

UNIVERSITI SAINS MALAYSIA

Peperiksaan Semester Kedua
Sidang Akademik 2002/2003

Februari – Mac 2003

ZAT 389E/3 - Struktur Semikonduktor Dimensi Rendah

Masa : 3 jam

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

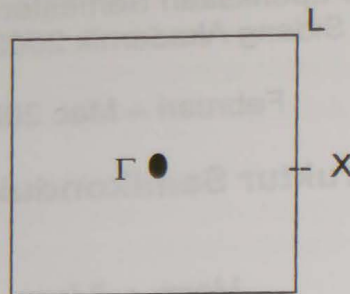
Jawab mana-mana EMPAT soalan. Pelajar dibenarkan menjawab semua soalan dalam Bahasa Inggeris ATAU Bahasa Malaysia ATAU kombinasi kedua-duanya.

1. (a) (i) Lakarkan jalur tenaga bagi suatu elektron hampir bebas di dalam tiga zon Brillouin terawal bagi suatu kekisi satu dimensi dengan pemalar kekisi a .
- (ii) Tentukan vektor-vektor kekisi resiprokal bagi mentranslasikan jalur ini ke dalam skim zon diperkecilkan dan lakarkan strukturnya.
- (iii) Terangkan secara ringkas asalan jurang-jurang tenaga di pusat dan pinggir-pinggir zon Brillouin pertama.

(30/100)

- 2 -

- (b) Gambarajah 1 menunjukkan zon Brillouin pertama bagi suatu kekisi segiempat sama dengan pemalar kekisi a.



Gambarajah 1

- (i) Lukiskan jalur tenaga bagi suatu elektron bebas yang bergerak dari Γ ke X, ke L dan kembali ke Γ .
- (ii) Tandakan dengan jelas di dalam lukisan anda kewujudan jurang-jurang tenaga jika elektron tersebut adalah hampir bebas. (40/100)
- (c) Terangkan ciri-ciri jalur valens Γ_7 dan Γ_8 di dalam silikon (Si) tak tegasan di pusat zon Brillouin dan bagi nombor gelombang elektron terhingga. (30/100)
2. (a) Jurang jalur pada titik- Γ bagi aloi $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{As}$ dapat diwakili oleh $E_g(x) = 1.42 + 1.247x$. Perihalkan kelakuan jurang jalur sebenar (perbezaan tenaga di antara minimum terendah pada jalur konduksi dan maksimum tertinggi pada jalur valens) dalam $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{As}$ apabila x berubah dari sifar ke uniti. (40/100)
- (b) Bincangkan asalan kecacatan-kecacatan titik dan peranan mereka bagi menentukan struktur jalur di dalam semikonduktor. (20/100)
- (c) Pertimbangkan suatu logam membentuk antaramuka dengan satu semikonduktor jenis-p. Gunakan gambarajah-gambarajah jalur yang bersesuaian bagi memerihalkan sentuhan-sentuhan yang mungkin terbentuk pada antaramuka dengan mempertimbangkan fungsi-fungsi kerja logam dan semikonduktor jenis-p. (40/100)

...3/-

3. (a) Perihalkan penumbuhan filem nipis semikonduktor menggunakan reaktor epitaksi alur molekul (MBE) dan pemendapan wap kimia logam-organik (MOCVD). Berikan komen tentang ciri-ciri terbaik bagi setiap teknik penumbuhan.

(30/100)

- (b) Jadual menunjukkan parameter-parameter jalur bagi penumbuhan heterostruktur kekisi-sepadan $\text{In}_{0.53}\text{Ga}_{0.47}\text{As}$ - InP - $\text{In}_{0.52}\text{Al}_{0.48}\text{As}$ - $\text{In}_{0.53}\text{Ga}_{0.47}\text{As}$.

