

Optoelektronik

Final Sınavı-Çözümler

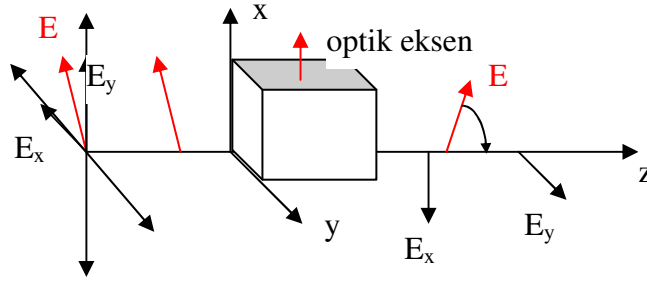
- Soru 1:** Doğrusal olarak kutuplanmış ışık için elektrik alan $\vec{E} = \vec{E}_o \cos \pi 10^{15} (1.57 + t - \frac{z}{c})$ şeklinde verilmektedir. Burada $\vec{E}_o = \frac{E_o}{\sqrt{2}} (\hat{i} + \hat{j})$ ise bu elektromanyetik dalganın, optik eksenini $\vec{r} = x\hat{i}$ doğrultusuna paralel olan $d=1 \mu\text{m}$ kalınlıklı anizotropik kuarz içinden geçtikten sonra
- Elektrik alanı için bir ifade türetiniz (10 puan)
 - Bu dalganın kutuplanma doğrultusunu değiştirmemek için kristalin optik eksenini ne yönde yerleştirmek gerekir? (10 puan)

Çözüm:

Kuarzın kırılma indisleri:

$$n_o = 1.5443$$

$$n_e = 1.5534$$



$$\vec{E} = \vec{E}_o \cos \pi 10^{15} (1.57 + t - \frac{z}{c} + \phi)$$

$$k = \frac{\pi 10^{15}}{c} = \frac{2\pi}{\lambda_o}$$

$$\lambda_o = 6 \times 10^{-7} \text{ m}$$

$$\text{faz farkı} = k(\Delta n)d = \frac{2\pi}{\lambda_o} |n_o - n_e| d$$

$$E_x = \frac{E_o}{\sqrt{2}} \cos \pi 10^{15} (1.57 + t - \frac{z}{c} + \frac{2\pi}{\lambda_o} n_o d)$$

$$E_x = \frac{E_o}{\sqrt{2}} \cos \pi 10^{15} (t - \frac{z}{c} + 17.742)$$

$$E_y = \frac{E_o}{\sqrt{2}} \cos \pi 10^{15} (1.57 + t - \frac{z}{c} + \frac{2\pi}{\lambda_o} n_e d)$$

$$E_y = \frac{E_o}{\sqrt{2}} \cos \pi 10^{15} (t - \frac{z}{c} + 17.837)$$

$$\vec{E} = \hat{i}E_x + \hat{j}E_y = \vec{E}_o \cos \pi 10^{15} (1.57 + t - \frac{z}{c} + \Delta\phi)$$

$$\vec{E} = \hat{i}E_x + \hat{j}E_y = \frac{E_o}{\sqrt{2}} \left[\hat{i} \cos \pi 10^{15} (t - \frac{z}{c} + 17.742) + \hat{j} \cos \pi 10^{15} (t - \frac{z}{c} + 17.837) \right]$$

- Soru 2:** (a) KDP maddesinden yapılmış bir dalga plakasına giren doğrusal olarak kutuplanmış $\lambda=550 \text{ nm}$ dalgaboylu bir dalganın plakanın çıkışında $\lambda/3$ kadarlık bir yol farkı

oluşturabilmek için plakaya ne kadarlık bir gerilim uygulamak gerekir? (KDP için $n_o=1,51$; $n_e=1,47$, doğrusal elektro-optik sabiti $r=10,6 \text{ pmV}^{-1}$) (10 puan)

(b) Öyle bir optik kutuplayıcı bulun ki, bir yöndeki dairesel kutuplu ışığı tümü ile geçirirken, diğer yöndeki dairesel kutuplu ışığı bloke etsin. (10 puan)

Çözüm:

