

---

UNIVERSITI SAINS MALAYSIA

Second Semester Examination  
Academic Session 2003/2004

February/March 2004

**ZAT 389E/3 - Low Dimensional Semiconductor Structures**  
*[Struktur Semikonduktor Dimensi Rendah]*

Duration: 3 hours  
*[Masa: 3 jam]*

---

Please check that the examination paper consists of **EIGHT** pages of printed material before you begin the examination.

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

**Instruction:** Answer any **FOUR (4)** questions. Students are allowed to answer all questions in Bahasa Malaysia or in English.

*[**Arahan:** Jawab mana-mana **EMPAT** soalan. Pelajar dibenarkan menjawab semua soalan sama ada dalam Bahasa Malaysia atau Bahasa Inggeris.]*

1. (a) Consider electrons moving in a one-dimensional lattice with a weak periodic potential. If the lattice constant is 0.5 nm, draw the first three energy bands in the
- [(a) *Pertimbangkan elektron bergerak di dalam suatu kekisi satu dimensi yang mempunyai keupayaan berkala yang lemah. Jika pemalar kekisi ialah 0.5 nm, lukiskan tiga jalur tenaga pertama di dalam*]

(i) extended zone scheme and  
 [(i) *skim zon diperluaskan dan*]

(ii) reduced zone scheme.  
 [(ii) *skim zon terkurang.*]

(20/100)

- (b) The lowest energy band of Question 1(a) can be written approximately as
- [(b) *Jalur tenaga paling rendah dalam Soalan 1(a) secara hampirannya dapat ditulis sebagai*]

$$E(k) = \frac{1}{2} W(1 - \cos ka)$$

where  $k$  is the wavevector,  $W = 5$  eV is the full energy width and  $a$  the lattice constant. Determine the values of the effective masses at the centre and edges of the first Brillouin zone.

[(d) *dengan  $k$  ialah vektor gelombang,  $W = 5$  eV ialah lebar tenaga penuh dan  $a$  ialah pemalar kekisi. Tentukan nilai jisim berkesan pada tengah dan pinggir-pinggir zon Brillouin pertama.*]

(30/100)

- (c) Define the term monolayer in the [001] growth direction of an AlAs thin film.
- [(c) *Takrifkan sebutan monolapisan dalam arah penumbuhan [001] bagi suatu filem tipis AlAs.*]

(20/100)

- (d) Figure 1 shows the dependence of the bandgap of unstrained  $\text{Si}_{1-x}\text{Ge}_x$  alloys as a function of the Ge fraction. Describe the behaviour of the bandgap with respect to its position in the first Brillouin zone.
- [(d) *Rajah 1 menunjukkan kebersandaran jurang jalur aloi  $\text{Si}_{1-x}\text{Ge}_x$  tak terikan sebagai fungsi pecahan Ge. Terangkan kelakuan jurang jalur tersebut merujuk kepada kedudukannya di dalam zon Brillouin pertama.*]

(30/100)

...3/-

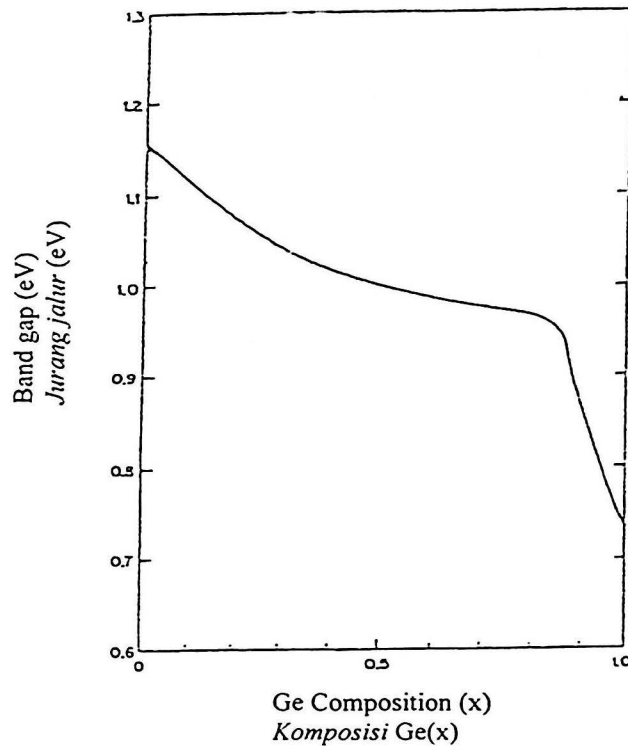


Figure 1  
[Rajah 1]

