

SULIT



Second Semester Examination
2024/2025 Academic Session

July/August 2025

EBB 215/3–Semiconductor Materials
[Bahan Semikonduktor]

Duration :3 hours
[Masa :3 jam]

Please ensure that this examination paper contains TWELVE (12) printed pages before you begin the examination.

[Sila pastikan bahawa kertas peperiksaan ini mengandungi DUA BELAS (12) muka surat yang bercetak sebelum anda memulakan peperiksaan ini.]

Instructions : Answer **FIVE (5)** questions. **Part A is COMPULSORY**. Answer **TWO (2)** questions from PART B and **TWO (2)** questions from PART C. All questions carry the same marks.

[Arahan : Jawab **LIMA (5)** soalan. **Bahagian A WAJIB dijawab**. Jawab **DUA (2)** soalan dari BAHAGIAN B dan **DUA (2)** soalan dari BAHAGIAN C. Semua soalan membawa jumlah markah yang sama.]

In the event of any discrepancies, the English version shall be used.

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

Should any candidate be caught cheating or in possession of materials not authorised to be brought into the Examination Hall during the examination, appropriate disciplinary action will be taken against the candidate concerned. In the event a candidate is found guilty of cheating, he/she can be expelled from the University.

[Sekiranya seseorang calon didapati meniru/menipu ataupun mempunyai bahan-bahan yang tidak dibenarkan dibawa ke dalam Dewan Peperiksaan semasa peperiksaan diadakan, tindakan disiplin yang sewajarnya akan dikenakan terhadap calon berkenaan. Jika seseorang calon didapati bersalah meniru/menipu beliau boleh disingkir dari Universiti.]

...2/-
SULIT

PART A / BAHAGIAN A

- (1). (a). Using the Energy Band Model, describe the semiconductor, conductor and insulator behaviour. Give TWO (2) materials for semiconductor, conductor and insulator materials.

Dengan menggunakan Model Jalur Tenaga, jelaskan semikonduktor, pengalir dan penebat. Berikan DUA (2) jenis bahan bagi bahan semikonduktor, pengalir dan penebat.

(6 marks/markah)

- (b). State FOUR (4) parameters that can change the electrical properties of semiconductor.

Nyatakan EMPAT (4) parameter yang boleh mengubah sifat elektrik semikonduktor.

(4 marks/markah)

- (c). (i). A semiconductor material is seen to carry current lower than expected, write plausible reasons for this observation by considering the effect of dopant, scattering and temperature on the electronic transport within the material.

Bahan semikonduktor dilihat membawa arus lebih rendah dari apa yang dijangkakan, tuliskan sebab-sebab yang mungkin pada pemerhatian ini dengan mengambilkira kesan pendopan, serakan dan suhu terhadap fenomena pengangkutan di dalam bahan.

(4 marks/markah)

- (ii). GaN is a wide band gap semiconductor. For a real device application, the material needs to be made into a p-n junction, describe junction formation by clearly indicate: depletion region, space charge region, electric field distribution and built in potential.

GaN adalah semikonduktor jurang jalur lebar. Untuk aplikasi peranti sebenar, bahan ini perlu dibentuk sebagai simpang p-n, huraikan bagaimana simpang dihasilkan dengan menerangkan dengan jelas: kawasan susut, kawasan ruang bercas, taburan medan elektrik dan keupayaan terbentuk.

(6 marks/markah)

PART B / BAHAGIAN B

- (2). (a) (i). Based on Hydrogen Atom Model and Bohr postulate, the Bohr radius, r_n , and speed of the electron, v_n , of the n^{th} state hydrogen is given by:

Berdasarkan Model Atom Hidrogen dan postulat Bohr, jejari Bohr, r_n dan kelajuan elektron pada keadaan tertentu, v_n , keadaan n^{th} bagi hidrogen adalah seperti berikut:

$$r_n = \frac{4\pi\epsilon_0 n^2 \hbar^2}{Zmq^2}, \quad v_n = \frac{Zq^2}{4\pi\epsilon_0 n \hbar}$$

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

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

(7 marks/markah)

- (ii). Consider a germanium nucleus, of charge $+31q$. Calculate the radius of first three orbital for an electron in Ge^{31+} ion using Bohr model. q is defined as 1 electron charge $= 1.60 \times 10^{-19} \text{ C}$.

