

Optoelektronik Dersi "Optik" bölümü problemler.

1. Soru:

Duyarlılığı 0,52 A/W olan bir fotodiyot 0,9 µm dalga boyunda ve 10 mW gücündeki bir ışınla aydınlatılmaktadır. Ters doyma akımının 10 nA olduğunu varsayarak, Fotodiyotun, fotovoltaik rejimde çalıştığında çıkıştaki foto gerilimi bulunuz.

($kT=0,025$ V)

Çözüm: $S_1 = \frac{I_P}{P}$

$$I_P = S_1 \cdot P$$

$$I_P = (0,52 \text{ A/W}) \cdot (10 \cdot 10^{-3} \text{ W})$$

$$I_P = 0,52 \cdot 10^{-2} \text{ A} = 5,2 \text{ mA}$$

$$V = \frac{kT}{e} \ln \left[\frac{I_P}{I_0} \right] \Rightarrow V = 0,025 \cdot \ln \left[\frac{5,2 \cdot 10^{-3}}{10^{-8}} \right]$$

$$V = 0,025 \cdot \ln(5,2 \cdot 10^5) = 0,387 \text{ V}$$

2. Soru:

n-tipi yarıiletken parçasından oluşan bir foto direncin foto iletkenliği $\sigma_{F0} = 7,5 \cdot 10^{-4} \Omega^{-1} \cdot \text{m}^{-1}$ ve yük taşıyıcılarının ömrü $\tau_n = 2 \cdot 10^{-9} \text{ s}$ olduğunu varsayın. Bu foto direnç bir süre aydınlatıldıktan sonra ışık etkisinin kesildiğini düşünün ve ışık etkisi kesildiği andan 1 ns zaman sonraki foto iletkenliğini (σ_F) bulunuz. (Foto iletkenliğin zamana göre değişimi üsteldir)

Çözüm:

$$\sigma_F = \sigma_{F0} \exp(-t/\tau) \rightarrow \sigma_F = (7,5 \cdot 10^{-4} \Omega^{-1} \cdot \text{m}^{-1}) \cdot \exp \left[\frac{-10^{-9}}{2 \cdot 10^{-9}} \right]$$
$$\sigma_F = 1,37 \cdot 10^{-4} \Omega^{-1} \cdot \text{m}^{-1}$$

3. Soru:

10 GHz frekansla modüle edilmiş olan lazer ışınlarıyla çalışan bir Fiber optik iletişim sisteminde alıcı olarak kullanılabilmesi için, kesit alanı $3 \cdot 10^{-8} \text{ m}^2$ olan bir PİN foto diyotun

- a) Fakirleşmiş bölge (depletion bölgesinin) optimal genişliği ve
- b) sığası ne olmalıdır. ($V=10^7 \text{ cm/s}$, $\epsilon_0=8,85 \cdot 10^{-12} \text{ F/m}$, $\epsilon=13,6$)

4. A photodiode is made with p-type Ge doped with $10^{23} \text{ Ga atoms/m}^3$ and n-type Ge with $10^{22} \text{ As atoms/m}^3$. For Ge $\epsilon_r = 16$. The intrinsic carrier concentration of Ge at $T=300\text{K}$ is

given by $n_i = 2.5 \cdot 10^{19} \text{ m}^{-3}$. Calculate the width of the depletion layers at 300 K.

Solution :

The junction potential is given by

$$V_B = \frac{kT}{q} \frac{N_d N_a}{n_i^2} = 0.369 \text{ V}$$

Substituting the values given in Eqn. (D),

$$W = \sqrt{\frac{2\epsilon_0 \epsilon_r}{q} \frac{N_a + N_d}{N_a N_d} V_B} = 0.27 \mu\text{m}$$

6. Soru

850nm dalgaboyunda duyarlılığı 0,5 A/W olan fotodiyotun verimliliği nedir?

$$\eta = S_I \frac{hc}{\lambda} = 0.5 \frac{1.24}{0.85} = 0.73$$

Solution :

The number of photons per watt is

$$N = \frac{P}{hc/\lambda} = 4.28 \times 10^{18}$$

As the current generated is 0.5 A from 1 Watt of power, the efficiency is (= the number of electrons per photon)

$$\eta = \frac{0.5 \times 1.6 \times 10^{-19}}{4.28 \times 10^{18}} = 0.73$$

7. Soru:

Bir Si photodiyotun p tipi tarafının katkısı 10^{23} m^{-3} ve n-tipi tarafının ise 10^{22} m^{-3} olarak veriliyor. p- bölgenin kalınlığı $1 \mu\text{m}$ ve Si için dielektrik sabit $\epsilon_r = 12$ dir. Silisyumun saf konsantrasyonu $n_i = 1.4 \times 10^{16} \text{ m}^{-3}$ tur. Kırma indisi 3.5 ve soğurma katsayısı $\alpha = 10^6 \text{ m}^{-1}$. Bu fotodiyotun $T=300\text{K}$ sıcaklıktaki kuantum verimini bulun.

