

UNIVERSITI SAINS MALAYSIA

Peperiksaan Semester Pertama
Sidang Akademik 1997/98

September 1997

ZSC 545/4 - Spektroskopi Keadaan Pepejal

Masa: [3 jam]

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

Jawab EMPAT soalan sahaja: DUA dari Bahagian A dan DUA dari Bahagian B. Calon-calon boleh memilih menjawab Bahagian A di dalam Bahasa Malaysia. Jika calon-calon memilih untuk menjawab di dalam Bahasa Inggeris, sekurang-kurangnya satu soalan wajib dijawab di dalam Bahasa Malaysia. Kesemua Bahagian B wajib dijawab di dalam Bahasa Malaysia.

Bahagian A

1. (a) Dalam suatu bahantara anisotropik linear yang am, sifat-sifat dielektrik dinyatakan oleh tensor peringkat kedua $\bar{\epsilon}_{ij}$. Tunjukkan apakah maksud hal ini dengan menulis hubungan di antara vektor-vektor medan elektrik D dan E (i) menggunakan konvensyen penjumlahan dan (ii) dengan penuh. (5/100)
- (b) Tulis bentuk $\bar{\epsilon}_{ij}$ yang merujuk kepada paksi-paksi utama bahantara ekapaksi. (5/100)
- (c) Bagi suatu gelombang satah dalam bahantara anisotropik dengan medan E adalah $E_0 \exp(ik \cdot r - i\omega t)$, k dan ω adalah dihubungkan oleh persamaan Fresnel $|n^2 \delta_{ij} - n_i n_j - \epsilon_{ij}| = 0$ di mana $n = ck/\omega$. Pertimbangkan bahantara ekapaksi dengan z diambil sepanjang paksi tunggal dan anggap bahawa paksi x dipilih supaya gelombang merambat dalam satah $x-z$ ($n_y = 0$). Buktikan bahawa persamaan Fresnel menjadi

.../2-

$$(n^2 - \epsilon_1)(\epsilon_3 n_z^2 + \epsilon_1 n_x^2 - \epsilon_1 \epsilon_3) = 0 \quad (1)$$

di mana $\epsilon_{xx} = \epsilon_1$ and $\epsilon_{zz} = \epsilon_3$.

(20/100)

- (d) Gunakan pers. (1) untuk mentakrifkan gelombang-gelombang biasa dan luar biasa. Buktikan bahawa bila k adalah pada sudut θ kepada z , indeks bias n bagi gelombang luar biasa diberi oleh

$$\frac{1}{n^2} = \frac{\sin^2 \theta}{n_e^2} + \frac{\cos^2 \theta}{n_o^2}$$

dan berikan hubungan di antara n_e dan n_o dan ϵ_1 dan ϵ_3 .

(10/100)

- (e) Berikan catatan ringkas dan penerangan bagi fenomena dwibiasan dalam bahantara ekapaksi lutsinar.

(25/100)

- (f) Terangkan dengan tepat bagaimana plat separuh gelombang (rencatan π) dapat dibina dari suatu hablur ekapaksi, menyatakan orientasi relatif bagi paksi tunggal, normal bagi plat dan arah-arah pengkutuban satah yang dipancarkan tanpa terubahsuai. Kira tebal L bagi plat dalam sebutan n_e , n_o dan panjang gelombang ruang bebas λ .

(35/100)

2. (a) Cahaya terkutub linear ditujukan secara normal dalam bahantara dengan pemalar dielektrik ϵ_1 ke atas satah antaramuka dengan bahantara yang mempunyai pemalar dielektrik ϵ_2 . Dengan menulis amplitud bagi gelombang tuju, terpantul dan terpancar sebagai E_0 , rE_0 dan tE_0 , buktikan dari persamaan Maxwell dan keadaan-keadaan sempadan bahawa

$$r = \frac{\epsilon_1^{1/2} - \epsilon_2^{1/2}}{\epsilon_1^{1/2} + \epsilon_2^{1/2}} \quad t = \frac{2\epsilon_1^{1/2}}{\epsilon_1^{1/2} + \epsilon_2^{1/2}}$$

(20/100)

