
UNIVERSITI SAINS MALAYSIA

First Semester Examination
Academic Session 2004/2005

October 2004

EBB 424E/3 – Semiconductor Devices And Optoelectronic
[Peranti Semikonduktor Dan Optoelektronik]

Duration: 3 hours
[Masa: 3 jam]

Please check that this examination paper consists of TEN pages of printed material before you begin the examination.

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

This paper contains SEVEN questions.

[Kertas soalan ini mengandungi TUJUH soalan].

Instructions: Answer **FIVE** (5) questions. If a candidate answer more than five questions, only the first five answered will be examined and awarded marks.

Arahan: Jawab **LIMA** soalan. Jika calon menjawab lebih daripada lima soalan hanya lima soalan pertama mengikut susunan dalam skrip jawapan akan diberi markah].

Answer to any question must start on a new page.

[Mulakan jawapan anda untuk setiap soalan pada muka surat yang baru].

All questions must be answered in English. However, ONE question can be answered in bahasa Malaysia.

[Jawab semua soalan dalam bahasa Inggeris. Walau bagaimanapun, SATU soalan dibenarkan dijawab dalam bahasa Malaysia].

1. [a] For a npn transistor the diffusion equation for \tilde{n} excess electrons in the p-type base is $d^2\tilde{n}/dx^2 - \tilde{n}/D_e\tau_e = 0$ where D_e is the diffusion coefficient of electrons and τ_e is the electron lifetime in the base.

Derive the expression for the emitter injection efficiency γ and discuss under what condition can its value tend to 1.

$$x = 0, \tilde{n} = n_i^2/N_{AB} (\exp qV_A/kT - 1)$$

$x = W_B, \tilde{n} = 0$ where W_B is the width of the base, N_{AB} is the base doping concentration, n_i^2 is the intrinsic carrier concentration and V_A is the applied forward bias potential.

(30 marks)

- [b] Assuming a general solution of the above equation as $\tilde{n} = C_1 \exp x/L_e + C_2 \exp -x/L_e$ find an expression for the base transport factor b .

(50 marks)

- [c] The base transport factor for an npn transistor is 0.99 and the base width is $20 \mu\text{m}$, $\mu_e = 0.14 \text{ m}^2\text{V}^{-1}\text{s}^{-1}$, $T = 300\text{K}$, $k = 8.62 \times 10^{-5} \text{ eV/K}$, $1.38 \times 10^{-23} \text{ J/K}$. Find the electron lifetime in the base.

(20 marks)

1. [a] Untuk suatu transistor npn, persamaan untuk elektron berlebihan \tilde{n} di dalam tapak jenis-p ialah $d^2\tilde{n}/dx^2 - \tilde{n}/D_e\tau_e = 0$ dimana D_e ialah koefisien peresapan elektron dan τ_e ialah tempoh hayat elektron di dalam tapak.

Terbitkan persamaan untuk kecekapan suntikan pemancar dan bincangkan mengenai keadaan yang diperlukan agar nilainya boleh bernilai 1.

$$x = 0, \tilde{n} = n_i^2/N_{AB} \text{ (eksp } qV_A/kT - 1)$$

$$x = W_B, \tilde{n} = 0$$

di mana W_B ialah lebar tapak

N_{AB} ialah kepekatan pendopan tapak

n_i^2 ialah kepekatan pembawa intrinsik

dan V_A ialah keupayaan pincang hadapan.

(30 markah)

- [b] Andaikan suatu penyelesaian umum persamaan di atas ialah

$$\tilde{n} = C_1 \exp x/L_e + C_2 \exp -x/L_e$$

dapatkan suatu sebutan untuk faktor pengangkutan tapak, b.

(50 markah)

- [c] Faktor pengangkutan tapak untuk suatu transistor npn ialah 0.99 dan lebar tapak ialah $20 \mu\text{m}$, $\mu_e = 0.14 \text{ m}^2\text{V}^{-1}\text{s}^{-1}$, $T = 300 \text{ K}$, $k = 8.62 \times 10^{-5} \text{ eV/K}$, $1.38 \times 10^{-23} \text{ J/K}$. Dapatkan tempoh hayat elektron di dalam tapak.

(20 markah)

2. [a] Describe the hybrid π model with all the possible small signal elements (excluding the capacitances) and explain each term and its significance. Provide a neat sketch of the circuit.