Solution :

Using Example (1), we can calculate the width of the depletion layer in the p-region to be $0.03 \mu\text{m}$, so that the undepleted p-region has a width of $0.97 \mu\text{m}$.

The amount of power reflected at the surface is determined by Fresnel coefficient

$$R = \frac{(n-1)^2}{(n+1)^2} = 0.31$$

Thus 0.31 times the incident power P_0 is reflected and $0.69P_0$ is transmitted into the device. The transmitted power is attenuated as it travels through the undepleted p-region of width $0.97\mu\text{m}$. The optical power, when it reaches the depletion region is

$$0.69P_0 e^{-\alpha x} = 0.69P_0 e^{-0.97} = 0.26P_0$$

The power which is converted to electron-hole pair is given by

$$0.26P_0(1 - e^{-0.03}) \simeq 0.008P_0$$

which implies that the efficiency of the device is less than 1%.

8.Soru:

An ideal photodiode is illuminated with 10 mW of optical power at 900 nm. Calculate the current output when the diode is used in photoconducting mode at 300 K. What is the voltage output if the diode is used in photovoltaic mode ? The reverse bias leakage current is 10 nA.

Solution :

For an ideal photodiode, the shunt resistance is infinite so that the shunt current is zero.

Since leakage current under reverse bias is small $I_{out} \simeq I_{opt} = I_0 A \lambda q / hc$. Substituting

$$I_0 A = 0.01 \text{ watt and } \lambda = 900 \text{ nm, } I_{out} = 7.2 \text{ mA.}$$

In the photovoltaic mode, $I_{out} = 0$. Thus,

$$I_{opt} = I_D = I_s \left[\exp \left(\frac{qV_D}{kT} \right) - 1 \right]$$

Using $I_{opt} = 7.2 \text{ mA}$, $I_s = 10 \text{ nA}$ and $T = 300$, we get $V_D = 0.347 \text{ V}$.

9. Soru:

Kesit alanı 0.1 mm^2 olan bir AlGaInAs PIN Fotodiyot $1.3 \text{ }\mu\text{m}$ dalga boyu ve 1 mW/cm^2 şiddetinde bir ışık ile aydınlatıldığında fotodiyotun çıkışındaki fotoakım $0.996 \text{ }\mu\text{A}$ oluyor.

a) kuantum verimini, ve b) $1.5 \text{ }\mu\text{m}$ dalga boyundaki fotoakımı hesaplayın.

$$I_p = \eta \frac{I_0 A \cdot \lambda}{hc} q$$

$$\begin{aligned} c &= 3 \cdot 10^8 \text{ m/s} \\ h &= 6.62 \times 10^{-34} \text{ J s} \\ q &= 1.6 \times 10^{-19} \text{ C} \end{aligned}$$

$$a) \quad \eta = \frac{I_p hc}{I_0 A \cdot \lambda \cdot q} = \dots$$

$$b) \quad I_p = \eta \frac{I_0 A \cdot \lambda^{1.5 \times 10^{-6}}}{hc} q = \dots \cdot 10^{-6} \text{ A}$$

LED örnek problem çözümleri:

1. 75 mA ve 1.5 V gerilimde çalışmakta olan bir LED' in yaydığı ışık gücünün 200 mikrowatt kısmı bir optic fiber içerisine aktarılmaktadır. Bu işlemin tüm verimi ne kadardır?

$$\eta = \frac{P_{op.}}{IV} =$$

2. %66.7 verimliliğe sahip olan ve 850 nm dalgaboyunda ışık yayan bir AlGaAs LED' den 100 mA akım geçtiğinde iç optic güç ne kadar olur? $c=3 \times 10^8$ m/s, $h=6.62 \times 10^{-34}$ Js

$$\eta = \frac{P_{op.} \cdot e}{I h \nu} = \frac{P_{op.} \cdot e \lambda}{I h c} =$$

3. InP ile uyumlu $\text{In}_x \text{Ga}_{1-x} \text{As}_y \text{P}_{1-y}$ yarıiletken bileşeninin yasak band aralığı, $y=2.15x$ için E_g (eV) $= 1.35 - 0.72y + 0.12y^2$ olarak verilmiştir. 1.55 mm dalgaboyunda bir LED elde etmek için bu bileşenin x ve y yüzdeleri ne olmalıdır?

