

---

# UNIVERSITI SAINS MALAYSIA

First Semester Examination  
Academic Session 2009/2010

November 2009

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

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

---

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

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

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

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

**Instruction:** Answer ONE question from PART A, TWO questions from PART B and TWO questions from PART C. 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, DUA soalan dari BAHAGIAN B dan DUA soalan dari BAHAGIAN C. 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.]*

...2/-

**PART A / BAHAGIAN A**

1. [a] List three (3) problems due to the shrinking of transistor to squeeze more transistors into a chip as expected by Moore's law.

*Senaraikan tiga (3) masalah yang wujud oleh kerana pengecutan saiz transistor untuk membolehkan semakin banyak transistor dapat dimuat dalam sebuah cip sebagaimana dijangkakan oleh hukum Moore.*

(25 marks/markah)

- [b] Explain how a single-electron transistor approach can be used to solve these problems.

*Jelaskan bagaimana pendekatan transistor elektron-tunggal dapat menyelesaikan masalah ini.*

(25 marks/markah)

- [c] (i) Describe the principle of operation of a blue light emitting diode (LED) by sketching the device configuration. Mention an appropriate example of a material that can emit blue light.

*Terangkan prinsip operasi LED biru dengan menggunakan satu lakaran konfigurasi peranti dan memberikan contoh bahan yang sesuai untuk penghasilan cahaya biru.*

(15 marks/markah)

- (ii) Suggest how population inversion can be achieved in a diode laser.

*Cadangkan bagaimana populasi songsang boleh dicapai di dalam diod laser.*

(10 marks/markah)

...3/-

---

- [d] (i) Sketch the Si:H solar cell configuration and marked in your sketch where the electron hole pairs formed would be separated.

*Lakarkan konfigurasi sel suria Si:H dan tandakan di dalam lakaran anda di mana pasangan elektron dan lohong yang terhasil akan dipisahkan.*

(15 marks/markah)

- (ii) To detect UV light, a p-i-n photodetector can be used. State the reasons for choosing p-i-n as a photodetector as oppose to an p<sup>+</sup>-n photodiode for the detection of UV light.

*Untuk mengesan cahaya UV, fotopengesan p-i-n fotodetektor boleh digunakan. Nyatakan apakah sebab pemilihan fotopengesan p-i-n bukan p<sup>+</sup>-n untuk pengesanan cahaya UV.*

(10 marks/markah)

**PART B / BAHAGIAN B**

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

*Jelaskan mengapa perlu menyediakan tapak yang tipis bagi transistor dwi-kutub (BJT).*

(20 marks/markah)

- [b] In a particular prototype transistor fabrication process, the base width is reduced to half. What is the effect of this reduction on the base transit time?

*Dalam proses fabrikasi prototaip transistor, lebar tapak telah dikurangkan menjadi separuh. Apakah kesan pengurangan ini ke atas masa transit tapak.*

(20 marks/markah)

- [c] For high speed BJTs, a double poly self-aligned transistor is preferred compared to the conventional transistor. For similar emitter, base and collector dopings compare the following parameters and explain your reasoning.
- (i) Collector-base junction capacitance.
  - (ii) Forward current gain  $\beta_F$ .
  - (iii) Reverse current gain  $\beta_R$ .
  - (iv) Base resistance.

Bagi BJT berkelajuan tinggi, transistor dengan poli penjajaran sendiri yang berganda adalah diutamakan bagi transistor lazim. Bagi kadar doping pemancar, tapak dan pemungut yang sama bandingkan parameter-parameter berikut dan jelaskan alasan saudara.

- (i) Kapasitans pincang pemungut-tapak.
- (ii) Pertambahan arus maju  $\beta_F$ .
- (iii) Pertambahan arus kebalikan  $\beta_R$ .
- (iv) Rintangan tapak.

(20 marks/markah)

- [d] There are six (6) regions (a, b, c, d, e and f) with unknown doping level as shown in Figure 1. Identify how the regions should be doped to make a good PNP transistor ( $n^+$ , n, intrinsic, p,  $p^+$ ) and indicate the reason(s).

