



มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี  
การสอบกลางภาคเรียนที่ 2 ปีการศึกษา 2550

วิชา ENE 311 Physics of Electronic Materials and Devices I

ภาควิชาวิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์ ปีที่ 4

ปีที่ 3 (โครงการฯ)

สอบ วันศุกร์ที่ 28 ธันวาคม พ.ศ. 2550

เวลา 09:00 – 12:00 น.

คำเตือน

1. ข้อสอบวิชานี้มี 5 ข้อ 9 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

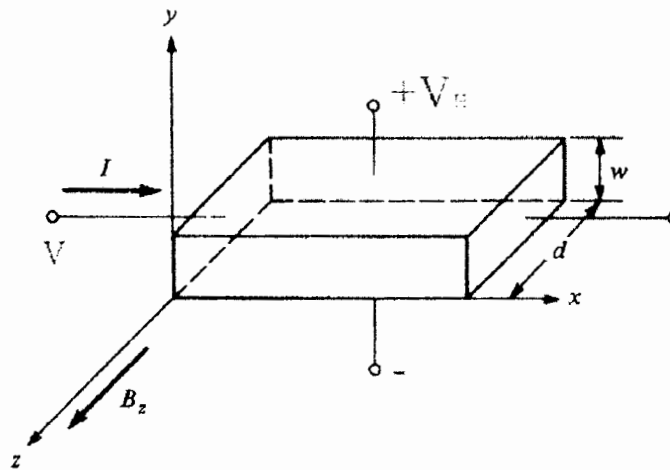
ชื่อ .....เลขที่นั่งสอบ.....

1. จงหาค่า conductivity ของซิลิกอนบริสุทธิ์ และแกเลียมอาร์เซไนด์บริสุทธิ์ที่อุณหภูมิห้อง  
Determine the conductivities of intrinsic Si and intrinsic GaAs at room temperature.

ชื่อ ..... เลขที่นั่งสอบ .....

2. ในการทดลองของฮอลล์ที่ตั้งแสดงในรูปข้างล่าง ได้ข้อมูลดังนี้  $L = 1 \text{ cm}$ ,  $d = 0.1 \text{ cm}$ ,  $w = 0.2 \text{ cm}$ ,  $I = 5 \text{ mA}$ ,  $B_z = 1 \text{ W/m}^2$ ,  $V = 0.245 \text{ V}$  และ  $|R_H| = 1.18 \text{ cm}^3/\text{C}$  ถ้าต่อโวลต์มิเตอร์วัดค่า  $V_H$  จะได้ศักย์ไฟฟ้าบวกอยู่ด้านบนดังรูป จงหา (ก) ชนิดของชั้นสารนี้จงอธิบาย (ข) ค่าความเข้มข้นของพาหะข้างมาก (ค) ค่าฮอลล์โวลต์เตจ  $V_H$

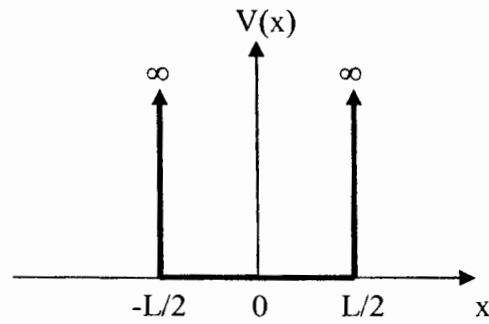
A Hall effect experiment is shown below with  $d = 0.2 \text{ cm}$ ,  $w = 0.1 \text{ cm}$ ,  $I = 5 \text{ mA}$ ,  $B_z = 1 \text{ W/m}^2$ ,  $V = 0.245 \text{ V}$ , and  $|R_H| = 1.18 \text{ cm}^3/\text{C}$ . A voltage meter is connected to read  $V_H$  with positive charges on the top as shown in the figure. Find (a) type of this material (n- or p-type). Please explain. (b) majority carrier concentration (c) Hall voltage  $V_H$



ชื่อ .....เลขที่นั่งสอบ.....

3. จงหาระดับพลังงาน  $E_n$  สำหรับอิเล็กตรอนที่ถูกกักไว้ในบ่อพลังงานแบบ infinite ดังรูป

Find the allowed energy levels  $E_n$  for an electron that is trapped in the infinite one-dimensional potential well as in the figure below.



ชื่อ .....เลขที่นั่งสอบ.....

4. (ก) จงคำนวณหาค่าจำนวนซิลิกอนอะตอมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร และความหนาแน่น  $\rho$  ของซิลิกอนที่อุณหภูมิห้อง

(a) Calculate the number of Si atoms per cubic centimeter and the density of Si at room temperature.

