
UNIVERSITI SAINS MALAYSIA

Second Semester Examination
Academic Session 2008/2009

April/Mei 2009

EBB 215/3 - Semiconductor Materials [Bahan Semikonduktor]

Duration : 3 hours
[Masa : 3 jam]

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

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

This paper contains SEVEN questions. THREE questions in PART A and FOUR questions in PART B.

[Kertas soalan ini mengandungi TUJUH soalan. TIGA soalan di BAHAGIAN A dan EMPAT soalan di BAHAGIAN B.]

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

[Arahan: Jawab LIMA soalan. Jawab DUA soalan dari BAHAGIAN A, DUA soalan dari BAHAGIAN B 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.]

PART A**BAHAGIAN A**

1. [a] Define the following terms:
- (i) intrinsic semiconductor
 - (ii) extrinsic semiconductor
 - (iii) nondegenerated semiconductor
 - (iv) effective mass

Takrifkan istilah-istilah berikut:

- (i) *semikonduktor intrinsik*
- (ii) *semikonduktor ekstrinsik*
- (iii) *semikonduktor tak-degenerate*
- (iv) *jisim berkesan*

(20 marks/markah)

- [b] Discuss the effect of temperature on carrier concentration.

Bincangkan kesan suhu ke atas kepekatan pembawa.

(40 marks/markah)

- [c] Find the equilibrium electron and hole concentrations and the location of the Fermi level, with respect to the intrinsic Fermi level (E_i), in a silicon at 300 K if the silicon contains $8 \times 10^{16} \text{ cm}^{-3}$ arsenic atoms and $2 \times 10^{16} \text{ cm}^{-3}$ boron atoms. Boltzmann constant, $k = 8.62 \times 10^{-5} \text{ eV K}^{-1}$, permittivity of a vacuum, $= 8.854 \times 10^{-14} \text{ Fcm}^{-1}$, free electron mass, $m_0 = 9.11 \times 10^{-31} \text{ kg}$, and Planck's constant, $h = 4.135 \times 10^{-15} \text{ eV s}$.

Cari kepekatan elektron dan lohong serta kedudukan paras Fermi dalam keadaan keseimbangan yang relatif terhadap paras Fermi intrinsik bagi silikon pada suhu 300 K. Jika silikon mengandungi $8 \times 10^{16} \text{ cm}^{-3}$ atom arsenik dan $2 \times 10^{16} \text{ cm}^{-3}$ atom boron. Pemalar Boltzmann, $k = 8.62 \times 10^{-5} \text{ eV K}^{-1}$, permittivity dalam vakum, $= 8.854 \times 10^{-14} \text{ Fcm}^{-1}$, jisim elektron bebas, $m_0 = 9.11 \times 10^{-31} \text{ kg}$, dan pemalar Planck, $h = 4.135 \times 10^{-15} \text{ eVs}$.

(40 marks/markah)

2. [a] List down the important conclusions of Bohr's Atomic Model.

Senaraikan kesimpulan-kesimpulan penting dalam model atom Bohr.

(20 marks/markah)

- [b] Based on quantum theory and results of one-dimensional analysis, describe the energy distribution of the following conditions:

- (i) Free electrons,
- (ii) Strongly bound electrons

Berdasarkan teori kuantum dan keputusan analisis satu dimensi, terangkan taburan tenaga untuk keadaan berikut:

- (i) elektron bebas
- (ii) elektron diikat dengan kuat

(30 marks/markah)

- [c] What are the assumptions used to derive the charge neutrality relationship and write down the relationship.

Apakah anggapan-anggapan yang digunakan untuk menghasilkan persamaan cas neutraliti serta tuliskan persamaan tersebut.

(20 marks/markah)

- [d] For an intrinsic silicon, calculate the probability of having an electron at an energy level slightly above the conduction band edge at 0 K, 300 K and 400 K.

Untuk silikon intrinsik, kirakan kebarangkalian satu elektron yang berada di atas sedikit paras jalur tenaga konduksi pada suhu 0 K, 300 K dan 400 K.

