
UNIVERSITI SAINS MALAYSIA

First Semester Examination
Academic Session of 2007/2008

October/November 2007

EBB 424E – Semiconductor Devices And Optoelectronic [Peranti Semikonduktor Dan Optoelektronik]

Duration: 3 hours
[Masa: 3 jam]

Please ensure that this paper consists of SIXTEEN printed pages before you proceed with the examination.

[Sila pastikan bahawa kertas peperiksaan ini mengandungi ENAM BELAS muka surat yang bercetak sebelum anda memulakan peperiksaan.]

This paper contains THREE questions from PART A, ONE questions from PART B and THREE questions from PART C.

[Kertas soalan ini mengandungi TIGA soalan dari BAHAGIAN A, SATU soalan dari BAHAGIAN B dan TIGA soalan dari BAHAGIAN C.]

Instruction: Answer **FIVE** (5) questions. Answer **TWO** (2) questions from PART A, PART B is **COMPULSORY** and **TWO** (2) questions from PART C. If a candidate answers more than five questions, only the first five questions answered will be examined and awarded marks.

[Arahan: Jawab **LIMA** (5) soalan. Jawab **DUA** (2) soalan dari BAHAGIAN A, BAHAGIAN B **WAJIB** dijawab dan jawab **DUA** (2) soalan dari BAHAGIAN C. Jika calon menjawab lebih daripada lima soalan hanya lima soalan pertama mengikut susunan dalam skrip jawapan akan diberi markah.]

Answers to any question must start on a new page.

[Mulakan jawapan anda untuk setiap soalan pada muka surat yang baru.]

You may answer a question either in Bahasa Malaysia or in English.

[Anda dibenarkan menjawab soalan sama ada [untuk KBI] dalam Bahasa Malaysia atau Bahasa Inggeris.]

PART A.
BAHAGIAN A.

1. [a] There are two main categories of transistors: bipolar junction transistor (BJT) and field effect transistor (FET). What is the difference between the two categories? Give brief explanation.

Terdapat dua jenis transistor iaitu: transistor simpangan dwikutub (BJT) dan transistor kesan medan (FET). Apakah perbezaan di antara kedua-dua jenis itu. Berikan penjelasan ringkas.

(25 marks/markah)

- [b] Sketch and give a brief explanation how the charge flow mechanism in a PNP bipolar junction transistor (BJT) under normal operation (active mode).

Lakarkan dan berikan penjelasan ringkas bagaimana mekanisme aliran cas dalam PNP BJT dalam keadaan operasi normal (mod aktif).

(25 marks/markah)

- [c] An NPN transistor has emitter, base and collector doping densities of $10^{25\text{cm}^{-3}}$, $10^{23\text{cm}^{-3}}$ and $10^{21\text{cm}^{-3}}$, respectively. The emitter and base widths are $3\ \mu\text{m}$ and $5\ \mu\text{m}$, respectively; electron diffusion length, $L_e = 10\ \mu\text{m}$ and hole diffusion length, $L_h = 6\ \mu\text{m}$.
- (i) Find the forward and reverse common base current gain if the electron lifetime (τ_e) = hole lifetime (τ_h).
 - (ii) Find the breakdown voltages for the transistor in forward and reverse operation. Take $\epsilon_r = 11.9$.

Sebuah transistor NPN mempunyai ketumpatan dop pemancar, tapak dan pemungut masing-masing $10^{25\text{cm}^{-3}}$, $10^{23\text{cm}^{-3}}$ dan $10^{21\text{cm}^{-3}}$. Lebar pemancar dan tapak ialah $3\ \mu\text{m}$ dan $5\ \mu\text{m}$; panjang resapan elektron, $L_e = 10\ \mu\text{m}$ dan lohong, $L_h = 6\ \mu\text{m}$.

- (i) Dapatkan penguatan arus tapak dalam pincang depan dan belakang apabila $\tau_e = \tau_h$.*
- (ii) Dapatkan voltan pecah tebat transistor dalam keadaan operasi depan dan belakang. Ambil $\epsilon_r = 11.9$.*

(50 marks/markah)

2. [a] The FET family can be divided into three (3) groups. Give the brief explanation of each group.

