

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก.
รูปเครื่องมือวัดต่างๆ

1. เครื่อง Scanning Electron Microscope (SEM)



2. เครื่อง Raman Spectroscopy



ภาคผนวก ข.

การคำนวณหาอัตราส่วนระหว่าง B:C และ P:C

วิธีการคำนวณหาอัตราส่วนระหว่างจำนวนอะตอมโบรอนต่อคาร์บอน(B:C) และอัตราส่วนระหว่างจำนวนอะตอมฟอสฟอรัสต่อคาร์บอน(P:C) ที่ใช้ในการทดลอง

ตัวอย่าง กรณีต้องการเตรียมสารละลายซึ่งประกอบด้วย เอทิลแอลกอฮอล์(C_2H_5OH) ปริมาตร 50 cm^3 และโบรอน เพื่อนำไปใช้เป็นแหล่งกำเนิดอะตอมคาร์บอนสำหรับการสังเคราะห์ฟิล์มเพชรชนิดพี โดยมีอัตราส่วนระหว่างจำนวนอะตอมโบรอนต่อคาร์บอน B:C 1 ppm จะต้องใช้โบรอนไดรอกไซด์ หนักเท่าใด

ขั้นตอนที่ 1 หาน้ำหนักของ C_2H_5OH โดย

$$\begin{aligned} C_2H_5OH \quad 1 \quad \text{cm}^3 \quad \text{หนัก} \quad 0.796 \quad \text{g} \\ \therefore C_2H_5OH \quad 50 \quad \text{cm}^3 \quad \text{หนัก} \quad 0.796 \times 50 = 39.8 \quad \text{g} \end{aligned}$$

ขั้นตอนที่ 2 หามวลโมเลกุลของคาร์บอนใน $C_2H_5OH \quad 50\text{ cm}^3$

$$\begin{aligned} C_2H_5OH \quad 1 \quad \text{โมเลกุล} \quad \text{มี} \quad 2(12.01115) + 6(1.00797) + 1(15.9994) &= 46.0695 \text{ g/mol} \\ \text{และ } C_2H_5OH \quad 1 \text{ mol} \quad \text{มีคาร์บอน} &= 2(12.01115) \\ &= 24.023 \text{ g} \\ \text{และ } C_2H_5OH \quad 50 \quad \text{cm}^3 &= \frac{39.8}{46.0695} \\ &= 0.8639 \quad \text{mol} \\ \therefore C_2H_5OH \quad 0.8639 \text{ mol} \quad \text{จะมีคาร์บอน} &= 0.8639 \times 24.023 \\ &= 20.7535 \quad \text{g} \end{aligned}$$

ขั้นตอนที่ 3 หามวลโมเลกุลของโบรอนใน $B_2O_3 \quad 1 \text{ mol}$

$$\begin{aligned} B_2O_3 \quad 1 \quad \text{โมเลกุล} \quad \text{มี} \quad 2(10.8115) + 3(15.9994) &= 69.6202 \text{ g/mol} \\ \text{และ } B_2O_3 \quad 1 \text{ mol} \quad \text{มีโบรอน} &= 2(10.8115) \\ &= 21.622 \text{ g} \end{aligned}$$

ขั้นตอนที่ 4 หาน้ำหนักของโบรอนที่ต้องใช้ใน $C_2H_5OH \quad 50\text{ cm}^3$ เพื่อให้ได้ B:C 1 ppm

$$\begin{aligned} \text{โดย } B:C \quad 1 \text{ ppm} &= \frac{1}{10^6} \\ \text{หมายถึง คาร์บอน } 10^6 \text{ g} \quad \text{จะต้องมีโบรอน } &1 \text{ g} \\ \text{ดังนั้นคาร์บอน } 20.7535 \text{ g} \quad \text{จะมีโบรอน} &= \frac{20.7535}{10^6} = 2.07535 \times 10^{-5} \text{ g} \end{aligned}$$

โบรอน 21.622 g อยู่ใน B_2O_3 1 mol
 \therefore โบรอน 2.07535×10^{-5} g อยู่ใน B_2O_3 $\frac{2.07535 \times 10^{-5} \times 1}{21.622} = 9.5983 \times 10^{-7}$ mol
 ดังนั้น จะต้องใช้ B_2O_3 น้ำหนัก $9.5983 \times 10^{-7} \times 69.6202 = 6.6824 \times 10^{-5}$ g

จากตัวอย่างข้างต้นสามารถนำไปคำนวณอัตราส่วนอะตอมสารเจือต่อคาร์บอนได้ โดยมีแนวทางการคำนวณเหมือนกัน เพียงแต่กรณี สารเจือชนิดอื่น มีขั้นตอนการคำนวณเหมือนกัน เพียงเปลี่ยน ขั้นตอนที่ 3 และ ขั้นตอนที่ 4 เป็นดังนี้