2. (a) Identify the types of native point defects in a compound semiconductor AB and explain how they can change the optoelectronic properties.  
 [(a) *Camkan jenis-jenis kecacatan titik asli di dalam suatu semikonduktor sebatian AB dan terangkan bagaimana mereka dapat menukar ciri-ciri optoelektronik.*]
- (20/100)
- (b) Figure 2 shows the separated band diagrams of a metal and a n-type semiconductor. The labels in the figure have the same meaning as in the lecture notes.  
 (b) *Rajah 2 menunjukkan gambarajah jalur yang terpisah bagi suatu logam dan suatu semikonduktor jenis-n. Label-label pada gambarajah mempunyai maksud yang sama seperti dalam nota kuliah.*
- (i) Describe the behaviour of the energy bands when the metal and the semiconductor are in contact at zero and forward bias.  
 [(i) *Perihalkan kelakuan jalur-jalur tenaga apabila logam dan semikonduktor adalah bersentuhan pada pincang sifar dan depan.*]

- (ii) Identify the type of contact.  
 [(ii) *Camkan jenis sentuhan tersebut.*]

(30/100)

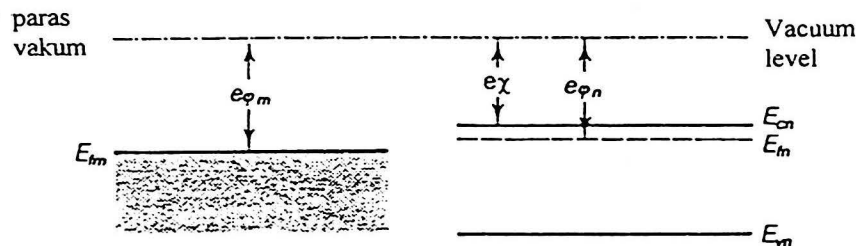


Figure 2  
 [Rajah 2]

- (c) Table 1 shows the lattice constants of three semiconductor compounds.  
 [(c) *Jadual 1 menunjukkan pemalar kekisi bagi tiga sebatian semikonduktor.*]

Table 1  
 [Jadual 1]

Compound [Sebatian]	Lattice Constants ( $\text{\AA}$ ) [Pemalar Kekisi ( $\text{\AA}$ )]
InP	5.8687
AlAs	5.6611
InAs	6.0584

Determine the amount of Al so that an alloy of  $\text{Al}_x\text{In}_{1-x}\text{As}$  layer can be grown free of strains on an InP substrate.

[*Tentukan kandungan Al supaya suatu lapisan aloi  $\text{Al}_x\text{In}_{1-x}\text{As}$  dapat ditumbuhkan ke atas suatu substrat InP tanpa kehadiran sebarang terikan.*]

(30/100)

- (d) Describe the important components of a Molecular Beam Epitaxy reactor and their functions in the growth of semiconductor thin films.  
 [(d) *Perihalkan komponen-komponen penting di dalam suatu reaktor Epitaksi Alur Molekul dan fungsi-fungsi mereka dalam penumbuhan filem tipis semikonduktor.*]

(20/100)

3. (a) Describe Anderson's Rule for the alignment of energy bands at a heterojunction.

[(a) *Terangkan dengan jelas Peraturan Anderson bagi penjajaran jalur tenaga pada satu heterosimpang.*]

(10/100)

- (b) Table 2 shows the electron affinity  $\chi$  and the energy gap  $E_g$  at 300 K for GaSb, AlSb and InAs compound semiconductors.