Keluarga FET dapat dibahagikan kepada tiga kumpulan. Berikan penjelasan ringkas bagi setiap kumpulan.

(20 marks/markah)

- [b] Find the full channel resistance and pinch off voltage for a JFET with channel length, height and width of 25 μm , 2 μm and 200 μm . The channel is doped n-type with 10^{22} m^{-3} donors and is silicon. If V_{GS} is -3 V, what is the value of V_{DS} at pinch off?

Dapatkan kerintangan penuh saluran dan voltan keadaan jepitan bagi JFET dengan panjang, tinggi dan lebar saluran ialah 25 μm , 2 μm dan 200 μm . Saluran daripada bahan silikon didop dengan jenis-n dengan 10^{22} m^{-3} penderma. Jika $V_{GS} = -3 \text{ V}$, dapatkan nilai V_{DS} pada jepitan.

(50 marks/markah)

- [c] Sketch cross-sectional diagrams for both n-channel and p-channel JFETs, indicating the polarities of V_{GS} and V_{DS} in normal operation. Is it possible to construct a JFET for which $I_{DS} = 0$ for $V_{GS} = 0$? Give a brief explanation.

Lakarkan gambarajah keratan rentas bagi kedua-dua jenis-n dan jenis-p JFET, yang menunjukkan kecutupan V_{GS} dan V_{DS} dalam operasi normal. Apakah mungkin untuk membina sebuah JFET dengan keadaan $I_{DS} = 0$ untuk $V_{GS} = 0$? Berikan penjelasan ringkas.

(30 marks/markah)

3. [a] Sketch the C-V curves for n-MOS and p-MOS capacitors for low and high frequencies, indicating the accumulation, depletion, inversion regions and V_{FB} and V_T .

Lakarkan lengkok C-V bagi kapasitor n-MOS dan p-MOS pada frekuensi rendah dan tinggi yang menunjukkan kawasan-kawasan akumulasi, kekosongan dan songsangan, dan V_{FB} serta V_T .

(20 marks/markah)

- [b] Find the threshold voltage for a silicon MOS capacitor if $t_{ox} = 100$ nm, $N_A = 10^{20} \text{ m}^{-3}$, $Q_o = 8 \times 10^{-5} \text{ C m}^{-2}$, $\phi_{ms} = -0.4$ V, oxide and silicon relative permittivities 3.9 and 11.9, respectively, and temperature is 300 K.

Dapatkan voltan ambang bagi kapasitor MOS silikon apabila $t_{ox} = 100$ nm, $N_A = 10^{20} \text{ m}^{-3}$, $Q_o = 8 \times 10^{-5} \text{ C m}^{-2}$, $\phi_{ms} = -0.4$ V, pemalar dielektrik oksida dan silikon masing-masing 3.9 dan 11.9, dan suhu 300 K.

(30 marks/markah)

- [c] Sketch a cross-section, top view and $I_{DS}-V_{DS}$ characteristic for an enhancement mode p-channel MOSFET. What is the polarity of the threshold voltage?

Lakarkan keratan rentas, pandangan atas dan ciri $I_{DS}-V_{DS}$ bagi p-MOSFET dengan mod ragam peningkatan. Tentukan kekutuban bagi voltan ambang.

(20 marks/markah)

PART B.
BAHAGIAN B.

4. [a] What is the difference between a nanoscale MOSFET and a single-electron transistor (SET)?

Apakah perbezaan di antara MOSFET berskala nano dengan transistor elektron-tunggal (SET)?

(15 marks/markah)

- [b] Give a brief explanation of Moore's law. What is the problem of making more powerful chips and how to solve these problems?

Berikan penjelasan ringkas tentang hukum Moore. Apakah masalah dalam membuat cip semakin berkuasa tinggi dan bagaimana menyelesaikan masalah tersebut.

(15 marks/markah)

- [c] Sketch a design of nanoelectronic devices using nanostructured materials such as nanowires, nanotubes or quantum dots.

Lakarkan rekabentuk sebuah peranti nanoelektronik dengan menggunakan bahan bernanostruktur seperti nanowayar, nanotiub atau kuantum dot.

(20 marks/markah)

- [d] Explain the principle operation of a pin photodiode and describe the material selection criteria to achieve a high quantum efficiency pin photodiode.

