
UNIVERSITI SAINS MALAYSIA

Second Semester Examination
Academic Session 2007/2008

April 2008

ZAT 389/3 – Low Dimensional Semiconductor Structures
[Struktur Semikonduktor Dimensi Rendah]

Duration: 3 hours
[Masa : 3 jam]

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

[Sila pastikan bahawa kertas peperiksaan ini mengandungi ENAM 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 (4) soalan. Pelajar dibenarkan menjawab semua soalan sama ada dalam Bahasa Malaysia atau Bahasa Inggeris.]*

1. (a) A nearly free electron moves in a one dimensional lattice with lattice constant a . Draw figures to represent the energy bands of the electron in the extended, reduced and periodic zone schemes. Include explanations for the drawings.
[Elektron hampir bebas bergerak di dalam kekisi satu dimensi dengan pemalar kekisi a . Lukiskan rajah-rajah yang mewakili jalur tenaga elektron di dalam skim zon diperluaskan, diperkecilkan dan berkala. Sertakan penerangan bagi lukisan-lukisan tersebut.]
 (30/100)
- (b) Discuss the origin of the energy gaps in question (a).
[Bincangkan asal usul jurang tenaga bagi elektron dalam soalan (a).]
 (10/100)
- (c) The schematic first Brillouin Zone of a rectangular Bravais lattice with lattice constants $\pi \text{ \AA}$ (x axis) and $2\pi \text{ \AA}$ (y axis) is shown in Figure 1.
[Zon Brillouin pertama bagi kekisi Bravais segiempat tepat dengan pemalar kekisi $\pi \text{ \AA}$ (paksi x) dan $2\pi \text{ \AA}$ (paksi y) secara berskema ditunjukkan oleh Rajah 1.]
- (i) Determine the electron wave vectors at Γ , X and L.
[Tentukan vektor gelombang elektron pada Γ , X and L.]
- (ii) Draw the energy bands for a free electron moving from Γ to L, then to X and then back to Γ .
[Lukiskan jalur tenaga bagi elektron bebas yang bergerak dari Γ ke L, kemudian ke X dan kembali ke Γ .]
- (iii) Sketch on the same graph similar energy bands if the electron is now nearly free. Discuss the main differences between them.
[Lukiskan di atas graf yang sama jalur tenaga yang setara jika elektron sekarang adalah hampir bebas. Bincangkan perbezaan utama antara mereka.]

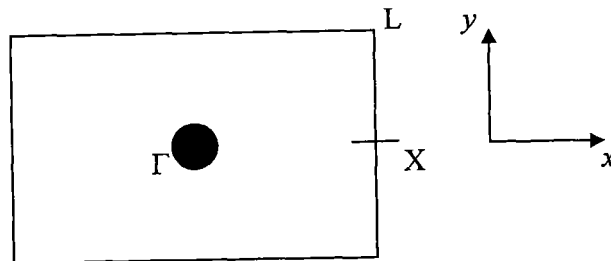


Figure 1 [Rajah 1]

(50/100)

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

(10/100)

2. (a) Discuss the structure of conduction and valence bands for Si and Ge in the [111] and [100] directions.
[Bincangkan struktur jalur konduksi dan valens bagi Si dan Ge dalam arah [111] dan [100].]

(20/100)

- (b) Draw and describe the behavior of the conduction band minima at Γ , L and X of the first Brillouin Zone for $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{As}$ alloys as x changes from zero to unity.
[Lukis dan perihalkan kelakuan minima jalur konduksi pada Γ , L and X Zon Brillouin pertama bagi aloi $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{As}$ apabila x berubah dari sifar ke uniti.]

(30/100)

- (c) The lattice constants for cubic zinc blende GaN, AlN and InN are 0.450 nm, 0.436 nm and 0.498 nm, respectively. Determine the value of x for growing a thin layer of $\text{In}_x\text{Al}_{1-x}\text{N}$ alloy on GaN substrate without the introduction of any strains.
[Pemalar kekisi bagi GaN, AlN dan InN masing-masing ialah 0.450 nm, 0.436 nm dan 0.498 nm. Tentukan nilai x bagi penumbuhan lapisan tipis aloi $\text{In}_x\text{Al}_{1-x}\text{N}$ ke atas substrat GaN tanpa kewujudan sebarang tegasan.]

(20/100)

- (d) Consider a metal forming an interface with a p-type semiconductor. Using suitable band diagrams describe the formation of suitable contacts at the interface by considering the magnitude of the work functions of the metal and p-type semiconductor.
[Pertimbangkan logam membentuk antaramuka dengan semikonduktor jenis-p. Menggunakan gambarajah jalur yang bersesuaian, perihalkan pembentukan sentuhan-sentuhan yang mungkin terhasil pada antaramuka dengan mempertimbangkan magnitud fungsi kerja logam dan semikonduktor jenis-p.]

(30/100)

3. (a) Describe the important components of a metal-organic chemical vapor deposition (MOCVD) reactor and their functions in the growth of semiconductor thin films.
[Perihalkan komponen-komponen penting di dalam reaktor pemendapan wap kimia logam-organik (MOCVD) dan fungsi-fungsi mereka dalam penumbuhan filem tipis semikonduktor.]
 (20/100)
- (b) Describe Anderson's Rule for the alignment of energy bands at a heterojunction.
[Perihalkan dengan jelas Peraturan Anderson bagi penjajaran jalur tenaga pada satu heterosimpang.]
 (20/100)
- (c) Table 1 shows the electron affinity χ and the energy gap E_g at 300 K for alloy semiconductors of $\text{In}_{0.53}\text{Ga}_{0.47}\text{As}$, InP and $\text{In}_{0.52}\text{Al}_{0.48}\text{As}$.
[Jadual 1 menunjukkan afiniti elektron χ dan jurang tenaga E_g pada 300 K bagi semikonduktor aloi $\text{In}_{0.53}\text{Ga}_{0.47}\text{As}$, InP dan $\text{In}_{0.52}\text{Al}_{0.48}\text{As}$.]

