



UNIVERSITI SAINS MALAYSIA

Final Examination  
2016/2017 Academic Session

May/June 2017

**JIF 418 – Semiconductor and Devices**  
*[Semikonduktor dan Peranti]*

Duration : 3 hours  
*[Masa : 3 jam]*

---

Please ensure that this examination paper has **SEVEN** printed pages before you answer any questions.

Answer **ALL** questions. You may answer **either** in Bahasa Malaysia or in English.

Read the instructions carefully before answering.

Each question carries 20 marks.

In the event of any discrepancies in the exam questions, the English version shall be used.

*Sila pastikan kertas peperiksaan ini mengandungi **TUJUH** muka surat yang bercetak sebelum anda menjawab sebarang soalan.*

*Jawab **SEMUA** soalan. Anda dibenarkan menjawab soalan **sama ada** dalam Bahasa Malaysia atau Bahasa Inggeris.*

*Baca setiap arahan dengan teliti sebelum menjawab.*

*Setiap soalan bernilai 20 markah.*

*Sekiranya terdapat sebarang percanggahan pada soalan peperiksaan, versi Bahasa Inggeris hendaklah diguna pakai.*

**CONSTANTS**

Charge,  $q = 1.6 \times 10^{-19} \text{ C}$

Boltzmann's constant,  $k = 1.38 \times 10^{-23} \text{ J K}^{-1} = 8.62 \times 10^{-5} \text{ eV K}^{-1}$

Permittivity of free space,  $\epsilon_0 = 8.85 \times 10^{-14} \text{ F cm}^{-1}$

Relative dielectric constant of Si,  $\epsilon_r = 11.8$

Density of Si =  $2.33 \text{ g cm}^{-3}$

Segregation coefficient of boron with Si,  $k_d = 0.8$

Atomic weight of boron =  $10.8 \text{ g mol}^{-1}$

At 300 K:

Intrinsic carrier concentration of Si =  $1.5 \times 10^{10} \text{ cm}^{-3}$

Conduction band effective density of states of Si,  $N_c = 2.8 \times 10^{19} \text{ cm}^{-3}$

Answer **ALL** questions.

1. With appropriate illustration/equation (if any), give your comments on the **truthfulness** of the following statements:

(a) Silicon can be used to fabricate blue LED.

(4 marks)

(b) Donor level eases the excitation of intrinsic electrons to the conduction band.

(4 marks)

(c) Despite the presence of a concentration gradient, the Fermi level is constant at equilibrium.

(4 marks)

(d) Reverse saturation current in a p-n junction is due to the diffusion of majority carriers.

(4 marks)

(e) The drift current in p-n junction is sensitive to the height of the potential barrier.

(4 marks)

...3/-

2. (a) With the aid of a diagram, explain how the mobility of charge carriers in a semiconductor changes with temperature.  
(10 marks)
- (b) A silicon crystal is pulled from a 10 kg silicon melt doped with 4.8 mg boron. Calculate the initial doping concentration of the crystal.  
(10 marks)
3. At 300 K, the hole concentration in silicon is  $2.5 \times 10^3 \text{ cm}^{-3}$  and doped with boron and phosphorus. If the concentration of boron is  $5 \times 10^{16} \text{ cm}^{-3}$ ,
- (a) calculate the concentration of phosphorus.  
(10 marks)
- (b) determine the type of semiconductor.  
(5 marks)
- (c) does the type of semiconductor remain unchanged when heated to 800 K? Explain your answer using an appropriate graph (if any).  
(5 marks)
4. (a) A 100 mW laser beam with wavelength 633 nm is focussed onto a 100  $\mu\text{m}$  thick gallium arsenide sample. The absorption coefficient at this wavelength is  $3 \times 10^{14} \text{ cm}^{-1}$ . Assuming perfect quantum efficiency, calculate the number of photons emitted every second through radiative recombination.  
(10 marks)
- (b) A p-n junction with intrinsic carrier concentration  $2.4 \times 10^{13} \text{ cm}^{-3}$  is doped with acceptor concentration  $10^{18} \text{ cm}^{-3}$  on the p side and donor concentration  $10^{15} \text{ cm}^{-3}$  on the n side. At 300 K and bias voltage 80 mV, calculate the excess hole concentration injected into the n side.  
(10 marks)
- ...4/-

5. An abrupt silicon p-n junction has an acceptor concentration of  $10^{17} \text{ cm}^{-3}$  on the p side and a donor concentration of  $10^{16} \text{ cm}^{-3}$  on the n side.