(a)

$$\text{Faz farkı} = \frac{2\pi}{\lambda_{\text{bosluk}}} r n_o^3 V$$

o-ışını ile e-ışını arasındaki $\lambda/3$ yol farkının oluşabilmesi için faz farkının $2\pi/3$ olması gerekmektedir.

$$\frac{2\pi}{3} = \frac{2\pi}{\lambda_{\text{bosluk}}} r n_o^3 V \quad V = \frac{\lambda_{\text{bosluk}}}{3 r n_o^3} = \frac{550 \times 10^{-9} \text{ m}}{3 \cdot (10,6 \times 10^{-12} \text{ mV}^{-1}) \cdot (1,51^3)} = 5023,5 \text{ V} = 5,02 \text{ kV}$$

b)

$$\begin{bmatrix} a & b \\ c & d \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} 1 \\ -i \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 \\ -i \end{bmatrix} \quad \begin{bmatrix} a & b \\ c & d \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} 1 \\ i \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \end{bmatrix}$$

$$a - ib = 1$$

$$c - id = -i \Rightarrow 2a=1, 2c=-i, 2ib=-1, 2id=i \Rightarrow a=1/2, b=i/2, c=-i/2, d=1/2$$

$$a + ib = 0$$

$$c + id = 0$$

$$\begin{bmatrix} a & b \\ c & d \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{1}{2} & \frac{i}{2} \\ -\frac{i}{2} & \frac{1}{2} \end{bmatrix} = \frac{1}{2} \begin{bmatrix} 1 & i \\ -i & 1 \end{bmatrix}$$

Soru 3: $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{As}$ arasına sıkıştırılmış GaAs'den oluşan ve aktif bölgesinin genişliği

a) 50 Å

b) 10 µm

olan bir yarıiletken lazerin yayacağı ışığın dalgaboyu nedir? (Oluşacak kuantum çukurunu çok derin kabul edebilirsiniz) (10 puan)

c) 50 Å kalınlıklı lazerden iletim bant içi geçişten kaynaklanacak ışığın dalgaboyu nedir? (10 puan)

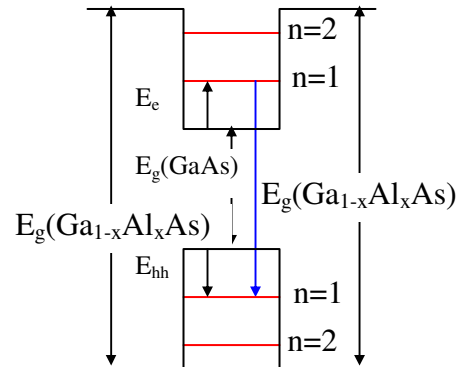
Çözüm:

a) 50 Å

$$m_e = 0,067 m_o$$

$$m_{hh} = 0,45 m_o$$

Kuantum çukurunun enerji seviyeleri



$$E_n = \frac{\hbar^2}{2m_{e,h}} \left(\frac{n\pi}{L} \right)^2 \quad n=1, 2, 3,$$

$$E_e = \frac{\hbar^2}{2m_e} \left(\frac{\pi}{L} \right)^2 = \frac{(1,05 \times 10^{-34} \text{ Js})^2}{(2) \cdot (0,067) \cdot (9,1 \times 10^{-31} \text{ kg})} \left(\frac{3,14}{50 \times 10^{-10} \text{ m}} \right)^2 = 0,2 \text{ eV}$$

$$E_{hh} = \frac{\hbar^2}{2m_h} \left(\frac{\pi}{L} \right)^2 = \frac{(1,05 \times 10^{-34} \text{ Js})^2}{(2) \cdot (0,45) \cdot (9,1 \times 10^{-31} \text{ kg})} \left(\frac{3,14}{50 \times 10^{-10} \text{ m}} \right)^2 = 0,03 \text{ eV}$$

$$\Delta E = E_g + E_e + E_{hh} = 1,43 \text{ eV} + 0,22 \text{ eV} + 0,03 \text{ eV} = 1,68 \text{ eV}$$

$$E(\text{eV}) = \frac{hc}{\lambda} = \frac{1,2398}{\lambda(\mu\text{m})} \Rightarrow 1,68 \text{ eV} = \frac{1,2398}{\lambda(\mu\text{m})} \Rightarrow \lambda = 0,7379 \mu\text{m} = 7379 \text{ \AA}$$

