



มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
การสอบปลายภาคเรียนที่ 2 ปีการศึกษา 2550

วิชา ENE 311 Physics of Electronic Materials and Devices I

ภาควิชาวิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์ ปีที่ 3

ปีที่ 2 (โครงการฯ)

สอบ วันอังคารที่ 11 มีนาคม 2550

เวลา 09:00 -12:00 น.

คำเตือน

1. ข้อสอบวิชานี้มี 6 ข้อ 12 หน้า (รวมใบปะหน้า) ข้อละ 20 คะแนน
2. แสดงวิธีทำลงในข้อสอบเท่านั้น และแสดงวิธีทำทุกข้อโดยใช้เลขนัยสำคัญ 4 ตำแหน่ง
3. ไม่อนุญาตให้นำเอกสาร หรือหนังสือประกอบการเรียนเข้าห้องสอบ
4. สามารถนำเครื่องคำนวณเข้าห้องสอบได้

เมื่อนักศึกษาทำข้อสอบเสร็จ ต้องยกมือบอกกรรมการคุมสอบ
เพื่อขออนุญาตออกนอกห้องสอบ

ห้ามนักศึกษานำข้อสอบและกระดาษคำตอบออกนอกห้องสอบ

นักศึกษาซึ่งทุจริตในการสอบ อาจถูกพิจารณาโทษสูงสุดให้พ้นสภาพการเป็นนักศึกษา

ชื่อ-สกุล.....

รหัสประจำตัว.....เลขที่นั่งสอบ.....

อาจารย์อภิชัย ภัทรนันท์

ผู้ออกข้อสอบ

โทร. 0-2470-9063

ข้อสอบนี้ได้ผ่านการประเมินจากคณะกรรมการประจำภาควิชาแล้ว

(ผศ.ดร.วุฒิชัย อัสวินชัยโชติ)

หัวหน้าภาควิชาวิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์และโทรคมนาคม

ชื่อเลขที่นั่งสอบ.....

1. จงหาค่าความยาวคลื่น de Broglie ของอิเล็กตรอนในซิลิกอนและแกลเลียมอาร์เซไนด์ที่เคลื่อนที่ด้วยค่าความเร็วเฉลี่ยจากพลังงานความร้อนที่อุณหภูมิห้อง

Find the de Broglie wavelength of an electron in Si and GaAs having average thermal energy velocity at room temperature.

Solⁿ

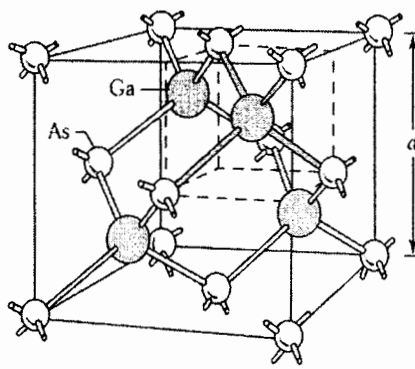
ชื่อ เลขที่นั่งสอบ

2. (ก) ที่อุณหภูมิห้อง จงคำนวณหาค่าความหนาแน่นของซิลิกอนในหน่วยของกรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร

(a) At 300 K, calculate the density of Si.

- (ข) จงคำนวณหาค่าความหนาแน่นพื้นผิว (ต่อตารางเซนติเมตร) ของอาร์เซนิกอะตอมบนระนาบ (001) ของแกเลียมอาร์เซไนด์

(b) Calculate the atom surface density (per cm²) for As atoms on a Ga terminated (001) surface in GaAs.



ชื่อ เลขที่นั่งสอบ

3.

