
UNIVERSITI SAINS MALAYSIA

Peperiksaan Kursus Semasa Cuti Panjang
Sidang Akademik 2002/2003

April 2003

ZAT 389E/3 – Struktur Semikonduktor Dimensi Rendah

Masa : 3 jam

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

Jawab mana-mana EMPAT soalan sahaja. Pelajar dibenarkan menjawab semua soalan dalam Bahasa Inggeris ATAU Bahasa Malaysia ATAU kombinasi kedua-duanya.

1. (a) Jalur tenaga paling rendah bagi elektron bebas di dalam satu hablur dapat diwakili oleh

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

dengan k ialah vektor gelombang, W ialah lebar penuh tenaga bagi jalur di dalam zon Brillouin pertama dan a ialah pemalar kekisi.

- (i) Lukiskan jalur tenaga ini di dalam zon Brillouin pertama.
- (ii) Tentukan satu ungkapan bagi jisim berkesan keseluruhan jalur.
- (iii) Tunjukkan bahawa satu jalur yang sangat lebar menghasilkan jisim berkesan yang kecil.

(50/100)

- (b) Terangkan maksud fizikal sebutan monolapisan di dalam struktur adunan zink.

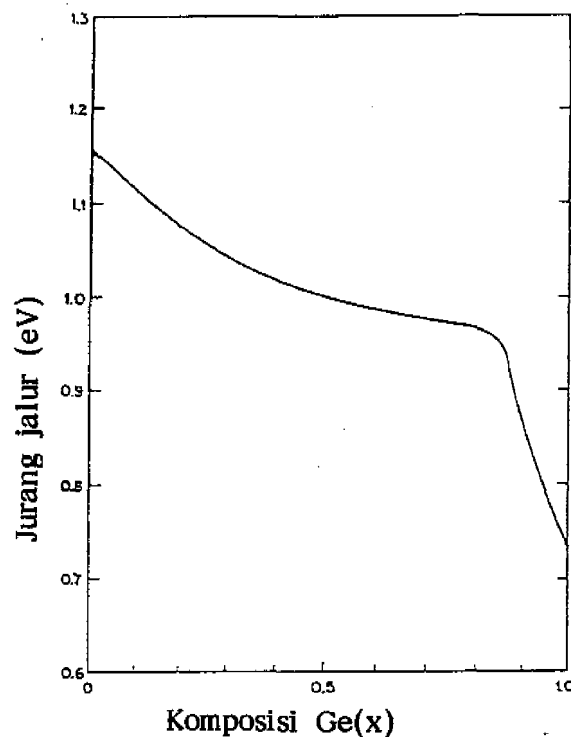
(20/100)

...2/-

- (c) Lakarkan gambarajah jalur tenaga bagi Si dan GaAs dalam arah vektor gelombang [111] dan [110]. Bincangkan ciri-ciri penting bagi setiap jalur dan perbezaan antara mereka.

(30/100)

2. (a) Rajah di bawah menunjukkan kebersandaran jurang jalur aloi-aloi $\text{Si}_{1-x}\text{Ge}_x$ tak terikan sebagai satu fungsi pecahan Ge.



- (i) Bincangkan kelakuan minimum jalur konduksi apabila komposisi Ge ditingkatkan.
- (ii) Lakarkan satu lengkung yang mewakili jurang jalur aloi-aloi $\text{Si}_{1-x}\text{Ge}_x$ terikan sebagai satu fungsi x merujuk kepada jurang jalur tak terikan.

(50/100)

- (b) Satu logam membentuk antaramuka dengan satu semikonduktor jenis-n. Gunakan gambarajah-gambarajah jalur yang bersesuaian bagi memerihalkan sentuhan-sentuhan yang mungkin terbentuk pada antaramuka dengan mempertimbangkan fungsi kerja logam dan semikonduktor jenis-n.

