

---

UNIVERSITI SAINS MALAYSIA

Second Semester Examination  
Academic Session 2004/2005

March 2005

**EBB 215E/3 – SEMICONDUCTOR MATERIALS**  
**[Bahan Semikonduktor]**

Duration: 3 hours  
[Masa: 3 jam]

---

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

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

This paper contains SEVEN questions.

*[Kertas soalan ini mengandungi TUJUH soalan].*

**Instructions:** Answer FIVE questions.

**Arahan:** Jawab LIMA soalan].

Answer to any questions must start on a new page.

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

All questions must be answered in English language. However, ONE question can be answered in bahasa Malaysia.

*[Semua soalan mesti dijawab dalam bahasa Inggeris. Walau bagaimanapun, SATU soalan dibenarkan dijawab dalam bahasa Malaysia].*

1. (a) Write down the electronic configuration of silicon (Si) and germanium (Ge) atoms and describe how they form crystals.

(20 marks)

*Tuliskan konfigurasi elektronik atom silikon (Si) dan germanium (Ge) dan terangkan bagaimana Si dan Ge membentuk hablur.*

(20 markah)

- (b) Describe the low and high temperature characteristics of silicon and germanium crystals.

(40 marks)

*Terangkan ciri-ciri silikon dan germanium pada suhu rendah dan suhu tinggi.*

(40 markah)

- (c) A medium is described by a charge density ' $q$ '  $\text{cm}^{-3}$  in the region  $0 < x < a$ . The medium is neutral outside this region. The potential is zero at  $x=0$  and there is no electric field at  $x=a$ . Find and sketch the variation of electric field and potential with  $x$ .

(40 marks)

*Sesuat medium boleh diterangkan dengan ketumpatan cas ' $q$ '  $\text{cm}^{-3}$  pada kawasan  $0 < x < a$ . Di luar kawasan ini medium ini neutral. Keupayaan adalah sifar pada  $x=0$  dan tiada medan elektrik pada  $x=a$ . Cari dan lakarkan perbezaan medan elektrik dan keupayaan dengan  $x$ .*

(40 markah)

2. (a) Derive Ohm's law in terms of current density and electric field and define each term used.

(15 marks)

*Terbitkan hukum Ohm dengan menggunakan ketumpatan arus, medan elektrik dan takrifkan setiap istilah yang anda gunakan.*

(15 markah)

- (b) Define intrinsic and extrinsic semiconductors.

(15 marks)

*Takrifkan semikonduktor intrinsik dan ekstrinsik.*

(15 markah)

- (c) Discuss with the help of neat sketches the energy band diagrams of n- and p-type semiconductors and explain how it improves the current conduction.

(40 marks)

*Bincangkan dengan menggunakan lakaran yang baik, struktur jalur tenaga semikonduktor jenis-n dan -p dan terangkan bagaimana untuk memperbaiki kekonduksian arus.*

(40 markah)

- (d) Show the invariance of Fermi energy level at equilibrium.

(30 marks)

*Tunjukkan invarians paras Fermi pada keseimbangan.*

(30 markah)

3. (a) Derive the expressions for the equilibrium electron and hole concentrations ( $n_o$ ,  $p_o$ ).  
(50 marks)

*Terbitkan ungkapan di dalam keadaan keseimbangan kepekatan elektron dan lohong ( $n_o$ ,  $p_o$ ).*

*(50 markah)*

- (b) With the help of the above derived expressions show that  $n_o p_o = n_i$ .  
(25 marks)

*Dengan bantuan terbitan di atas, tunjukkan  $n_o p_o = n_i$ .*

*(25 markah)*

- (c) A sample is doped with  $10^{17}$  As atoms/cm<sup>3</sup>. What is the equilibrium hole concentration  $p_o$  at 300K. Where is the Fermi energy level  $E_F$  compared to the intrinsic Fermi energy level  $E_i$ ?

$$k = 8.62 \times 10^{-5} \text{ eVK}^{-1}, n_i = 1.5 \times 10^{10} \text{ cm}^{-3}.$$

(25 marks)

*Suatu sampel didopkan dengan  $10^{17}$  As atoms/cm<sup>3</sup>. Apakah kepekatan keseimbangan lohong,  $p_o$  pada 300K. Dimanakah paras Fermi berbanding dengan paras Fermi bahan intrinsik  $E_i$ ?*

$$k = 8.62 \times 10^{-5} \text{ eVK}^{-1}, n_i = 1.5 \times 10^{10} \text{ cm}^{-3}.$$

*(25 markah)*

4. (a) What happens if an n-type region and p-type region semiconductors are brought into intimate contact? Explain in details including important features of a depleted region in an abrupt and linear graded Junctions.