	Jurang tenaga E_g (eV)	Perbezaan tenaga di antara minima jalur-jalur konduksi ΔE_c (eV)	Perbezaan tenaga di antara maksima jalur-jalur valens ΔE_v (eV)
$\text{In}_{0.53}\text{Ga}_{0.47}\text{As}$	0.75	0.26	0.34
InP	1.35	0.25	-0.16
$\text{In}_{0.52}\text{Al}_{0.48}\text{As}$	1.44	0.47	0.22
$\text{In}_{0.53}\text{Ga}_{0.47}\text{As}$	0.75		

- (i) Lukis dan perihalkan penjajaran jalur-jalur di heterosimpang-heterosimpang menggunakan petua Anderson.

- (ii) Bincangkan pengurangan elektron dan lohong pada setiap heterosimpang.

(40/100)

- (c) (i) Berikan alasan-alasan menggunakan lapisan-lapisan tegasan dalam penumbuhan heterostruktur.

- (ii) Bincangkan kesan-kesan mampatan dan regangan kekisi di dalam satah simpang ke atas jalur valens.

(30/100)

4. (a) Jumlah tenaga bagi elektron yang bergerak di dalam satah x-y suatu perigi kuantum segiempat sama tak terhingga dalam (tenaga keupayaan hanya bersandar kepada koordinat z) diberi sebagai

$$E_n(\mathbf{k}) = \varepsilon_n + \frac{\hbar^2 \mathbf{k}^2}{2m}$$

dengan n ($= 1, 2, 3, \dots$) ialah indeks subjalur, ε_n ialah tenaga bagi suatu keadaan terikat dalam arah z, dan \mathbf{k} ($= k_x, k_y$) ialah nombor gelombang elektron.

Lakar dan terangkan jumlah tenaga bagi tiga subjalur terawal di dalam suatu perigi GaAs dengan lebar 10 nm dan ketumpatan keadaan mereka yang sepadan.

(50/100)

- (b) (i) Bincangkan tenaga bagi elektron yang terkurung di dalam satu-dimensi (seperti di dalam suatu dawai kuantum) dengan menganggap keupayaan pengurungan sebagai satu fungsi r ($= x, y$) supaya elektron kekal bebas bergerak dalam arah z.
- (ii) Lakar dan bincangkan ketumpatan keadaan bagi subjalur-subjalur yang terhasil.

(50/100)

5. (a) Bincangkan petua emas Fermi bagi satu usikan harmonik yang diberi sebagai

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

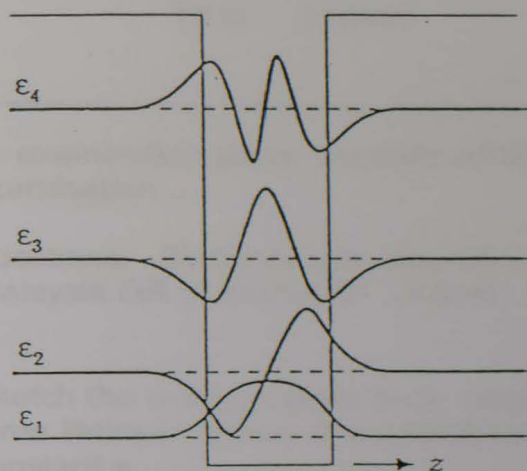
dengan \hat{V} ialah amplitud dan ω_0 ialah frekuensi.

(50/100)

- (b) Gambarajah 2 menunjukkan keadaan-keadaan terikat elektronik (fungsi gelombang sepanjang z dengan paras tenaga) di dalam suatu perigi kuantum terjajar sepanjang z yang dibentuk oleh jalur-jalur konduksi suatu heterostruktur. Pertimbangkan cahaya merambat di dalam satah perigi supaya medan elektriknya adalah normal kepada perigi kuantum. Dengan mempertimbangkan unsur matriks di antara dua keadaan terikat di dalam persamaan kadar peralihan tunjukkan bahawa

...5/-

- (i) peralihan optik adalah menegak,
- (ii) penyerapan berlaku pada frekuensi-frekuensi yang sepadan dengan perpisahan keadaan-keadaan terikat di dalam perigi, dan
- (iii) petua pilihan bagi penyerapan optik adalah jika satu keadaan adalah genap yang satu lagi mestilah ganjil.