(50/100)

3. (a) (i) Bincangkan kriteria-kriteria yang mesti dipenuhi supaya berlaku penumbuhan heterostruktur yang unggul.
- (ii) Bincangkan kesan-kesan ke atas ciri elektronik jika kriteria-kriteria ini tidak dipenuhi. (20/100)
- (b) Pemalar kekisi bagi GaSb dan InSb masing-masing ialah 0.610 nm dan 0.648 nm. Gunakan hukum Vegard bagi melukis perubahan pemalar kekisi dengan x bagi aloi-aloi $\text{Ga}_x\text{In}_{1-x}\text{Sb}$. (30/100)
- (c) (i) Takrifkan peraturan Anderson bagi penjajaran jalur-jalur tenaga pada satu heterosimpang.
- (ii) Bincangkan jenis-jenis penjajaran jalur di antara dua semikonduktor dan berikan contoh bagi setiap kes. Dalam perbincangan anda sebutkan juga kemungkinan pemerangkapan elektron dan lohong. (50/100)
4. (a) Terangkan bagaimana satu perigi keupayaan parabola satu dimensi dapat dibina secara eksperimen dengan heterostruktur GaAs-AlGaAs. (30/100)
- (b) Penyelesaian bagi keadaan terikat satu elektron di dalam perigi segi empat sama dengan lebar a dan kedalaman terhingga V_0 diberi oleh

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

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

- (i) Terangkan secara jelas dengan bantuan satu graf yang bersesuaian langkah-langkah bagi menyelesaikan persamaan di atas.
- (ii) Tentukan bilangan penyelesaian jika $a = 10$ nm, $V_0 = 0.3$ eV dan $m = m_0 m_e$ dengan $m_e = 0.067$. Diberi bahawa $m_0 = 9.11 \times 10^{-31}$ kg dan $\hbar = 1.06 \times 10^{-34}$ Js.

(70/100)

...4/-

5. (a) Takrifkan peraturan emas Fermi bagi satu keupayaan berayun seperti yang dibekalkan oleh foton. (30/100)

- (b) Bahagian hakiki kekonduksian optik bagi penyerapan antara jalur di dalam satu semikonduktor jurang jalur terus boleh ditulis secara hampirannya sebagai

$$\sigma_1(\omega) \simeq \frac{\pi e^2}{m_0^2 \omega} |P_{cv}(\omega)|^2 n_{opt}(\hbar\omega)$$

dengan $n_{opt}(\hbar\omega)$ ialah ketumpatan keadaan bersama optik dan sebutan-sebutan lain mempunyai maksud yang sama seperti dalam nota kuliah.

- (i) Bincang dan lukiskan lengkung-lengkung penyerapan teori bagi GaAs pukal, gas elektron dua dimensi (2DEG) dan satu dawai kuantum bagi heterostruktur GaAs-AlGaAs.
- (ii) Lengkung-lengkung penyerapan eksperimen agak berbeza sedikit daripada lengkung teori. Terangkan kenapa?

(70/100)

UNIVERSITI SAINS MALAYSIA

Third Semester Examination
2002/2003 Academic Session

April 2003

ZAT 389E/3 – Low-Dimensional Semiconductor Structures

Time : 3 hours

Please check that the examination paper consists of **EIGHT** printed pages before you commence this examination.

Answer any **FOUR** questions only. Students are allowed to answer all questions in English OR Bahasa Malaysia OR combinations of both.

1. (a) The lowest energy band for nearly free electrons in a crystal can be represented by

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

where k is the wave vector, W is the full width energy of the band in the first Brillouin zone and a is the lattice constant.