Terdapat enam (6) kawasan (a, b, c, d, e dan f) dengan kadar dop yang tidak diketahui seperti pada Rajah 1. Kenalpasti bagaimana sepatutnya kadar dop kawasan-kawasan tersebut untuk menghasilkan transistor PNP yang baik ( $n^+$ , n, intrinsik, p,  $p^+$ ) dan berikan alasan.

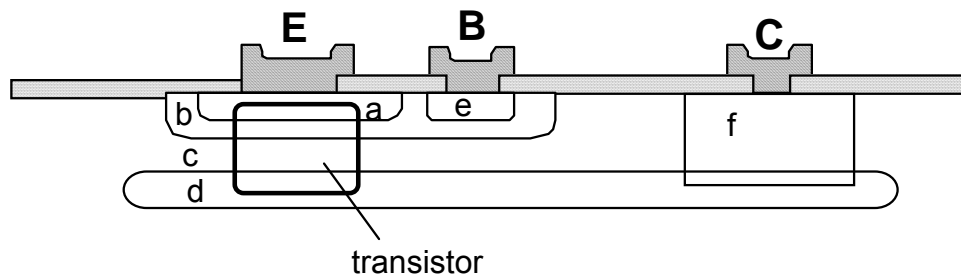


Figure 1 / Rajah 1

(40 marks/markah)

3. [a] In modern FETs, the gate is usually degenerately doped silicon, whose Fermi level is essentially at the bottom of the conduction band edge (for an NFET) or at the top of the valence band edge (for a PFET). Draw an energy band diagram for a PFET.

*Dalam FET moden, biasanya get dibuat daripada silikon dengan kadar dopan rendah, dimana aras Fermi adalah di bawah jalur pengkonduksi (untuk NFET) atau di atas jalur valens (untuk PFET). Lukis gambarajah jalur tenaga bagi sebuah PFET.*

(20 marks/markah)

- [b] For enhancement NFET, enhancement PFET, depletion NFET and depletion PFET modes:
- (i) What is the polarity of the threshold voltage  $V_T$ ?
  - (ii) What is the polarity of  $V_{DS}$  that should be used?
  - (iii) When  $V_{GS} = 0$  (equilibrium), is the transistor ON or OFF?
  - (iv) Is the current  $I_D$  carried by electrons or holes?
  - (v) For  $V_{GS} > V_T$ , is the current  $I_D$  carried primarily by drift or diffusion?

*Bagi setiap transistor ragam peningkatan NFET, ragam peningkatan PFET, ragam susutan NFET dan ragam susutan PFET:*

- (i) *Apakah kekutupan voltan ambang  $V_T$ ?*
- (ii) *Apakah kekutupan  $V_{DS}$  yang sepatutnya digunakan?*
- (iii) *Ketika  $V_{GS} = 0$  (keseimbangan), adakah transistor ON atau OFF?*
- (iv) *Adakah arus  $I_D$  dibawa oleh elektron atau lohong?*
- (v) *Bagi  $V_{GS} > V_T$ , adakah hanyutan atau resapan pembawa utama bagi arus  $I_D$ ?*

Please put your answer in Table 1.

*Sila tulis jawapan anda dalam Jadual 1.*

Table 1 / Jadual 1.

	Enhancement/ <i>Peningkatan</i> NFET	Enhancement/ <i>Peningkatan</i> PFET	Depletion / <i>Susutan</i> NFET	Depletion / <i>Susutan</i> FET
$V_T$				
$V_{DS}$				
$V_{GS}=0$				
Carriers/ <i>Pembawa</i>				
Current/ <i>Arus</i>				

(40 marks/markah)

- [c] Figure 2 shows a typical I-V characteristic of a junction field effect transistor (JFET).
- (i) Estimate the drain-source current saturation ( $I_{DSS}$ ) value for each of the I-V curves.
  - (ii) Plot the transconductance curves for all the curves.