Jelaskan prinsip operasi pin fotodiod dan terangkan apakah kriteria pemilihan bahan untuk menghasilkan pin fotodiod yang mempunyai kecekapan kuantum yang tinggi.

(25 marks/markah)

- [e] Sketch a Si:H solar cell and write a short essay on this device.
Lakarkan solar cell Si:H dan tulis satu esei ringkas berkenaan dengan peranti ini.

(25 marks/markah)

PART C.
BAHAGIAN C.

5. [a] A homojunction laser diode can be fabricated by using degenerately doped GaAs. Describe the lasing action of the diode by answering the following questions.

Homosimpang laser diod boleh dihasilkan dengan pendopan merosot GaAs. Terangkan berkenaan dengan penghasilan diod laser dengan menjawab soalan di bawah.

- (i) Prove mathematically, what colour would this diode produced?

Tunjukkan dengan terbitan matematik apakah warna yang dihasilkan oleh diod ini?

(10 marks/markah)

- (ii) Sketch an energy diagram of a forward biased GaAs laser diode. With the aid of the diagram that you sketched, explain how population inversion can be achieved in your laser diode.

Lakarkan gambarajah jalur tenaga untuk diod laser GaAs yang telah dipincang hadapan. Dengan berpandukan lakaran anda, terangkan bagaimana populasi songsang boleh dihasilkan di dalam diod laser anda.

(30 marks/markah)

- [b] A heterojunction laser diode can be achieved by multi-layer thin film growth on a suitable substrate. You need to design a blue laser diode. Answer the following questions to help you in designing your device.

Heterosimpang diod laser boleh dihasilkan dengan menggunakan lapisan-berbilang yang ditumbuhkan di atas substrat yang sesuai. Anda perlu merekabentuk laser yang menghasilkan cahaya biru. Jawab soalan di bawah untuk menolong anda merekabentuk peranti anda.

- (i) State a suitable material as a substrate for your blue laser diode. Explain your choice.

Apakah substrat yang sesuai untuk penghasilan diod laser biru anda. Terangkan pilihan anda.

(10 marks/markah)

- (ii) An active layer in your blue laser must be sandwiched between two confining layer. Describe the lasing action at the active region and state the reasons why confining layers are necessary.

Satu lapisan aktif perlu disandwic di antara dua lapisan batasan. Terangkan bagaimana laser terhasil pada kawasan aktif dan nyatakan kenapa lapisan batasan diperlukan.

(20 marks/markah)

- (iii) Sketch your laser diode and label each layer with suitable materials.

Lakarkan diod laser anda dan label setiap lapisan dengan bahan-bahan yang bersesuaian.

(30 marks/markah)

...11/-

6. Figure 1 represents the bandgap and the lattice parameter graph in a III-V alloy system. The following questions are related to this diagram. Answer all questions.

Rajah 1 menunjukkan graf jurang tenaga berlawanan parameter kekisi pada sistem aloi III-V. Soalan seterusnya adalah berkaitan dengan gambarajah ini. Jawab semua soalan.

