

---

# UNIVERSITI SAINS MALAYSIA

First Semester Examination  
Academic Session 2010/2011

November 2010

## EBB 424/3 – Semiconductor Devices and Optoelectronic *[Peranti Semikonduktor dan Optoelektronik]*

Duration : 3 hours  
*[Masa : 3 jam]*

---

Please ensure that this examination paper contains FOURTEEN printed pages before you begin the examination.

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

This paper consists of ONE question from PART A, TWO questions from PART B, TWO questions from PART C and TWO questions from PART D.

*[Kertas soalan ini mengandungi SATU soalan dari BAHAGIAN A, DUA soalan dari BAHAGIAN B, DUA soalan dari BAHAGIAN C dan DUA soalan dari BAHAGIAN D.]*

**Instruction:** Answer **ONE** question from PART A, **ONE** question from PART B, **ONE** question from PART C, **ONE** question from PART D and **ONE** question from any parts. If candidate answers more than five questions only the first five questions answered in the answer script would be examined.

**Arahan:** Jawab **SATU** soalan dari BAHAGIAN A, **SATU** soalan dari BAHAGIAN B, **SATU** soalan dari BAHAGIAN C, **SATU** soalan dari BAHAGIAN D dan **SATU** soalan dari mana-mana bahagian. Jika calon menjawab lebih daripada lima soalan hanya lima soalan pertama mengikut susunan dalam skrip jawapan akan diberi markah.]

The answers to all questions must start on a new page.

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

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

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

In the event of any discrepancies, the English version shall be used.

*[Sekiranya terdapat sebarang percanggahan pada soalan peperiksaan, versi Bahasa Inggeris hendaklah diguna pakai.]*

**PART A / BAHAGIAN A:-**

1. [a] Explain the operational principles of a light-emitting diode (LED) and discuss the various technological ways to improve the efficiency of a LED.  
*Terangkan prinsip operasi LED dan bincangkan cara-cara untuk meningkatkan kecekapan LED.*

(40 marks/markah)

- [b] (i) Describe the principle of operation of a dye sensitized solar cell by sketching the device configuration. Explain how nanomaterials are much preferred in such device?  
*Terangkan prinsip operasi sel suria tersintesis dai dengan melakarkan konfigurasi peranti tersebut. Terangkan bagaimana bahan nano lebih digemari di dalam peranti tersebut.*

(15 marks/markah)

- (ii) In optical communication system, an operating wavelength of 1300  $\mu\text{m}$  long is often used. Avalanche photodetector is currently being used as the detector. Justify why Avalanche photodiode is used for this system and not the p-n photodiode.  
*Dalam sistem komunikasi optik, panjang gelombang operasi 1300  $\mu\text{m}$  selalu digunakan. Pada masa ini, fotodiod "avalanche" digunakan sebagai pengesan. Berikan justifikasi kenapa fotodiod "avalanche" digunakan untuk sistem ini dan bukan fotodiod p-n.*

(15 marks/markah)

- [c] Identify the main problems with the development of a single-electron transistor (SET) and explain how to solve these problems.  
*Kenalpasti masalah utama dalam pembangunan transistor elektron tunggal (SET) dan jelaskan cara untuk mengatasi masalah-masalah ini.*

(30 marks/markah)

**PART B / BAHAGIAN B:-**

2. [a] With the help of energy band diagrams, explain the differences between a depletion and an enhancement mode NFET.

*Dengan bantuan gambarajah tenaga, terangkan perbezaan di antara mod kesusutan dan mod tambahbaik NFET.*

(30 marks/markah)

- [b] List the short-channel effects and explain their effects on the  $I_D$ - $V_{DS}$  characteristics of a FET.

*Senaraikan kesan "short-channel" dan terangkan kesan-kesannya terhadap ciri-ciri  $I_D$ - $V_{DS}$  suatu FET.*

(30 marks/markah)

- [c] Plot the  $I_D$ - $V_{DS}$  characteristic for an NFET, using the long-channel model, for which  $W = 10 \mu\text{m}$ ,  $L = 1 \mu\text{m}$ ,  $t_{ox} = 4 \text{ nm}$ ,  $V_T = 0.25 \text{ V}$ , and the channel length modulation parameter is  $\lambda = 0.04 \text{ V}^{-1}$ . Use  $V_{GS} = 3 \text{ V}$ . Find the output conductance in saturation for  $V_{GS} = 3 \text{ V}$ .