*Rajah 2 menunjukkan ciri I-V bagi suatu JFET.*

- (i) *Tentukan nilai arus sumber-saliran tepu ( $I_{DSS}$ ) bagi setiap lengkok I-V.*
- (ii) *Lakarkan lengkok transkonduktans bagi semua lengkok tersebut.*

...8/-



Figure 2/Rajah 2

(40 marks/markah)

4. [a] Figure 3 shows a typical C-V characteristic of a MOS capacitor measured at high frequencies.
- Identify the type of capacitor.
  - Identified the accumulation region, depletion region, inversion region, flatband voltage ( $V_{FB}$ ) and threshold voltage ( $V_T$ ) shown in Figure 3.
  - Determine the total capacitance for each characteristic curve.

*Rajah 3 menunjukkan ciri C-V bagi sebuah kapasitor MOS diukur pada frekuensi tinggi.*

- Kenalpasti jenis kapasitor tersebut.*
- Tanda pada graf kawasan penumpukan, kawasan kesusutan, kawasan penyongsangan, voltan jalur rata ( $V_{FB}$ ) dan voltan ambang ( $V_T$ ) dalam Rajah 3.*
- Tentukan kapasitans keseluruhan bagi setiap lengkok.*



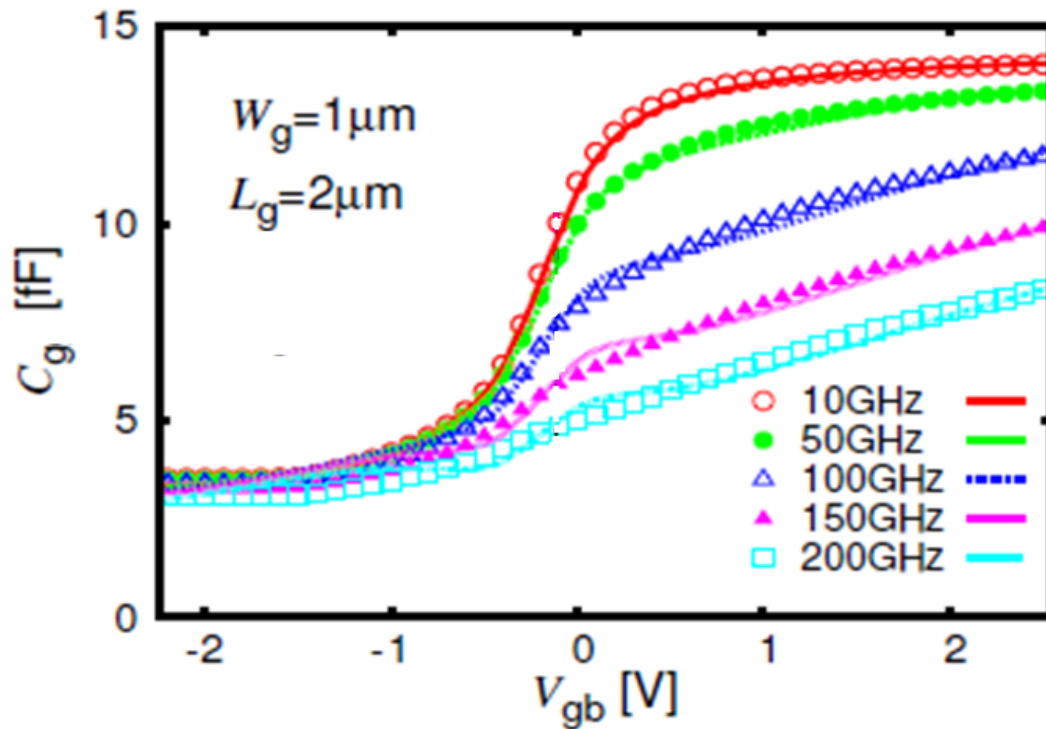


Figure 3 / Rajah 3

(50 marks/markah)

- [b] The GaAs-based heterojunction field-effect transistors (HFETs) are faster than silicon metal oxide semiconductor field-effect transistors (MOSFETs). One reason is that the electrons are traveling in a lightly doped channel. Explain the mechanism. What do you think is another reason?

