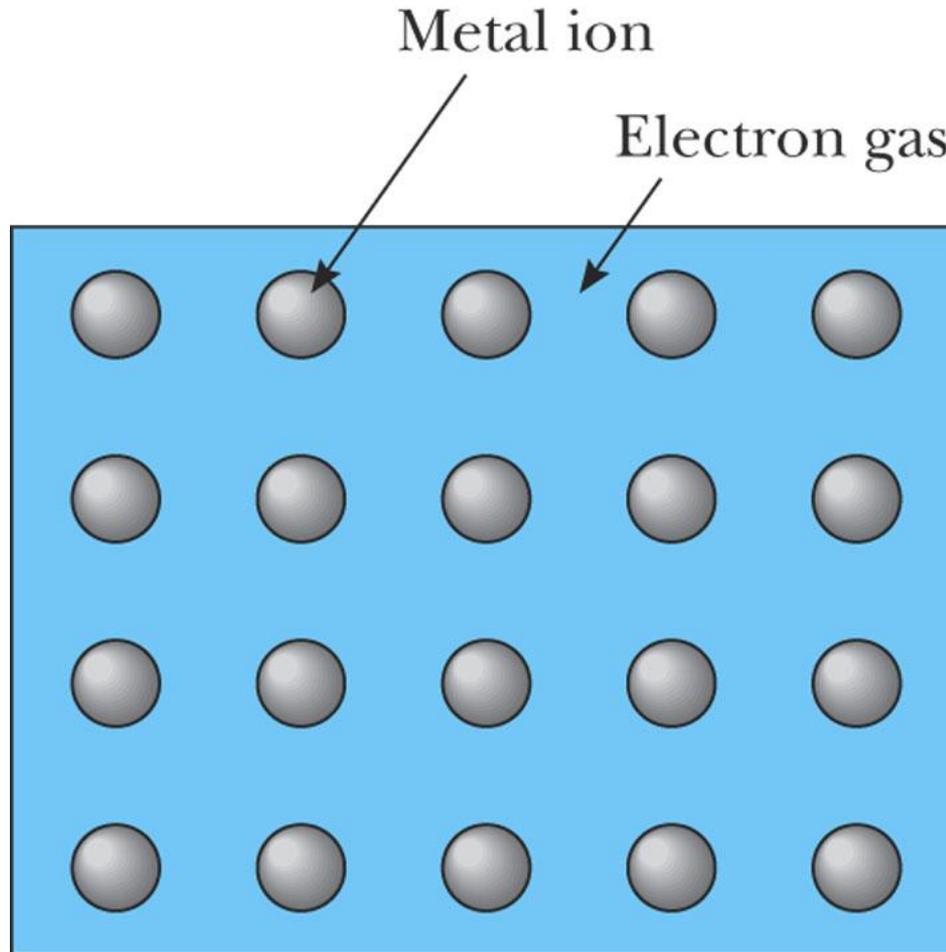




눈송이에서의 물분자들은 수소결합으로 서로 붙잡혀있다.



Metallic Bond



© 2005 Brooks/Cole - Thomson



표 10.1 결정질 고체의 유형. 응집 에너지는 원자(혹은 분자) 하나를 결정에서부터 떼어내는데 필요한 일에 해당하고, 따라서, 정해진 위치에 고정되어 있게 하는 결합의 강도를 나타낸다.

Type	Ionic	Covalent	Molecular	Metallic
Lattice	<p>Negative ion Positive ion</p>	<p>Shared electrons</p>	<p>Instantaneous charge separation in molecule</p>	<p>Metal ion Electron gas</p>
Bond	Electric attraction	Shared electrons	Van der Waals forces	Electron gas
Properties	Hard; high melting points; may be soluble in polar liquids such as water; electrical insulators (but conductors in solution)	Very hard; high melting points; insoluble in nearly all liquids; semi-conductors (except diamond, which is an insulator)	Soft; low melting and boiling points; soluble in covalent liquids; electrical insulators	Ductile; metallic luster; high electrical and thermal conductivity
Example	Sodium chloride, NaCl $E_{\text{cohesive}} = 3.28 \text{ eV/atom}$	Diamond, C $E_{\text{cohesive}} = 7.4 \text{ eV/atom}$	Methane, CH ₄ $E_{\text{cohesive}} = 0.1 \text{ eV/molecule}$	Sodium, Na $E_{\text{cohesive}} = 1.1 \text{ eV/atom}$