b) 10 μm olan bir yarıiletken lazerin yayacağı ışığın dalgaboyu nedir? (Oluşacak kuantum çukurunu çok derin kabul edebilirsiniz)

$$E_e = \frac{\hbar^2}{2m_e} \left(\frac{\pi}{L} \right)^2 = \frac{(1,05 \times 10^{-34} \text{ Js})^2}{(2) \cdot (0,067) \cdot (9,1 \times 10^{-31} \text{ kg})} \left(\frac{3,14}{10 \times 10^{-6} \text{ m}} \right)^2 = 2,2 \times 10^{-9} \text{ eV} \cong 0$$

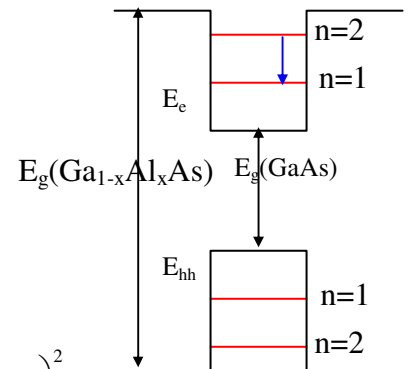
$$E_{hh} = \frac{\hbar^2}{2m_h} \left(\frac{\pi}{L} \right)^2 = \frac{(1,05 \times 10^{-34} \text{ Js})^2}{(2) \cdot (0,45) \cdot (9,1 \times 10^{-31} \text{ kg})} \left(\frac{3,14}{10 \times 10^{-6} \text{ m}} \right)^2 = 3,3 \times 10^{-10} \text{ eV} \cong 0$$

$$\Delta E = E_g + E_e + E_{hh} = 1,43 \text{ eV} + 0 + 0 \cong 1,43 \text{ eV}$$

$$E(\text{eV}) = \frac{hc}{\lambda} = \frac{1,2398}{\lambda(\mu\text{m})} \Rightarrow 1,43 \text{ eV} = \frac{1,2398}{\lambda(\mu\text{m})} \Rightarrow \lambda = 0,8669 \mu\text{m} = 8669 \text{ \AA}$$

c) 50 \AA kalınlıklı lazerden iletim bant içi geçişten kaynaklanacak ışığın dalgaboyu nedir? (10 puan)

$$E_n = \frac{\hbar^2}{2m_{e,h}} \left(\frac{n\pi}{L} \right)^2 \quad n=1, 2, 3,$$



$$E_e^{n=1} = \frac{\hbar^2}{2m_e} \left(\frac{n\pi}{L} \right)^2 = \frac{(1,05 \times 10^{-34} \text{ Js})^2}{(2) \cdot (0,067) \cdot (9,1 \times 10^{-31} \text{ kg})} \left(\frac{3,14}{50 \times 10^{-10} \text{ m}} \right)^2 (1)^2 = 0,2 \text{ eV}$$

$$E_e^{n=2} = \frac{\hbar^2}{2m_e} \left(\frac{n\pi}{L} \right)^2 = \frac{(1,05 \times 10^{-34} \text{ Js})^2}{(2) \cdot (0,067) \cdot (9,1 \times 10^{-31} \text{ kg})} \left(\frac{3,14}{50 \times 10^{-10} \text{ m}} \right)^2 (2)^2 = 0,8 \text{ eV}$$

$$\Delta E = E_e^{n=2} - E_e^{n=1} = 0,8 \text{ eV} - 0,2 \text{ eV} = 0,6 \text{ eV}$$

$$E(\text{eV}) = \frac{hc}{\lambda} = \frac{1,2398}{\lambda(\mu\text{m})} \Rightarrow 0,6 \text{ eV} = \frac{1,2398}{\lambda(\mu\text{m})} \Rightarrow \lambda = 2,066 \mu\text{m} = 20660 \text{ \AA}$$

Soru 4: Kalınlığı $d=3 \mu\text{m}$ ve kırılma indisi $n_2=3,4$ olan asimetrik bir GaAs dalga kılavuzunda dalgaboyu $\lambda_0=1,15 \mu\text{m}$ olan çok modlu (TE_2) ışığı iletebilmek için GaAs ile dış yüzey arasındaki kırılma indisi farkı n_2-n_3 ne olmalıdır? (10 puan)