*Plot ciri  $I_D$ - $V_{DS}$  bagi NFET dengan menggunakan model "long-channel", di mana  $W = 10 \mu\text{m}$ ,  $L = 1 \mu\text{m}$ ,  $t_{ox} = 4 \text{ nm}$ ,  $V_T = 0.25 \text{ V}$ , dan parameter "channel length modulation", adalah  $\lambda = 0.04 \text{ V}^{-1}$ . Gunakan  $V_{GS} = 3 \text{ V}$ . Tentukan "output conductance" pada paras tepu bagi  $V_{GS} = 3 \text{ V}$ .*

(40 marks/markah)

3. [a] With the help of energy band diagrams, explain the differences between an N-type MOS capacitor under accumulation, flatband, depletion, inversion, and deep-depletion modes.

*Dengan bantuan gambarajah tenaga, terangkan perbezaan di antara kapasitor MOS jenis N dalam mod-mod pengumpulan, jalur-rata, kesusutan, inversi, dan kesusutan-dalam.*

(50 marks/markah)

- [b] Consider a MOS capacitor where the gate electrode is having a work function of 4.05 eV and the substrate is n-type Si with  $N_D = 10^{16} \text{ cm}^{-3}$ . Except for the difference in work function of gate electrode and substrate, the capacitor can be considered to be ideal. Neglect band-gap narrowing in the degenerate gate. Assuming that electron affinity of Si is 4.05 eV, effective electron mass is  $9.1 \times 10^{-31} \text{ kg}$ , Planck's constant is  $4.136 \times 10^{-15} \text{ eV s}$ , and Boltzmann constant is  $8.6174 \times 10^{-5} \text{ eV K}^{-1}$ .

*Andaikan satu MOS kapasitor yang mempunyai elektrod get berfungsi kerja 4.05 eV dan substrak Si ialah n yang mempunyai  $N_A = 10^{16} \text{ cm}^{-3}$ . Selain daripada perbezaan fungsi kerja bagi get dan substrak, kapasitor tersebut boleh dianggap sebagai ideal. Tanpa mengambilkira penyusutan "band-gap", anggapan affinity elektron ialah 4.05 eV, jisim berkesan elektron ialah  $9.1 \times 10^{-31} \text{ kg}$ , pemalar Planck ialah  $4.136 \times 10^{-15} \text{ eV s}$ , dan pemalar Boltzmann ialah  $8.6174 \times 10^{-5} \text{ eV K}^{-1}$ .*

- (i) What is the built-in voltage of the device?  
*Apakah voltan terbentuk peranti tersebut?*  
(10 marks/markah)
- (ii) Sketch the equilibrium energy band diagram normal to the gate.  
*Lakarkan gambarajah tenaga dalam keadaan seimbang normal kepada get.*  
(10 marks/markah)
- (iii) What is the flat band voltage?  
*Apakah voltan jalur-rata?*  
(10 marks/markah)
- (iv) Sketch the energy band diagram at flat band voltage.  
*Lakarkan gambarajah tenaga dalam keadaan voltan jalur-rata.*  
(10 marks/markah)
- (v) Sketch the charge distribution as a function of position for  $V_G = +5$  V and  $V_G = -5$  V.  
*Lakarkan taburan cas berfungsi dengan kedudukan bagi  $V_G = +5$  V dan  $V_G = -5$  V.*  
(10 marks/markah)

**PART C / BAHAGIAN C**

4. [a] Explain why is it important to make a bipolar junction transistor (BJT) with a thin base.

*Jelaskan mengapa perlu disediakan tapak yang nipis bagi transistor dwi-kutub (BJT).*

(30 marks/markah)

- [b] Determine the operating point of the PNP BJT circuit given in Figure 1. Sketch the DC load line and show the Q-point. Given that  $R_B = 7.7 \text{ k}\Omega$ ,  $R_C = 10 \text{ k}\Omega$ ,  $R_E = 4.7 \text{ k}\Omega$ ,  $\beta = 50$ ,  $V_{EC(sat)} = 0.3 \text{ V}$ ,  $V_{BB} = -4.64 \text{ V}$ , and  $V_{EB} = 0.6 \text{ V}$ .

*Tentukan titik operasi litar transistor dwikutub BJT PNP sebagaimana ditunjukkan pada Rajah 1. Lakarkan garis beban arus terus (DC) dan tunjukkan takat-Q. Diberikan nilai bagi  $R_B = 7.7 \text{ k}\Omega$ ,  $R_C = 10 \text{ k}\Omega$ ,  $R_E = 4.7 \text{ k}\Omega$ ,  $\beta = 50$ ,  $V_{EC(sat)} = 0.3 \text{ V}$ ,  $V_{BB} = -4.64 \text{ V}$ , dan  $V_{EB} = 0.6 \text{ V}$ .*