[(b) *Jadual 2 menunjukkan afiniti elektron  $\chi$  dan jurang tenaga  $E_g$  pada 300 K bagi semikonduktor sebatian GaSb, AlSb dan InAs.*]

Table 2

[Jadual 2]

Compound [Sebatian]	Electron Affinity (eV) [Afiniti Elektron (eV)]	$E_g$ at 300 K (eV) [ $E_g$ pada 300 K (eV)]
GaSb	4.06	0.75
AlSb	3.65	1.62
InAs	5.05	0.35

- (i) Determine the band offsets in the conduction and valence bands for heterojunctions of GaSb-AlSb and AlSb-InAs.

[(i) *Tentukan ofset jalur di dalam jalur konduksi dan valens bagi heterosimpang-heterosimpang GaSb-AlSb dan AlSb-InAs.*]

- (ii) Draw band diagrams for the GaSb-AlSb and AlSb-InAs heterojunctions.

[(ii) *Lukiskan gambarajah jalur bagi heterosimpang-heterosimpang GaSb-AlSb dan AlSb-InAs.*]

- (iii) Identify the types of band alignments for each case.

[(iii) *Camkan jenis penjajaran jalur bagi setiap kes.*]

(40/100)

- (c) (i) Discuss the variation of the three lowest minima in the conduction bands of  $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{As}$  as a function of the Al content.

[(i) *Bincangkan perubahan tiga minima paling rendah di dalam jalur konduksi  $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{As}$  sebagai fungsi kandungan Al.*]

- (ii) An  $\text{Al}_{0.7}\text{Ga}_{0.3}\text{As}$  layer is sandwiched between two layers of GaAs. Draw and discuss possible barriers and wells that could exist in the conduction bands of the sandwiched layer.

[(ii) Suatu lapisan  $\text{Al}_{0.7}\text{Ga}_{0.3}\text{As}$  diapit oleh dua lapisan GaAs. Lukis dan bincangkan sawar dan perigi yang mungkin wujud di dalam jalur-jalur konduksi lapisan yang diapit.]

(30/100)

- (d) An active layer was found to have a larger lattice constant along the growth direction when deposited on a particular substrate. Discuss the behaviour of its valence bands as a function of the wavevectors  $\mathbf{k}$ .

[(d) Suatu lapisan aktif diketahui mempunyai pemalar kekisi yang lebih besar di sepanjang arah penumbuhan apabila diendap ke atas suatu substrat tertentu. Bincangkan kelakuan jalur valensnya sebagai fungsi vektor gelombang  $\mathbf{k}$ .]

(20/100)

4. (a) Discuss the growth procedures that are required to create a one-dimensional parabolic potential well using heterostructures of GaAs- $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{As}$ .

[(a) Bincangkan kaedah-kaedah penumbuhan yang perlu bagi menghasilkan suatu perigi keupayaan parabola satu dimensi menggunakan heterosimpang-heterosimpang GaAs- $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{As}$ .]

(30/100)

- (b) The electronic bound states of an electron in a square potential well with width  $a$  and finite depth  $V_0$  can be obtained from the following expression

[(b) Keadaan-keadaan terikat elektronik bagi suatu elektron di dalam suatu perigi keupayaan segiempat sama dengan ketebalan  $a$  dan kedalaman terhingga  $V_0$  dapat diperolehi daripada ungkapan berikut]

$$\left\{ \begin{array}{l} \tan \\ -\cot \end{array} \right\} \theta = \sqrt{\frac{mV_0 a^2}{2\hbar^2} \frac{1}{\theta^2} - 1} \equiv \sqrt{\frac{\theta_0^2}{\theta^2} - 1}$$

where  $\theta = ka/2$ ,  $m$  and  $k$  are the mass and wavevector, respectively.

[dengan  $\theta = ka/2$ ,  $m$  dan  $k$  masing-masing ialah jisim dan vektor gelombang.]