Çözüm:

$$\Delta n = n_2 - n_3 \geq \frac{(2m+1)^2 \lambda_0^2}{32n_2 d^2} \quad m=0, 1, 2, 3,$$

$n_2(\text{GaAs})=3,4$ ve TE_2 modu için $m=2$,

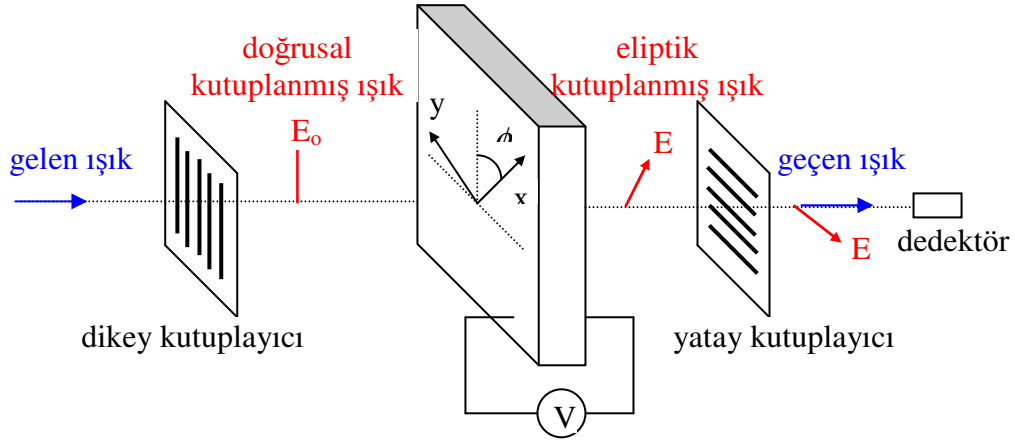
$$\Delta n = n_2 - n_3 \geq \frac{5\lambda_0^2}{32n_2 d^2} = \frac{5 \cdot (1,15\mu\text{m})^2}{(32) \cdot (3,4) \cdot (3\mu\text{m})^2} = 6,755 \times 10^{-3}$$

Soru 5: KDP maddesi* kullanılarak oluşturulmuş bir Pockel elektro-optik modülatörü aşağıda gösterilmiştir. Bu modülatör, $\lambda=550 \text{ nm}$ dalgaboylu bir ışığın modülasyonunda kullanılırsa dedektöre ulaşan ışığın

(a) Bu modülatörün yarım dalga gerilimi (V_π) nedir? (10 puan)

(b) Modülatöre giren ışık şiddetinin %10'nu olabilmesi için modülatöre ne kadarlık bir gerilim uygulamak gerekir? (10 puan)

Çözüm:



(a) Bu modülatörün yarım dalga gerilimi (V_π) nedir?

$$\text{Yarım dalga gerilimi } V_\pi = \frac{\lambda}{2rn_o^3} \Rightarrow V_\pi = \frac{\lambda}{2rn_o^3} = \frac{550 \times 10^{-9} \text{ m}}{2 \cdot (10,6 \times 10^{-12} \text{ m} \cdot \text{V}^{-1}) \cdot (1,51)^3} = 7,535 \text{ kV}$$

(b) Modülatöre giren ışık şiddetinin %10'si olabilmesi için modülatöre ne kadarlık bir gerilim uygulanması gerekir?

$$\frac{I}{I_o} = \sin^2\left(\frac{\pi}{\lambda} m_o^3 V\right) \quad \Rightarrow \quad \frac{I}{I_o} = \sin^2\left(\frac{\pi}{2} \frac{V}{V_\pi}\right) \text{ şeklinde verilir. Burada } V_\pi = \frac{\lambda}{2m_o^3}$$

yarım dalga gerilimidir.

$$V = \frac{2V_\pi}{\pi} \arcsin\left(\sqrt{\frac{I}{I_o}}\right) = \frac{2(7,535kV)}{\pi} \arcsin(\sqrt{0,1}) = 1,54 \text{ kV}$$
