



มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
การสอบปลายภาคเรียนที่ 2 ปีการศึกษา 2552

วิชา ENE 311 Physics of Electronic Materials and Devices I
สอบ วันศุกร์ที่ 6 มีนาคม พ.ศ. 2552

ภาควิชาวิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์ ปีที่ 3
เวลา 09:00 -12:00 น.

คำเตือน

1. ข้อสอบวิชานี้มี 6 ข้อ 13 หน้า (รวมใบปะหน้า) คะแนนเต็ม 100 คะแนน
2. แสดงวิธีทำลงในข้อสอบเท่านั้น และแสดงวิธีทำทุกข้อโดยใช้เลขนัยสำคัญ 4 ตำแหน่ง
3. ไม่อนุญาตให้นำเอกสาร หรือหนังสือประกอบการเรียนเข้าห้องสอบ
4. สามารถนำเครื่องคำนวณเข้าห้องสอบได้

เมื่อนักศึกษาทำข้อสอบเสร็จ ต้องยกมือบอกรวมการคุมสอบ
เพื่อขออนุญาตออกนอกห้องสอบ
ห้ามนักศึกษานำข้อสอบและกระดาษคำตอบออกนอกห้องสอบ

นักศึกษาซึ่งทุจริตในการสอบ อาจถูกพิจารณาโทษสูงสุดให้พ้นสภาพการเป็นนักศึกษา

ชื่อ-สกุล.....
รหัสประจำตัว.....เลขที่นั่งสอบ.....

อาจารย์อภิชัย ภัทรนันท์
ผู้ออกข้อสอบ
โทร. 0-2470-9063

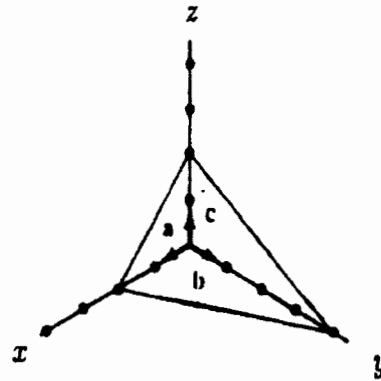
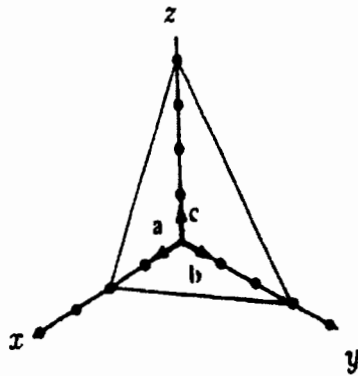
ข้อสอบนี้ได้ผ่านการประเมินจากคณะกรรมการประจำภาควิชาแล้ว

(ผศ.ดร.วุฒิชัย อัสวินชัยโชติ)

หัวหน้าภาควิชาวิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์และโทรคมนาคม

ชื่อ เลขที่นั่งสอบ

1. (ก) จงหาดัชนีมิลเลอร์ของระนาบทั้งสองที่แสดงอยู่ด้านล่าง (6 คะแนน)
 (a) Find the Miller indices of the two planes shown below.



- (ข) จงหาจำนวนอะตอมต่อหน่วยพื้นที่(ตารางเซนติเมตร) ในระนาบ (100) ของซิลิกอน (6 คะแนน)
 (b) Find the number of atoms/cm² on the (100) surface of a Si crystal.

ชื่อเลขที่นั่งสอบ.....

(ค) จงคำนวณหาความหนาแน่นของ GaP ถ้าน้ำหนักอะตอมของ Ga คือ 69.7 และ P คือ 31 และค่า lattice constant ของ GaP เท่ากับ 5.45 \AA (8 คะแนน)

(c) Calculate the densities of GaP if atomic weights of Ge and P are 69.7 and 31, respectively. GaP has a lattice constant of 5.45 \AA

ชื่อ เลขที่นั่งสอบ.....

2. (ก) ถ้าจุด A มีศักย์ไฟฟ้าสถิตในสุญญากาศเท่ากับ 1 โวลต์เมื่อเทียบกับจุด B ถ้าเริ่มต้นอิเล็กตรอนอยู่ที่จุด B ต่อมาเคลื่อนที่มาที่จุด A พลังงานของอิเล็กตรอนที่จุด A มีค่าเท่าใดในหน่วยของจูลส์ และความเร็วของอิเล็กตรอนในการเคลื่อนที่นี้ (6 คะแนน)

(a) Point A is at an electrostatic potential of 1 V relative to point B in a vacuum. An electron initially at rest at B moves to A. What energy in J does the electron have at A? What is its velocity (m/s)?

- (ข) คำนวณค่าพลังงานสามขั้นแรกของอิเล็กตรอนที่อยู่ในบ่อควอนตัมที่กว้าง 10 \AA และมีความสูงแบบไม่จำกัด (6 คะแนน)

(b) Calculate the first three energy levels for an electron in a quantum well of width 10 \AA with infinite walls.

ชื่อเลขที่นั่งสอบ.....

(ค) จงแสดงว่า $\Delta E \cdot \Delta t \geq h$ สัมพันธ์(หรือเท่ากับ) $\Delta x \cdot \Delta p \geq h$ สำหรับอนุภาคที่มีความเร็ว v
(8 คะแนน)

(c) Show that $\Delta E \cdot \Delta t \geq h$ corresponds to $\Delta x \cdot \Delta p \geq h$ for a particle with velocity v .