(i) With the aid of a suitable graph list down the procedures needed to obtain the solutions of the above equation.

[(i) Berbantuan suatu graf yang bersesuaian, senaraikan kaedah-kaedah yang perlu bagi memperolehi penyelesaian-penyelesaian bagi persamaan di atas.]

(ii) Consider  $a = 10 \text{ nm}$ ,  $V_0 = 0.3 \text{ eV}$  and  $m = m_0 m_e$  where  $m_e = 0.067$ . Determine the number of solutions given that  $m_0 = 9.11 \times 10^{-31} \text{ kg}$  and  $\hbar = 1.06 \times 10^{-34} \text{ Js}$ .

[(ii) Pertimbangkan  $a = 10 \text{ nm}$ ,  $V_0 = 0.3 \text{ eV}$  dan  $m = m_0 m_e$  dengan  $m_e = 0.067$ . Tentukan bilangan penyelesaian jika diberi  $m_0 = 9.11 \times 10^{-31} \text{ kg}$  dan  $\hbar = 1.06 \times 10^{-34} \text{ Js}$ .]

(70/100)

5. (a) Discuss the Fermi's Golden Rule for a harmonic perturbation given by  
[(a) Bincangkan Peraturan Emas Fermi bagi usikan harmonik yang diberi sebagai]

$$\hat{V}(t) = 2\hat{V} \cos \omega_0 t = \hat{V} \left( e^{-i\omega_0 t} + e^{+i\omega_0 t} \right)$$

where  $\hat{V}$  is the amplitude and  $\omega_0$  is the frequency.

[dengan  $\hat{V}$  ialah amplitud dan  $\omega_0$  ialah frekuensi.]

(30/100)

- (b) Figure 3 shows wavefunctions along  $z$  (with energy levels) of bound states in a quantum well formed by the conduction bands of a heterostructure. Consider photons propagating in the plane of the well such that the electric field is normal to the quantum well. By considering the matrix element between two bound states in the transition rate equation show that

[(b) Rajah 3 menunjukkan fungsi-fungsi gelombang di sepanjang  $z$  (dengan paras-paras tenaga) bagi keadaan-keadaan terikat di dalam suatu perigi kuantum yang dibentuk oleh jalur-jalur konduksi suatu heterosimpang. Pertimbangkan foton-foton merambat di dalam satah perigi supaya medan elektrik adalah normal kepada perigi kuantum. Gunakan unsur matriks di antara dua keadaan terikat di dalam persamaan kadar peralihan bagi menunjukkan]

(i) optical transitions are vertical,

[(i) peralihan-peralihan optik adalah menegak,]

- (ii) absorption occurs at frequencies corresponding to the separation of bound states in the well, and  
 [(ii) penyerapan-penyerapan berlaku pada frekuensi yang sepadan dengan pemisahan keadaan-keadaan terikat di dalam perigi, dan]
- (iii) the selection rule for optical absorption is if one state is even the other must be odd.  
 [(iii) petua pemilihan bagi penyerapan optik ialah jika suatu keadaan adalah genap maka keadaan yang satu lagi mestilah ganjil.]

(70/100)

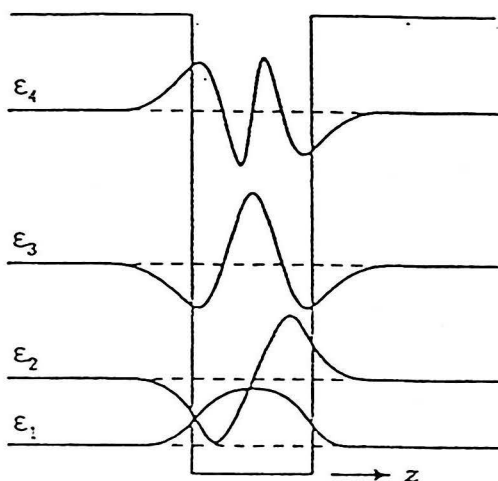


Figure 3  
 [Rajah 3]

- 000 O 000 -