



เลขที่หนังสือ.....  
สำนักหอสมุด  
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี  
การสอบกลางภาคเรียนที่ 2 ปีการศึกษา 2553

วิชา ENE 311 Physics of Electronic Materials and Devices I  
สอบ วันพุธที่ 22 ธันวาคม พ.ศ. 2553

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

คำเตือน

1. ข้อสอบวิชานี้มี 5 ข้อ 9 หน้า (รวมใบปะหน้า) คะแนนเต็ม 100 คะแนน
2. แสดงวิธีทำลงในข้อสอบเท่านั้น และแสดงวิธีทำทุกข้อโดยใช้เลขนัยสำคัญ 4 ตำแหน่ง
3. ไม่อนุญาตให้นำเอกสาร หรือหนังสือประกอบการเรียนเข้าห้องสอบ
4. สามารถนำเครื่องคำนวณเข้าห้องสอบได้

เมื่อนักศึกษาทำข้อสอบเสร็จ ต้องยกมือบอกกรรมการคุมสอบ  
เพื่อขออนุญาตออกนอกห้องสอบ  
ห้ามนักศึกษานำข้อสอบและกระดาษคำตอบออกนอกห้องสอบ

นักศึกษาซึ่งทุจริตในการสอบ อาจถูกพิจารณาโทษสูงสุดให้พ้นสภาพการเป็นนักศึกษา

ชื่อ-สกุล.....  
รหัสประจำตัว.....เลขที่หนังสือ.....

อ.อภิชัย ภัทรนันท์  
ผู้ออกข้อสอบ  
โทร. 0-2470-9070-1

ข้อสอบนี้ได้ผ่านการประเมินจากคณะกรรมการประจำภาควิชาแล้ว

(ผศ.ดร.วุฒิชัย อัสวินชัยโชติ)

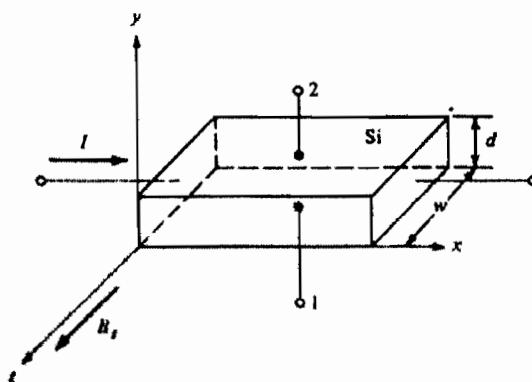
หัวหน้าภาควิชาวิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์และโทรคมนาคม

ชื่อ .....

เลขที่นั่งสอบ.....

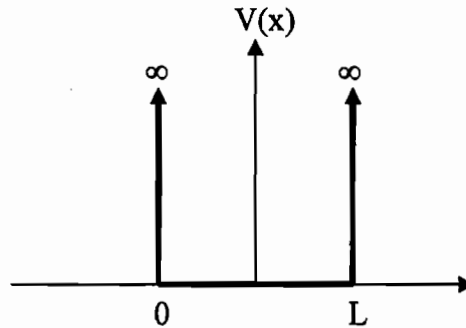
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี

1. (20 คะแนน) ตัวอย่างซิลิคอนยาว 2 มิลลิเมตรตั้งรูปข้างล่างและค่าต่างๆดังนี้  $d = 2 \text{ mm}$ ,  $w = 5 \text{ mm}$  มีความต้านทาน  $R = 500 \text{ โอห์ม}$  ในการทดลองผลกระทบบอลลิโวลต์มิเตอร์ถูกต่อ ขั้วบวกเข้าที่จุดหมายเลข 2 (บนระนาบ  $xz$ ) อ่านค่าได้  $-3 \text{ มิลลิโวลต์}$  เมื่อมีกระแส 2 มิลลิแอมป์ และสนามแม่เหล็ก 1,000 เกาส์ถูกจ่ายในทิศทางดังรูป
- (ก) คำนวณหาค่าความหนาแน่นของประจุ (charge density)  $N$  ในหน่วยต่อลูกบาศก์เมตร
- (ข) จงหาค่าความคล่องตัวประจุ (mobility) และระบุหน่วยด้วย
- (ค) ตัวอย่างนี้เป็นแบบชนิดพี หรือเอ็น จงอธิบาย



ชื่อ ..... เลขที่นั่งสอบ.....

