
UNIVERSITI SAINS MALAYSIA

Second Semester Examination
2014/2015 Academic Session

June 2015

EBB 215/3 – Semiconductor Materials *[Bahan Semikonduktor]*

Duration : 3 hours
[Masa : 3 jam]

Please ensure that this examination paper contains ELEVEN printed pages and ONE page APPENDIX before you begin the examination.

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

This paper consists of SEVEN questions. ONE question in PART A and SIX questions in PART B.

[Kertas soalan ini mengandungi TUJUH soalan. SATU soalan di BAHAGIAN A dan ENAM soalan di BAHAGIAN B.]

Instruction: Answer FIVE questions. Answer ALL question from PART A and FOUR questions from PART B. If a candidate answers more than five questions only the first five questions answered in the answer script would be examined.

[Arahan: Jawab LIMA soalan. Jawab SEMUA soalan dari BAHAGIAN A dan EMPAT soalan dari BAHAGIAN B. 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 in the examination questions, the English version shall be used.

[Sekiranya terdapat sebarang percanggahan pada soalan peperiksaan, versi Bahasa Inggeris hendaklah digunapakai.]

PART A / BAHAGIAN A

1. [a] Briefly explain what are:
- (i) Intrinsic semiconductor
 - (ii) Extrinsic semiconductor

Terangkan secara ringkas apakah:

- (i) *Semikonduktor Intrinsik*
- (ii) *Semikonduktor Ekstrinsik*

(20 marks/markah)

- [b] With the help of schematic diagram, explain about THREE grain boundary effects on the electrical properties by comparing between single crystal and polycrystalline materials.

Dengan bantuan gambarajah skematik, bincangkan mengenai TIGA kesan sempadan butiran ke atas sifat elektrik dengan membuat perbandingan antara bahan hablur tunggal dan bahan poli hablur.

(30 marks/markah)

- [c] Derive appropriate equations that can explain the transport phenomena in a semiconductor: drift and diffusion current. Then by using the Einstein Equation, show how these two current mechanisms can be related.

Terbitkan persamaan yang sesuai untuk menerangkan fenomena pengangkutan di dalam semikonduktor: arus hanyutan dan resapan. Kemudian dengan menggunakan persamaan Einstein, tunjukkan bagaimana kedua-dua mekanisma pembawaan arus ini dihubungkan.

(25 marks/markah)

- [d] A p-n junction is reverse biased to stop current from flowing across it; however there is a limit to the voltage that can be applied. Argue why the reverse bias voltage has a threshold value above which a breakdown happens. Explain why capacitance is developed at the junction when reverse biased.

Satu simpang p-n dipincang balik untuk menghalang arus daripada mengalir menerusinya; namun begitu terdapat satu had kepada voltan yang boleh dikenakan. Hujahkan kenapa pincang terbalik mempunyai had ini yang mana kerosakan berlaku. Kemudian terangkan kenapa kapasitan terbentuk pada simpang yang dipincang terbalikkan.

(25 marks/markah)

PART B / BAHAGIAN B

2. [a] Describe FIVE Bohr Postulates.
Perihalkan LIMA Postulat Bohr.

(30 marks/markah)

- [b] Based on hydrogen atom model and Bohr postulate, show Bohr radius, r_n :

$$r_n = \frac{4\pi\epsilon_0 n^2 \hbar^2}{Zmq^2}$$

Give definition for each constant in the equation above.

Berdasarkan model atom hydrogen dan postulat Bohr, tunjukkan jejari Bohr, r_n :

$$r_n = \frac{4\pi\epsilon_0 n^2 \hbar^2}{Zmq^2}$$

Beri takrifan setiap pemalar di dalam persamaan di atas.

(30 marks/markah)

- [c] Light of wavelength $\lambda = 4.28 \times 10^{-7}$ m interacts with a "motionless" hydrogen atom. During this interaction it transfers all its energy to the orbiting electron of the hydrogen. Calculate the velocity of this electron after interaction? (Refer to Appendix for physical constant value).

Cahaya dengan jarak gelombang $\lambda = 4.28 \times 10^{-7}$ m berinteraksi dengan atom hydrogen yang tidak bergerak. Semasa interaksi ini ia memindahkan semua tenaganya kepada elektron yang mengorbit didalam hydrogen. Kirakan halaju elektron ini selepas interaksi? (Sila lihat Lampiran bagi nilai pemalar fizikal).

(40 marks/markah)

3. [a] Write about 2 typical classifications of semiconductor materials. Give example for each classification.

Tuliskan 2 klasifikasi tipikal bahan semiconductor. Berikan contoh bagi setiap klasifikasi.