*Heterosimpangan transistor kesan medan (HFET) berasaskan GaAs lebih laju daripada logam oksida semikonduktor transistor kesan medan (MOSFET) berasaskan silikon. Salah satu sebab ialah kerana pergerakan elektron dalam saluran yang didop ringan. Jelaskan bagaimana mekanismanya. Apakah penyebab yang lain?*

(25 marks/markah)

- [c] The channel in the HFET is often referred to as supporting a 2-dimensional electron gas. The electron gas part of this name refers to the sea of electrons that exists in the channel when the transistor is conducting. Why is it called 2-dimensional?

*Saluran dalam HFET sering dikaitkan dengan sokongan gas elektron 2-dimensi. Bahagian gas elektron telah dinamakan merujuk kepada lautan elektron di dalam saluran ketika transistor beroperasi. Mengapa ianya disebut 2-dimensi?*

*(25 marks/markah)*

**PART C / BAHAGIAN C**

5. An efficient Light Emitting Diode (LED) is required for an optical fibre communication. For this application, the Light Emitting Diode (LED) must transmit at a wavelength of  $1.5 \mu\text{m}$ . Answer the following questions:

*Diod penghasil cahaya yang cekap diperlukan di dalam komunikasi fiber optik. Untuk aplikasi ini, LED perlu menghasilkan cahaya pada panjang gelombang  $1.5 \mu\text{m}$ . Jawab soalan berikut.*

- [a] By using an appropriate equation, perform a calculation to show that a material with band gap of less than 1 eV is required to emit this wave length.

*Dengan menggunakan persamaan yang sesuai, hasilkan satu pengiraan untuk menunjukkan yang bahan dengan sela tenaga kurang dari 1eV diperlukan untuk menghasilkan panjang gelombang yang dinyatakan.*

(20 marks/markah)

- [b] Give an example of a suitable material that can emit the specified wavelength and state the reasons of your selection.

*Berikan satu contoh bahan yang boleh menghasilkan panjang gelombang yang dinyatakan dan berikan sebab di atas pemilihan anda.*

(20 marks/markah)

[c] What other properties must this material have as an emitter?

*Apakah ciri-ciri lain yang perlu pada bahan ini sebagai pemancar?*

*(20 marks/markah)*

[d] Suggest a configuration best used as a transmitter in optical fibre communication. State the reasons for choosing such a configuration by considering photon and carrier confinement.

*Cadangkan satu konfigurasi yang terbaik transmitter di dalam komunikasi optikal fiber.*

*(20 marks/markah)*

[e] Sketch and label the configuration you choose in 5[d].

*Lakarkan dan labelkan konfigurasi yang telah anda pilih dalam soalan 5[d].*

*(20 marks/markah)*

6. [a] You are to design an avalanche photodiode using germanium for the optical communication industry. Answer the following questions which could help you in designing your device.

*Anda diperlukan untuk merencanakan satu fotodiod avalanche menggunakan germanium untuk industri komunikasi optikal. Jawab soal di bawah untuk membantu merencanakan peranti anda.*

- (i) What is the benefit of using Avalanche photodiode in this industry?

*Apakah kebaikan menggunakan fotodiod avalanche untuk industri ini.*

(10 marks/markah)

- (ii) State from the point of view of absorption coefficient and wave length detection limit, why germanium is preferred.

*Nyatakan dari sudut koefisi penyerapan dan limit pengesanan panjang gelombang, kenapa germanium diutamakan.*

(20 marks/markah)

- (iii) One of the main considerations in the formation of the avalanche photodiode is that the electric field must be uniform throughout the various doped layers in the device. Suggest how this could be achieved. Demonstrate your answer by sketching your designed device.