2. (20 คะแนน) จงหาค่าระดับพลังงานของอิเล็กตรอนซึ่งอยู่ในบ่อพลังงานแบบ infinite หนึ่งมิติ ดังรูป



Time independent Schrödinger Equation

$$\frac{d^2\psi}{dx^2} + \frac{2m}{\hbar^2} (E - V) \psi = 0 \quad (1)$$

Electron is trapped inside the potential well ( $V = 0$ ). Eq. (1) becomes

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

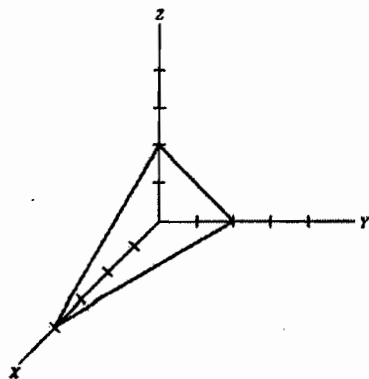
General solution of (2) is

$$\psi(x) = A \sin kx + B \cos kx$$

ชื่อ .....

3. (a) (10 คะแนน) คำนวณหาค่าความยาวคลื่นของโฟตอนซึ่งจะให้พลังงานที่จำเป็นแก่อิเล็กตรอนเพื่อที่จะกระตุ้นให้อิเล็กตรอนสามารถขึ้นไปอยู่ในชั้น excited state  $E_4$  จากชั้นพลังงานที่ต่ำกว่าต่างๆที่เป็นไปได้ของไฮโดรเจน

- (b) (10 คะแนน) จงหาดัชนีมิลเลอร์ (Miller indices) สำหรับระนาบของคริสตัลดังรูป โดยสมมติว่า lattice constant เท่ากับหนึ่ง.



ชื่อ ..... มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี

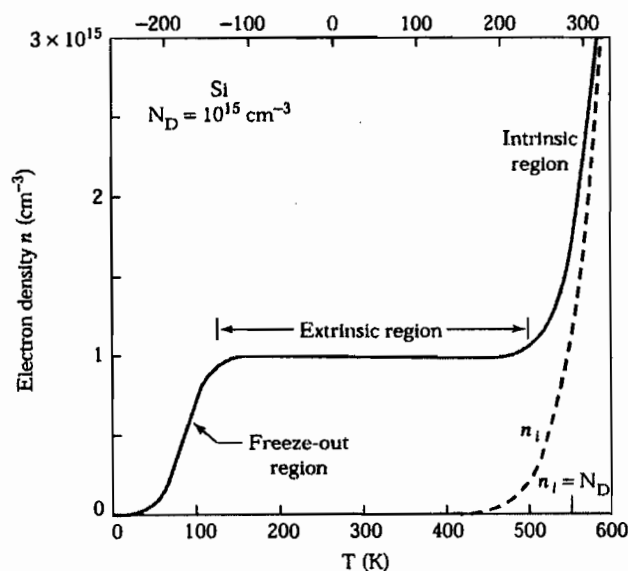
4. (a) (10 คะแนน) จงหาระยะใกล้สุดระหว่างอะตอมข้างเคียง (adjacent neighbor atoms) ของซิลิกอน

(b) (10 คะแนน) จงคำนวณหาค่ารัศมีของอะตอม (atomic radius,  $r$ ) ถ้าอะตอมถูกอัดให้อยู่แบบแน่นที่สุด

ชื่อ ..... มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี

5. (a) (10 คะแนน) ซิลิกอนเวเฟอร์ถูกโด๊ปด้วยฟอสฟอรัสที่  $10^{15}$  อะตอมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร จงหาความเข้มข้นของพาหะข้างมาก ความเข้มข้นของพาหะข้างน้อย และจงหาค่าระดับพลังงานเฟอร์มี (Fermi energy level) โดยวัดจากจุดต่ำสุดของแถบพลังงานการนำ (connection band).

- (b) (10 คะแนน) จงอธิบายเหตุผลว่าทำไมช่วงทั้งสามในกราฟจึงถูกเรียกว่า 'freeze-out', 'extrinsic', and 'intrinsic' regions.



# Properties of Si and GaAs at 300 K

Properties	Si	GaAs
Atoms/cm <sup>3</sup>	$5.02 \times 10^{22}$	$4.42 \times 10^{23}$
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 <sup>3</sup> )	2.329	5.317
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> )	$9.65 \times 10^9$	$2.25 \times 10^6$
Intrinsic resistivity ( $\Omega$ -cm)	$3.3 \times 10^5$	$2.9 \times 10^8$
Lattice constant ( $\text{\AA}$ )	5.43102	5.65325
Linear coefficient of thermal expansion, $\Delta L/L \times T$ ( $^{\circ}\text{C}^{-1}$ )	$2.59 \times 10^{-6}$	$5.75 \times 10^{-6}$
Melting point ( $^{\circ}\text{C}$ )	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 $^{\circ}\text{C}$ )	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 $^{\circ}\text{C}$

**\*\* สามารถฝึกกระดาษสูตรและค่าคงที่ต่างๆออกจากตัวข้อสอบได้**

ชื่อ ..... มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี

## 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>

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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



## Formula sheet (2/2)

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

$$n.p = n_i^2$$

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

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

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

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

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

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

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

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

**Good luck for all your midterm exams**  
**- Happy New Year 2011 -**