
UNIVERSITI SAINS MALAYSIA

Second Semester Examination
Academic Session 2005/2006
*Peperiksaan Semester Kedua
Sidang Akademik 2005/2006*

April/Mei 2006

EBB 215E/3 - Semiconductor Materials *EBB 215E/3 - Bahan Semikonduktor*

Time : 3 hours
Masa : 3 jam

Please check that this examination paper consists of FOURTEEN pages of printed material and ONE page APPENDIX before you begin the examination.

This paper contains SEVEN questions. ONE questions in SECTION A, THREE questions in SECTION B and THREE questions in SECTION C.

Answer FIVE questions. Answer all questions from SECTION A, TWO questions from SECTION B and TWO questions from SECTION C. If a candidate answer more than five questions, only the first five answered will be examined and awarded marks.

Answer to any question must start on a new page.

All questions must be answered in English. However, TWO questions can be answered in Bahasa Malaysia.

Sila pastikan bahawa kertas peperiksaan ini mengandungi EMPAT BELAS muka surat beserta SATU muka surat (Lampiran) yang bercetak sebelum anda memulakan peperiksaan.

Kertas soalan ini mengandungi TUJUH soalan. SATU soalan di BAHAGIAN A, TIGA soalan di BAHAGIAN B dan TIGA soalan di BAHAGIAN C.

Jawab LIMA soalan. Jawab semua 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.

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

Jawab semua soalan dalam Bahasa Inggeris. Walau bagaimanapun, DUA soalan dibenarkan dijawab dalam Bahasa Malaysia.

...2/-

PART A**BAHAGIAN A**

1. [a] Answer **ONE** of the following questions:

(i) The energy band diagram of a p-n junction under applied bias can be described quantitatively by appropriate equations. Obtain an expression for steady state current versus applied voltage of a p-n junction.

or

(ii) One of the ways to measure carrier concentration and mobility is by using Hall Effect. Explain with appropriate derivation the Hall Effect.

(50 marks)

[b] Write short notes on the following topics:

- (i) Point Defect or Zero-Dimensional Defects
- (ii) Line Defect or One-Dimensional Defects

(50 marks)

1. [a] *Jawab satu soalan sahaja daripada soalan-soalan berikut:*

(i) *Gambarajah jalur tenaga simpang p-n yang dipincangkan boleh dihuraikan secara kuantitatif dengan menggunakan persamaan yang sesuai. Dapatkan satu persamaan arus dalam keadaan mantap berlawanan dengan voltan pada simpang p-n.*

atau

(ii) *Salah satu cara mengukur ketumpatan pembawa cas ialah dengan menggunakan Kesan Hall. Dengan menggunakan terbitan yang sesuai, terangkan Kesan Hall.*

(50 markah)

[b] *Tuliskan nota ringkas bagi topik-topik yang berikut:*

- (i) *Cacat Titik atau Cacat Sifar-Dimensi*
- (ii) *Cacat Garis atau Cacat Satu-Dimensi*

(50 markah)

...3/-

PART B**BAHAGIAN B**

2. Suppose you were to dope some silicon with 10^{14}cm^{-3} antimony. Silicon has a band gap of 1.12eV at room temperature.
- (a) Identify the type of your doped silicon and sketch a simplified band diagram for the doped samples indicating the position of the energy level of your dopant.
(10 marks)
- (b) The doped silicon will then be heated from room temperature to 700K. Sketch a graph of electron concentration versus temperature showing three regions; partial ionization, extrinsic and intrinsic. Explain your sketch.
(40 marks)
- (c) Find the carrier concentrations at room temperature (300K) if n_i is assume to be $2.4 \times 10^{10} \text{ cm}^{-3}$.
(20 marks)
- (d) Assume complete ionization of the antimony in your silicon and you are given the mobilities of the electron and hole are $1300\text{cm}^2/\text{Vs}$ and $470 \text{ cm}^2/\text{Vs}$ respectively. Calculate the drift current density if the applied field is $E = 12\text{V/cm}$ at room temperature.
(30 marks)