.../3-

- (b) Buktikan bahawa bila ϵ_1 dan ϵ_2 adalah kedua-duanya sahah dengan ϵ_1 positif dan ϵ_2 negatif, $|r| = 1$.
(10/100)
- (c) Terangkan apakah maksud plasma pembawa-bebas dan berikan dua contoh dari jenis pepejal yang berbeza.
(10/100)
- (d) Dalam penghampiran yang mengabaikan pelembapan, pemalar dielektrik bagi plasma pembawa-bebas dapat ditulis $\epsilon(\omega) = \epsilon_\infty(1 - \omega_p^2/\omega^2)$. Sehingga kuasa berapakah bagi ketumpatan pembawa n berkadar dengan ω_p dan dalam kawasan spektrum apakah ω_p terletak bagi dua contoh yang telah diberikan.
(10/100)
- (e) Lakarkan pergantungan frekuensi bagi keterpantulan $R = |r|^2$ untuk cahaya yang dituju dari vakum ke atas plasma.
(10/100)
- (f) Jelaskan prinsip-prinsip spektrometer jelmaan-Fourier dan terangkan mengapa ia menjadi alat pilihan bagi spektroskopi inframerah-jauh.
(40/100)
3. (a) Kadar peralihan di antara suatu keadaan ψ_i dekat atas jalur valens suatu semikonduktor dan suatu kumpulan keadaan-keadaan akhir ψ_j dalam jalur konduksi diberi oleh aturan emas Fermi sebagai

$$v_{ij} = (2\pi/\hbar)\rho(j)\left|\int \psi_j^* H^1 \psi_i d^3r\right|^2$$

di mana $\rho(j)$ adalah bilangan keadaan j per unit julat tenaga. Dengan mengangap bahawa $\psi_i \propto \exp[i(\bar{q}_v \cdot \bar{r} - \omega_v t)]$, $\psi_j \propto \exp[i(\bar{q}_c \cdot \bar{r} - \omega_c t)]$ dan $H^1 \propto \exp[i(\bar{q} \cdot \bar{r} - \omega t)]$, buktikan petua pemilihan $\omega = \omega_c - \omega_v$ dan $\bar{q} = \bar{q}_c - \bar{q}_v$.

(10/100)

.../4-

- (b) Turunkan dan terangkan kenyataan bahawa peralihan optik adalah hampir menegak pada rajah struktur-jalur. (10/100)
- (c) Terangkan kepentingan perbezaan di antara semikonduktor-semikonduktor jurang langsung dan jurang tak langsung. (10/100)
- (d) Dengan anggapan bahawa ketumpatan keadaan yang dibenarkan adalah seragam dalam ruang \bar{q} , buktikan bahawa $\rho(j) \propto E^{1/2}$ bagi jalur konduksi parabola, $E = \hbar^2 q^2 / 2m^*$. Perturunkan pergantungan ke atas tenaga foton $\hbar\omega$ bagi tepi penyerapan asas dalam semikonduktor jurang langsung dan lakarkan bentuk pergantungan ini. (30/100)
- (e) Tepi penyerapan mungkin dirumitkan oleh corak-corak eksitonik. Tuliskan catatan pendek mengenai sifat-sifat eksiton dan cara bagaimana kesan eksitonik mengubahsuai tepi penyerapan asas. (40/100)

Bahagian B

4. (a) Bincangkan keabadian tenaga dan momentum bagi komponen Stokes dan AntiStokes dalam serakan cahaya tak kenyal. (10/100)
- (b) Tentukan vektor gelombang pengujaan menggunakan gambarajah vektor bagi keabadian momentum serakan cahaya komponen Stokes. (20/100)
- (c) Satu laser ion argon dapat beroperasi pada jarak gelombang di antara 472.7 nm dan 514.5 nm. Laser ini diguna sebagai sumber cahaya bagi penyerakan cahaya ke atas hablur tunggal GaAs yang mempunyai pemalar kekisi 2.81 Å.
- (i) Daripada keputusan bahagian (b), tentukan julat vektor gelombang bagi pengujaan-pengujaan yang dapat dijana oleh laser ini.

- (ii) Buktikan sama ada vektor-vektor gelombang tersebut meliputi keseluruhan zon Brillouin pertama hablur tunggal GaAs.