(30 marks/markah)

3. [a] Define the following terms:
- (i) intrinsic carrier density
 - (ii) density of states
 - (iii) wave vector
 - (iv) Heisenberg uncertainty principle

Takrifkan istilah-istilah berikut:

- (i) *ketumpatan pembawa intrinsik*
- (ii) *ketumpatan keadaan*
- (iii) *vektor gelombang*
- (iv) *prinsip ketidakpastian Heisenberg*

(20 marks/markah)

- [b] With the help of an energy band diagram, explain the differences between a metal, an insulator, and a semiconductor.

Dengan bantuan gambarajah aras tenaga, terangkan perbezaan di antara logam, penebat, dan semikonduktor.

(30 marks/markah)

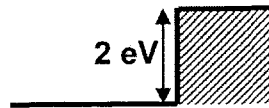
- [c] What are the conditions for the tunneling effect to happen?

Apakah keadaan yang diperlukan untuk kesan penerowongan berlaku?

(20 marks/markah)

- [d] An electron with energy of 6 eV is traveling as in the figure below and encounters a step potential barrier of 2 eV. Calculate the wavelength and wave number of the electron to the left and to the right of the barrier?

Satu elektron yang mempunyai tenaga 6 eV seperti yang ditunjukkan dalam gambarajah di bawah menemui satu halangan potensi setinggi 2 eV. Kirakan panjang gelombang dan nombor gelombang elektron yang bergerak ke kiri dan ke kanan daripada halangan tersebut?



(30 marks/markah)

PART B**BAHAGIAN B**

4. A silicon p-n junction is created by doping to produce an n-type region with $N_D = 10^{10} \text{cm}^{-3}$ and a p-type region with $N_A = 10^9 \text{cm}^{-3}$.

Simpang p-n dihasilkan dengan melakukan pendopan untuk menghasilkan kawasan jenis-n dengan $N_D = 10^{10} \text{cm}^{-3}$ dan kawasan p dengan $N_A = 10^9 \text{cm}^{-3}$.

- (a) Sketch an equilibrium energy band diagram of this p-n junction. Label the diagram to include E_g , E_c , E_v and the Fermi energy level (0.2 eV from the conduction band in the n region and 0.3 eV from the valance band in the p-region).

Lakarkan gambarajah jalur tenaga untuk simpang p-n ini. Labelkan gambarajah dengan E_g , E_c , E_v dan paras tenaga Fermi (0.2 eV dari jalur konduksi pada kawasan n dan 0.3 eV pada kawasan p).

(20 marks/markah)

- (b) Indicate where the depletion region should be. Explain the formation of the depletion region.

Tunjukkan di mana kawasan susut. Terangkan bagaimana kawasan susut ini dihasilkan.

(20 marks/markah)

- (c) Indicate the region(s) where there exists an electric field.

Tunjukkan di manakah kawasan wujudnya medan elektrik.

(20 marks/markah)

- (d) Calculate the built-in field of the junction.

Kirakan medan terhasil pada simpang ini.

(10 marks/markah)

- (e) Now a reversed biased voltage is applied across the junction. Sketch an energy band diagram of the p-n junction under the reverse bias.

Sekarang, voltan terpincang belakang diberikan pada simpang. Lakarkan gambarajah jalur tenaga pada simpang p-n di bawah pincang belakang.

(30 marks/markah)

5. Given a silicon wafer which is doped with 10^{10} phosphorus atoms/cm³.

Diberikan silikon wafer yang telah didopkan 10^{10} fosforos atom/cm³.

- (a) State the equipment suitable to perform the doping of this material. Explain how its function.

Nyatakan alatan yang sesuai untuk melakukan pendopan. Terangkan dengan ringkas bagaimana ia berfungsi.

(10 marks/markah)

- (b) Describe the Hall Effect.

Terangkan apakah Kesan Hall.

(20 marks/markah)

- (c) Calculate the room temperature resistivity of this material.