Pertimbangkan nukleus germanium, bercas $+31q$. Dengan menggunakan model Bohr, kirakan tiga jejari orbital yang pertama bagi ion Ge^{31+} . Definisi bagi q ialah 1 cas electron $= 1.60 \times 10^{-19} \text{ C}$.

(3 marks/markah)

- (b). Explain THREE (3) classification of semiconductor materials.

Terangkan TIGA (3) pengkelasan bahan semikonduktor

(6 marks/markah)

- (c). Calculate the percentage (%) of ionic bonding and explain the possible bonding in the following semiconductor materials. Given electronegativity: Ge=1.8, Al = 1.5, Cu= 1.9, Ga = 1.6, N = 3.0, Si=1.9, Zn=1.6, O=3.4

Kirakan peratusan (%) ikatan ionic di dalam bahan semikonduktor berikut. Diberi nombor atom: Ge=1.8, Al = 1.5, Cu= 1.9, Ga = 1.6, N = 3.0, Si=1.9, Zn=1.6, O=3.4

- (i). SiGe
- (ii). AlGaN
- (iii). ZnO
- (iv). Cu

(4 marks/markah)

- (3). (a). (i). Properties of semiconductor devices are highly dependent on defects. For example changing the semiconductor materials conductivity by doping. Explain which defects involve in doping of semiconductor materials.

Sifat-sifat peranti semikonduktor sangat bergantung kepada kecacatan. Sebagai contoh perubahan kekonduksian bahan semikonduktor adalah dengan pendopan. Terangkan kecacatan yang terlibat di dalam mengedop bahan semikonduktor.

(6 marks/markah)

- (ii). The energy of vacancy formation in the Ge crystal is about 2.2 eV. Calculate the fractional concentration of vacancies in Ge at 938°C, just below its melting temperature. What is the vacancy concentration if given that the atomic mass and density of Ge are 72.64 g mol⁻¹ and 5.32 g cm⁻³, respectively? Neglect the change in the density with temperature which is too small.

...6/-

Tenaga pembentukan kekosongan dalam hablur Ge adalah kira-kira 2.2 eV. Kira pecahan kepekatan kekosongan dalam Ge pada 938°C, di bawah suhu leburnya. Apakah kepekatan kekosongan jika jisim atom dan ketumpatan Ge ialah 72.64 g mol⁻¹ dan 5.32 g cm⁻³. Abaikan perubahan ketumpatan dengan suhu yang terlalu kecil

(6 marks/markah)

- (b). As refer to Table 1, explain the properties of the semiconductor materials in vertical direction and horizontal direction of the Table 1.

Berdasarkan kepada Jadual 1, terangkan sifat-sifat bahan semikonduktor dalam arah menegak dan melintang Jadual 1.

Table 1: Isoelectronic arrangement of Group IV and III-V Compounds semiconductors

Jadual 1: Susunan isoelektronik bagi semikonduktor sebatian kumpulan IV dan III-V

Group IV semiconductors		III-V compounds semiconductors			
C			BN		
SiC		BP	AlN		
Si		BA _s	AlP	GaN	
SiGe	BS _b	AlAs	GaP		InN
Ge		AlSb	GaAs	InP	
GeSn		GaSb	InAs		
α-Sn		InSb			

(8 marks/markah)

- (4). (a). Illustrate and describe Czochalski technique to produce,
Ilustrasi dan terangkan Teknik Czochalski bagi menghasilkan

- (i). Silicon single crystal
Hablur tunggal silikon

- (ii). GaAs single crystal
Hablur tunggal GaAs

(6 marks/markah)

...7/-

- (b). Write a short notes for type of semiconductor materials below.
Tulis nota ringkas bagi jenis bahan semikonduktor di bawah ini.