Strain reduction in tern requires a value for $y = 2.2x$

The bandgap energy for the alloy in eV is given by the empirical relationship

$$E_g \approx 1.35 - 0.72y + 0.12y^2$$

$$0 \leq x \leq 0.47$$

Calculate the composition of InGaAsP ternary alloys for peak emission at a wavelength of 1.3 μm

$$E_g = \frac{hc}{e\lambda} - \frac{k_B T}{e} \quad \text{For} \quad \lambda = 1300 \text{ nm}; T = 300 \text{ K}$$

$$E_g = \frac{hc}{e\lambda} - \frac{k_B T}{e} = \frac{(6.626 \times 10^{-34})(3 \times 10^8)}{(1.6 \times 10^{-19})(1.3 \times 10^{-6})} - 0.0259 \text{ eV} = 0.928 \text{ eV}$$

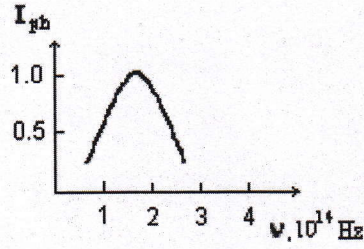
$$E_g = 0.928 = 1.35 - 0.72y + 0.12y^2$$

$$y = 0.66$$

$$x = 0.66 / 2.2 = 0.3$$

Requires $\text{In}_{0.7} \text{Ga}_{0.3} \text{As}_{0.66} \text{P}_{0.34}$

4. Şekilde gösterilmiş olan spektrum aşağıdaki yarıiletken LED' lerin hangisine aittir? $h=6.62 \times 10^{-34}$ Js



a) $E_g(\text{Si})=1.11$ eV

b) $E_g(\text{Ge})=0.66$ eV

c) $E_g(\text{GaAs})=1.43$ eV

d) $E_g(\text{GaP})=2.25$ eV

$$E = h\nu$$

5. 2.4 eV iş fonksiyonlu bir metalden elektronların fotosalınımlarına yol açacak ışığın minimum frekansı 5.8×10^{14} Hz olarak veriliyor. 300 nm dalga boylu ışık tarafından yayınlanan foto elektronların maksimum hızı nedir?

(Bilgi: $h = 6,62 \times 10^{-34}$ Js, $c = 3 \times 10^8$ m/s, $m_0 = 9.1 \times 10^{-31}$ kg) (ÖDEV)

6. Bir GaP yarıiletken madde kullanarak kırmızı ışık yayan bir LED elde etmek için, alıcı (akseptör) atomlarının enerji seviyesi yasak bandının neresinde bulunması gerekir?

Bilgi: $E_g(\text{GaP}) = 2,25$ eV, $\lambda_k = 0,76$ μm . (ÖDEV)

External efficiency η_{external} of an LED quantifies the efficiency of conversion of electrical energy into an emitted external optical energy. It incorporates the "internal" efficiency of the radiative recombination process and the subsequent efficiency of photon extraction from the device. The input of electrical power into an LED is simply the diode current and diode voltage product (IV). If P_{out} is the optical power emitted by the device, then

*External
quantum
efficiency*

$$\eta_{\text{external}} = \frac{P_{\text{out}}(\text{Optical})}{IV} \times 100\% \quad (1)$$

and some typical values are listed in Table 3.1. For indirect bandgap semiconductors η_{external} are generally less than 1% whereas for direct bandgap semiconductors with the right device structure, η_{external} can be substantial.

LED spektrum eğrisinin 0.5 seviyesindeki spektrum genişliğini hesaplanması:

Example: LED Output Spectrum

- Width of the relative light intensity vs. photon energy spectrum of an LED is typically $3k_B T$. What is the linewidth, $\Delta\lambda_{1/2}$ in the output spectrum in terms of wavelength?

Emitted light is related to photon energy by

$$\lambda = \frac{c}{\nu} = \frac{hc}{E_{ph}}$$

Differentiating, wavelength w.r.t photon energy:

$$\frac{d\lambda}{dE_{ph}} = -\frac{hc}{E_{ph}^2}$$

Small changes in the differential :

$$\Delta\lambda \approx \frac{hc}{E_{ph}^2} \Delta E_{ph}$$

Given the energy width of the output spectrum:

$$\Delta E_{ph} = \Delta(h\nu) \approx 3k_B T$$

Then substituting in terms of wavelength:

$$\Delta\lambda \approx \frac{hc}{E_{ph}^2} (3k_B T) = \frac{hc}{\left(\frac{hc}{\lambda}\right)^2} (3k_B T) = \lambda^2 \left(\frac{3k_B T}{hc}\right)$$

That at various LED wavelengths one receives:

$$\lambda = 870nm \quad \Delta\lambda = 47nm$$

$$\lambda = 1300nm \quad \Delta\lambda = 105nm$$

$$\lambda = 1550nm \quad \Delta\lambda = 149nm$$

LED ışığı dalgaboyunun sıcaklığa göre değişiminin belirlenmesi:

Example: LED Output Wavelength Variation

- Consider a GaAs LED
- GaAs bandgap at 300K is 1.42 eV
- Derivative of the bandgap is

$$\frac{dE_g}{dT} = -4.5 \times 10^{-4} \frac{eV}{K}$$

- What is the change in emitted wavelength if the temperature is 10°C?

$$E_g = \frac{hc}{e\lambda} - \frac{k_B T}{e}$$

$$\lambda = \frac{c}{\nu} = \frac{hc}{E_g} = \frac{(6.626 \times 10^{-34})(3 \times 10^8)}{(1.42 \times 1.6 \times 10^{-19})} = \frac{1.24 \times 10^{-6} eV \cdot m}{1.42 eV} = 875nm$$

$$\frac{d\lambda}{dT} = -\frac{hc}{E_g^2} \left(\frac{dE_g}{dT} \right) = -\frac{(6.626 \times 10^{-34})(3 \times 10^8)}{(1.42 \times 1.6 \times 10^{-19})^2} (-4.5 \times 10^{-4})(1.6 \times 10^{-19}) \frac{m}{K}$$

$$\frac{d\lambda}{dT} \approx 2.77 \times 10^{-10} \frac{m}{K} = 0.277 \frac{nm}{K}$$

$$\Delta\lambda = \frac{d\lambda}{dT} \Delta T \approx 0.277 \frac{nm}{K} \times 10K \approx 2.8nm$$

- Since E_g decreases with temperature, the wavelength increases with temperature. This calculated change is within 10% of typical values for GaAs LEDs quoted in the literature

Lazer Diyot örnek problem çözümleri

1. Dalgaboyu $\lambda = 680$ nm olan kırmızı ışık elde edebilmek için aktif bölgesi $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{As}$ bileşik yarıiletkeniden oluşacak bir lazer için Al' nin yüzdesi (x) ne olmalıdır?

Çözüm:

Dalgaboyu $\lambda = 680$ nm olan kırmızı ışığın enerjisi:

$$E_g = \frac{hc}{\lambda(\mu\text{m})} = \frac{1.2398}{0.680} = 1.8232 \text{ eV}$$

Yasak bant enerjisi 1.8232 eV olan AlGaAs bu enerjili fotonları sağlar. ($\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{As}$) bileşik yarıiletkenin Al kompozisyonuna göre yasak bant enerjisi:

$$E_g(x) = E_g(\text{GaAs}) + (1.429 \text{ eV})x - 0.14\text{eV}x^2$$

$$1.8232 \text{ eV} = 1.42\text{eV} + (1.429 \text{ eV})x - 0.14\text{eV}x^2$$

$$x^2 - (10.2)x + 2.79 = 0$$

Çözümler $x_1=0.28$, $x_2=9.92$ ($x_2 > 1$ olduğu için çözüm fiziksel değildir), buna göre Al ($x=0.28$) yüzdesi %28 yani $\text{Al}_{0.28}\text{Ga}_{0.72}\text{As}$ olmalıdır.

2. $\text{In}_x\text{Ga}_{1-x}\text{As}$ bileşeninin InP üzerinde kolaylıkla büyütülebildiği kompozisyon değeri $x=0.43$ ' tür. Bu kompozisyonla yapılacak bir lazerin dalgaboyu nedir?

Çözüm:

Bu kompozisyon değerindeki yasak band enerjisi,

$$E_g^{\text{InGaAs}}(x) = 1.425 - (1.501)x + (0.436)x^2 \text{ (eV)}$$

Buradan $E_g^{\text{InGaAs}}(x=0.43) = 0.75\text{eV}$ olarak bulunur.

$$E_g(\text{In}_x\text{Ga}_{1-x}\text{As}) = h\nu \Rightarrow \lambda = \frac{hc}{E_g} = \frac{1.24}{0.75} = 1.66 \mu\text{m}$$

3. Aktif bölgesi $\text{GaAs}_{1-x}\text{P}_x$ bileşik yarıiletkeniden oluşacak bir lazer için P' nin yüzdesi %47' dir. Böyle bir yarıiletkeniden oluşacak bir lazerin dalgaboyu kaç nm' dir?

$$E_g(\text{GaAs}_{1-x}\text{P}_x) = E_g(\text{GaAs}) + (0.848\text{eV})x = 1.42 \text{ eV} + (0.848 \text{ eV}) 0.47 = 1.82 \text{ eV}$$

$$E_g(\text{GaAs}_{1-x}\text{P}_x) = \frac{hc}{\lambda} \Rightarrow \lambda = \frac{hc}{E_g(\text{GaAs}_{1-x}\text{P}_x)} =$$