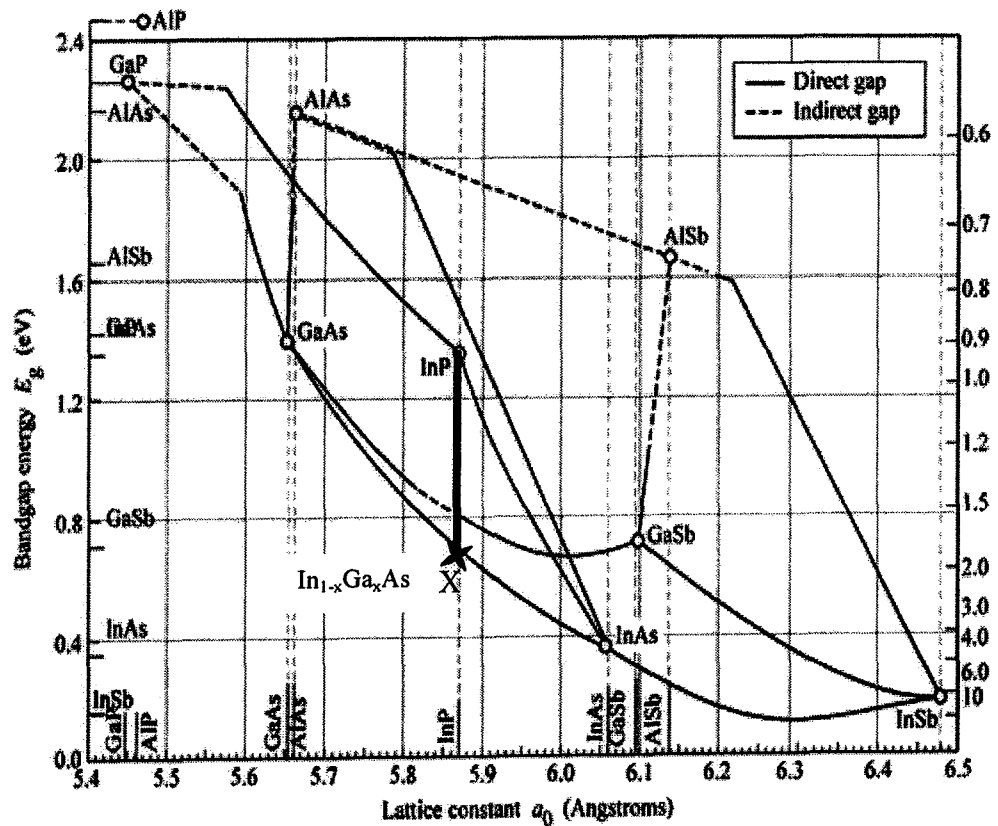


Figure 1 / Rajah 1

- [a] State a possible ternary compound that could be used to produce yellow LED if you were given a GaP substrate. Explain your answer by considering the concept of band gap engineering and doping.

Nyatakan apakah sebatian ternari yang boleh digunakan untuk menghasilkan LED berwarna kuning jika anda diberikan substrat GaP. Terangkan jawapan anda berpandukan konsep kejuruteraan jurang tenaga dan pendopan.

(30 marks/markah)

- [b] On an InP substrate, a quaternary compound of $\text{In}_{1-x}\text{Ga}_x\text{As}_y\text{P}_{1-y}$ can be grown by standards thin film deposition technique. Name and briefly explain one of these techniques.

Di atas substrat InP, sebatian kuarternari $\text{In}_{1-x}\text{Ga}_x\text{As}_y\text{P}_{1-y}$ boleh ditumbuhkan dengan menggunakan kaedah penghasilan thin film yang piawai. Nama dan terangkan satu kaedah ini.

(10 marks/markah)

- [c] One of the most important considerations is to match the lattice parameter of the substrate to that of the $\text{In}_{1-x}\text{Ga}_x\text{As}_y\text{P}_{1-y}$ film. In figure 1, a point X indicate a ternary compound of $\text{In}_{1-x}\text{Ga}_x\text{As}$. If $\text{In}_{1-x}\text{Ga}_x\text{As}_y\text{P}_{1-y}$ has a band gap of 0.9eV, show that this compound is lattice matched to InP at $y = 2.15x$.

Salah satu daripada pertimbangan penting yang perlu ialah parameter kekisi susbtrat mestilah berpadanan dengan film $\text{In}_{1-x}\text{Ga}_x\text{As}_y\text{P}_{1-y}$. Di dalam gambarajah 1, point X menunjukkan sebatian ternari $\text{In}_{1-x}\text{Ga}_x\text{As}$. Jika $\text{In}_{1-x}\text{Ga}_x\text{As}_y\text{P}_{1-y}$ mempunyai jurang tenaga 0.9eV, tunjukkan bahawa sebatian ini berpadanan kekisinya dengan InP pada $y = 2.15x$.

(20 marks/markah)

- [d] Given that the empirical relation of the band gap and lattice parameter of this compounds to be:

$$E_g \sim 1.35 - 0.72y + 0.12y^2 \quad 0 < x < 0.47$$

Find the composition of the quaternary alloy suitable to emit $1.5\mu\text{m}$ light.