- (i). Wide band gap semiconductor.
Semikonduktor jurang jalur lebar
- (ii). Narrow band gap semiconductor.
Semikonduktor jurang jalur sempit

(6 marks/markah)

- (c). By using Band Model, describe:
Dengan menggunakan Model Jalur, terangkan:

- (i). N-type semiconductor at 0K and 50K
Semikonduktor jenis-N pada 0K dan 50K
- (ii). P-type semiconductor materials at 0K and 50K
Semikonduktor jenis-P pada 0K dan 50K.

(4 marks/markah)

(4 marks/markah)

PART C / BAHAGIAN C

- (5). Gallium Arsenide (GaAs) is an important semiconductor material for light emitting diode (LED) application. Answer all of the questions below:

Galium arsenik (GaAs) adalah bahan semikonduktor penting yang mempunyai aplikasi untuk LED. Jawab semua soalan-soalan di bawah:

- (a). Given the material can produce red light, sketch the energy band diagram of this material to show the generation of red light.

Diberikan bahan ini boleh menghasilkan cahaya merah, lakarkan diagram jalur tenaga untuk menunjukkan bagaimana bahan ini boleh menghasilkan cahaya merah.

(4 marks/markah)

- (b). An LED requires a p-n junction of GaAs, and the junction needs to be biased. Describe the effect of junction biased on the device. You can use an I-V curve to explain your answer.

LED perlukan satu simpang p-n GaAs dan simpang perlu dipincangkan. Terangkan kesan pemincangan simpang pada peranti ini. Anda boleh gunakan lengkuk I-V untuk menerangkan jawapan anda.

(4 marks/markah)

- (c). A GaAs p-n junction has doping concentrations of $N_A = 1 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ and $N_d = 1 \times 10^{19} \text{ cm}^{-3}$ at p type and n type, respectively. Given $n_i = 2 \times 10^{16} \text{ cm}^{-3}$. Calculate the built-in-potential of the junction.

Sebuah simpang p-n GaAs mempunyai kepekatan dopan, $N_A = 1 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ and $N_d = 1 \times 10^{19} \text{ cm}^{-3}$, di kawasan p dan n, masing-masing. Diberikan $n_i = 2 \times 10^{16} \text{ cm}^{-3}$. Kirakan keupayaan terbentuk simpang ini.

(4 marks/markah)

- (d). GaAs can be used as a photovoltaic cell. Upon sunlight illumination electrons and holes are generated within the material, but recombination occurs as well, illustrate all of the possible generation and recombination processes for intrinsic and extrinsic GaAs.

GaAs boleh digunakan untuk sel fotovoltai. Di bawah sinaran cahaya matahari, elektron dan lohong terbentuk di dalam bahan ini tetapi gabungan semula berlaku juga. Lakarkan kesemua proses penjanaan dan penggabungan-semula, untuk GaAs intrinsik dan ekstrinsik.

(6 marks/markah)

- (e). In a photovoltaic cell, current forms due to diffusion of electrons. Describe diffusion current.

Di dalam sel fotovoltai, arus terhasil kerana resapan elektron. Terangkan arus resapan.

(2 marks/markah)

- (6). Silicon is the most used semiconductor material with electrons and holes mobility of $1500 \text{ cm}^2/\text{Vs}$ and $450 \text{ cm}^2/\text{Vs}$, respectively. Given $n_i = 1 \times 10^{10} \text{ cm}^{-3}$. Answer the following questions:

Silikon adalah bahan semikonduktor yang paling banyak digunakan. Silikon mempunyai mobiliti elektron dan lohong, $1500 \text{ cm}^2/\text{Vs}$ and $450 \text{ cm}^2/\text{Vs}$, masing-masing. Diberikan $n_i = 1 \times 10^{10} \text{ cm}^{-3}$. Jawab semua soalan di bawah:

...10/-

SULIT

- (a). The silicon is illuminated with light, $\lambda > 450 \text{ nm}$. Explain what is likely to happen to valence band electrons. Use energy band diagram in your answer

Silikon ini disinarkan dengan cahaya $\lambda > 450 \text{ nm}$. Terangkan apakah yang bakal berlaku kepada elektron pada jalur valens. Gunakan diagram jalur tenaga di dalam jawapan anda.

(5 marks/markah)

- (b). The material can conduct electricity when electric field is applied to it due to drift current, derive drift current (for electrons and holes) and state the importance of maintaining high mobility of the carriers.