(60 marks)

*Terangkan apa yang berlaku sekiranya semikonduktor jenis-n dan jenis-p disambungkan sehingga bersentuhan? Huraikan dengan terperinci berserta dengan huraian berkenaan dengan rantau susut pada simpang mendadak dan simpang berperingkat linear.*

(60 markah)

- (b) The ability of the p-n junction to resist current flow in reverse bias is limited. Explain the phenomena of break down by stating the mechanisms on how it happens.

(30 marks)

*Kebolehan simpang p-n untuk membawa arus di dalam pincang balikan adalah terhad. Terangkan fenomena keruntuhan dengan menghuraikan mekanisma fenomena tersebut.*

(30 markah)

- (c) Why is metal-oxide semiconductor junction is attractive for applications?

(10 marks)

*Terangkan kenapa aplikasi simpangan logam-oksida-semikonduktor sangat menarik?*

(10 markah)

5. (a) Define the term semiconductor. Use an energy band diagram to support your answer.

(20 marks)

*Takrifkan semikonduktor. Gunakan struktur jalur tenaga untuk membantu jawapan anda.*

(20 markah)

- (b) Give an example, the crystal structure and the corresponding band gap energy of a semiconductor from:

- i. Group III-IV
- ii. Group II-VI

(20 marks)

*Berikan contoh bahan, struktur hablur dan jurang jalur semikonduktor di dalam:*

- i. *Kumpulan III-IV*
- ii. *Kumpulan II-VI*

(20 markah)

- (c) Explain what happens if group III and group V elements are doped to elemental semiconductor silicon, use a sketch to explain your answer. Draw energy band diagrams for these semiconductors, before and after doping and draw a band diagram of these materials if it forms a junction.  
(50 marks)

*Terangkan apakah yang berlaku sekiranya kumpulan III dan kumpulan V didopkan kepada semikonduktor silikon. Lukiskan struktur jalur tenaga, sebelum dan selepas pendopan untuk menerangkan jawapan anda dan lukiskan juga jalur tenaga bahan-bahan ini jika ia dijadikan simpang.*

*(50 markah)*

- (d) Explain the importance of semiconductors.

(10 marks)

*Tuliskan kepentingan semikonduktor.*

*(10 markah)*

6. (a) Discuss the carrier transport phenomena in a semiconductor. In your answer derive the equations of the current density for hole,  $J_h$  and electron,  $J_e$  and relate these current density equations to the conductivity of your semiconductor.

(40 marks)

*Bincangkan berkenaan dengan fenomena pengangkutan di dalam semikonduktor. Di dalam jawapan anda terbitkan persamaan ketumpatan arus untuk lohong,  $J_h$  dan elektron  $J_e$  dan hubungkan persamaan ketumpatan arus dengan kekonduksian di dalam semikonduktor anda.*

(40 markah)

- (b) Explain the carrier-scattering mechanism in a semiconductor. Relate your answer to the limits of the Ohm's law. Include the concept of mobility and effective mass in your answer.

(30 marks)

*Terangkan mekanisma penyerakkan pembawa-cas di dalam semikonduktor. Hubungkan jawapan anda dengan had hukum Ohm. Masukkan di dalam jawapan anda konsep kelincahan dan jisim berkesan.*

(30 markah)

- (c) Find the maximum resistance of a rectangular block of uniformly doped germanium with dimension of 1 cm x 0.5 mm x 2.5 mm if it can be connected between any pair of the parallel faces. The electrons in Ge have charge =  $-1.6 \times 10^{-19}C$ ,  $N_D = 10^{20}m^{-3}$  and there are around  $10^{21}cm^{-3}$  mobile electrons with electron mobility of  $0.40 m^2V^{-1}s^{-1}$  and holes mobility of  $0.04 m^2V^{-1}s^{-1}$ .