Diberikan persamaan empirikal hubungan jurang tenaga dan parameter kekisi untuk sebatian tersebut sebagai:

$$E_g \sim 1.35 - 0.72y + 0.12y^2 \quad 0 < x < 0.47$$

Kirakan apakah komposisi aloi yang sesuai untuk menghasilkan cahaya $1.5\mu\text{m}$.

(40 marks/markah)

7. [a] (i) Specify a photodiode shown in Figure 2.

Nyatakan apakah fotodiod di dalam Rajah 2.

(5 marks/markah)

- (ii) Explain where and why impact ionization occurs and the need to induce such phenomenon in the photodiode.

Terangkan di mana dan kenapa pengionan impak berlaku dan kepentingan penghasilan fenomena ini di dalam fotodiod.

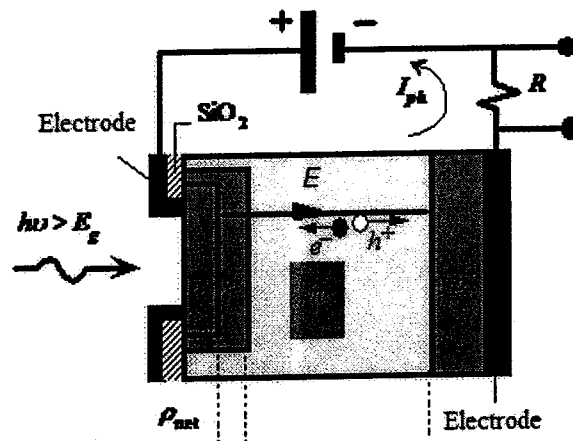


Figure 2 / Rajah 2

(30 marks/markah)

- [b] A cross section of a typical solar cell is shown in Figure 3.

Keratan rentas sel suria yang lazim ditunjukkan pada Rajah 3.

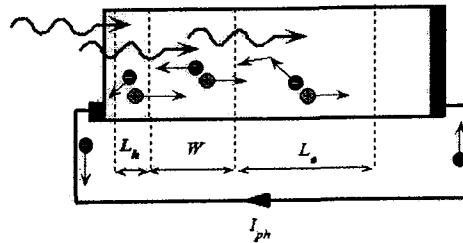


Figure 3 / Rajah 3

- (i) State an example of a material suitable to make this type of solar cell.

Nyatakan contoh bahan yang sesuai untuk menghasilkan sel suria seperti ini.

(5 marks/markah)

- (ii) Explain how photogenerated current can be produced within the volume of L_h , W and L_e .

Terangkan bagaimana arus fotogenerasi boleh dihasilkan di dalam isipadu L_h , W dan L_e .

(20 marks/markah)

(iii) Given that the solar cell is made out of a material with weak absorption coefficient, α . Calculate a photocurrent for this cell given:

- Device Area = 5 cm x 5 cm
- $l_n = 0.5 \mu\text{m}$
- $W = 2 \mu\text{m}$
- $L_e = 50 \mu\text{m}$

at $\lambda = 1.1 \mu\text{m}$ the $G_o =$ photogeneration rate is $1 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3} \text{ s}^{-1}$

Diberikan sel suria daripada bahan yang lemah pekali penyerapannya, α . Kirakan arusfoto untuk sel yang diberikan:

- Kawasan peranti = 5 cm x 5 cm
- $l_n = 0.5 \mu\text{m}$
- $W = 2 \mu\text{m}$
- $L_e = 50 \mu\text{m}$

Pada $\lambda = 1.1 \mu\text{m}$, $G_o =$ kadar fotogenerasi rate ialah $1 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3} \text{ s}^{-1}$

(20 marks/markah)

(iv) The I-V characteristic of a load is given by $I = V/30\Omega$, if the $I' = 14\text{mA}$ and $V' = 0.5\text{V}$ (which are the current and voltage for a photovoltaic circuit respectively), sketch the I-V plot for the device and calculate the power output of the device.

Ciri-ciri I-V pada satu beban diberikan sebagai $I = V/30\Omega$, jika $I' = 14\text{mA}$ dan $V' = 0.5\text{V}$ (arus dan voltan litar fotovoltik masing-masing), lakarkan graf I-V untuk peranti ini dan kirakan kuasa keluaran daripada peranti ini.

(20 marks/markah)