(40 marks/markah)

- [b] Write short notes on any THREE of the following topics:

- (i) Elemental semiconductor
- (ii) Layered semiconductor
- (iii) Point or zero dimension defects
- (iv) Diamond crystal structure
- (v) Czochralski process for Si
- (vi) Bridgman technique for GaAs

Tuliskan nota ringkas daripada sebarang TIGA tajuk berikut:

- (i) *Semikonduktor elemen*
- (ii) *Semikonduktor lapisan*
- (iii) *Kecacatan titik atau sifar dimensi*
- (iv) *Struktur hablur intan*
- (v) *Proses Czochralski bagi Si*
- (vi) *Teknik Bridgman bagi GaAs*

(60 marks/markah)

4. [a] Use energy band diagram to define:

- (i) Semiconductor
- (ii) Conductor
- (iii) Insulator

Dengan menggunakan struktur jalur tenaga, takrifkan:

- (i) *Semikonduktor*
- (ii) *Konduktor*
- (iii) *Penebat*

(30 marks/markah)

[b] Describe the bonding force for the following semiconductor materials. Justify your answer and calculate the degree of ionic for each semiconductor materials below. (Refer Appendix.)

- (i) SiC
- (ii) InSb
- (iii) CdS
- (iv) GaAs

Terangkan tenaga ikatan bagi bahan semikonduktor berikut. Beri justifikasi kepada jawapan anda dan kira peratus ionik bagi setiap bahan semikonduktor di bawah. (Sila lihat Lampiran.)

- (i) *SiC*
- (ii) *InSb*
- (iii) *CdS*
- (iv) *GaAs*

(40 marks/markah)

- [c] Using the $E-k$ diagram, describe
- (i) Direct semiconductor
 - (ii) Indirect semiconductor

Dengan menggunakan gambar rajah E-k, jelaskan

- (i) *Semikonduktor terus*
- (ii) *Semikonduktor tak terus*

(30 marks/markah)

5. [a] A p-n junction can be produced by doping a p-type semiconductor with n-type dopants. Answer the following questions.

Satu simpang p-n boleh dihasilkan dengan mendopkan semikonduktor jenis-p dengan dopan jenis-n. Jawab soalan di bawah.

- (i) Once the junction is fabricated, a space charge region is formed. Sketch the steps that lead to the formation of a space charge region and explain them.

Apabila simpang difabrikasi, satu kawasan ruang cas terbentuk. Lakarkan langkah-langkah yang membawa kepada terbentuknya kawasan ruang cas dan jelaskan setiap langkah.

(30 marks/markah)

- (ii) Compare the distribution of charges, electric field and potential of this p-n junction with a Schottky metal-semiconductor junction. Use Poisson equation in your answer.

Bandingkan taburan cas, medan elektrik dan keupayaan untuk simpang p-n ini dengan simpang Schottky logam-semikonduktor. Gunakan persamaan Poisson untuk jawapan anda.

(30 marks/markah)

- [b] An intrinsic silicon is illuminated with light at wavelength in the range of 200-400 nm.

Satu silikon intrinsik dipencarhayaan dengan cahaya pada panjang gelombang 200-400 nm.

- (i) Given the energy gap of silicon = 1.2 eV. Describe the possible generation and recombination processes.

Diberikan jurang tenaga silikon = 1.2 eV. Perihalkan proses penghasilan dan penggabungan yang berkemungkinan berlaku.

(20 marks/markah)

- (ii) Compare the process of generation and recombination of this semiconductor with extrinsic n-type silicon.

Bandingkan proses penghasilan dan penggabungan pembawa cas bahan ini dengan satu bahan silikon ekstrinsik jenis-n.

(20 marks/markah)

6. A silicon wafer was doped with boron with concentration, $N_A=10^{15}\text{cm}^{-3}$. Answer the following questions.

Silikon wafer telah didopkan dengan boron yang berkepekatan $N_A=10^{15}\text{cm}^{-3}$. Jawab soalan di bawah.

- [a] Calculate n_0 and p_0 .

Kirakan n_0 dan p_0 .

(20 marks/markah)

- [b] Draw the energy band diagram indicating the position of the Fermi level for this material.

Lakarkan gambar rajah jalur tenaga dengan menunjukkan posisi aras Fermi untuk bahan ini.

(20 marks/markah)

- [c] A silicon p-n junction is formed by doping the silicon with n-type dopants of $N_D=10^{14} \text{ cm}^{-3}$. Assume $n_i = 9.65 \times 10^9 \text{ cm}^{-3}$. Calculate the built in potential of this junction.