(ข) ทำซ้ำข้อ (ก) ถ้าเปลี่ยนเป็นแกลเลียมอาร์เซไนด์

(b) Repeat (a) if Si is replaced by GaAs

ชื่อ ..... เลขที่นั่งสอบ .....

5. ที่อุณหภูมิห้องซิลิกอนถูกโด๊ปด้วย  $10^{16}$  โบรอนอะตอมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร ( $10^{16}$  B atoms/cm<sup>3</sup>) จงหา

(ก) จำนวนพาหะข้างมากต่อหน่วยปริมาตรที่ภาวะสมดุล (ionized atoms)

(ข) จำนวนพาหะข้างน้อยต่อหน่วยปริมาตรที่ภาวะสมดุล

(ค) จงหาระดับพลังงาน  $E_A - E_V$  และ  $E_F - E_V$  ในหน่วยของอิเล็กตรอนโวลท์

At room temperature, a Si sample is doped with  $10^{16}$  Boron atoms/cm<sup>3</sup>. Find:

(a) the equilibrium majority carrier concentration (ionized atoms)

(b) the equilibrium minority carrier concentration

(c)  $E_A - E_V$  and  $E_F - E_V$  in eV

# Properties of Si and GaAs at 300 K

Properties	Si	GaAs
Atoms/cm <sup>3</sup>	$5.02 \times 10^{22}$	$4.42 \times 10^{22}$
Atomic weight	28.09	144.63
Breakdown field (V/cm)	$\sim 3 \times 10^5$	$\sim 4 \times 10^5$
Crystal structure	Diamond	Zincblende
Dielectric constant	11.9	12.4
Effective density of states in conduction band, $N_C$ (cm <sup>-3</sup> )	$2.86 \times 10^{19}$	$4.7 \times 10^{17}$
Effective density of states in valence band, $N_V$ (cm <sup>-3</sup> )	$2.66 \times 10^{19}$	$7.0 \times 10^{18}$
Effective mass (conductivity)		
Electrons ( $m_n/m_0$ )	0.26	0.063
Holes ( $m_p/m_0$ )	0.69	0.57
Electron affinity, $\chi$ (V)	4.05	4.07
Energy gap (eV)	1.12	1.42
Index of refraction	3.42	3.3
Intrinsic carrier concentration(cm <sup>-3</sup> )	$9.65 \times 10^9$	$2.25 \times 10^6$
Lattice constant (Å)	5.43102	5.65325
Linear coefficient of thermal expansion, $\Delta L/L \times T$ (°C <sup>-1</sup> )	$2.59 \times 10^{-6}$	$5.75 \times 10^{-6}$
Melting point (°C)	1412	1240
Minority-carrier lifetime (s)	$3 \times 10^{-2}$	$\sim 10^{-8}$
Mobility (cm <sup>2</sup> /V·s)		
$\mu_n$ (electrons)	1450	9200
$\mu_p$ (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 =  $6.02 \times 10^{23}$  atoms/mole

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

$e$  = electronic charge =  $1.6 \times 10^{-19}$  C

eV = electronvolt =  $1.6 \times 10^{-19}$  J

$m_0$  = free electron mass =  $9.11 \times 10^{-31}$  kg.

$\epsilon_0$  = permittivity of free space =  $8.85 \times 10^{-12}$  F/m =  $8.85 \times 10^{-14}$  F/cm

$\mu_0$  = permeability of free space =  $1.26 \times 10^{-6}$  H/m

$h$  = Planck's constant =  $6.63 \times 10^{-34}$  J.s

$c$  = light velocity (speed) =  $3 \times 10^8$  m/s

1G =  $1 \times 10^{-4}$  Wb/m<sup>2</sup>

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

$$\sigma = \sigma_e + \sigma_h \quad \rho = \frac{1}{qn\mu_e + qp\mu_h}$$

$$\frac{1}{\mu} = \frac{1}{\mu_L} + \frac{1}{\mu_I} \quad R_H = -\frac{1}{qN_e} = \frac{1}{N_e e} \quad V_H = E_H W$$

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

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

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

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

$$N(E) = 4\pi \left( \frac{2m}{h^2} \right)^{3/2} E^{1/2} \quad F(E) = \frac{1}{1 + e^{(E - E_F)/kT}}$$

$$n = N_C \exp[-(E_C - E_F)/kT] \quad p = N_V \exp[-(E_F - E_V)/kT]$$

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



ชื่อ ..... เลขที่ที่นั่งสอบ .....

## Formula sheet (2/2)

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

$$n.p = n_i^2$$

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

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

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

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

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

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

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

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

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

	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 <sup>A</sup>
							0.54	0.51
1.12							A	
								0.41
				0.34	0.35	0.36		
					D	D		
	0.045	0.067	0.072	0.16		0.3 <sup>D</sup>	0.29 <sup>D</sup>	
	B	Al	Ga	In	Pd			