Bölüm 12: Yarıiletkenlerin Elektronik Özellikleri
Alıştırmalar

12.1 Oda sıcaklığında özgün taşıyıcı yoğunluğu n_i=1,5x10^{10} cm^{-3} olan silisyum kristali N_D=6,0x10^{18} cm^{-3} donor atomları ile kakılanıyor. Deşiklerin yoğunluğunu bulunuz?

Çözüm:
İletim bandındaki taşıyıcı yoğunluğu n_i tümüyle donor atomlarından gelen elektronlara eşit olacaktır.

$n \cong N_D$

$$np = n_i^2 \Rightarrow N_D p \cong n_i^2 \Rightarrow p \cong \frac{n_i^2}{N_D}$$

$$p = \frac{n_i^2}{N_D} = \frac{\left(1,5\times10^{10}cm^{-3}\right)^2}{6,0\times10^{18}cm^{-3}} = \frac{2,25\times10^{20}cm^{-6}}{6,0\times10^{18}cm^{-3}} \cong 37\ \ cm^{-3}$$

12.2 Yarıiletkenlerde yasak bant enerjisinin basınç ve sıcaklık ile değişimi nasıldır?

Çözüm:
Kristal yapılarda enerji yasak bandı kristali atomları arasındaki mesafeye bağlıdır. Isıl etkiler (sıcaklık) ve kristale uygulanan basınç atomlar arası mesafeyi değiştireceğinden yasak bandın da basınç ve sıcaklığa bağlı olması beklenir. En genel olarak yasak bant enerjisinin basınç (P) ve sıcaklığa (T) bağlılığı E_g(P,T)

$$E_g(P,T) = E_g^{T=0^o} + \left(\frac{\partial E_g}{\partial P}\right)_{T=sbt}.\Delta P + \left(\frac{\partial E_g}{\partial T}\right)_{P=sbt}.\Delta T$$

şeklinde verilebilir. Bu ifadedeki $E_g^{T=0}$, T=0 K'deki yasak bant enerjisi, ikinci terim yasak bant enerjisine sabit sıcaklıktaki basınç değişiminden gelen katkı, son terim ise sabit basınç altında sıcaklıkğın yasak bant enerjisine getirdiği katkıdır. Genellikle yarıiletkenlerde artan sıcaklık (sıcaklığın etkisi ile atomlar arası mesafe büyür) ile yasak bant enerjisi azalır. Ancak istisnai bazı yarıiletkenlerde (örneğin CuCl) artan sıcaklıkla yasak bant enerjisi artar. Basınç da kristalin yasak bant enerjisini değiştirir. Artan basınç değeri ile yasak bant, yarıiletken malzemeye bağlı olarak artar veya azalabilir.

12.3 Oda sıcaklığında özgün yarıiletkenlerin iletim (değerlik) bandı için Fermi-Dirac dağılım fonksiyonunun Boltzmann dağılım fonksiyonu şeklinde verilebileceğini gösteriniz.

Çözüm:

Fermi-Dirac dağılım fonksiyonu

$$f(E) = \frac{1}{1 + e^{-(E_f - E)/kT}}$$

dir. Özgün yarıiletkenlerde Fermi enerjisi yasak bant içinde olduğundan ve oda sıcaklığında kT, (26 meV) mertebesinde olduğundan

$(E - E_f) >> kT$ dir. Fermi-Dirac dağılım fonksiyonunun paydası

$$1 + e^{-(E_f - E)/kT} \cong e^{-(E_f - E)/kT}$$

$$f(E) = \frac{1}{1 + e^{-(E_f - E)/kT}} \cong \frac{1}{e^{-(E_f - E)/kT}} = e^{-(E - E_f)/kT} \text{ dir.}$$

yaklaşımı yapılabilir.

$$f(E) \cong e^{-(E - E_f)/kT}$$

12.4 Özgün yarıiletkenlerde iletim bandı taşıyıcı yoğunluğu (n) ve değerlik bandı taşıyıcı yoğunluğu (p) çarpımının sadece sıcaklığa ve yasak bant aralığına bağlı olduğu, Fermi enerji seviyesinden bağımsız ve aşağıdaki gibi

$$np = \left(\frac{2\pi kT}{h^2}\right)^3 (m_e m_h)^{3/2} e^{-E_g/kT}$$

verileceğini gösteriniz.

Çözüm:

Elektron ve deşikler için Fermi-Dirac dağılım fonksiyonu

$$f_n(E) \cong e^{-(E_f - E)/kT}$$

$$f_p(E) \cong 1 - f_n(E) = 1 - e^{-(E_f - E)/kT}$$

Enerji bantları için durum yoğunluğu

İletim Bandı $\quad D_n(E) = \frac{1}{2\pi}\left(\frac{4\pi m_e}{h^2}\right)(E - E_C)^{1/2}$

Değerlik bandı $\quad D_h(E) = \frac{1}{2\pi}\left(\frac{4\pi m_h}{h^2}\right)(E_V - E)^{1/2}$

$$n=\int_{E_C}^{\infty} D_n(E)f_n(E)dE=\frac{1}{2\pi}\left(\frac{4\pi m_e}{h^2}\right)e^{E_f/kT}\int_{E_C}^{\infty}(E-E_C)^{1/2}f(E)e^{-E/kT}dE=2\left(\frac{2\pi m_e kT}{h^2}\right)^{3/2}e^{(E_f-E_C)/kT}$$

$$p=\int_{-\infty}^{E_V} D_h(E)f_h(E)dE=\frac{1}{2\pi}\left(\frac{4\pi m_e}{h^2}\right)e^{E_f/kT}\int_{-\infty}^{E_V}(E_V-E)^{1/2}f(E)e^{-E/kT}dE=2\left(\frac{2\pi m_h kT}{h^2}\right)^{3/2}e^{(E_V-E_f)/kT}$$

$$np=\left(\frac{2\pi kT}{h^2}\right)^{3}(m_e m_h)^{3/2}e^{-E_g/kT}$$ elde edilir.