	Sb	P	As	Ti	C	Pt	Au	O
Si	0.039	0.045	0.054	0.21	0.25	0.25		0.16
								0.38
								0.51
1.12							0.54	
							A	
				0.34	0.35	0.36		0.41
					D			
						0.3		
	0.045	0.067	0.072	0.16			0.29	
	B	Al	Ga	In	Pd		D	

ซิลิกอนถูกโด๊ปด้วยอินเดียมอะตอมที่อุณหภูมิห้องแต่ไม่ทุกอะตอมของ N_A จะไอออนไนซ์ ทำให้ $E_A = E_F$ ถ้าอินเดียมมีค่า $m_h^* = 0.39m_0$ จงหา

(ก) ค่าความเข้มข้นของการโด๊ป N_A ที่ทำให้ $E_A = E_F$ ที่อุณหภูมิห้อง

(a) The doping concentration N_A for which $E_A = E_F$ at room temperature

(ข) ค่าความหนาแน่นของประจุอิสระข้างมาก และข้างน้อย

Si is doped with In at room temperature but not all acceptor atoms are ionized so that $E_A = E_F$. If effective hole mass of In is $m_h^* = 0.39m_0$, Find

(b) Free majority and minority carrier density

ชื่อ เลขที่นั่งสอบ.....

4. จงหาค่าความเข้มข้นการโด๊ป N_D ที่ทำให้ซิลิกอนไดโอดชนิดพี-เอ็นมีค่าต่างๆดังนี้

$$N_A = 10^{18} \text{ cm}^{-3}, |E_{\text{max}}| = 4 \times 10^5 \text{ V/cm} \text{ ที่ } V_R = 30 \text{ V} \text{ และ } T = 300 \text{ K}$$

Determine the n-type doping concentration to meet the following specifications for a Si p-n junction:

$$N_A = 10^{18} \text{ cm}^{-3}, |E_{\text{max}}| = 4 \times 10^5 \text{ V/cm at } V_R = 30 \text{ V, } T = 300 \text{ K}$$

ชื่อ เลขที่นั่งสอบ.....

5. แกลเลียมอาร์เซไนด์ p^+n ไดโอดแบบ one-sided abrupt มีค่า $N_D = 8 \times 10^{14} \text{ cm}^{-3}$ และ $N_A = 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ และมีค่า breakdown voltage ที่ 500 โวลท์

For a GaAs p^+n one-sided abrupt junction with $N_D = 8 \times 10^{14} \text{ cm}^{-3}$ and $N_A = 10^{18} \text{ cm}^{-3}$

(ก) จงคำนวณหาความกว้างของ depletion layer ที่ breakdown

(a) Calculate the depletion width at breakdown

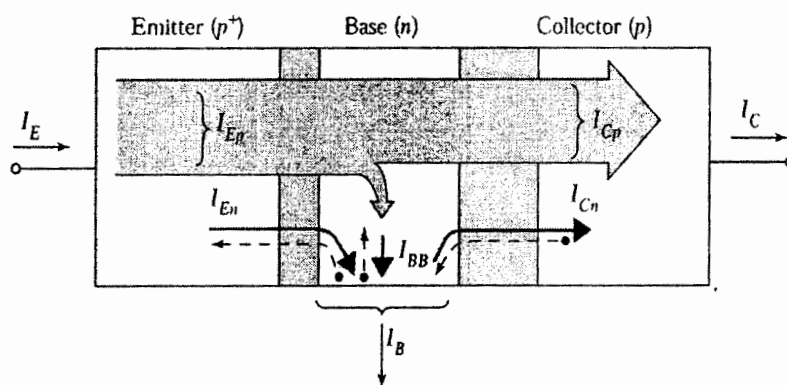
(ข) ถ้าฝั่งเอ็นของไดโอดนี้ถูกลดความกว้างลงเป็น 20 ไมโครเมตร จงหาค่า breakdown voltage

(b) If the n-type region of this diode is reduced to 20 micron, calculate the breakdown voltage.

ข้อ เลขที่นั่งสอบ.....

