

## Bölüm 13: Yarıiletkenlerin Optik Özellikleri Alıştırmalar

13.1 Optik geçişlerde fotonun momentumunun elektronun momentumundan çok küçük olduğunu ve ihmal edilebileceğini gösteriniz.

**Çözüm:**

Dalga vektörü  $k$ , dalgaboyu  $\lambda$  olan bir parçacığın momentumu  $p = \hbar k = \hbar \frac{2\pi}{\lambda}$  şeklindedir. Optik bölgede (4000-7000 Å) fotonun momentumu

$$p_{foton} = \hbar k_{foton} = \hbar \frac{2\pi}{7,0 \times 10^{-7} m} \Rightarrow k_{foton} \propto 10^7 m^{-1}$$

mertebesindedir. Kristal örgüde elektronun dalgaboyu ise Brillouin zone tarafından belirlenir. Örgü sabiti  $a$  olan kristal örgüde Brillouin zone  $\pi/a$  şeklindedir. Kristal örgü uzunluğu angstrom mertebesinde ( $10^{-10}$  m) olduğundan elektronun momentumu

$$p_{elektron} = \hbar k_{elektron} = \hbar \frac{\pi}{a} = \hbar \frac{\pi}{10^{-10} m} \Rightarrow k_{elektron} \propto 10^{10} m^{-1}$$

Görüldüğü gibi elektronun dalga vektörü foton dalgavektöründen çok büyük olduğu için optik geçişlerde fotonun momentumu ihmal edilebilir ve direk geçişlerde ilktim ve değerlik bandındaki elektronun momentumu birbirine eşittir.

$$\hbar k_i \cong \hbar k_f$$

13.2 Hidrojen atomu modeli kullanılarak eksitonların enerji değerlerini

$$E_n = -\frac{R_X}{n^2}$$

ve yarıçaplarını

$$r_n = a_X n^2$$

olarak verilebileceğini gösteriniz. Burada  $R_X$  ve  $a_X$  sırası ile eksiton Rydberg sabiti, ve eksiton Bohr yarıçapı;  $n$  ise eksiton kuantum sayısı ( $n=1, 2, 3, \dots$ ) dır.

**Çözüm:**

(a) Eksiton Rydberg sabiti

$$E_n^{hidrojen} = -\frac{R_H}{n^2} \quad R_H = 13,6 eV$$

Eksiton, kütleleri yaklaşık aynı iki kütleli, elektron ve deşik içerdiğinden (hidrojen atomunda bu oran 1000 katıdır) etkin kütle ( $\mu$ ) önem kazanır ( $m \rightarrow \mu$ ). Ayrıca elektron ve deşik boşlukta değil dielektrik sabiti  $\epsilon_r$  olan ortamda hareket ettiğinden hidrojen atomu hesaplarında yer alan boşluğun elektrik geçirgenliği  $\epsilon_0$ 'ın yerine kristalin elektrik geçirgenliği ( $\epsilon_0 \rightarrow \epsilon_r$ ) yazılmalıdır.

$$E_n = -\frac{\mu}{m_0 \epsilon_r^2} \frac{R_H}{n^2} = -\frac{R_X}{n^2} \quad \text{Burada } R_X \equiv \frac{\mu}{m_0 \epsilon_r^2} R_H \text{ eksiton Rydberg sabitidir.}$$

Benzer şekilde eksiton yarıçapı

$$r_n^{\text{hidrojen}} = r_H n^2 \quad a_H = 0,529 \text{ \AA}$$

$$r_n = \frac{m_0 \epsilon_r}{\mu} a_H n^2 = a_X n^2 \quad \text{Burada } a_X = \frac{m_0 \epsilon_r}{\mu} a_H \text{ eksiton Bohr yarıçapıdır.}$$

Burada  $\mu$  indirgenmiş kütleler ve  $\frac{1}{\mu} \equiv \frac{1}{m_e^*} + \frac{1}{m_h^*}$  şeklinde yazılır.

- 13.3** (b) GaAs için  $n=1$  ve  $n=2$  seviyesine karşı gelen eksiton enerji seviyelerini ve yarıçapları hesaplayınız.  
(c) InP için  $n=1$  ve  $n=2$  seviyesine karşı gelen eksiton enerji seviyesini ve yarıçapını bulunuz.

**Çözüm:**

(a) GaAs için ve yarıçap  $m_e^* = 0,067 m_0$  ve  $m_h^* = 0,5 m_0$

$$\frac{1}{\mu} \equiv \frac{1}{m_e^*} + \frac{1}{m_h^*} = \frac{1}{0,067 m_0} + \frac{1}{0,5 m_0} \Rightarrow \mu = 0,059 m_0$$

$\epsilon_r = 13,0$

$$R_X = 4,75 \text{ meV}$$

$$a_X = 11,65 \text{ nm}$$

$$E_n = -\frac{\mu}{m_0 \epsilon_r^2} \frac{R_H}{n^2} = -\frac{R_X}{n^2}$$

$n=1$

$$E_{n=1} = -\frac{4,75 \text{ meV}}{1^2} = -4,75 \text{ meV}$$

$$a_{n=1} = (11,65 \text{ nm})(1^2) = 11,65 \text{ nm}$$

**n=2**

$$E_{n=2} = -\frac{4,81meV}{2^2} = -1,19 meV$$

$$a_{n=2} = (11,65 nm)(2^2) = 46,60 nm$$

**(b) InP için ve yarıçap  $m_e^*=0,077m_o$  ve  $m_h^*=0,6m_o$**

$$\frac{1}{\mu} \equiv \frac{1}{m_e^*} + \frac{1}{m_h^*} = \frac{1}{0,077m_o} + \frac{1}{0,6m_o} \Rightarrow \mu = 0,068m_o$$

**$\epsilon_r=11,944$**

$$R_X = 6,48 meV$$

$$a_X = 9,3 nm$$

$$E_n = -\frac{\mu}{m_o \epsilon_r^2} \frac{R_H}{n^2} = -\frac{R_X}{n^2}$$

**n=1**

$$E_{n=1} = -\frac{6,48meV}{1^2} = -6,48 meV$$

$$a_{n=1} = (9,3 nm)(1^2) = 9,3 nm$$

**n=2**

$$E_{n=2} = -\frac{6,48meV}{2^2} = -1,62 meV$$

$$a_{n=1} = (9,3 nm)(2^2) = 37 nm$$