

---

# UNIVERSITI SAINS MALAYSIA

Second Semester Examination  
Academic Session 2007/2008

April 2008

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

Duration : 3 hours  
[Masa : 3 jam]

---

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

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

This paper contains SEVEN questions.

*[Kertas soalan ini mengandungi TUJUH soalan.]*

**Instructions:** Answer FIVE questions. If a candidate answers more than five questions only the first five questions in the answer sheet will be graded.

**[Arahan:** Jawab LIMA soalan. Jika calon menjawab lebih daripada lima soalan hanya lima soalan pertama mengikut susunan dalam skrip jawapan akan diberi markah.]

Answer to any question must start on a new page.

*[Mulakan jawapan anda untuk setiap 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.]*

1. [a] With the help of appropriate diagrams, explain the differences between conductor (metal), semiconductor, and insulator (dielectric).

*Dengan bantuan gambarajah yang sesuai, terangkan perbezaan antara konduktor (logam), semikonduktor dan penebat.*

(30 marks/markah)

- [b] Atoms in semiconductor materials could be bonded by covalent and/or ionic bonds. For the following elements or compounds, explain the degree of covalent and/or ionic bonding.

- (i) Si
- (ii) GaAs
- (iii) AgGaS<sub>2</sub>
- (iv) HgCdTe

*Atom-atom dalam bahan semikonduktor boleh diikat dengan ikatan kovalen dan/atau ionik. Untuk unsur atau sebatian berikut jelaskan darjah ikatan kovalen dan/atau ionik.*

- (i) Si
- (ii) GaAs
- (iii) AgGaS<sub>2</sub>
- (iv) HgCdTe

(30 marks/markah)

- [c] Crystal defects have significant influence in semiconductor properties. Briefly explain types of defects below. Give 2 examples for each type of defect.
- (i) Point or zero-dimension defects
  - (ii) Line or one-dimensional defects
  - (iii) Area or two-dimensional defects
  - (iv) Volume or three-dimensional defects

*Kecacatan hablur memberi kesan terhadap sifat bahan semikonduktor. Terangkan dengan ringkas jenis kecacatan berikut. Berikan 2 contoh untuk setiap kecacatan tersebut.*

- (i) *Kecacatan titik atau 0-dimensi*
- (ii) *Kecacatan garis atau 1-dimensi*
- (iii) *Kecacatan luas atau 2-dimensi*
- (iv) *Kecacatan isipadu atau 3-dimensi*

(40 marks/markah)

2. [a] Silicon and germanium are intrinsic semiconductors that behave differently with varying temperature. With the help of diagrams, explain conduction in intrinsic semiconductor at:
- (i) Low temperature
  - (ii) High temperature

*Silikon dan germanium merupakan semikonduktor intrinsik yang berubah sifat dengan perubahan suhu. Dengan bantuan gambarajah, terangkan kekonduksian dalam semikonduktor intrinsik:*

- (i) *Suhu rendah*
- (ii) *Suhu tinggi*

(30 marks/markah)

- [b] Doping process results in extrinsic semiconductor. By giving suitable examples, explain what extrinsic semiconductor is.

*Proses pendopan dapat menghasilkan semikonduktor ekstrinsik. Dengan memberikan contoh dan gambarajah yang sesuai, terangkan proses pendopan dalam silikon.*

(40 marks/markah)

- [c] With the help of diagrams, explain single crystal, polycrystalline and amorphous semiconductors. What are their advantages and disadvantages in semiconductor devices?

*Dengan bantuan gambarajah, jelaskan maksud hablur tunggal, polihablur dan amorfus. Apakah kelebihan dan keburukan struktur hablur tersebut dalam peranti semikonduktor?*

(30 marks/markah)

3. [a] List down 7 types of semiconductor materials. Explain 4 of those in detail by giving specific examples.

*Senaraikan 7 jenis bahan semikonduktor. Terangkan 4 jenis bahan semikonduktor tersebut dengan memberikan contoh yang sesuai.*

(35 marks/markah)

- [b] With the help of appropriate diagrams, explain energy band formation of silicon.

*Dengan bantuan gambarajah yang sesuai, terangkan pembentukan jalur tenaga silikon.*

(35 marks/markah)

- [c] Sketch the atomic bonds and energy band diagrams to illustrate extrinsic semiconductor.

