



เลขที่นั่งสอบ

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี

Physics of

การสอบกลางภาคเรียนที่ 2 ปีการศึกษา 2555

วิชา ENE 311 Electronic Materials and Devices

ภาควิชาวิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์ ปีที่ 3

สอบ วันจันทร์ที่ 4 มีนาคม พ.ศ. 2556

เวลา 13:00 – 16:00 น.

คำเตือน

1. ข้อสอบวิชานี้มี 5 ข้อ 6 หน้า (รวมใบปะหน้า)
2. แสดงวิธีทำลงในสมุดคำตอบเท่านั้น
3. แสดงวิธีทำทุกข้อโดยใช้เลขนัยสำคัญ 4 ตำแหน่ง
4. ไม่อนุญาตให้นำเอกสาร หรือหนังสือประกอบการเรียนเข้าห้องสอบ
5. สามารถนำเครื่องคำนวณเข้าห้องสอบได้
6. สามารถฉีกสูตรออกจากตัวข้อสอบได้

เมื่อนักศึกษาทำข้อสอบเสร็จ ต้องยกมือบอกกรรมการคุมสอบ

เพื่อขออนุญาตออกนอกห้องสอบ

ห้ามนักศึกษานำข้อสอบและกระดาษคำตอบออกนอกห้องสอบ

นักศึกษาซึ่งทุจริตในการสอบ อาจถูกพิจารณาโทษสูงสุดให้พ้นสภาพการเป็นนักศึกษา

ชื่อ-สกุล.....

รหัสประจำตัว.....เลขที่นั่งสอบ.....

อาจารย์อภิชัย ภัทรนันท์

ผู้ออกข้อสอบ

0-2470-9063

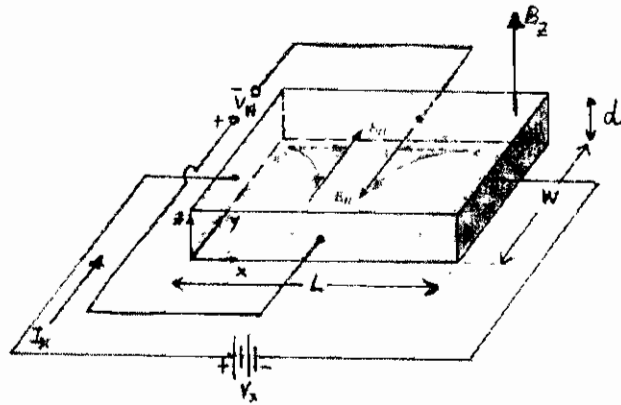
ข้อสอบนี้ได้ผ่านการประเมินจากคณะกรรมการประจำภาควิชาแล้ว

(รศ.ดร.วุฒิชัย อัครวินชัยโชติ)

หัวหน้าภาควิชาวิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์และโทรคมนาคม

1. (20 คะแนน) การทดลองผลกระทบบของฮอลล์แสดงดังรูปที่ 1 มีพารามิเตอร์ดังนี้: $L = 0.1 \text{ cm}$, $W = 0.01 \text{ cm}$, $d = 0.001 \text{ cm}$, $I_x = 1 \text{ mA}$, $V_x = 12.5 \text{ V}$, $B_z = 500 \text{ Gauss}$, และ $V_H = -6.25 \text{ mV}$.

จงหา ก) สนามไฟฟ้าฮอลล์ (E_H) ข) พาหะข้างมากของสารกึ่งตัวนำนี้คืออะไร จงอธิบายเหตุผล ค) ค่าความเข้มข้นของพาหะข้างมาก และค่าความคล่องตัวของพาหะนั้น (mobility).



รูปที่ 1 การทดลองผลกระทบบของฮอลล์

2. (20 คะแนน) อิเล็กตรอนถูกกักอยู่ในบ่อพลังงานสถิตยอนันต์แบบมิติเดียว (one-dimensional infinite potential well) ที่มีความกว้าง 10 \AA .

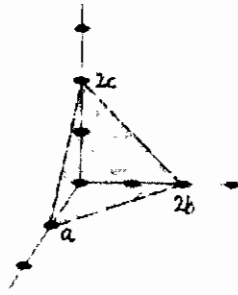
ก) จงคำนวณหาค่าระดับพลังงานต่ำสุดสามขั้นที่อิเล็กตรอนสามารถไปอยู่ได้

ข) ถ้าอิเล็กตรอนย้ายจากชั้นพลังงานที่สามมายังระดับที่สองโดยการคายพลังงานในรูปของโฟตอน

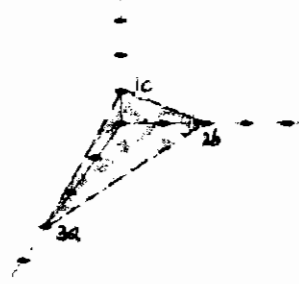
โฟตอนดังกล่าวจะมีค่าความยาวคลื่นเท่าใด

3. (20 คะแนน) จงหา

ก) ดัชนีมิลเลอร์เพื่อใช้เรียกกระนาดรูปที่ 2 และ 3 ถ้าเอ บี และซีสอดคล้องกับแกนเอ็กซ์ วาย และซีตามลำดับ