(60 marks)

- [b] The common-emitter hybrid π parameters of a BJT are $r_{bb'} = 15 \Omega$, $r_{b'e} = 75 \Omega$, $\beta = 100$, $r_{ce} = 150 \text{ k}\Omega$. A 2V peak to peak low frequency sinusoidal signal is applied to the base via a 1 k Ω series resistance. Find the peak to peak value of the signal across a 100 Ω load resistance. Neglect $r_{b'c}$.

(40 marks)

2. [a] *Huraikan mengenai model π hibrid dengan semua kebarangkalian unsur-unsur isyarat kecil (tidak termasuk kapasitans) dan jelaskan setiap istilah serta kepentingannya. Sediakan lakaran yang sesuai litar tersebut.*

(60 markah)

- [b] *Parameter π hibrid pemancar-biasa untuk suatu BJT ialah $r_{bb'} = 15 \Omega$, $r_{b'e} = 75 \Omega$, $\beta = 100$, $r_{ce} = 150 \text{ k}\Omega$. Suatu puncak 2V ke puncak isyarat sinusoidal berulang rendah digunakan terhadap tapak melalui satu siri perintang 1 k Ω . Dapatkan nilai puncak ke puncak isyarat yang melintasi suatu beban rintangan 100 Ω . Abaikan $r_{b'c}$.*

(40 markah)

3. [a] With the help of neat sketches explain for a n channel JFET, what happens when a negative gate to source potential is applied and the drain to source voltage is zero. (25 marks)
- [b] What happens when for the above case the drain is made positive with respect to the source? Provide neat sketched of the JFET channel geometry. (25 marks)
- [c] Discuss with the help of neat sketches what happens after pinch-off. (25 marks)
- [d] An n channel silicon JFET is $100\mu\text{m}$ wide and has a $5\mu\text{m}$ channel length and a half channel height of $0.5\mu\text{m}$. What doping density will give a minimum channel resistance of 0.8Ω . $\mu_e = 0.135 \text{ m}^2\text{V}^{-1}\text{s}^{-1}$, $q = 1.6 \times 10^{-19} \text{ C}$. (25 marks)

3. [a] Dengan menggunakan lakaran yang sesuai, jelaskan mengenai suatu saluran n JFET. Apakah yang akan berlaku apabila keupayaan negatif dikenakan pada pintu ke sumber dan keupayaan saluran ke sumber ialah sifar.
(25 markah)
- [b] Apakah yang akan berlaku untuk kes yang tersebut di atas bila saluran dijadikan positif berbanding dengan sumber? Lakarkan geometri saluran JFET yang sesuai.
(25 markah)
- [c] Bincangkan mengenai apakah yang akan berlaku selepas jepitan.
(25 markah)
- [d] Suatu saluran n silikon JFET lebarnya $100 \mu\text{m}$ dan mempunyai saluran yang panjangnya $5 \mu\text{m}$ dan ketinggian saluran setengah ialah $0.5 \mu\text{m}$. Apakah ketumpatan pendopan yang akan memberikan suatu rintangan saluran minimum bernilai 0.8Ω . $\mu_e = 0.135 \text{ m}^2 \text{ V}^{-1} \text{ s}^{-1}$, $q = 1.6 \times 10^{-19} \text{ C}$.
(25 markah)

4. [a] Calculate the cutoff wavelengths, λ_c for GaAs. Assume that bandgap energy is 1.43 eV, absorption coefficient $\alpha \cong 2.5 \times 10^4 \text{ cm}^{-1}$.
(30 marks)
- [b] A Ge detector is to be used for an optical communication system using a GaAs laser with emission energy of 1.43 eV. Calculate the length of the detector material needed to be able to absorb 90 % of the optical signal entering the detector.
(30 marks)
- [c] An optical intensity of 10 W/cm^2 at wavelength of $0.75 \mu\text{m}$ is incident on a GaAs detector. Calculate the rate at which electron-hole pairs will be produced at this intensity at 300 K.
(40 marks)
4. [a] *Kira panjang gelombang potong (cutoff wavelength), λ_c bagi GaAs. Ambil nilai jurang tenaga 1.43 eV, pekali penyerapan $\alpha \cong 2.5 \times 10^4 \text{ cm}^{-1}$.
(30 markah)*
- [b] *Sebuah pengesan Ge akan digunakan untuk sistem komunikasi optik menggunakan laser GaAs dengan tenaga pancaran 1.43 eV. Kira panjang bahan pengesan yang diperlukan untuk dapat menyerap 90 % isyarat optik yang memasuki pengesan.
(30 markah)*
- [c] *Suatu cahaya dengan ketumpatan 10 W/cm^2 dan panjang gelombang $0.75 \mu\text{m}$ menuju kepada permukaan pengesan GaAs. Kira kadar penghasilan pasangan elektron-lohong pada suhu 300 K.
(40 markah)*