Ohm's Law

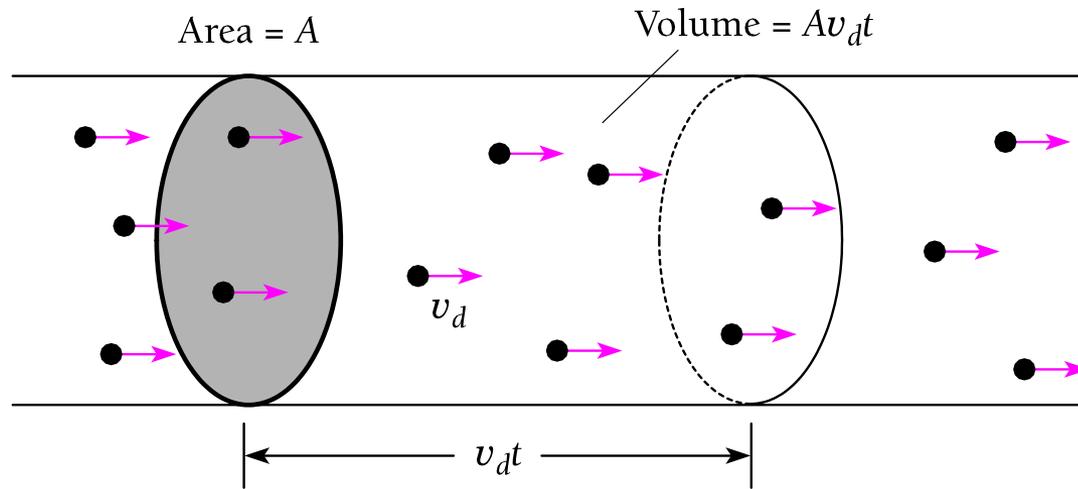


그림 10.16 시간간격 t 동안 단면을 표류하여 통과하는 도선 안에서의 자유전자의 개수는 $nV = nAv_d t$ 이다. 여기서 n 은 도선 안에 있는 자유 전자 개수/ m^3 이다.





