1. 교재 p. 385, Exercise # 2.

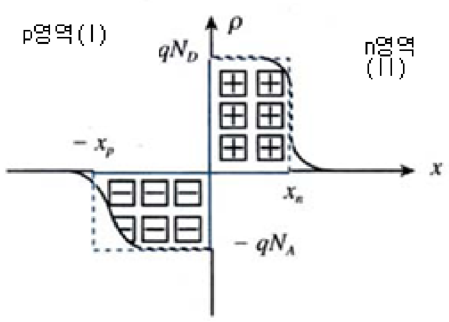
10-2: There are 6 nearest-neighbor ions, each with an opposite charge and each at a distance r, corresponding to the center of each face of a cube. There are 12 next-nearest neighbor ions, each with the same charge and each at a distance $\sqrt{2}\,r$, corresponding to the center of each edge of a cube. At this point, it could be noted that these first two contributions to the Madelung constant correspond to the terms U_1 and U_2 in the explanation leading to Equation (10.1).

The eight corners of the cube are each a distance $\sqrt{3}\,r$ away, and have opposite charge. The ions a distance $2r = \sqrt{4}\,r$ away are at the centers of the adjoining cubes, and have the same charge. In each of these six adjoining cubes, there are 4 ions that are a distance $\sqrt{5}\,r$ away, and these have the same charge. These combinations comprise the first five terms of the Madelung constant for NaCl, and the expression is valid for any crystal with the same structure.

2. 교재 p. 386, Exercise # 9.

10-9: The electrons that constitute the "gas" of freely moving electrons are only those that are loosely bound to the nuclei, specifically those electrons in the outer shells. As has been seen, the innermost electrons have binding energies that give rise to x-ray spectra, and will not be members of the free-electron gas.

3. 평형 상태의 pn 접합 다이오드의 공간전하 영역에서의 전기장과 potential의 식을 유도하고, energy band diagram을 그리시오.



PN 접합을 붙여 열평형 상태가 이루어지면 carrier가 '거의' 존재하지 않아 fixed ion만 존재하는 공핍층(depletion layer)가 그림과 같이 발생하게 된다. 이 공핍층에 의해 발생하는 전기장은 Gauss' Law를 이용하여 구할 수 있는데, 식은 다음과 같다.

영역 I

$$E_x(x) = -\frac{q}{\varepsilon_s} N_A(x + x_p) \qquad (-x_p \le x \le 0)$$

영역 II

$$E_x(x) = \frac{q}{\varepsilon_s} N_D(x - x_n) \qquad (0 \le x \le x_n)$$

x=0일 때, 두 영역에서의 전기장 값이 같아야 하며 이 경계면에서 최대값을 가진다.

$$|E|_{\max} = \frac{q}{\varepsilon_s} N_A x_p = \frac{q}{\varepsilon_s} N_D x_n$$

Electric potential은 $E_x = -\frac{d\psi}{dx}$ 의 식을 이용하여 각 두 영역에서의 E_x 의 적분을 이용하여 구할 수 있다.

영역 I

$$\psi_I(x) = \psi_1 + \frac{qN_A}{2\varepsilon_s}(x + x_p)^2$$

영역 II

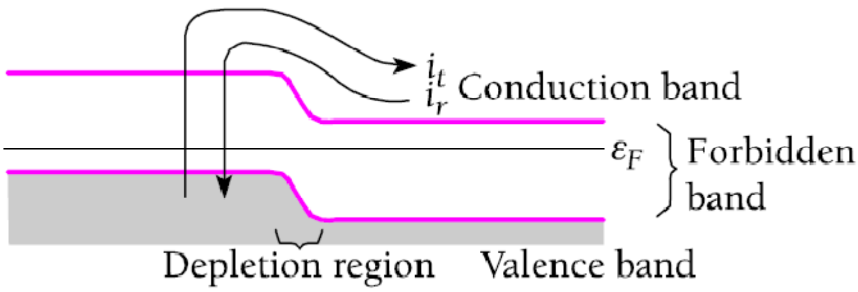
$$\psi_{II}(x) = \psi_2 - \frac{qN_D}{2\varepsilon_s}(x - x_n)^2$$

여기서 적분상수인 ψ_1 과 ψ_2 는 해당하는 경계면에서 중성영역의 ψ 값과 같아야 하므로 다음과 같다.

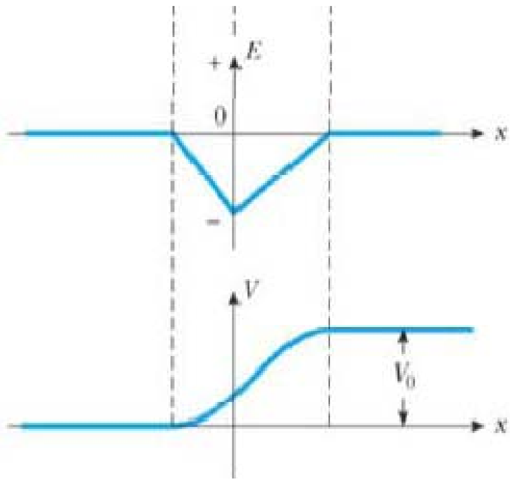
$$\psi_1 = -V_T \ln\left(\frac{N_A}{n_i}\right)$$

$$\psi_2 = V_T \ln\left(\frac{N_D}{n_i}\right)$$

이 때, energy band가 굽은 형태는 거리에 따라 2차 함수의 꼴로 변하되, depletion layer의 가운데 부분에서 변곡점이 존재하는 형태로 나타난다. 이는 energy band의 변형을 야기하는 것은 공간전하 영역에서의 전기장 분포에 의해 발생하는 built-in potential을 직접 적분해보면 쉽게 알 수 있으며, 아래 그림에도 잘 나타나 있다.



i_t
i_r
Conduction band
ε_F
Forbidden band
Depletion region
Valence band



E
+
0
x
−
V
V_0
x