2. *Andaikan anda akan mengedapkan silikon dengan 10^{14} cm^{-3} antimoni. Silikon mempunyai jurang tenaga yang bernilai 1.12 eV pada suhu bilik.*
- (a) *Tentukan jenis silikon yang telah didop dan lakarkan gambarajah jalur tenaga yang mudah untuk sampel terdop dengan menunjukkan kedudukan paras tenaga bagi dopan.*
(10 markah)
- (b) *Silikon terdop ini kemudiannya dipanaskan pada suhu 700 K . Lakarkan graf ketumpatan elektron melawan suhu dengan menunjukkan tiga kawasan; ionisasi separa, ekstrinsik dan intrinsik.*
(40 markah)
- (c) *Kirakan ketumpatan pembawa-pembawa cas pada suhu bilik jika n_i adalah dianggap sebagai $2.4 \times 10^{10} \text{ cm}^{-3}$.*
(20 markah)
- (d) *Dengan menganggapkan pengionan penuh antimoni kedalam silikon anda dan kelincahan elektron dan lohong adalah $1300 \text{ cm}^2/\text{Vs}$ dan $470 \text{ cm}^2/\text{Vs}$. Kirakan ketumpatan arus hanyutan jika medan elektrik ialah $E = 12 \text{ V/cm}$ pada suhu bilik.*
(30 markah)

3. [a] Consider two different semiconductor materials, A and B, with different band gaps brought into an intimate contact. Material A contains higher electrons concentration compared to Material B. Where do you expect the Fermi Level to be when the materials reach equilibrium? Explain using appropriate mathematical equations.
(20 marks)
- [b] The two basic current transport mechanisms in a semiconductor are drift and diffusion. Derive the equation of total drift current density in a semiconductor.
(40 marks)
- [c] Explain why the average drift velocity of the charge carriers reaches saturation in the presence of high enough applied electric field.
(20 marks)
- [d] Derive and explain Einstein's relation.
(20 marks)

3. [a] *Pertimbangkan dua bahan semikonduktor yang berbeza; A dan B yang mempunyai jurang tenaga yang berbeza di bawa berhampiran sehingga bersentuh rapat. Bahan A mempunyai ketumpatan elektron yang lebih tinggi berbanding bahan B. Pada jangkaan anda dimanakah aras Fermi apabila bahan-bahan ini mencapai keseimbangan? Terangkan dengan persamaan matematik yang sesuai.*
- (20 markah)*
- [b] *Dua mekanisma pembawa arus di dalam semikonduktor adalah hanyutan dan resapan. Terbitkan persamaan keseluruhan ketumpatan arus hanyutan.*
- (40 markah)*
- [c] *Terangkan kenapa pembawa cas mencapai kelajuan purata tepu pada medan elektrik yang cukup tinggi.*
- (20 markah)*
- [d] *Terbitkan dan terangkan hubungan Einstein.*
- (20 markah)*

4. The term homojunction implies that a p-n junction is made out of a same material (e.g. p type and n type silicon). One application that uses the active function of the p-n junction is a diode.

(a) Give examples of the use of diode in modern devices.

(5 marks)

(b) Assume your p-n junction is made out of doped silicon to produce an abrupt junction. The n side is doped with $N_D = 1 \times 10^{17} \text{cm}^{-3}$ and the p-side is doped with $N_A = 1 \times 10^{13} \text{cm}^{-3}$. Sketch an energy band diagram of the junction at equilibrium. Explain your sketch by defining all activities that promote the formation of a depletion region including the establishment of the built in voltage.

(45 marks)

(c) Recall the definition of built in voltage for the junction in (b). Apply the definition by calculating the built in voltage for the junction.

(20 marks)

(d) Upon the application of forward and reverse bias across the junction, the equilibrium band diagram will be altered. What do you think will happen to charge carriers upon the application bias?

(30 marks)

...8/-

4. Istilah 'simpang-homo' memperihalkan tentang simpang p-n yang dibina daripada bahan yang sama (contohnya jenis p dan jenis n silikon). Salah satu aplikasi yang menggunakan fungsi aktif simpang ini ialah diod simpangan p-n.
- (a) Berikan contoh-contoh kegunaan diod di dalam peranti-peranti moden
(5 markah)
- (b) Andaikan simpang p-n anda terbentuk daripada silikon yang didopkan menjadi simpang mendadak. Kawasan n didopkan dengan $N_D = 1 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$ dan kawasan p didopkan dengan $N_A = 1 \times 10^{13} \text{ cm}^{-3}$. Lakarkan gambarajah jalur tenaga simpang dalam keseimbangan. Terangkan lakaran anda dengan mendefinisikan kesemua aktiviti yang membawa kepada penghasilan kawasan susut termasuklah terhasilnya sawar keupayaan terbina.
(45 markah)
- (c) Imbas kembali definasi sawar keupayaan terbina pada simpang di dalam (b). Gunakan definasi anda untuk mengira sawar keupayaan terbina simpang ini.
(20 markah)
- (d) Dengan adanya keupayaan hadapan dan berbalik pada simpang, jalur tenaga yang berada dalam keadaan keseimbangan akan bertukar. Pandangan anda apakah yang berlaku kepada pembawa cas apabila simpang dipincangkan?
(30 markah)