*Lakarkan ikatan atom dan jalur tenaga untuk menggambarkan semikonduktor ekstrinsik.*

(30 marks/markah)

4. [a] There are two breakdown mechanisms that can be considered under a reversed biased p-n junction.

*Terdapat dua mekanisme keruntuhan yang boleh dipertimbangkan di bawah keadaan pincang berbalik simpang p-n.*

- (i) One of the breakdown mechanisms is tunneling current or Zener effect. State and explains using a current-voltage characteristic plot of the other mechanism.

*Salah satu daripada mekanisme keruntuhan ialah arus "tunnel" atau kesan Zener. Nyatakan dan terangkan dengan menggunakan plot ciri-ciri arus-voltan, bagi mekanisme yang satu lagi.*

(20 marks/markah)

- (ii) Explain how the tunneling current occurs. Use an energy band diagram to describe the mechanism.

*Terangkan bagaimana "tunneling" berlaku. Guna gambarajah jalur tenaga untuk menerangkan mekanisme ini.*

(30 marks/markah)

- [b] Junction between a semiconductor and a metal can be classified into two types; Schottky and Ohmic.

*Simpang di antara bahan semikonduktor dan logam boleh diklasifikasikan kepada dua jenis; Schottky dan Ohmic.*

- (i) Define these two types of metal-semiconductor junctions.

*Berikan definisi kedua-dua jenis simpang logam-semikonduktor ini.*

(20 marks/markah)

- (ii) Sketch an energy band diagram of a Schottky barrier under equilibrium. Using your sketch, define the built in potential of the junction. Deduce the effect of forward biased on the built-in potential of the junction.

*Lakarkan gambarajah jalur tenaga penghalang Schottky di bawah keadaan keseimbangan. Dengan menggunakan lakaran anda, takrifkan keupayaan terbina pada simpang ini. Berikan kesan pincang ke hadapan terhadap keupayaan terbina pada simpang ini.*

(30 marks/markah)

5. [a] There are two mechanisms by which current flows in a semiconductor.

*Terdapat dua mekanisma pengaliran arus di dalam bahan semikonduktor.*

- (i) State and explain briefly these two mechanisms.

*Nyatakan dan terangkan secara ringkas kedua-dua mekanisma pengaliran arus ini.*

(20 marks/markah)

- (ii) What equation can be used to relate these two mechanisms? Derive the appropriate equation.

*Apakah persamaan yang boleh digunakan untuk menghubungkan kedua-dua mekanisma pengaliran arus ini? Terbitan persamaan yang bersesuaian.*

(20 marks/markah)

- [b] Mobility is an important factor to be incorporated when discussing the conductivity in a semiconductor. Mobility is related to scattering centers in a semiconductor, for example scattering due to the presence of impurities (dopants). Answer all the following questions.

*Kelincahan adalah faktor penting apabila membincangkan berkenaan dengan kekonduksian bahan semikonduktor. Kelincahan dikaitkan dengan pusat serakan di dalam semikonduktor contohnya kehadiran bendasing (bahan pendopan). Jawab semua soalan yang berikutnya.*

- (i) Does impurity scattering become stronger with high impurity doping? Explain your answer with an appropriate example.

*Adakah serakkan bendasing akan bertambah dengan kepekatan bendasing yang tinggi? Terangkan jawapan anda dengan contoh yang bersesuaian.*

(20 marks/markah)

- (ii) Find the conductivity of a doped Si with  $N_D$  of  $1 \times 10^{21} \text{cm}^{-3}$ . The intrinsic carrier concentration of Si is  $1.08 \times 10^{10} \text{cm}^{-3}$  and mobility of electron and holes are  $\mu_n = 6.3 \times 10^2 \text{cm}^2/\text{Vs}$  and  $\mu_p = 4.6 \times 10^2 \text{cm}^2/\text{Vs}$  respectively.

*Kirakan kekonduksian Si terdop dengan  $N_D = 1 \times 10^{21} \text{cm}^{-3}$ . Ketumpatan intrinsik Si ialah  $1.08 \times 10^{10} \text{cm}^{-3}$  dan kelincahan elektron dan lohong ialah  $\mu_n = 6.3 \times 10^2 \text{cm}^2/\text{Vs}$  dan  $\mu_p = 4.6 \times 10^2 \text{cm}^2/\text{Vs}$  masing-masing.*

(20 marks/markah)

...8/-

- (iii) If the same Si (with  $N_D$  of  $10^{21}\text{cm}^{-3}$ ) is heated from room temperature to 500K, what would you expect the conductivity to be: increased or reduced? Explain your answer.