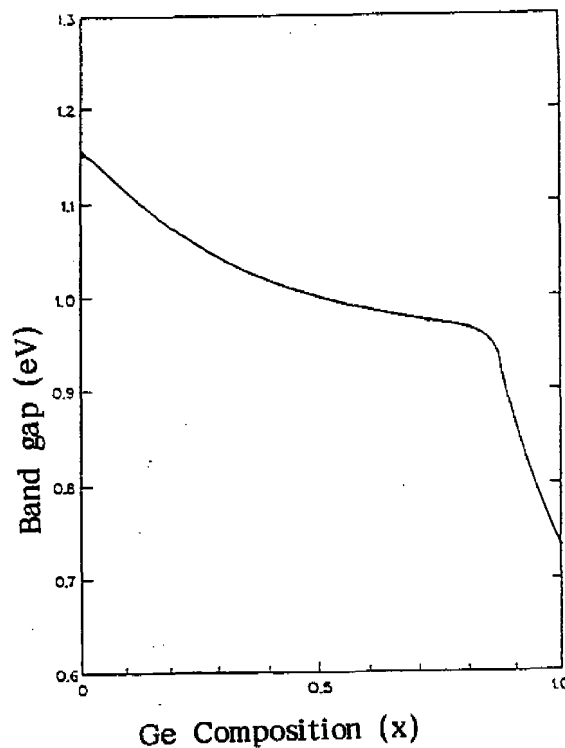
- (i) Draw the energy band in the first Brillouin zone.
 - (ii) Determine an expression for the effective mass throughout the band.
 - (iii) Show that a broad band gives a small effective mass.
- (50/100)

- (b) Explain the physical meaning of the term monolayer in the zinc-blende structure.
- (20/100)

- (c) Sketch the energy band diagrams of Si and GaAs in the wave vector directions of [111] and [110]. Discuss the important features of each band and their differences.

(30/100)

2. (a) Figure below shows the dependence of the band gap of unstrained $\text{Si}_{1-x}\text{Ge}_x$ alloys as a function of the Ge fraction.



- (i) Discuss the behaviour of the conduction band minima as the Ge composition increases.
- (ii) Sketch a curve that represents the band gap of strained $\text{Si}_{1-x}\text{Ge}_x$ alloys as a function of x with respect to the unstrained band gap.

(50/100)

- (b) Consider a metal forming an interface with a n-type semiconductor. Using suitable band diagrams describe the possible contacts that can be formed at the interface by considering the work functions of the metal and the semiconductor.

(50/100)

3. (a) (i) Discuss the important criteria that must be fulfilled in order to grow ideal heterostructures.
- (ii) Discuss the effects on electronic properties if these criteria are not satisfied. (20/100)
- (b) The respective lattice constants of GaSb and InSb are 0.610 nm and 0.648 nm. Use Vegard's law to draw the variation in lattice constant with x for $\text{Ga}_x\text{In}_{1-x}\text{Sb}$ alloys. (30/100)
- (c) (i) Define Anderson's rule for the alignment of energy bands at a heterojunction.
- (ii) Discuss the types of band alignments between two semiconductors and give example for each case. Include in your discussions the possibility of trapping electrons and holes. (50/100)
4. (a) Explain how a one-dimensional parabolic potential well can be created experimentally in heterostructures of GaAs-AlGaAs. (30/100)
- (b) The solutions for bound states of an electron in a square well with width a and finite depth V_0 are given by

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

where $\theta = ka/2$, m and k are the mass and wave vector of the electron, respectively.

- (i) Explain clearly with the aid of a suitable graph the steps required to solve the above equation.
- (ii) Determine the number of solutions if $a = 10$ nm, $V_0 = 0.3$ eV and $m = m_0 m_e$ where $m_e = 0.067$. Given that $m_0 = 9.11 \times 10^{-31}$ kg and $\hbar = 1.06 \times 10^{-34}$ Js.

(70/100)

5. (a) Define the Fermi's golden rule for an oscillating potential such as that provided by photons. (30/100)
- (b) The real part of the optical conductivity for interband absorption in a direct band gap semiconductor can be written approximately as

$$\sigma_1(\omega) \simeq \frac{\pi e^2}{m_0^2 \omega} |P_{cv}(\omega)|^2 n_{\text{opt}}(\hbar\omega)$$

where $n_{\text{opt}}(\hbar\omega)$ is the optical joint density of states and the other terms have the same meaning as in the lecture notes.

- (i) Discuss and draw the theoretical absorption curves for bulk GaAs, two-dimensional electron gas (2DEG) and a quantum wire of GaAs-AlGaAs heterostructure.
- (ii) Experimental absorption curves however differ slightly from the theoretical curves. Explain why?

(70/100)