ขั้นตอนที่ 3 หามวลโมเลกุลของโบรอนใน P_2O_5 1 mol

$$P_2O_5 \text{ 1 โมเลกุลมี } 2(30.9738) + 5(15.9994) = 141.9446 \text{ g/mol}$$

$$\begin{aligned} \text{และ } P_2O_5 \text{ 1 mol มีฟอสฟอรัส} &= 2(30.9738) \\ &= 61.9476 \text{ g} \end{aligned}$$

ขั้นตอนที่ 4 หาน้ำหนักของฟอสฟอรัสที่ต้องใช้ใน C_2H_5OH 50 cm^3 เพื่อให้ได้ P:C 10,000 ppm

$$\text{โดย B:C 10,000 ppm} = \frac{1}{10^6}$$

หมายถึง คาร์บอน 10^6 g จะต้องมีโบรอน 10,000 g

$$\text{ดังนั้น คาร์บอน 20.7535 g จะมีโบรอน} = \frac{20.7535 \times 10000}{10^6} = 0.207535 \text{ g}$$

$$\text{ฟอสฟอรัส 61.9476 g อยู่ใน } P_2O_5 \text{ 1 mol}$$

$$\therefore \text{ฟอสฟอรัส 0.207535 g อยู่ใน } P_2O_5 \frac{0.207535}{61.9476} = 3.35 \times 10^{-3} \text{ mol}$$

ดังนั้น จะต้องใช้ P_2O_5 น้ำหนัก $141.9446 \times 3.35 \times 10^{-3} = 0.4755$ g

ในกรณีเพชรชนิดพี ที่ใช้เอทิลแอลกอฮอล์(C_2H_5OH) ปริมาตร 50 cm^3

$$\text{B:C 1 ppm ต้องใช้ } B_2O_3 \text{ น้ำหนัก } 6.6824 \times 10^{-5} \text{ g}$$

$$\text{B:C 100 ppm ต้องใช้ } B_2O_3 \text{ น้ำหนัก } 6.6824 \text{ mg}$$

$$\text{B:C 1000 ppm ต้องใช้ } B_2O_3 \text{ น้ำหนัก } 66.824 \text{ mg}$$

ในกรณีเพชรชนิดเอ็น ที่ใช้เอทิลแอลกอฮอล์(C_2H_5OH) ปริมาตร 50 cm^3

$$\text{P:C 500 ppm ต้องใช้ } P_2O_5 \text{ น้ำหนัก } 23.776 \text{ mg}$$

$$\text{P:C 5000 ppm ต้องใช้ } P_2O_5 \text{ น้ำหนัก } 237.764 \text{ mg}$$

$$\text{P:C 10000 ppm ต้องใช้ } P_2O_5 \text{ น้ำหนัก } 0.4755 \text{ g}$$

ภาคผนวก ก.
ตารางคุณสมบัติต่างๆของเพชร

ตารางแสดงคุณสมบัติต่างๆของเพชร

Property	Value	Units
Hardness	10,000	Kg/mm ²
Strength , tensile	> 1.2	Gpa
Strength , compressive	> 110	Gpa
Density	3.52	g/cm ³
Young's modulus	1200	GPa
Atomic density	1.77×10^{23}	Atoms/cm ³
Thermal conductivity	10 - 20	W/cm-K
Optical index of refraction (at 591 nm)	2.41	Dimensionless
Optical transmissivity range	225 to far IR	nm
Optical absorption coefficient	0.05 – 0.3	At 10 microns
Dielectric constant	5.7	Dimensionless
Dielectric strength	10,000,000	V/cm
Electron mobility	2,200	cm ² /V-sec
Hole mobility	1,600	cm ² /V-sec
Electron saturated velocity	27,000,000	cm/sec
Hole saturated velocity	10,000,000	cm/sec
Breakdown field	10^7	V/cm
Bandgap	5.45	eV
Resistivity	$10^3 - 10^{16}$	Ohm-cm