ชื่อ เลขที่นั่งสอบ

3. (ก) ถ้า $n_0 = 10^{17} \text{ cm}^{-3}$ สำหรับซิลิกอนที่อุณหภูมิห้อง จงหาตำแหน่งของ E_F เทียบกับ E_i (6 คะแนน)

(a) If $n_0 = 10^{17} \text{ cm}^{-3}$ for Si at room temperature, where is E_F with respect to E_i ?

- (ข) จงคำนวณหาพลังงานผูกมัด (binding energy) ในหน่วยอิเล็กตรอนโวลต์สำหรับการให้อิเล็กตรอนในซิลิกอน (6 คะแนน)

(b) Calculate approximate binding energy in eV for donors in Si.

- (ค) ซิลิกอนโดนโด๊ปด้วยธาตุหมู่สามความเข้มข้น 10^{16} ต่อลูกบาศก์เซนติเมตร กับธาตุหมู่ห้าไม่ทราบความเข้มข้น ทำให้ระดับเฟอร์มีอยู่เหนือ E_i อยู่ 0.36 eV ที่อุณหภูมิห้อง จงหาค่าความเข้มข้นของธาตุหมู่นั้น (8 คะแนน)

(c) A Si sample is doped with 10^{16} group III and a certain number of donors (group V). The Fermi level is 0.36 eV above E_i at room temperature. What is the donor concentration?

ชื่อ เลขที่นั่งสอบ.....

4. รอยต่อซิลิกอนพีเอ็นแบบ abrupt มีพารามิเตอร์ดังนี้ $N_a = 10^{17} \text{ cm}^{-3}$ และ $N_d = 10^{16} \text{ cm}^{-3}$ ณ อุณหภูมิห้อง จงหา (15 คะแนน)

(ก) ค่าระดับเฟอร์มิเทียบกับ E_i ทั้งสองด้านของรอยต่อ และค่า built-in potential พร้อมวาดรูป ระดับพลังงานของรอยต่อ

(ข) หาค่าความกว้างของ depletion layer พร้อมวาดรูปความหนาแน่นประจุ

(ค) หาค่าสนามไฟฟ้าสูงสุดสำหรับรอยต่อนี้ พร้อมวาดรูปสนามไฟฟ้า $E(x)$

An abrupt Si p-n junction has $N_a = 10^{17} \text{ cm}^{-3}$ and $N_d = 10^{16} \text{ cm}^{-3}$. At 300 K,

(a) Calculate the Fermi levels, built-in potential, and draw an equilibrium band diagram.

(b) Calculate the equilibrium depletion layer width and sketch the charge density.

(c) Calculate the peak electric field and sketch $E(x)$

ชื่อเลขที่นั่งสอบ.....

5. ให้วาดรูปและอธิบายการวิ่งของประจุ และทิศทางของกระแสของทรานซิสเตอร์แบบ p^+-n-p รวมถึงวาดรูป energy band diagram ของทรานซิสเตอร์ขณะที่จุดสมดุล และขณะทำงานในโหมดปกติ (normal or active mode) (15 คะแนน)

Draw a figure of p^+-n-p transistor and explain how the charges flow and the directions of currents. Sketch the energy band diagram for an p^+-n-p transistor at thermal equilibrium and with normal active bias applied.

ชื่อเลขที่นั่งสอบ.....

6. จงอธิบายถึงกลไกหลักสามชนิดสำหรับตัวกำเนิดแสง และตัวรับแสง อธิบายว่ากลไกใดใช้กับตัวกำเนิดแสง(แอลอีดี หรือเลเซอร์) หรือตัวรับแสง พร้อมวาดรูปประกอบ (10 คะแนน)
- Explain and draw the three mechanisms for light sources (LED or Laser) and photodetectors

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 (\AA)	5.43102	5.65325
Linear coefficient of thermal expansion, $\Delta L/L \times T$ ($^{\circ}\text{C}^{-1}$)	2.59×10^{-6}	5.75×10^{-6}
Melting point ($^{\circ}\text{C}$)	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 $^{\circ}\text{C}$)	0.7	0.35
Thermal conductivity(W/cm-K)	1.31	0.46
Vapor pressure (Pa)	1 at 1650 $^{\circ}\text{C}$ 10^{-6} at 900 $^{\circ}\text{C}$	100 at 1050 $^{\circ}\text{C}$ 1 at 900 $^{\circ}\text{C}$

**** สามารถนึกกระดาษสูตรและค่าคงที่ต่างๆออกจากตัวข้อสอบได้**

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 = 1×10^{-4} Wb/m²

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

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

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

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

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

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

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

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

**** สามารถฝึกกระดาษสูตรและค่าคงที่ต่างๆออกจากตัวข้อสอบได้**

Formula sheet (2/3)

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

** สามารถฝึกกระดาษสูตรและค่าคงที่ต่างๆออกจากตัวข้อสอบได้

Formula sheet (3/3)

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

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

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

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

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

$$I_{Cp} \square \frac{e A D_p p_{n0}}{W} e^{eV_{EB}/kT} \quad I_{Cn} = \frac{e A D_C n_{C0}}{L_C} \quad \beta_0 = \frac{\alpha_0}{1 - \alpha_0}$$

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

$$\alpha = \frac{\alpha_0}{1 + j(f/f_\alpha)} \quad \beta = \frac{\beta_0}{1 + j(f/f_\beta)}$$

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

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

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

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