5. [a] A solar cell has a short-circuit current of 4.4 mA and a saturation current of 0.4 nA. It is subjected to light at a power of 1.0 W. Determine the open-circuit voltage and the energy-conversion efficiency assuming a fill factor of unity.

(40 marks)

- [b] A silicon solar cell has a short-circuit current of 100 mA and an open-circuit voltage of 0.8 V under full solar illumination. The fill factor is 0.7. What is the maximum power delivered to a load by this cell?

(30 marks)

- [c] Explain at least five steps to increase of the power delivered to solar cell/photocell.

(30 marks)

5. [a] Suatu sel suria mempunyai arus pintas (*short-circuit current*) 4.4 mA dan arus tepu 0.4 nA. Sel ini didedahkan kepada cahaya dengan kuasa 1.0 W. Tentukan keupayaan litar terbuka (*open-circuit voltage*) dan kecekapan penukaran tenaga (*energy-conversion efficiency*) dengan mengambil nilai faktor timbusan (*fill factor*) ialah 1.

(40 markah)

- [b] Suatu sel suria silikon mempunyai arus pintas 100 mA dan keupayaan litar terbuka 0.8 V di bawah dedahan sinar matahari penuh. Faktor timbusan ialah 0.7. Berapa kuasa maksimum yang dihantar kepada beban oleh sel ini?

(30 markah)

- [c] Jelaskan sekurang-kurangnya lima langkah untuk meningkatkan penghantaran kuasa kepada sel solar/fotosel.

(30 markah)

6. [a] A certain semiconductor has energy gap of 2.48 eV. Determine the range of wavelengths that are absorbed and the range of wavelengths transmitted by the semiconductor.
(40 marks)
- [b] Define the term "population inversion".
(20 marks)
- [c] What conditions must be met for population inversion to occur?
(20 marks)
- [d] What factors set the limit to the growth of stimulated emission in a laser?
(20 marks)
6. [a] *Suatu bahan semikonduktor tertentu mempunyai jurang tenaga 2.48 eV. Tentukan julat panjang gelombang yang diserap dan julat panjang gelombang yang diteruskan oleh semikonduktor tersebut.*
(40 markah)
- [b] *Berikan takrifan kepada "populasi songsang" (population inversion).*
(20 markah)
- [c] *Apa keadaan yang mesti dipenuhi agar populasi songsang ini dapat terjadi?*
(20 markah)
- [d] *Apa faktor yang menghadkan kepada penumbuhan pancaran terangsang (stimulated emission) dalam suatu laser?*
(20 markah)

7. [a] With the help of energy band diagrams explain the accumulation and inversion of charges for a MOS capacitor with a p-type substrate.
(25 marks)
- [b] Discuss the different parameters of the h-parameter model and identify the corresponding parameters in the hybrid π model.
(25 marks)
- [c] Explain what is meant by coherent and monochromatic light.
(25 marks)
- [d] Why must a solar cell operated in the fourth quadrant of the junction I-V characteristic?
(25 marks)
7. [a] *Dengan bantuan gambarajah jalur tenaga, jelaskan mengenai pengumpulan dan penyongsangan cas-cas untuk suatu kapasitor MOS dengan substrat jenis-p.*
(25 markah)
- [b] *Bincangkan mengenai perbezaan parameter-parameter untuk model parameter-h dan kenalpasti kaitan parameter-parameter dalam model π hibrid.*
(25 markah)
- [c] *Jelaskan apa yang dimaksud dengan cahaya koheren dan cahaya monokromatik.*
(25 markah)
- [d] *Mengapa suatu sel suria mesti beroperasi pada kuadran keempat pincangan ciri arus-voltan.*
(25 markah)