6. ซิลิกอน p-n-p ทรานซิสเซอร์มีค่าการโด๊ป 5×10^{18} , 2×10^{17} , และ 10^{16} อะตอมต่อลูกบาศก์ เซนติเมตรที่อิมิตเตอร์ เบส และคอลเลคเตอร์ ตามลำดับ ความกว้างของเบสเท่ากับ 1 ไมโครเมตร และพื้นที่หน้าตัดเท่ากับ 0.2 ตารางมิลลิเมตร โดยที่อิมิตเตอร์-เบสถูกไบแอสตรงที่ 0.5 โวลต์ และที่เบส-คอลเลคเตอร์ถูกไบแอสย้อนกลับที่ 5 โวลต์ ค่าคงที่การแพร่ของพาหะข้างน้อยเท่ากับ 52, 40, และ 115 ตารางเซนติเมตรต่อวินาที ที่อิมิตเตอร์ เบส และคอลเลคเตอร์ ตามลำดับ และค่า lifetime ที่อิมิตเตอร์ เบส และคอลเลคเตอร์เท่ากับ 10^{-8} , 10^{-7} , และ 10^{-6} วินาที ตามลำดับ จงคำนวณหา I_{Ep} , I_{Cp} , I_{En} , I_{Cn} และ I_{BB} ดังรูป

A Si p-n-p transistor has impurity concentrations of 5×10^{18} , 2×10^{17} , and 10^{16} cm^{-3} in the emitter, base, and collector, respectively. The base width is $1.0 \text{ } \mu\text{m}$ and the device cross-sectional area is 0.2 mm^2 . The emitter-base junction is forward biased to 0.5 V and the base-collector junction is reverse biased to 5 V. The diffusion constants of minority carriers in the emitter, base, and collector are 52, 40, and $115 \text{ cm}^2/\text{s}$, respectively; and the corresponding lifetimes are 10^{-8} , 10^{-7} , and 10^{-6} s . Find the current components I_{Ep} , I_{Cp} , I_{En} , I_{Cn} , and I_B as shown in the figure.



Properties of Si and GaAs at 300 K

Properties	Si	GaAs
Atoms/cm ³	5.02×10^{22}	4.42×10^{22}
Atomic weight	28.09	144.63
Breakdown field (V/cm)	$\sim 3 \times 10^5$	$\sim 4 \times 10^5$
Crystal structure	Diamond	Zincblende
Density (g/cm ³)	2.329	5.317
Dielectric constant	11.9	12.4
Effective density of states in conduction band, N_c (cm ⁻³)	2.86×10^{19}	4.7×10^{17}
Effective density of states in valence band, N_v (cm ⁻³)	2.66×10^{19}	7.0×10^{18}
Effective mass (conductivity)		
Electrons (m_n/m_0)	0.26	0.063
Holes (m_p/m_0)	0.69	0.57
Electron affinity, χ (V)	4.05	4.07
Energy gap (eV)	1.12	1.42
Index of refraction	3.42	3.3
Intrinsic carrier concentration(cm ⁻³)	9.65×10^9	2.25×10^6
Intrinsic resistivity (Ω -cm)	3.3×10^5	2.9×10^8
Lattice constant (Å)	5.43102	5.65325
Linear coefficient of thermal expansion, $\Delta L/L \times T$ (°C ⁻¹)	2.59×10^{-6}	5.75×10^{-6}
Melting point (°C)	1412	1240
Minority-carrier lifetime (s)	3×10^{-2}	$\sim 10^{-8}$
Mobility (cm ² /V.s)		
μ_n (electrons)	1450	9200
μ_p (holes)	505	320
Specific heat (J/g · °C)	0.7	0.35
Thermal conductivity(W/cm-K)	1.31	0.46
Vapor pressure (Pa)	1 at 1650°C 10^{-6} at 900°C	100 at 1050°C 1 at 900°C

**** สามารถฝึกกระดาษสูตรและค่าคงที่ต่างๆออกจากตัวข้อสอบได้**

ชื่อ เลขที่ เลขที่นั่งสอบ

Formula sheet (1/3) N_A = Avogadro's number = 6.02×10^{23} atoms/mole k = Boltzmann's constant = 1.38×10^{-23} J/K e = electronic charge = 1.6×10^{-19} C eV = electronvolt = 1.6×10^{-19} J m_0 = free electron mass = 9.11×10^{-31} kg. ϵ_0 = permittivity of free space = 8.85×10^{-12} F/m = 8.85×10^{-14} F/cm μ_0 = permeability of free space = 1.26×10^{-6} H/m h = Planck's constant = 6.63×10^{-34} J.s c = light velocity (speed) = 3×10^8 m/s A^* = Richardson constant = 1.2×10^6 A/(m².K²) = $\frac{4\pi em_0 k^2}{h^3}$ $1G = 1 \times 10^{-4}$ Wb/m²