(a) At 300 K, calculate the depletion width.

(10 marks)

(b) Is the electric field constant in the depletion region? Justify your answer.

(10 marks)

**PEMALAR**

Cas,  $q = 1.6 \times 10^{-19} \text{ C}$

Pemalar Boltzmann,  $k = 1.38 \times 10^{-23} \text{ J K}^{-1} = 8.62 \times 10^{-5} \text{ eV K}^{-1}$

Ketelusan ruang bebas,  $\epsilon_0 = 8.85 \times 10^{-14} \text{ F cm}^{-1}$

Pemalar dielektrik relatif Si,  $\epsilon_r = 11.8$

Ketumpatan Si =  $2.33 \text{ g cm}^{-3}$

Pekali pengasingan boron dengan Si,  $k_d = 0.8$

Berat atom boron =  $10.8 \text{ g mol}^{-1}$

Pada 300 K:

Kepekatan pembawa intrinsik Si,  $n_i = 1.5 \times 10^{10} \text{ cm}^{-3}$

Ketumpatan keadaan berkesan jalur konduksi Si,  $N_c = 2.8 \times 10^{19} \text{ cm}^{-3}$

Jawab **SEMUA** soalan.

1. Dengan menggunakan ilustrasi/rumus yang bersesuaian (jika ada), berikan komen anda terhadap **kebenaran** pernyataan berikut:
    - (a) Silikon boleh digunakan bagi memfabrikasi LED berwarna biru. (4 markah)
    - (b) Aras penderma memudahkan pengujian elektron intrinsik ke jalur konduksi. (4 markah)
    - (c) Walaupun terdapat kecerunan kepekatan, aras Fermi adalah malar pada keseimbangan. (4 markah)
    - (d) Arus penepuan balikan di dalam simpang p-n adalah hasil daripada resapan pembawa majoriti. (4 markah)
    - (e) Arus hanyut dalam simpang p-n sensitif pada ketinggian sawar keupayaan. (4 markah)
- ...6/-

2. (a) Dengan bantuan satu gambar rajah, jelaskan bagaimana kelincahan pembawa cas dalam satu semikonduktor berubah dengan suhu.  
(10 markah)
- (b) Satu hablur silikon ditarik dari leburan silikon 10 kg terdop dengan boron 4.8 mg. Hitung kepekatan awal dopan dalam hablur tersebut.  
(10 markah)
3. Pada 300 K, kepekatan lohong dalam silikon ialah  $2.5 \times 10^3 \text{ cm}^{-3}$  dan terdop dengan boron dan fosforus. Jika kepekatan boron ialah  $5 \times 10^{16} \text{ cm}^{-3}$ ,
- (a) hitung kepekatan fosforus.  
(10 markah)
- (b) tentukan jenis semikonduktor tersebut.  
(5 markah)
- (c) adakah jenis semikonduktor tersebut akan kekal tidak berubah apabila dipanaskan ke 800 K? Jelaskan jawapan anda dengan menggunakan graf yang bersesuaian (jika ada).  
(5 markah)
4. (a) Satu bim laser 100 mW dengan panjang gelombang 633 nm difokuskan pada sampel galium arsenida dengan ketebalan 100  $\mu\text{m}$ . Pekali penyerapan pada panjang gelombang tersebut ialah  $3 \times 10^{14} \text{ cm}^{-1}$ . Dengan menganggap kecekapan kuantum sempurna, hitung bilangan foton yang dipancarkan setiap saat melalui penggabungan semula menyinar.  
(10 markah)

- (b) Satu simpang p-n dengan kepekatan pembawa intrinsik  $2.4 \times 10^{13} \text{ cm}^{-3}$  terdop dengan kepekatan penerima  $10^{18} \text{ cm}^{-3}$  pada rantau p dan kepekatan penderma  $10^{15} \text{ cm}^{-3}$  pada rantau n. Pada suhu 300 K dan voltan pincang 80 mV, hitung kepekatan lohong lebihan yang tersuntik ke dalam rantau n.

(10 markah)

5. Satu simpang langkah p-n silikon mempunyai kepekatan penerima  $10^{17} \text{ cm}^{-3}$  pada rantau p dan kepekatan penderma  $10^{16} \text{ cm}^{-3}$  pada rantau n.

- (a) Pada 300 K, hitung lebar kesusutan.

(10 markah)

- (b) Adakah medan elektrik malar dalam kawasan kesusutan? Jelaskan jawapan anda.

(10 markah)