PART C**BAHAGIAN C**

5. [a] The hydrogen total energy E_n derived Bohr Model is given by:

$$E_n = E_{vac} - \frac{mq^4}{2(4\pi\epsilon_0)^2 n^2 \hbar^2}$$

Derive the above equation by using neutral hydrogen atom. Give the definition for all the parameters in equation above.

(60 marks)

- [b] At 0K electron will move around the impurity atom just like an electron in the hydrogen. Therefore we can use the Bohr Model for the hydrogen atom to calculate the radius of electron orbit (r_0) and the ionization energy (E_I) of the electron. We can write r_0 and E_I as;

$$r_0 = 0.53 \left(\frac{\epsilon_s}{\epsilon_0} \right) \left(\frac{m_0}{m_e^*} \right) \text{Å}$$

and

$$E_I = 13.6 \left(\frac{m_e^*}{m_0} \right) \left(\frac{\epsilon_0}{\epsilon_s} \right)^2 \text{eV}$$

Calculate the radius of electron orbit (r_0) and the ionization energy (E_I) of arsenic doped Si and Ge. Compare the values to the thermal energy at room temperature and discuss the effect of this thermal energy to the electron in the Si and Ge atom.

Table 1 - The effective mass of the electron (m_e^*) and the permittivity of the semiconductors (ϵ_s).

	m_e^*	ϵ_s
Si	0.5 m_0	16 ϵ_0
Ge	1.1 m_0	13 ϵ_0

(40 marks)

...10/-

5. [a] Daripada Model Bohr jumlah tenaga E_n bagi hidrogen adalah seperti berikut:

$$E_n = E_{vac} - \frac{mq^4}{2(4\pi\epsilon_0)^2 n^2 \hbar^2}$$

Dengan menggunakan hidrogen atom terbitkan persamaan di atas. Berikan takrifan bagi semua parameter yang terlibat dalam persamaan tersebut.

(60 markah)

Pada 0K elektron akan bergerak di sekeliling atom pendop sama seperti elektron di dalam hidrogen. Maka dengan ini kita boleh menggunakan model Bohr bagi hidrogen bagi mengira jejari orbital elektron (r_0) dan tenaga pengionan (E_I) bagi elektron atom pendop. Persamaan r_0 dan E_I boleh ditulis seperti berikut:

$$r_0 = 0.53 \left(\frac{\epsilon_s}{\epsilon_0} \right) \left(\frac{m_0}{m_e^*} \right) \text{\AA}$$

dan

$$E_I = 13.6 \left(\frac{m_e^*}{m_0} \right) \left(\frac{\epsilon_0}{\epsilon_s} \right)^2 \text{ eV}$$

Kira jejari orbit elektron (r_0) dan tenaga pengionan (E_I) bagi atom arsenik yang di dopkan pada Si dan Ge. Bandingkan nilai yang diperolehi dengan tenaga terma pada suhu bilik dan bincangkan kesan tenaga terma ini ke atas elektron di dalam atom Si dan Ge.