(30/100)

- (d) Persamaan gerakan mod polar dapat diberikan sebagai

$$\ddot{W}_\sigma + \omega_\sigma^2 W_\sigma = \frac{-NZ_\sigma(\underline{q}, \underline{\xi}_\sigma) \sum_\tau Z_\tau(\underline{q}, \underline{\xi}_\tau) W_\tau}{\epsilon_0 V (\epsilon_\infty^x q_x^2 + \epsilon_\infty^y q_y^2 + \epsilon_\infty^z q_z^2)}$$

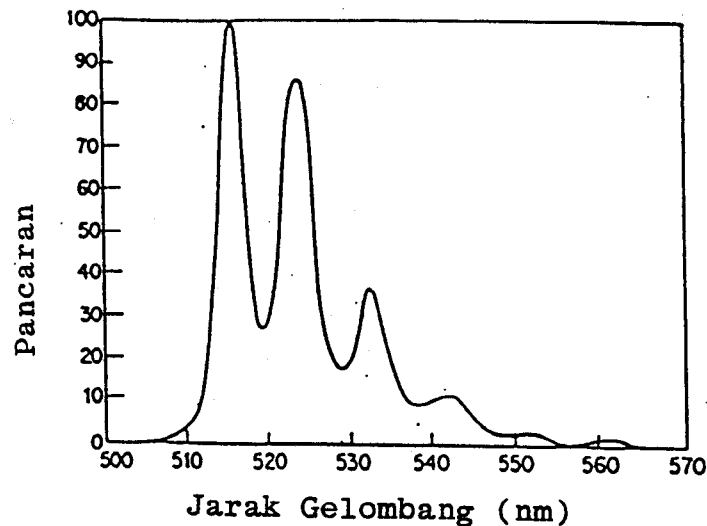
Jelaskan maksud setiap sebutan dalam persamaan di atas.

(20/100)

- (e) Frekuensi mod membujur di dalam hablur tunggal GaAs ialah 291.8 cm^{-1} dan nisbah $\epsilon(0)/\epsilon_\infty$ ialah 1.177. Tentukan mod melintang di dalam hablur ini.

(20/100)

5. (a) Rajah di bawah menunjukkan pancaran yang dihasilkan oleh peralihan elektron berbantuan fonon dari jalur konduksi ke bendasing penerima neutral di dalam CdS.



.../6-

- 6 -

- (i) Lakarkan secara ringkas peralihan ini merujuk kepada jalur konduksi dan valens CdS.
- (ii) Terangkan secara jelas maksud fizikal puncak-puncak di dalam Rajah.

(20/100)

- (b) Bincangkan dengan jelas maksud fotoluminesens. Perbincangan anda mestilah merangkumi kefotokonduksian, kepekatan bendasing dan kecekapan luminesens.

(30/100)

- (c) Termoluminesens melibatkan pembebasan elektron daripada perangkap secara terma yang kemudiannya bergabung dengan pusat luminesens menerusi jalur konduksi diiringi dengan sinaran. Terbitkan kedalaman perangkap bagi termoluminesens kinetik monomolekul (tertib pertama), kinetik dwimolekul (tertib kedua) dan perangkap semula cepat.

(50/100)

...17-

TRANSLATIONSection A

1. (a) In a general linear anisotropic medium the dielectric properties are expressed by means of a second-rank tensor $\tilde{\epsilon}_{ij}$. Show what this means by writing down the relation between the electric field vectors \mathbf{D} and \mathbf{E} (i) using the summation convention and (ii) in full.

(5/100)

- (b) Write down the form of $\tilde{\epsilon}_{ij}$ referred to the principal axes of a uniaxial medium.

(5/100)

- (c) For a plane wave in an anisotropic medium with \mathbf{E} field $\mathbf{E}_0 \exp(i\mathbf{k} \cdot \mathbf{r} - i\omega t)$, \mathbf{k} and ω are related by the Fresnel equation $|\mathbf{n}^2 \delta_{ij} - n_i n_j - \epsilon_{ij}| = 0$ where $\mathbf{n} = c\mathbf{k}/\omega$. Consider a uniaxial medium with z taken along the uniaxis and assume that the x axis is chosen so that the wave propagates in the $x-z$ plane ($n_y = 0$). Prove that the Fresnel equation reduces to

$$(n^2 - \epsilon_1)(\epsilon_3 n_z^2 + \epsilon_1 n_x^2 - \epsilon_1 \epsilon_3) = 0 \quad (1)$$

where $\epsilon_{xx} = \epsilon_1$ and $\epsilon_{zz} = \epsilon_3$.