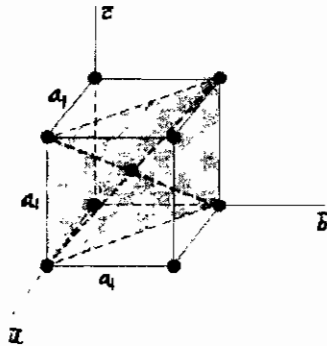


รูปที่ 2



รูปที่ 3

- ข) โครงสร้างของลูกบาศก์แสดงดังรูปที่ 4 คือโครงสร้างแบบใด และจงคำนวณหาค่าความหนาแน่นพื้นผิว (surface density) ของอะตอมในระนาบ (110) ในหน่วยของอะตอมต่อตารางเซนติเมตร ถ้าค่าคงที่ของผลึก (lattice constant) มีค่า 5 \AA



รูปที่ 4

4. (20 คะแนน) จงหา
- ความน่าจะเป็นที่ระดับพลังงาน $3kT$ เหนือระดับพลังงานเฟอร์มิ (E_F) จะถูกครอบครองโดยอิเล็กตรอน
 - อุณหภูมิที่ทำให้ความน่าจะเป็นที่จะไม่เจออิเล็กตรอนที่ระดับพลังงาน 0.3 อิเล็กตรอนโวลต์ต่ำกว่าระดับพลังงานเฟอร์มิเท่ากับร้อยละ 1
5. (20 คะแนน)
- จงคำนวณหาค่าความเข้มข้นของโฮลในซิลิกอนที่อุณหภูมิ 400 เคลวิน โดยระดับพลังงานเฟอร์มิเท่ากับ 0.27 อิเล็กตรอนสูงกว่าแถบวาเลนซ์ (valence band)

ข) จงคำนวณค่าความเข้มข้นของอิเล็กตรอนกับโฮลที่อุณหภูมิห้องโดยมีค่าการโด๊ปดังนี้ $N_D = 10^{16} \text{ cm}^{-3}$ และ $N_A = 0$

ค) พิจารณาซิลิกอนที่อุณหภูมิห้องมีค่าการโด๊ป $N_D = 8 \times 10^{15} \text{ cm}^{-3}$ และ $N_A = 5 \times 10^{15} \text{ cm}^{-3}$ จงหา
ระดับพลังงานเฟอร์มิ

Properties of Si and GaAs at 300 K

Properties	Si	GaAs
Atoms/cm ³	5.02×10^{22}	4.42×10^{23}
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, $N_C(\text{cm}^{-3})$	2.86×10^{19}	4.7×10^{17}
Effective density of states in valence band, $N_V(\text{cm}^{-3})$	2.66×10^{19}	7.0×10^{18}
Effective mass (conductivity)		
Electrons (m_e/m_0)		
Holes (m_h/m_0)		
Electron affinity, $\chi(\text{V})$	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 ($\Omega\text{-cm}$)	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}	$\sim 10^{-6}$
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

Formula sheet (1/2)

N_A = Avogadro's number = 6.02×10^{23} atoms/mole

k = Boltzmann's constant = 1.38×10^{-23} J/K

q = 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

1 Gauss = 1×10^{-4} Wb/m² = 1×10^{-4} Tesla

$$R = \frac{\rho l}{A} = \frac{1}{\sigma} \cdot \frac{l}{A}$$

$$J = \sigma E \quad v_D = \mu_e E$$

$$J = N_e \cdot q \cdot v_D$$

$$\sigma = \sigma_e + \sigma_h$$

$$\rho = \frac{1}{qn\mu_e + qp\mu_h}$$

$$E_H = \frac{B \cdot J}{N_e q}$$

$$\frac{1}{\mu} = \frac{1}{\mu_L} + \frac{1}{\mu_I}$$

$$R_H = -\frac{1}{qN_e} = \frac{1}{N_e e}$$

$$V_H = E_H L$$

$$J_e = -qF = qD_n \frac{dn}{dx}$$

$$D_n = \left(\frac{kT}{q} \right) \mu_e$$

$$\lambda = \frac{h}{p}$$

$$\frac{d^2\psi}{dx^2} + \frac{2m}{\hbar^2} (E - V) \psi = 0$$

$$E_n = \frac{n^2 \hbar^2}{8mL^2}$$

$$E = h\nu = \frac{hc}{\lambda}$$

$$T \cong \exp \left\{ -2d \sqrt{\frac{2m_e^* (qV_0 - E)}{\hbar^2}} \right\}$$

$$\rho = \left(\frac{nM}{N_A} \right) \cdot \frac{1}{a^3}$$

$$\cos(ka) = \frac{P \sin(\alpha a)}{\alpha a} + \cos(\alpha a)$$

$$P = \frac{maV_0 w}{\hbar^2}$$

$$\alpha = \frac{1}{\hbar} \sqrt{2mE}$$

Formula sheet (2/2)

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

$$N(E) = 4\pi \left(\frac{2m}{h^2} \right)^{3/2} E^{1/2}$$

$$F(E) = \frac{1}{1 + e^{(E-E_F)/kT}}$$

$$n = N_C \exp[-(E_C - E_F)/kT]$$

$$p = N_V \exp[-(E_F - E_V)/kT]$$

$$n_i = \sqrt{N_C N_V} \exp(-E_g/2kT)$$

$$n \cdot p = n_i^2$$

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

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

$$E_F = E_i = (E_C + E_V)/2 + (kT/2) \ln(N_V / N_C)$$

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

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

$$N_A^- = N_A F(E_A)$$

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

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

	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
							0.54	
1.12							A	0.41
				0.34	0.35	0.36		
					D	D	0.29	
	0.045	0.067	0.072	0.16			D	
	B	Al	Ga	In	Pd			

• Good luck for all your midterm exams -