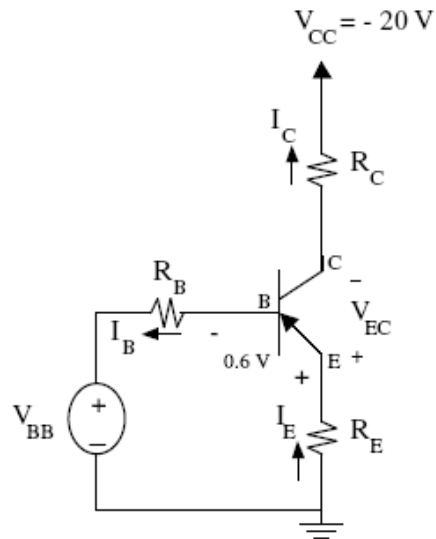


Figure 1 / Rajah 1

(50 marks/markah)

- [c] A BJT with an emitter current of 1 mA has an emitter efficiency of 0.90, a base transport factor of 0.95 and a depletion layer recombination factor of 0.98. Calculate the base current, the collector current, the transport factor and the current gain of the transistor.

*Satu BJT yang mempunyai arus pemancar 1 mA, mempunyai kecekapan pemancar: 0.90, faktor pengangkutan tapak: 0.95 dan faktor penggabungan semula lapisan kekosongan 0.98. Kira arus tapak, arus pemungut, faktor pengangkut dan gain arus transistor.*

(20 marks/markah)

5. [a] Explain a punch-through phenomena on a transistor BJT. Draw a typical current-voltage characteristic of a transistor when punch-through happen.

*Jelaskan fenomena "punch-through" pada transistor BJT. Lukiskan ciri-ciri arus-voltan yang lazim pada transistor ketika berlakunya "punch-through".*

(40 marks/markah)

- [b] Figure 2 shows the cross sectional structure of a silicon carbide (SiC) BJT. Mark the emitter, base, and collector terminals and identify the type of BJT.

*Rajah 2 menunjukkan keratan rentas sebuah BJT silikon karbida (SiC). Tandakan terminal pemancar, tapak, dan pemungut dan kenalpastikan jenis BJT ini.*

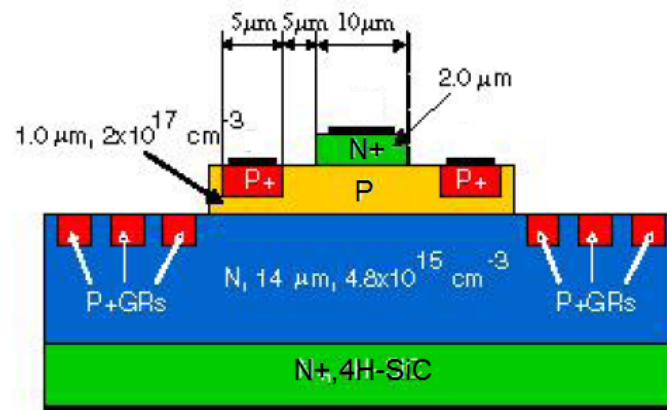


Figure 2: Cross sectional structure of a silicon carbide (SiC) BJT

*Rajah 2: Keratan rentas sebuah BJT silikon karbida (SiC)*

(20 marks/markah)



- [c] Describe at least three (3) problems faced due to the shrinking of transistor to squeeze more transistors into a chip as expected by Moore's law. Explain how a single-electron transistor (SET) approach can be used to solve these problems.

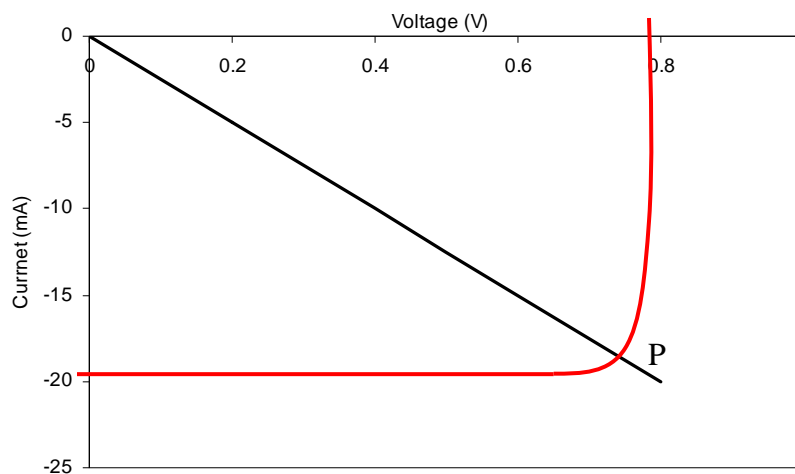
*Jelaskan sekurang-kurangnya tiga (3) masalah yang dihadapi oleh kerana pengecutan saiz transistor untuk membolehkan semakin banyak transistor dimuatkan di dalam sebuah cip sebagaimana dijangkakan oleh hukum Moore. Terangkan bagaimana pendekatan transistor elektron-tunggal (SET) dapat menyelesaikan masalah-masalah ini.*

