



มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี  
การสอบกลางภาคเรียนที่ 2 ปีการศึกษา 2551

วิชา ENE 311 Physics of Electronic Materials and Devices I  
สอบ วันศุกร์ที่ 26 ธันวาคม พ.ศ. 2551

ภาควิชาวิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์ ปีที่ 3  
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

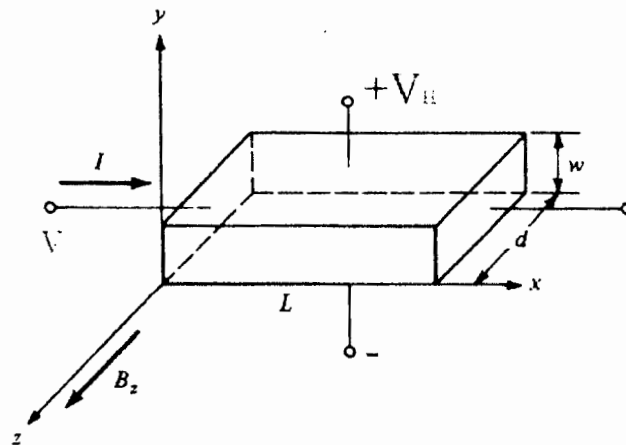
(ผศ.ดร.วุฒิชัย อัสวินชัยโชติ)

หัวหน้าภาควิชาวิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์และโทรคมนาคม

ชื่อ ..... เลขที่นั่งสอบ .....

1. ในการทดลองของฮอลล์ดังแสดงในรูปข้างล่าง ได้ข้อมูลดังนี้  $L = 5 \text{ mm}$ ,  $d = 2 \text{ mm}$ ,  $w = 1 \text{ mm}$ ,  $I = 5 \text{ mA}$ ,  $B_z = 0.16 \text{ Wb/m}^2$ ,  $V = 310 \text{ mV}$  และวัดค่าฮอลล์โวลต์ได้  $V_H = 4.8 \text{ mV}$  จงหา (ก) ชนิดของชิ้นสารนี้เป็นชนิดพีหรือเอ็น จงอธิบาย (ข) ค่าความเข้มข้นของพาหะข้างมากต่อลูกบาศก์เซนติเมตร (ค) ค่าการนำไฟฟ้า ( $\sigma$ )

A Hall effect experiment is shown below with  $L = 5 \text{ mm}$ ,  $d = 2 \text{ mm}$ ,  $w = 1 \text{ mm}$ ,  $I = 5 \text{ mA}$ ,  $B_z = 0.16 \text{ Wb/m}^2$ ,  $V = 310 \text{ mV}$ , and hall voltage  $V_H = 4.8 \text{ mV}$ . Find (a) type of this material (n- or p-type). Please explain. (b) majority carrier concentration per  $\text{cm}^3$  (c) the conductivity ( $\sigma$ ) of this sample.



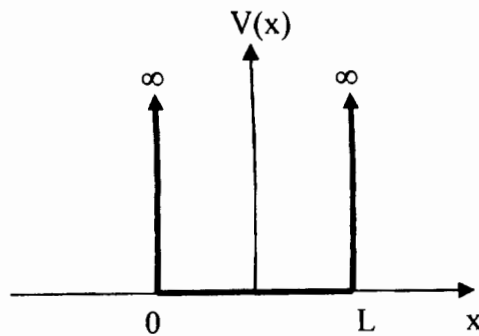
ชื่อ .....เลขที่นั่งสอบ.....

2. คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้ามีความยาวคลื่น 20 นาโนเมตรมาตกกระทบกับไฮโดรเจนอะตอม ทำให้อิเล็กตรอนที่พลังงานพื้นฐาน (ground state) หลุดออกจากแรงดึงดูดของนิวเคลียสกลายเป็นไอออน (ionized) จงหาความเร็วสูงสุดของอิเล็กตรอนที่หลุดออกจากไฮโดรเจนอะตอม
- Electromagnetic radiation of wavelength 20 nm is incident on atomic hydrogen. Assuming that an electron in its ground state is ionized what is the maximum velocity at which it may be emitted?

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. ของแข็งมีค่าระดับพลังงานเฟอร์มิเท่ากับ 5 eV

(ก) จงหาความน่าจะเป็นที่สถานะที่ระดับพลังงานเหนือระดับพลังงานเฟอร์มิขึ้นไป 1 eV จะถูกครอบครองโดยอิเล็กตรอนที่อุณหภูมิ 273°C, 350°C, 573°C, 1,273°C

Given a solid state material of  $E_f = 5$  eV.

(a) What is the probability that a state at 1 eV above the Fermi level will be occupied when temperatures is 273°C, 350°C, 573°C, 1,273°C?

(ข) ให้สเก็ตซ์การกระจายของเฟอร์มิ-ไดแร็กในแต่ละอุณหภูมิในข้อ (ก) โดยไม่จำเป็นต้องเกลต้องถูกต้อง

(b) Sketch the Fermi-Dirac distribution function for each temperature in (a) (note: do not need to scale).

ชื่อ ..... เลขที่นั่งสอบ .....

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

(ก) จำนวนพาหะข้างมากต่อหน่วยปริมาตรที่ภาวะสมดุล (ionized atoms)

(ข) จำนวนพาหะข้างน้อยต่อหน่วยปริมาตรที่ภาวะสมดุล

(ค) จงหาระดับพลังงาน  $E_C - E_D$  และ  $E_C - E_F$  ในหน่วยของอิเล็กตรอนโวลต์

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

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

(b) the equilibrium minority carrier concentration

(c)  $E_C - E_D$  and  $E_C - E_F$  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>

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

$$\sigma = \sigma_e + \sigma_h \quad \rho = \frac{1}{qn\mu_e + qp\mu_h} \quad E_H = \frac{B \cdot J}{N_e e}$$

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

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

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

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

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

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

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

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



ข้อ .....เลขที่นั่งสอบ.....

## 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	<u>0.039</u>	<u>0.045</u>	<u>0.054</u>	<u>0.21</u>	<u>0.25</u>	<u>0.25</u>		<u>0.16</u>
								<u>0.38</u>
								<u>0.51</u>
1.12							<u>0.54</u>	<u>0.41</u>
							A	
				<u>0.34</u>	<u>0.35</u>	<u>0.36</u>		
					D			
	<u>0.045</u>	<u>0.067</u>	<u>0.072</u>	<u>0.16</u>		<u>0.3</u>	<u>0.29</u>	
	B	Al	Ga	In	Pd		D	