(30 marks)

...9/-



Dapatkan rintangan suatu blok empat persegi germanium yang telah didop secara uniform dengan dimensi:  $1\text{ cm} \times 0.5\text{ mm} \times 2.5\text{ mm}$ . Elektron di dalam Ge mempunyai cas =  $-1.6 \times 10^{19}\text{C}$ ,  $N_D = 10^{20}\text{m}^{-3}$  dan terdapat lebih kurang  $10^{21}\text{cm}^{-3}$  elektron yang bergerak dengan kelincahan  $0.40\text{ m}^2\text{V}^{-1}\text{s}^{-1}$ . Kelincahan lohong ialah  $0.04\text{ m}^2\text{V}^{-1}\text{s}^{-1}$ .

(30 markah)

7. (a) Explain (choose any THREE):

Terangkan (pilih TIGA daripada yang berikut):

i. The importance of Hall effect for electrical characterization.

(20 marks)

*Kepentingan Hall effect di dalam pencirian elektrik.*

(20 markah)

ii. Einstein relation. Derive the Einstein relation by using the equipartition of energy for a one-dimensional case.

(20 marks)

*Hubungan Einstein. Terbitkan hubungan Einstein menggunakan kes tenaga sama-bahagian di dalam kes satu dimensi.*

(20 markah)

iii. Shottky barrier between a p-type semiconductor and a metal.

(20 marks)

*Halangan Shottky di antara semikonduktor jenis-p dan logam.*

(20 markah)

... 10/-

- vi. The behaviour of p-n diode in response to alternating voltages.  
(20 marks)

*Sifat tindakbalas diod p-n terhadap voltan yang berulang alik.  
(20 markah)*

- v. Describe the fabrication method of making a pn junction.  
(20 marks)

*Terangkan bagaimana kaedah-kaedah fabrikasi simpangan p-n  
tersebut.  
(20 markah)*

- (b) Calculate (choose TWO):

*Kirakan (pilih DUA sahaja):*

- i. The room temperature resistivity of an n-type silicon doped with  $10^{17}$  phosphorus atoms/cm<sup>3</sup>. Mobility electron is 1000 cm<sup>2</sup>/Vs at room temperature (300K)  
(20 marks)

*Rintangan silikon jenis n yang telah didopkan dengan  $10^{17}$  fosforus  
atoms/cm<sup>3</sup> pada suhu bilik. Kelincahan elektron ialah 1000  
cm<sup>2</sup>/Vs pada suhu bilik (300K).  
(20 markah)*

- ii. The built-in potential for a p-n junction in silicon if  $N_D$  and  $N_A$  are  $10^9 \text{cm}^{-3}$  and  $10^{16} \text{cm}^{-3}$  respectively. The semiconductor is at room temperature (300K).

(20 marks)

*Potensi terbina dalam simpang p-n bahan silikon jika  $N_D$  adalah  $10^9 \text{cm}^{-3}$  dan  $N_A$  adalah  $10^{16} \text{cm}^{-3}$ . Semikonduktor berada pada suhu bilik (300K).*

(20 markah)

- iii. The donor concentration of a tungsten-silicon Schottky diode if  $d(I/C^2)/dV = -4.5 \times 10^{15} (\text{cm}^2/\text{F})^2/\text{V}$ .

(20 marks)

*Ketumpatan penderma di dalam diod Schottky tungsten-silikon jika  $d(I/C^2)/dV = -4.5 \times 10^{15} (\text{cm}^2/\text{F})^2/\text{V}$ .*

(20 markah)

**LAMPIRAN**

**Pemalar Fizikal (Physical constant)**

Pemalar Boltzman                      (Boltzman constant)  
=  $8.62 \times 10^{-5}$                       eV/K  
=  $1.38 \times 10^{-23}$                       J/K

Cas elektronik                      (electronic charge)  
=  $1.6 \times 10^{-19}$ C