Ohm's Law

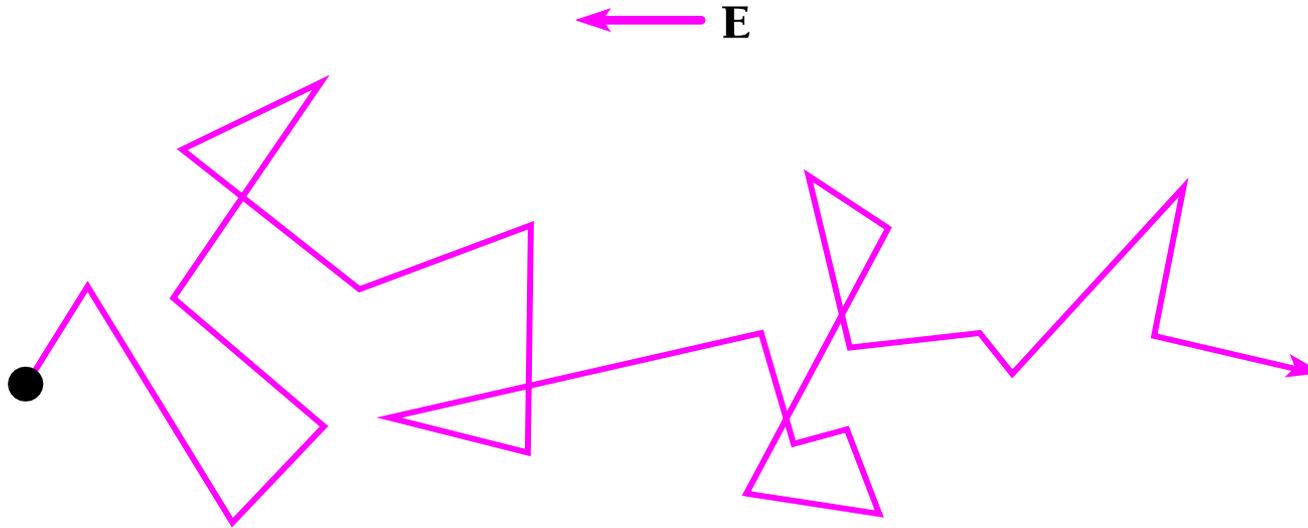
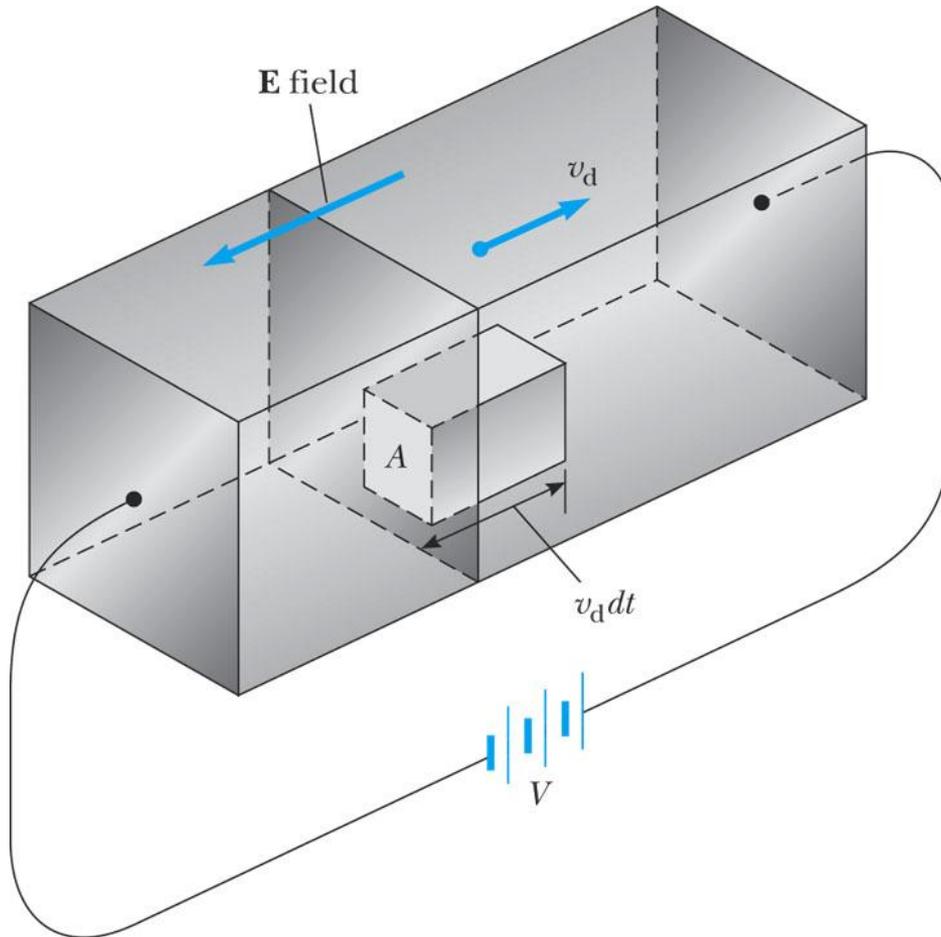


그림 10.17 전기장은 자유전자의 마구잡이 움직임에 겹쳐진 대체적인 표류 운동이 일어나게 한다. 전자들의 충돌사이의 실제 궤도는 전기장에 의한 가속도에 의해 약간 휘어진다.





Ohm's Law



© 2005 Brooks/Cole - Thomson

$$V = IR$$

$$\mathbf{J} = \sigma \mathbf{E}$$





Ohm's Law

$$\tau = \frac{\lambda}{v_F}$$

τ mean free time (collision time)

λ mean free path

v_F Fermi velocity

$$E_F = \frac{1}{2} m v_F^2$$





Ohm's Law

$$a = \frac{F}{m} = \frac{eE}{m}$$

$$v_d = a\tau = \left(\frac{eE}{m}\right)\left(\frac{\lambda}{v_F}\right) = \frac{eE\lambda}{mv_F} \quad \text{drift velocity}$$

$$I = nAev_d = \frac{nAe^2E\lambda}{mv_F}$$

$$E = V / L$$

$$I = \left(\frac{ne^2\lambda}{mv_F}\right)\left(\frac{A}{L}\right)V$$

$$R = \left(\frac{mv_F}{ne^2\lambda}\right)\frac{L}{A} \quad \text{resistance}$$

$$\rho = \frac{mv_F}{ne^2\lambda} \quad \text{resistivity}$$