Table 1 [Jadual 1]

Alloy	χ (eV)	E_g at 300 K (eV)
$\text{In}_{0.53}\text{Ga}_{0.47}\text{As}$	4.64	0.75
InP	4.38	1.35
$\text{In}_{0.52}\text{Al}_{0.48}\text{As}$	4.12	1.44

- (i) Determine the band offsets in the conduction and valence bands for heterojunctions of $\text{In}_{0.53}\text{Ga}_{0.47}\text{As}$ - InP , InP - $\text{In}_{0.52}\text{Al}_{0.48}\text{As}$ and $\text{In}_{0.52}\text{Al}_{0.48}\text{As}$ - $\text{In}_{0.53}\text{Ga}_{0.47}\text{As}$.
[Tentukan ofset jalur konduksi dan valens bagi heterosimpang $\text{In}_{0.53}\text{Ga}_{0.47}\text{As}$ - InP , InP - $\text{In}_{0.52}\text{Al}_{0.48}\text{As}$ dan $\text{In}_{0.52}\text{Al}_{0.48}\text{As}$ - $\text{In}_{0.53}\text{Ga}_{0.47}\text{As}$.]
- (ii) Draw the band diagram for each heterojunction in question (i) and identify the type of alignment for each case.
[Lukiskan gambarajah jalur bagi setiap heterosimpang dalam soalan (i) dan camkan jenis penjajaran jalur bagi setiap kes.]
 (30/100)

- (d) A GaAs layer is sandwiched between two layers of AlAs. Draw and discuss possible barriers and wells that could exist in the conduction band region of the sandwiched layer by considering the three lowest conduction bands in an $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{As}$ system.
[Lapisan GaAs diapit oleh dua lapisan AlAs. Lukis dan bincangkan sawar dan perigi yang mungkin terbentuk di dalam kawasan jalur konduksi lapisan yang diapit dengan mempertimbangkan tiga jalur konduksi yang terendah bagi sistem $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{As}$.]
 (30/100)
4. (a) Discuss the spacing of bound state energy levels for electron in one dimensional square, parabolic and triangular potential wells.
[Bincangkan jarak pemisahan paras-paras tenaga keadaan terikat bagi elektron di dalam perigi keupayaan satu dimensi segiempat sama, parabola dan segitiga.]
 (30/100)
- (b) Consider a GaAs thin layer of thickness $a = 5$ nm (along growth direction z) sandwiched by thick layers of AlAs with conduction band offset $V_0 = 1$ eV. The effective mass of the electron in GaAs is $m_W = 0.067$ and the effective mass of the electron in AlAs is $m_B = 0.15$.
[Pertimbangkan lapisan tipis GaAs dengan ketebalan $a = 5$ nm (sepanjang arah penumbuhan z) diapit oleh lapisan tebal AlAs dengan offset jalur konduksi $V_0 = 1$ eV. Jisim berkesan elektron di dalam GaAs ialah $m_W = 0.067$ dan jisim berkesan elektron di dalam sawar ialah $m_B = 0.15$.]
- (i) Determine the number of bound states for the electron in GaAs.
[Tentukan bilangan keadaan terikat bagi elektron di dalam GaAs.]
- (ii) What happens to the bound states if the value of m_B is increased?
[Apakah yang terjadi kepada keadaan terikat tersebut jika nilai m_B ditingkatkan?]
 (50/100)
- (c) Discuss the electron total energy in question (b) if the electron is also free to move in the x-y plane.
[Bincangkan jumlah tenaga elektron dalam soalan (b) jika elektron tersebut juga bebas bergerak dalam satah x-y.]
 (20/100)

5. (a) Determine the density of states for free electrons in one, two and three dimensional structures as a function of energy.
[Tentukan ketumpatan keadaan sebagai fungsi tenaga bagi elektron-elektron bebas di dalam struktur satu, dua dan tiga dimensi.]
 (45/100)

- (b) The optical conductivity for interband absorption in a direct band gap semiconductor is given by the real component of
[Kekonduksian optik bagi penyerapan antara jalur di dalam semikonduktor jurang jalur terus diberi oleh komponen hakiki]

$$\sigma_1(\omega) \approx \frac{\pi e^2}{m_0^2 \omega} |p_{cv}(0)|^2 n_{opt}(\hbar\omega).$$

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

[$n_{opt}(\hbar\omega)$ ialah ketumpatan keadaan bersama optik dan sebutan-sebutan lain membawa maksud yang sama seperti di dalam nota.]

- (i) Draw and discuss the theoretical absorption curves for bulk, thin film and quantum wire semiconductors.
[Lukis dan bincangkan lengkung-lengkung penyerapan teori bagi semikonduktor pukal, filem tipis dan dawai kuantum.]
- (ii) Explain why these theoretical curves are slightly different from those obtained experimentally.
[Terangkan kenapa lengkung-lengkung teori ini agak berbeza sedikit daripada yang diperolehi secara eksperimen.]

(55/100)