*Satu perkara yang perlu diambil kira ketika menghasilkan fotodiod avalanche ialah keseragaman medan elektrik disepanjang kawasan lapisan yang terdop di dalam peranti. Cadangkan bagaimana perkara ini dapat dicapai. Tunjukkan jawapan anda dengan menggunakan lakaran peranti yang anda rekabentuk.*

(30 marks/markah)

- [b] Figure 4 shows a typical configuration of a solar cell. Answer the following questions.

*Rajah 4 menunjukkan satu konfigurasi tipikal sel suria. Jawab soalan di bawah.*

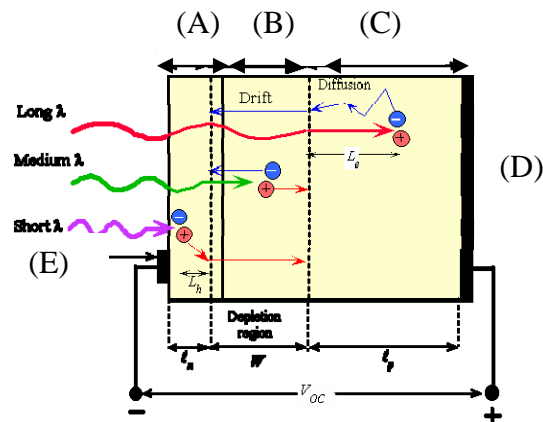


Figure 4 / Rajah 4

- (i) Label region (A), (B), (C), (D) and (E).

*Labelkan (A), (B), (C), (D) dan (E).*

(10 marks/markah)

- (ii) Long, medium and short wavelength light can be absorbed by this solar cell. Explain what happens to the absorbed photons in the cell. Your answer should include the activity that occurs in the depletion region as well.

*Panjang gelombang yang panjang, sederhana dan pendek boleh diserap oleh sel suria ini. Terangkan apakah yang berlaku kepada foton-foton yang telah diserap. Jawapan anda perlu juga meliputi penerangan berkenaan dengan aktiviti di dalam kawasan susut.*

(30 marks/markah)

7. [a]  $\text{GaAs}_{1-x}\text{P}_x$  is a ternary alloy for emitting red laser. The following questions are related to this material. Answer all questions.

*$\text{GaAs}_{1-x}\text{P}_x$  ialah aloi ternari untuk penghasilan laser merah. Soalan berikut adalah berkaitan dengan bahan ini. Jawab semua soalan.*

- (i) By using the concept of band gap engineering, state the most suitable substrate for this compound. Give your answer by sketching the plot of band gap energy versus photon energy.

*Dengan menggunakan konsep kejuruteraan sela tenaga, nyatakan substrat yang paling sesuai untuk sebatian ini. Berikan jawapan dengan melakarkan plot sela tenaga berlawanan tenaga foton.*

(20 marks/markah)

- (ii) Why is the material indirect at  $x > 0.45$ ?

*Kenapa bahan ini indirect pada  $x > 0.45$ ?*

(20 marks/markah)

- (iii) At  $x > 0.45$ , radiative transmission can still be achieved by introducing dopants to the material. Decide on a suitable dopant that can perform such a task and explain with an appropriate sketch how radiative transmission can still be achieved by the material.

*Pada  $x > 0.45$ , transmisi radiatif akan terhasil dengan mendopkan bahan. Nyatakan apakah bahan yang sesuai untuk pendopan dan terangkan dengan graf-graf yang sesuai bagaimana transmisi radiatif boleh dihasilkan oleh bahan ini.*

(30 marks/markah)

- [b] A dye sensitized solar cell (DSSC) works in such a way that titania nanoparticles must be exposed to a suitable dye under sun light. Expand this explanation to include a sketch of a typical DSSC configuration to indicate the position of the nanoparticles, the dye and the counter electrode.

*Sel suria dai tersinsitais (DSSC) akan berfungsi jika nanopartikel titania yang didedahkan dengan dai yang sesuai diletakkan di bawah cahaya matahari. Terangkan dengan lebih lanjut penerangan ini dengan memberikan satu lakaran tipikal peranti DSSC untuk menunjukkan kedudukan nanopartikel, dai dan elektrod kaunter.*

(30 marks/markah)