*Jika Si yang sama (dengan  $N_D = 10^{21}\text{cm}^{-3}$ ) dipanaskan dari suhu bilik kepada suhu 500K, apakah yang anda jangka akan berlaku pada kekonduksian: bertambah atau berkurangan? Terangkan jawapan anda.*

(20 marks/markah)

6. [a] A p-n junction is formed in a piece of silicon between n-type ( $N_D = 1 \times 10^{18}\text{cm}^{-3}$ ) and p-type ( $N_A = 1 \times 10^{17}\text{cm}^{-3}$ ). The following questions are related to this junction, answer all questions.

*Satu simpang p-n dihasilkan pada sekeping Si di antara jenis-n ( $N_D = 1 \times 10^{18}\text{cm}^{-3}$ ) dan jenis p ( $N_A = 1 \times 10^{17}\text{cm}^{-3}$ ). Soalan yang berikutnya adalah berkaitan dengan simpang ini, jawab semua soalan.*

- (i) State one technique of p-n junction fabrication and explain briefly the technique.

*Nyatakan satu teknik fabrikasi simpang p-n dan terangkan secara ringkas teknik ini.*

(25 marks/markah)

- (ii) Sketch a typical doping profile of the junction assuming the junction is an abrupt junction.

*Lakarkan satu profil pendopan yang tipikal pada simpang, andaikan simpang adalah simpang serta-merta.*

(15 marks/markah)



- (iii) Explain what would happen at the junction once it reaches equilibrium. Use an energy band diagram to aid your answer.

*Terangkan apa yang akan berlaku apabila simpang mencapai keseimbangan. Gunakan gambarajah jalur tenaga untuk membantu jawapan anda.*

(30 marks/markah)

- (iv) Plot an electric field distribution at the junction and indicate the maximum value. Hint: Calculate  $V_b$  and use the value to calculate depletion region width,  $W$ . Use appropriate equations to demonstrate your answer.

*Plotkan taburan medan elektrik pada simpang dan berikan nilai medan elektrik maksimum. Bayangan: Kira  $V_b$  dan gunakan  $V_b$  untuk mengira kawasan susut,  $W$ . Gunakan persamaan yang sesuai untuk menjawab soalan anda.*

(30 marks/markah)

7. An equation for density of state function,  $S_c(E)$  in a conduction band is given by;

*Persamaan untuk fungsi ketumpatan-tapak,  $S_c(E)$  di dalam jalur kekonduksian ialah;*

$$S_c(E) = \frac{1}{2\pi^2} \left( \frac{2m_{dse}}{\hbar^2} \right)^{3/2} \sqrt{E - E_c}$$

- (i) Define  $S(E)$ .

*Berikan definisi  $S(E)$ .*

(10 marks/markah)

- (ii) For a given semiconducting material, how do you think, the density of states varies a function of the energies in k space? You can demonstrate your answer by sketching an appropriate graph.

*Untuk bahan semikonduktor, bagaimanakah yang anda fikir, fungsi ketumpatan-tapak berubah dengan tenaga pada ruang-k? Anda boleh menjawab dengan melakarkan graf yang sesuai*

(20 marks/markah)

- (iii) What is  $m_{dse}$ ?

*Apakah  $m_{dse}$ ?*

(10 marks/markah)

- (iv) By applying the above mentioned equation, calculate  $S(E)$  for a free electron in silicon with energies between 0 and 0.5eV. Explain your answer.

*Dengan menggunakan persamaan yang diberikan di atas, kirakan  $S(E)$  untuk satu elektron bebas di dalam silikon di antara 0 dan 0.5eV. Terangkan jawapan anda.*

(20 marks/markah)

- (v) With an appropriate equation explain how it can be used to determine the probability of finding electron in a given state in a semiconductor,  $f(E)$ .

*Nyatakan dan terangkan satu persamaan yang boleh digunakan untuk menentukan kebarangkalian menjumpai elektron di dalam semikonduktor,  $f(E)$ .*

(20 marks/markah)

- (vi)  $n_0$  can be deduced using both  $S(E)$  and  $f(E)$ . Show how this could be achieved.

*$n_0$  boleh ditentukan dengan menggunakan kedua-dua  $S(E)$  dan  $f(E)$ . Tunjukkan bagaimana ini boleh dicapai.*

(20 marks/markah)