(40 marks/markah)

**PART D / BAHAGIAN D**

6. [a] You are given a polycrystalline PERL solar cell driving a  $5\Omega$  resistive load. The cell has an area =  $1\text{ cm} \times 1\text{ cm}$  and is illuminated with light of intensity =  $700\text{Wm}^{-2}$  and has I-V characteristic as shown in Figure 3. Answer the following questions:

*Anda diberikan satu sel suria PERL polikristal yang digunakan untuk beban berkerintangan  $5\Omega$ . Sel ini mempunyai kawasan =  $1\text{ cm} \times 1\text{ cm}$  dan diluminasikan dengan cahaya yang berketumpatan =  $700\text{Wm}^{-2}$  dan juga mempunyai ciri-ciri I-V seperti pada Rajah 3. Jawab soalan-soalan berikut:*



Rajah 3 / Figure 3

- (i) Find current and voltage in the circuit.  
*Carikan arus dan voltan litar ini.*  
(10 marks/markah)
- (ii) Calculate the power delivered to the load.  
*Kirakan kuasa yang diberikan kepada beban.*  
(20 marks/markah)
- (iii) Calculate the efficiency of the solar cell.  
*Kirakan keberkesanan sel suria ini.*  
(20 marks/markah)
- (iv) Sketch the PERL solar cell and explain the principle of the operation of this type of cell.  
*Lakarkan sel suria PERL dan terangkan bagaimana prinsip operasinya.*  
(20 marks/markah)

- [b] You are required to propose a material for a photodiode that can detect the light near the Infra Red (IR) region. To help you to decide, answer the following questions:
- (i) Why is cut off wavelength is an important consideration in deciding a material best suited to detect near IR light?
  - (ii) Compare the cut off wavelength of Si and Ge. Decide which material would be best suited for your photodiode?
  - (iii) State two more important factors that may contribute in the decision of material selection.

*Anda diminta untuk mencadangkan satu bahan untuk fotodiod yang boleh mengesan cahaya nampak dan pada kawasan berdekatan IR. Untuk membantu anda membuat keputusan jawab soalan di bawah:*

- (i) *Kenapa panjang gelombang 'cut off' satu perkara utama yang perlu apabila membuat keputusan untuk pemilihan bahan pengesan cahaya IR?*
- (ii) *Bandingkan panjang gelombang 'cut off' untuk Si dan Ge. Tentukan bahan mana yang terbaik untuk fotodiod anda?*
- (iii) *Nyatakan dua lagi faktor yang penting yang mungkin boleh membantu anda membuat keputusan untuk pemilihan bahan.*

(30 marks/markah)

7. [a] Consider a commercial Si pin photodiode. Answer the following questions.

*Pertimbangkan satu fotodiod pin Si yang komersial. Jawab soalan-soalan di bawah.*

- (i) Sketch a typical structure of the pin photodiode.

*Lakarkan struktur tipikal pin fotodiod.*

(20 marks/markah)

- (ii) Determine the maximum value of an energy band gap which a semiconductor used as a photodetector can have if it is to be sensitive to yellow light (600nm). Suggest a material best for this application.

*Tentukan nilai maksima jurang tenaga yang diperlukan oleh semikonduktor yang digunakan sebagai pengesan foto untuk mengesan cahaya kuning (600nm). Cadangkan bahan yang paling sesuai untuk aplikasi ini.*

(20 marks/markah)

- (iii) The pin photodiode has superior properties in terms of the distribution of the electric field within the intrinsic region of the device. Explain how the electric field is distributed in this region. Use the charge density distribution plot and built in field across the diode plot to help in answering this question.

*Fotodiod pin mempunyai ciri-ciri yang terunggul terutama berkaitan dengan taburan medan elektrik pada kawasan intrinsik peranti ini. Terangkan bagaimana taburan medan elektrik pada kawasan ini. Gunakan plot ketumpatan cas dan plot medan terbina pada diod untuk membantu menjawab soalan ini.*

(30 marks/markah)

- [b] In amorphous Si solar cell, hydrogenation is needed. Explain the significance of hydrogenation. State several examples of the use of amorphous Si solar cell.

*Di dalam sel suria amorfus Si, penghidrogenan diperlukan. Terangkan kepentingan penghidrogenan. Nyatakan beberapa contoh sel suria amorfus Si.*

(30 marks/markah)