Jadual 1 - Jisim berkesan bagi elektron (m_e^*) dan kebertelusan semikonduktor (ϵ_s).

	m_e^*	ϵ_s
Si	$0.5 m_0$	$16\epsilon_0$
Ge	$1.1 m_0$	$13\epsilon_0$

(40 markah)

...11/-

6. [a] Write down the electronic configuration of Carbon (C) and Sodium (Na) atom. (20 marks)
- [b] With the aid of an energy band diagram, explain the differences in metals, insulators and semiconductors. (50 marks)
- [c] Figure 1 is an E-k diagram of a semiconductor material. Describe the electron-hole recombination process in this type of semiconductor. (30 marks)

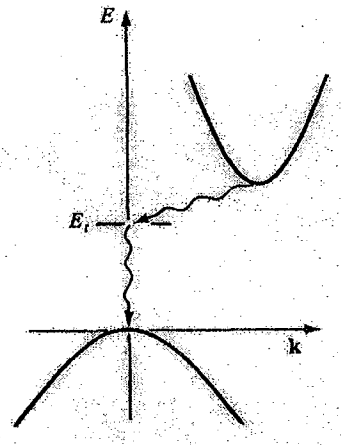


Figure 1

(30 marks)

7. [a] Give a definition for
- (i) Donor atom
 - (ii) Acceptor atom
 - (iii) Intrinsic semiconductor
 - (iv) Extrinsic semiconductor
- (20 marks)
- [b] With the aid of a diagram, discuss two techniques to measure the sheet resistance of a semiconductor material.
- (50 marks)
- [c] The sheet resistance of a p-type <100> oriented Si wafer with the size of 2.5 cm x 2.5 cm and thickness of the wafer is 300 μm , is measured using four point probe. The current supply is 5 mA and the voltage measured is 0.221 V, and the spacing between probe is 600 μm . Calculate the sheet resistance for the sample with the consideration of the correction factors, F. (Refer appendix for F values)
- (30 marks)

7. [a] Berikan takrifan bagi

- (i) Atom penderma
- (ii) Atom penerima
- (iii) Semikonduktor Intrinsik
- (iv) Semikonduktor Ekstrinsik

(20 markah)

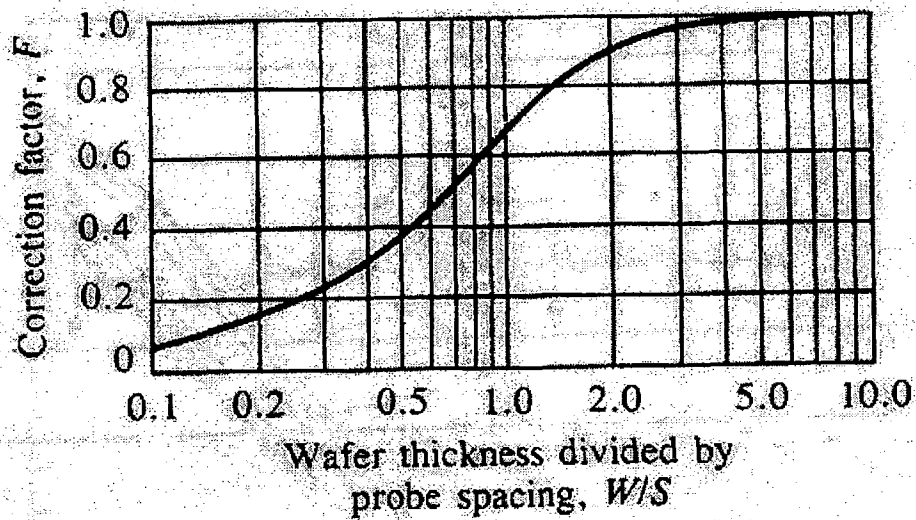
[b] Dengan bantuan gambarajah, bincangkan dua teknik bagi mengukur rintangan keping bahan semikonduktor.

(50 markah)

[c] Nilai rintangan keping bagi Si wafer jenis-p berorientasi $\langle 100 \rangle$ dengan saiz $2.5 \text{ cm} \times 2.5 \text{ cm}$ dan ketebalan wafer ialah $300 \mu\text{m}$, diukur menggunakan penduga empat titik. Arus yang dikenakan ialah 5 mA dan voltan yang diukur ialah 0.221 V , dan jarak antara penduga ialah $600 \mu\text{m}$. Kira nilai rintangan keping bagi sampel ini dengan mempertimbangkan faktor pembetulan F . (Rujuk lampiran bagi nilai F)

(30 markah)

- oooOooo -

APPENDIX**LAMPIRAN****Physical Constant (Pemalar Fizikal)**

Boltzman constant (Pemalar Boltzman)

$$= 8.62 \times 10^{-5} \text{ eV/K}$$

$$= 1.38 \times 10^{-23} \text{ J/K}$$

Electronic charge (Cas elektronik)

$$= 1.6 \times 10^{-19} \text{ C}$$