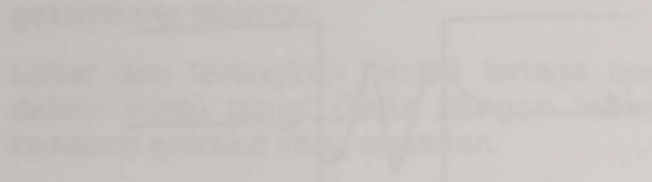
Gambarajah 2

(50/100)

...6/-

4. (a) Jumlah partikel dalam gelombang yang bergerak ke arah kanan adalah 10^6 partikel per meter. Partikel-partikel tersebut bergerak dengan kecepatan 10^3 m/s. Partikel-partikel tersebut bergerak dengan simpangan $y = 0,01 \sin(200\pi x - 2000\pi t)$ meter. Partikel-partikel tersebut bergerak dengan simpangan $y = 0,01 \sin(200\pi x - 2000\pi t)$ meter.

(b) Partikel-partikel tersebut bergerak dengan simpangan $y = 0,01 \sin(200\pi x - 2000\pi t)$ meter. Partikel-partikel tersebut bergerak dengan simpangan $y = 0,01 \sin(200\pi x - 2000\pi t)$ meter.



(c) Partikel-partikel tersebut bergerak dengan simpangan $y = 0,01 \sin(200\pi x - 2000\pi t)$ meter. Partikel-partikel tersebut bergerak dengan simpangan $y = 0,01 \sin(200\pi x - 2000\pi t)$ meter.

(d) Partikel-partikel tersebut bergerak dengan simpangan $y = 0,01 \sin(200\pi x - 2000\pi t)$ meter. Partikel-partikel tersebut bergerak dengan simpangan $y = 0,01 \sin(200\pi x - 2000\pi t)$ meter.

5. (a) Simpangan y pada arah x pada saat $t = 0$ dan $t = 0,001$ s adalah $y = 0,01 \sin(200\pi x)$ dan $y = 0,01 \sin(200\pi x - 2000\pi \cdot 0,001)$ meter.

(b)
$$y = 0,01 \sin(200\pi x - 2000\pi t)$$

dengan V dan amplitudo $0,01$ meter.

(c) Gambar 2 menunjukkan kedudukan-kedudukan partikel-partikel tersebut dalam gelombang. Partikel-partikel tersebut bergerak dengan simpangan $y = 0,01 \sin(200\pi x - 2000\pi t)$ meter. Partikel-partikel tersebut bergerak dengan simpangan $y = 0,01 \sin(200\pi x - 2000\pi t)$ meter.

UNIVERSITI SAINS MALAYSIA

Second Semester Examination
2002/2003 Academic Session

February - March 2003

ZAT 389E/3 - Low-Dimensional Semiconductor Structures

Time : 3 hours

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

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

1. (a) (i) Sketch the energy bands for a nearly free electron in the first three Brillouin zones of a one-dimensional lattice with lattice constant a .
- (ii) Determine the reciprocal lattice vectors for translating these bands into the reduced zone scheme and sketch their structure.
- (iii) Explain briefly the origin of energy gaps at the centre and edges of the first Brillouin zone.

(30/100)

- (b) Diagram 1 shows the first Brillouin zone of a square lattice with lattice constant a .

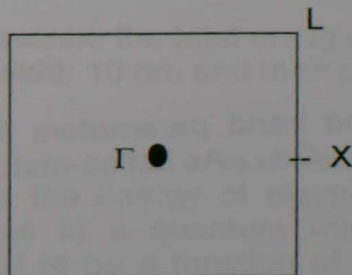


Diagram 1

- (i) Draw the energy bands for a free electron moving from Γ to X, to L and back to Γ .
- (ii) Indicate clearly in your drawing the presence of energy gaps if such an electron is nearly free.

(40/100)

- (c) Describe the characteristics of Γ_7 and Γ_8 valence bands in unstrained silicon (Si) at the centre of the Brillouin zone and for finite electron wavenumber.

(30/100)

2. (a) The band gap at Γ -point for $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{As}$ alloys can be represented by $E_g(x) = 1.42 + 1.247x$. Describe the behaviour of the true band gap (energy difference between lowest minimum in the conduction band and highest maximum in the valence band) in $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{As}$ as x changes from zero to unity.