Simpang p-n dihasilkan pada silikon ini dengan mendopkan $N_D=10^{14} \text{ cm}^{-3}$ dopan jenis-n. Anggarkan $n_i = 9.65 \times 10^9 \text{ cm}^{-3}$. Kirakan keupayaan terbentuk pada simpang ini.

(20 marks/markah)

- [d] A thin film of Al is deposited on the surface of the p-type silicon to form an ohmic contact. Describe what Ohmic contact is and its importance in electronic devices.

Satu film nipis Al diterapkan pada permukaan silikon jenis-p untuk menghasilkan hubungan Ohmic. Gambarkan apakah hubungan Ohmic dan kepentingannya pada peranti elektronik.

(20 marks/markah)

- [e] When current is flowing across the silicon, it flows with some resistance. Assuming that electrons are flowing in silicon, explain two scattering mechanisms that may occur.

Apabila arus mengalir pada silikon, arus mengalir dengan rintangan. Anggarkan hanya elektron yang mengalir di dalam silikon, terangkan dua mekanisma serakan yang boleh berlaku.

(20 marks/markah)

7. Two silicon wires 50 μm long and 5 μm^2 in cross section are given to you. One wire is an intrinsic semiconductor the other one is an extrinsic semiconductor. Given the energy gap of silicon (intrinsic) is 1.2 eV and $n_i = 10^{16} \text{m}^{-3}$ and the mobilities of electrons and holes are $0.135 \text{m}^2\text{V}^{-1}\text{s}^{-1}$ and $0.05 \text{m}^2\text{V}^{-1}\text{s}^{-1}$ respectively. Answer the following questions.

Dua dawai silikon panjangnya 50 μm dan berkeluasan permukaan 5 μm^2 telah diberikan kepada anda. Satu dawai ialah semikonduktor intrinsik dan satu lagi ialah ekstrinsik. Diberikan jurang tenaga silikon (intrinsik) ialah 1.2 eV dan $n_i = 10^{16} \text{m}^{-3}$ dan Kelincuhan elektron dan lohong ialah $0.135 \text{m}^2\text{V}^{-1}\text{s}^{-1}$ dan $0.05 \text{m}^2\text{V}^{-1}\text{s}^{-1}$ masing-masing. Jawab soalan-soalan di bawah.

- [a] Describe how Hall effect can be used to determine the concentration of the carriers in the extrinsic silicon.

Terangkan bagaimana kesan Hall boleh digunakan untuk menentukan kepekatan pembawa di dalam silikon ekstrinsik.

(20 marks/markah)

- [b] Define Density of State (DOS) and for the intrinsic silicon wire, explain by using Fermi Dirac statistic on how number of electrons can be determined at $T > 0 \text{K}$.

Takrifkan kepekatan kawasan (DOS) dan untuk dawai silikon intrinsik, terangkan dengan menggunakan statistik Fermi Dirac bagaimana bilangan elektron boleh ditentukan.

(20 marks/markah)

- [c] Compare the resistivity of the two wires given by performing the calculation of resistivity. The extrinsic semiconductor is a doped semiconductor with $N_D = 10^{15} \text{ m}^{-3}$. The mobilities of electrons and holes are $0.135 \text{ m}^2\text{V}^{-1}\text{s}^{-1}$ and $0.05 \text{ m}^2\text{V}^{-1}\text{s}^{-1}$ respectively.

Bezakan kerintangan dawai-dawai ini dengan melakukan pengiraan kerintangan. Semikonduktor ekstrinsik didopkan dengan $N_D = 10^{15} \text{ m}^{-3}$. Kelincahan elektron dan lohong ialah $0.135 \text{ m}^2\text{V}^{-1}\text{s}^{-1}$ dan $0.05 \text{ m}^2\text{V}^{-1}\text{s}^{-1}$ masing-masing.

(30 marks/markah)

- [d] For the intrinsic silicon, the mobilities of the electron and hole are $1300 \text{ cm}^2/\text{Vs}$ and $470 \text{ cm}^2/\text{Vs}$, respectively. If electric field $E = 10 \text{ V/cm}$ is applied to the wire, then drift current will be produced. Calculate the drift current and predict to the current of the wire if it is now illuminated with light (300 – 700 nm wavelength)

Untuk bahan intrinsik silikon, kelincahan elektron dan lohong ialah $1300 \text{ cm}^2/\text{Vs}$ dan $470 \text{ cm}^2/\text{Vs}$ masing-masing. Jika medan yang dibekalkan ialah $E = 10 \text{ V/cm}$ dikenakan pada dawai, arus hanyutan terhasil. Kirakan arus hanyut dan tentukan apa yang berlaku kepada dawai jika disinarkan cahaya (300 – 700 nm panjang gelombang).

(30 marks/markah)