$$R = \frac{\rho l}{A} = \frac{1}{\sigma} \cdot \frac{l}{A} \quad J = \sigma E \quad v_D = \mu_e E \quad J = N_e \cdot e \cdot v_D$$

$$\sigma_e = N_e e \mu_e = n e \mu_e \quad \sigma_h = p e \mu_h \quad \frac{1}{\mu} = \frac{1}{\mu_L} + \frac{1}{\mu_I} \quad R_H = -\frac{1}{q N_e} = \frac{1}{N_e e}$$

$$V_H = E_H d \quad J_e = -eF = eD_n \frac{dn}{dx} \quad D_n = \left(\frac{kT}{e} \right) \mu_e \quad \lambda = \frac{h}{p}$$

$$T \cong \exp \left\{ -2d \sqrt{\frac{2m_e^* (eV_0 - E)}{\hbar^2}} \right\} \quad E = \frac{n^2 \hbar^2}{8mL^2} \quad \rho = \left(\frac{nM}{N_A} \right) \cdot \frac{1}{a^3}$$

$$E_n = -\frac{me^4}{8\epsilon_0^2 \hbar^2} \cdot \frac{1}{n^2} = -\frac{13.6 \text{ eV}}{n^2} \quad n = \int_0^\infty n(E) d(E) = \int_0^\infty N(E) F(E) dE$$

$$N(E) = 4\pi \left(\frac{2m}{\hbar^2} \right)^{3/2} E^{1/2} \quad F(E) = \frac{1}{1 + e^{(E-E_F)/kT}} \\ n = N_C \exp[-(E_C - E_F)/kT] \quad n_i = \sqrt{N_C N_V} \exp(-E_g/2kT)$$

$$N_V = 2 \left(2\pi m_h^* kT / \hbar^2 \right)^{3/2} \quad N_C = 2 \left(2\pi m_e^* kT / \hbar^2 \right)^{3/2}$$

$$n \cdot p = n_i^2 \quad E_F = E_i = (E_C + E_V)/2 + (kT/2) \ln(N_V / N_C)$$

**** สามารถฝึกกระดาษสูตรและค่าคงที่ต่างๆออกจากตัวข้อสอบได้**

Formula sheet (2/3)

$$E = \frac{-m^* e^4}{8(\epsilon_0 \epsilon_r)^2 \hbar^2}$$

$$n = N_D^+ = N_D [1 - F(E_D)]$$

$$E_F = \left(\frac{E_C + E_D}{2} \right) + \frac{kT}{2} \ln \left(\frac{N_D}{N_C} \right)$$

$$n = n_i \exp[(E_F - E_i)/kT]$$

$$\Delta E_g = 22 \sqrt{\frac{N}{10^{18}}} \text{ meV}$$

$$p_n = p_{n0} + \tau_p G_L$$

$$p = N_A^- = N_A [F(E_A)]$$

$$E_F = E_C - \frac{kT}{2} \ln \left(\frac{N_C}{N_D} \right)$$

$$p = n_i \exp[(E_i - E_F)/kT]$$

$$J = A^* T^2 \exp \left(\frac{-q\phi}{kT} \right)$$

$$V_{bi} = |\psi_n| + |\psi_p| = \frac{kT}{e} \ln \left(\frac{N_A N_D}{n_i^2} \right) \quad N_A x_p = N_D x_n$$

$$V_{bi} = \frac{eN_A x_p^2}{2\epsilon} + \frac{eN_D x_n^2}{2\epsilon} \quad E_p(x) = -\frac{eN_A(x+x_p)}{\epsilon} \quad E_n(x) = \frac{eN_D(x-x_n)}{\epsilon}$$

$$x_p = \sqrt{\frac{2\epsilon V_{bi}}{e(N_A + N_D)} \cdot \frac{N_D}{N_A}} \quad x_n = \sqrt{\frac{2\epsilon V_{bi}}{e(N_A + N_D)} \cdot \frac{N_A}{N_D}} \quad W = \sqrt{\frac{2\epsilon_s}{e} \left(\frac{N_A + N_D}{N_A N_D} \right) V_{bi}}$$