(40/100)

- (b) Discuss the origin of point defects and their role in the determination of band structure in semiconductors.

(20/100)

- (c) Consider a metal forming an interface with a p-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 p-type semiconductor.

(40/100)

3. (a) Describe the growth of semiconductor thin films using molecular beam epitaxy (MBE) and metal-organic chemical vapour deposition (MOCVD) reactors. Comment on the outstanding features of each growth technique.

(30/100)

- (b) Table shows the band parameters for growing $\text{In}_{0.53}\text{Ga}_{0.47}\text{As}$ - InP - $\text{In}_{0.52}\text{Al}_{0.48}\text{As}$ - $\text{In}_{0.53}\text{Ga}_{0.47}\text{As}$ lattice-matched heterostructures.

	Energy gap E_g (eV)	Energy difference between minima of conduction bands ΔE_c (eV)	Energy difference between maxima of valence bands ΔE_v (eV)
$\text{In}_{0.53}\text{Ga}_{0.47}\text{As}$	0.75	0.26	0.34
InP	1.35		
$\text{In}_{0.52}\text{Al}_{0.48}\text{As}$	1.44	0.25	-0.16
$\text{In}_{0.53}\text{Ga}_{0.47}\text{As}$	0.75	0.47	0.22

- (i) Draw and describe the alignment of the bands at the heterojunctions using Anderson's rule.
- (ii) Discuss the confinement of electrons and holes in each heterojunction.

(40/100)

- (c) (i) Give reasons for using strained layers in the growth of heterostructures.
- (ii) Discuss the effects of compression and tension of the lattice in the plane of the junction on the valence bands.

(30/100)

4. (a) The total energy for electrons moving in the x-y plane of an infinitely deep square quantum well (potential energy depends only on the z coordinate) is given as

$$E_n(\mathbf{k}) = \varepsilon_n + \frac{\hbar^2 \mathbf{k}^2}{2m}$$

where n ($= 1, 2, 3, \dots$) is the subband index, ε_n is the energy of a bound state in the z direction, and \mathbf{k} ($= k_x, k_y$) is the electrons wavenumber.

Sketch and describe the total energy for the first three subbands in a GaAs well of width 10 nm and their corresponding density of states.

(50/100)

- (b) (i) Discuss the energy of electrons confined in one-dimension (such as in a quantum wire) by assuming the confining potential to be a function of \mathbf{r} ($= x, y$) so that the electrons remain free to move along z.

...9/-

- (ii) Sketch and describe the density of states of the resulting subbands.

(50/100)

5. (a) Discuss the Fermi's golden rule for a harmonic perturbation given by

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

where \hat{V} is the amplitude and ω_0 is the frequency.

(50/100)

- (b) Diagram 2 shows electronic bound states (wave functions along z with energy levels) in a quantum well aligned along z formed by the conduction bands of a heterostructure. Consider light propagating in the plane of the well such that its electric field is normal to the quantum well. By considering the matrix element between two bound states in the transition rate equation show that

- (i) optical transitions are vertical,
- (ii) absorption occurs at frequencies corresponding to the separation of bound states in the well, and
- (iii) the selection rule for optical absorption is if one state is even the other must be odd.

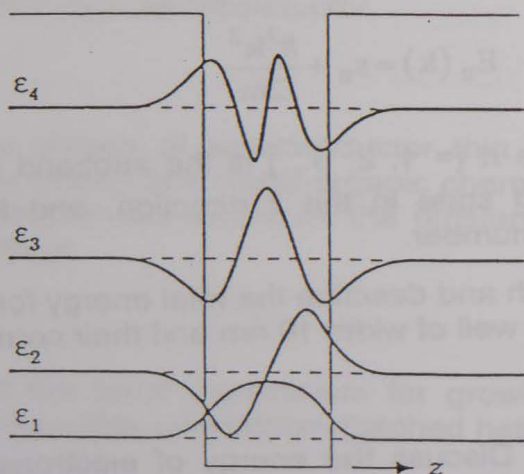


Diagram 2

(50/100)