Bahan ini boleh mengalirkan elektrik apabila medan elektrik dikenakan kerana arus hanyutan, terbitkan arus hanyutan (untuk elektron dan lohong) dan nyatakan kenapa mobiliti pembawa perlu kekal tinggi.

(5 marks/markah)

- (c). Given the material is n-doped with $N_D = 10^{16} \text{ cm}^{-3}$, calculate drift when electric field of 10 V/cm^2 was applied.

Diberikan, silikon jenis-n dengan pendopan $N_D = 10^{16} \text{ cm}^{-3}$, kirakan arus hanyutan pada bahan silikon di atas apabila medan elektrik 10 V/cm^2 dikenakan.

(5 marks/markah)

- (d). A device made out of this n-type silicon is needed to produce drift current density of $J_{\text{drift}} = 40 \text{ A/cm}^2$. An electric field of 50 V/cm is applied to the device, determine if the doping concentration is adequate to achieve this specification. Assume complete ionization and mobility of electron in this silicon is $1500 \text{ cm}^2/\text{Vs}$ ($n_i = 1 \times 10^{10} \text{ cm}^{-3}$) at 300 K .

Satu peranti perlu menghasilkan arus hanyutan $n J_{drift} = 40 \text{ A/cm}^2$ pada bahan silikon jenis-n. Medan elektrik 40V/cm diberikan kepada peranti tersebut, tentukan kepekatan pendopan yang sesuai untuk mencapai spesifikasi ini. Andaikan ionisasi penuh dan mobiliti elektron ialah $1500 \text{ cm}^2/\text{Vs}$ ($n_i = 1 \times 10^{10} \text{ cm}^{-3}$) pada 300 K .

(5 marks/markah)

- (7). You are given a silicon wafer doped with boron with concentration of $1 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$ and another silicon wafer doped with phosphorus with concentration of $1 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$ as well. Given: n_i for silicon is $1 \times 10^{10} \text{ cm}^{-3}$ and the energy gap 1.2 eV .

Anda diberikan silikon terdop boron dengan kepekatan $1 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$ untuk menghasilkan silikon jenis-p dan terdop dengan fosforus dengan kepekatan $1 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$ untuk menghasilkan silikon jenis-n. Diberikan n_i untuk silikon ialah $1 \times 10^{10} \text{ cm}^{-3}$ dan jurang tenaga 1.2 eV .

Answer the following questions:

Jawab soalan-soalan di bawah:

- (a). Based on the concept of Fermi-Dirac Statistic and density of states, compare on charge carriers generation between these two types of silicon wafers. Use necessary diagrams to support your answer.

Dengan berpanduan Statistik Fermi-Dirac dan ketumpatan keadaan, bandingkan penjanaan pembawa pada kedua-dua wafer silikon ini. Gunakan gambarajah yang sesuai untuk membantu jawapan anda.

(5 marks/markah)

- (b). There is a relationship between electron concentration (n) with Temperature (T) for an n-type silicon. By using a graph of n versus T , describe electrons generation process in the three regions: ionisation, saturation and intrinsic.

...12/-

Terdapat satu hubungan di antara kepekatan elektron (n) dengan suhu (T) untuk silikon jenis n . Dengan menggunakan graf n melawan T , terangkan tiga kawasan utama: ionisasi, tumpat dan intrinsik.

(5 marks/markah)

- (c). If boron concentration is increased to $2 \times 10^{20} \text{ cm}^{-3}$, argue if hole conduction is increased with the increase in the dopant concentration.

Jika kepekatan boron ditambah kepada $2 \times 10^{20} \text{ cm}^{-3}$, hujahkan jika kekonduksian lohong bertambah dengan pertambahan kepekatan pendopan.

(5 marks/markah)

- (d). If a thin metal film is placed on the n -type silicon, metal-semiconductor junction is formed. Explain depletion region of this junction.

Jika satu bahan logam diletakkan di atas bahan silikon jenis- n , simpang logam-semikonduktor dihasilkan. Terangkan kawasan susut untuk simpang ini.

(5 marks/markah)

-oooOooo-