Kirakan kerintangan pada suhu bilik untuk bahan ini.

(30 marks/markah)

- (d) Using the above mentioned material as an example, explain the concept of mobility and state why the conductivity of a semiconductor is dependent on mobility.

Dengan menggunakan bahan di atas sebagai contoh, terangkan konsep kelincahan dan nyatakan kenapa kekonduksian semikonduktor bergantung kepada kelincahan.

(40 marks/markah)

6. [a] Define mobility and derive an equation which relates mobility to conductivity of a semiconductor.

Berikan takrifan kelincahan dan nyatakan persamaan yang boleh menghubungkan kelincahan dengan kekonduksian bahan semikonduktor.

(30 marks/markah)

- [b] State two parameters that determine the mobility and relate these to the limit of Ohm's law.

Berikan dua parameter mempengaruhi kelincahan dan hubungkan dengan had hukum Ohm.

(30 marks/markah)

- [c] Generation and recombination occurs when thermal equilibrium of a given semiconductor is disturbed. Given a p-type silicon with E_A at 0.1 eV from the valance band of silicon:

Penghasilan dan penggabungan semula berlaku apabila keadaan keseimbangan termal pada satu bahan semikonduktor dihalang. Diberikan silikon jenis p dengan kedudukan E_A 0.1 eV dari jalur valan silikon:

- (i) Sketch a band diagram to show band to band generation via absorption of a photon with energy $> E_g$ of the semiconductor. Label the band diagram with E_A , E_g , E_F , E_C , E_V .

Lakarkan gambarajah jalur tenaga untuk menunjukkan penghasilan dari jalur ke jalur melalui penyerapan foton dengan tenaga $> E_g$ untuk semikonduktor. Labelkan gambarajah dengan E_A , E_g , E_F , E_C , E_V .

(20 marks/markah)

- (ii) Sketch a band diagram to show a two-step recombination process involving the acceptor state. Explain what happens.

Lakarkan gambarajah jalur tenaga untuk menunjukkan penggabungan semula dua langkah yang melibatkan keadaan penerima. Terangkan apa yang berlaku.

(20 marks/markah)

7. Given an n-type semiconductor at $T = 300\text{K}$. The electron concentration varies linearly from 1×10^{15} to $5 \times 10^{14} \text{ cm}^{-3}$ over a distance of 0.1 cm.

Diberikan semikonduktor jenis n pada suhu $T = 300\text{K}$. Kepekatan elektron bertambah secara linear dari 1×10^{15} kepada $5 \times 10^{14} \text{ cm}^{-3}$ pada jarak 0.1 cm.

- (a) State the current component which can exist in this semiconductor. Justify your answer.

Nyatakan apakah komponen arus yang wujud di dalam semikonduktor ini. Hujahkan jawapan anda.

(15 marks/markah)

- (b) Given that $D_n = 22.5 \text{ cm}^2/\text{s}$, calculate the current density of the semiconductor (the semiconductor is not connected to any external field).

Diberikan $D_n = 22.5 \text{ cm}^2/\text{s}$, kirakan ketumpatan arus pada semikonduktor ini (semikonduktor ini tidak disambung dengan medan luaran).

(25 marks/markah)

- (c) Derive Einstein's equation and state the importance of this equation.

Terbitkan persamaan Einstein dan nyatakan apakah kepentingan persamaan ini.

(30 marks/markah)

- (d) Minority carriers (holes) are injected into the above mentioned n-type semiconductor. An electric field of 50 V/cm is now applied across the sample, and the field moves the minority carriers a distance 1 cm in $100\mu\text{s}$. Calculate the drift velocity and D_p .

Pembawa minoriti (lohong) telah disuntik ke dalam bahan semikonduktor jenis n yang dinyatakan di atas. Satu medan elektrik 50 V/cm telah dikenakan pada sampel dan medan ini menyebabkan pembawa minoriti bergerak pada jarak 1 cm dalam $100\mu\text{s}$. Kirakan kelajuan hanyutan dan D_p .

(30 marks/markah)