(20/100)

- (d) Use eqn (1) to define the ordinary and extraordinary waves. Prove that when \mathbf{k} is at an angle θ to z the refractive index n for the extraordinary wave is given by

$$\frac{1}{n^2} = \frac{\sin^2 \theta}{n_e^2} + \frac{\cos^2 \theta}{n_o^2}$$

and give the relation between n_e and n_o and ϵ_1 and ϵ_3 .

(10/100)

- (e) Give a brief account and explanation of the phenomenon of birefringence in a transparent uniaxial medium.

(25/100)

.../8-

- (f) Explain precisely how a half wave plate (retardation of π) may be constructed from a uniaxial crystal, stating the relative orientations of the uniaxial, the plate normal and the directions of the plane polarizations that are transmitted unmodified. Calculate the thickness L of the plate in terms of n_o , n_e and the free-space wavelength λ .

(35/100)

2. (a) Linearly polarized light is normally incident in a medium with dielectric constant ϵ_1 on a plane interface with a medium of dielectric constant ϵ_2 . Writing the amplitudes of the incident, reflected and transmitted waves as E_0 , rE_0 and tE_0 prove from Maxwell's equations and boundary conditions that

$$r = \frac{\epsilon_1^{1/2} - \epsilon_2^{1/2}}{\epsilon_1^{1/2} + \epsilon_2^{1/2}} \quad t = \frac{2\epsilon_1^{1/2}}{\epsilon_1^{1/2} + \epsilon_2^{1/2}}$$

(20/100)

- (b) Prove that when ϵ_1 and ϵ_2 are both real with ϵ_1 positive and ϵ_2 negative $|r| = 1$.

(10/100)

- (c) Explain what is meant by a free-carrier plasma and give two examples from different types of solid.

(10/100)

- (d) In the approximation that damping is neglected, the dielectric constant of the free-carrier plasma may be written $\epsilon(\omega) = \epsilon_\infty(1 - \omega_p^2/\omega^2)$. To what power of the carrier density n is ω_p proportional and in what regions of the spectrum does ω_p fall for your two examples?

(10/100)

- (e) Sketch the frequency dependence of the reflectivity $R = |r|^2$ for light normally incident from vacuum on the plasma.

(10/100)

- (f) Describe the principles of the Fourier-transform spectrometer and explain why it is the instrument of choice for far-infrared spectroscopy.

(40/100)

.../9-

3. (a) The transition rate between a state ψ_i near the top of the valence band of a semiconductor and a group of final states ψ_j in the conduction band is given by Fermi's golden rule as

$$v_{ij} = (2\pi/\hbar)\rho(j)\left|\int\psi_j^*H^1\psi_i d^3r\right|^2$$

where $\rho(j)$ is the number of states j per unit energy range. Assuming that $\psi_i \propto \exp[i(\bar{q}_v \cdot \bar{r} - \omega_v t)]$, $\psi_j \propto \exp[i(\bar{q}_c \cdot \bar{r} - \omega_c t)]$ and $H^1 \propto \exp[i(\bar{q} \cdot \bar{r} - \omega t)]$ prove the selection rules $\omega = \omega_c - \omega_v$ and $\bar{q} = \bar{q}_c - \bar{q}_v$.

(10/100)

- (b) Deduce and explain the statement that optical transitions are nearly vertical on band-structure diagrams.

(10/100)

- (c) Explain the importance of the distinction between direct and indirect gap semiconductors.

(10/100)

- (d) Assuming that the density of allowed states is uniform in \bar{q} space prove that $\rho(j) \propto E^{1/2}$ for a parabolic conduction band, $E = \hbar^2 q^2 / 2m^*$. Deduce the dependence on photon energy $\hbar\omega$ of the fundamental absorption edge in a direct-gap semiconductor and sketch the form of this dependence.

(30/100)

- (e) The absorption edge may be complicated by excitonic features. Write a short account of the properties of excitons and of the way in which excitonic effects modify the fundamental absorption edge.

(40/100)