$$E(x) = -\frac{ea}{\epsilon} \left[\frac{(W/2)^2 - x^2}{2} \right] \quad V_{bi} = \frac{eaW^3}{12\epsilon} \quad V_{bi} = \frac{2kT}{e} \ln \left(\frac{aW}{2n_i} \right)$$

$$C_j = \frac{\epsilon_s}{W} = \sqrt{\frac{q\epsilon_s N_B}{2(V_{bi} - V)}} \quad n_{n0} = n_{p0} \exp(eV_{bi}/kT) \quad p_{p0} = p_{n0} \exp(eV_{bi}/kT)$$

$$n_p = n_{p0} e^{eV/kT}$$

$$p_n = p_{n0} e^{eV/kT}$$

$$L = \sqrt{D\tau}$$

$$J = J_s (e^{V/kT} - 1)$$

$$J_s = \frac{eD_p p_{n0}}{L_p} + \frac{eD_n n_{p0}}{L_n}$$

$$W_m = \sqrt{\frac{2\epsilon(V_{bi} - V)}{eN_B}}$$

**** สามารถฝึกกระดาษสูตรและค่าคงที่ต่างๆออกจากตัวข้อสอบได้**

ข้อเลขที่นั่งสอบ.....

Formula sheet (3/3)

$$V_B = \frac{E_c W}{2} = \frac{\epsilon_s E_c^2}{2e} (N_B)^{-1} \quad \frac{V'_B}{V_B} = \left(\frac{W}{W_m} \right) \left(2 - \frac{W}{W_m} \right) \quad J_s = A^{**} T^2 e^{-[\epsilon(\phi_m - \chi_s)/kT]}$$

$$\frac{1}{R_C} = \frac{\partial J}{\partial V} \bigg|_{V=0} \quad R_c = \frac{k}{eA^{**}T} e^{(e\phi_b/kT)}$$

$$\frac{1}{R_C} = J_0 \left(\frac{4\sqrt{m_e^* \epsilon_s}}{\hbar \sqrt{N_D}} \right) \exp \left(-\frac{4\sqrt{m_e^* \epsilon_s} \phi_b}{\hbar \sqrt{N_D}} \right) \quad \alpha_0 = \frac{I_{Cp}}{I_E} \quad \gamma = \frac{I_{Ep}}{I_E}$$

$$\alpha_T = \frac{I_{Cp}}{I_{Ep}} \quad I_C = \alpha_0 I_E + I_{CB0} \quad I_{Ep} = \frac{eAD_p p_{n0}}{W} e^{eV_{EB}/kT}$$

$$I_{En} = \frac{eAD_E n_{E0}}{L_E} (e^{eV_{EB}/kT} - 1)$$

$$I_{Cp} \approx \frac{eAD_p p_{n0}}{W} e^{eV_{EB}/kT} \quad I_{Cn} = \frac{eAD_C n_{C0}}{L_C} \quad \beta_0 = \frac{\alpha_0}{1 - \alpha_0}$$

$$I_{CE0} = \frac{I_{CB0}}{1 - \alpha_0} = (\beta_0 + 1) I_{CB0} \quad I_C = \beta_0 I_B + I_{CE0}$$

$$\alpha = \frac{\alpha_0}{1 + j(f/f_\alpha)} \quad \beta = \frac{\beta}{1 + j(f/f_\beta)}$$

$$I_D = G_0 \left\{ V_D - \frac{2}{3} \sqrt{\frac{1}{V_{po}}} \left[(V_D + V_{bi} - V_G)^{3/2} - (V_{bi} - V_G)^{3/2} \right] \right\}$$

$$G_0 = \frac{2eaW\mu_n N_D}{L} \quad \psi_s(inv) = 2\psi_B = \frac{2kT}{e} \ln \left(\frac{N_A}{n_i} \right)$$

$$W_m = 2 \sqrt{\frac{\epsilon_s kT \ln \left(\frac{N_A}{n_i} \right)}{e^2 N_A}} \quad \lambda = \frac{1.24}{E(eV)}$$

- Good luck for all your finals & have a nice break -