ภาคผนวก ง.
ผลงานวิจัยที่รับการตีพิมพ์เผยแพร่

		ISSN 0125-1724	วิศวกรรม
		ลาดกระบัง คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง	
LADKRABANG ENGINEERING JOURNAL			
ปีที่ 23 ฉบับที่ 1	มีนาคม 2549		
1.	Direction Sequence Construction for Offline Thai Handwriting <i>Kor Kittikorn Boontee Kruatrachue</i>		1
2.	การสังเคราะห์วัสดุประกอบคล้ายไม้จากพีวีซีกับผงหนังและเยื่อชานอ้อย <i>ไพศาล นาคพิพัฒน์ เดือนพร บุญศิริคำชัย</i>		7
3.	การออกแบบวงจรขยายป้อนกลับกระแสแรงดันต่ำ <i>มนตรี สุขเสื่อง สมปอง วิเศษพานิชกิจ กอบชัย เศษหาญ</i>		14
4.	วงจรกรองความถี่ใบบรอด OTA-C ที่โปรแกรมได้ทางดิจิทัล <i>สุวิทย์ สุภรณ์ระ มนตรี คำเงิน พิพัฒน์ พรหมมี กอบชัย เศษหาญ กฤษณ์ อ่างแก้ว จิระศักดิ์ ชาวเฉลิมธรรม</i>		20
5.	การศึกษาคุณสมบัติทางไฟฟ้าและผลตอบสนองทางแสงของฟิล์มเพชร <i>ทรงเกียรติ กิตติสนธิรักษ์ วิสุทธิ์ วิฑิตรุ่งเรือง</i>		26
6.	โฟโตไดโอดแบบรอยต่อเนื้อสารชนิดเดียวกันของฟิล์มเพชรชนิดเฮกเซนและฟิล์มเพชรชนิดพี <i>ทรงเกียรติ กิตติสนธิรักษ์ วิสุทธิ์ วิฑิตรุ่งเรือง</i>		32
7.	คอนเวอร์เตอร์พีซี-เอซี เชื่อมต่อการไฟฟ้าโดยมีการแก้ไขตัวประกอบกำลังด้วยตัวควบคุมสัญญาณดิจิทัล <i>วิวัฒน์ ชูรักษ์ วิจิตร กิณเรศ</i>		38
8.	การศึกษาการตรวจจับแท่งตัวนำโรเตอร์แตกหักในมอเตอร์เหนี่ยวนำโดยใช้โครงข่ายประสาทเทียม <i>กมล สะอาดวง เอลิมชาติ มานพ วิจิตร กิณเรศ สุรชาติ ลีรักर्मล</i>		44
9.	รถไฟฟ้าขับเคลื่อนสี่ล้อ <i>โสภณ สวัสดิ์นาควิน ประภาส ไทรสุวรรณ</i>		50
10.	การใช้วิธีควบคุมแบบฟิวส์โอเรียลเตทสำหรับควบคุมการเปลี่ยนความเร็วของเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากังหันลม <i>ยุวสิทธิ์ พัฒนาศิลป์ มณฑล ลีลาจินดาไกรฤกษ์</i>		56
11.	การวิเคราะห์การสูญเสียที่เพิ่มขึ้นของมอเตอร์เหนี่ยวนำที่เกิดจากแรงดันฮาร์มอนิกส์ที่ป้อนด้วยที่ดับปลิวเชื่อม โดยอินเวอร์เตอร์หลายระดับชนิดเซบบริดจ์ <i>ฉัตรชัย เอมสะอาด วิจิตร กิณเรศ</i>		62
12.	การวิเคราะห์ความเชื่อถือได้ของระบบไฟฟ้ากำลังโดยพิจารณาการทำงานผิดพลาดของระบบป้องกันโซน 3 <i>ไพโรจน์ เทียนทอง มณฑล ลีลาจินดาไกรฤกษ์</i>		68
13.	วงจรถูกใหม่คอสต์ฟิวส์คอนเวอร์เตอร์ที่มีการปรับปรุงแรงดันตกคร่อมระหว่างคาปาซิเตอร์ไม่สมดุล <i>จางูว์ตต์ จันทโร วิจิตร กิณเรศ</i>		74
14.	การออกแบบและวิเคราะห์สวิตช์โหมดเอซี-ดีซีคอนเวอร์เตอร์ทางด้านอินพุตสำหรับเครื่องเชื่อมไฟฟ้ากระแสตรงที่ มีการควบคุมกระแสปฐมภูมิของหม้อแปลงความถี่สูง <i>พูนศรี วรรณการ ประภาส ไทรสุวรรณ วิจิตร กิณเรศ</i>		80

การศึกษาคุณสมบัติทางไฟฟ้า และ ผลตอบสนองทางแสง ของฟิล์มเพชร

The Study of Electrical Characterization and Optical Response of Diamond Films

ทรงเกียรติ กิตติสนธิรักษ์ วัศุทธิ์ ฐิติรุ่งเรือง
ศูนย์วิจัยอิเล็กทรอนิกส์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

บทคัดย่อ

บทความนี้เป็นการนำเสนอ คุณสมบัติทางไฟฟ้า และ ผลตอบสนองทางแสงของฟิล์มเพชร ชนิด n และ p โดยวิธี CVD แบบขดลวดความร้อน ซึ่งฟิล์มเพชรชนิด n ใช้แหล่งจ่ายคือ โบรอนไดออกไซด์ (B_2O_3) โดยสร้างฟิล์มเพชร หนาประมาณ 4 μm และ เปลี่ยนแปลงอัตราส่วนของ B:C เป็น 1, 10, 100 และ 1000 ppm ส่วน ฟิล์มเพชรชนิด p ใช้แหล่งจ่ายคือ ฟอสฟอรัสเพนออกไซด์ (P_2O_5) และเปลี่ยนแปลงอัตราส่วนของ P:C เป็น 300, 700, 1000 และ 10000 ppm พบว่าเมื่อ ความเข้มข้นของสารเจือ โบรอนสูงขึ้น จะทำให้ความต้านทานมีค่าลดลง และที่ความเข้มข้นสารเจือ 10 ppm พบว่า อัตราส่วนของสภาพนำไฟฟ้าทางแสงต่อสภาพนำไฟฟ้ามืด มีค่าสูงสุด คือ 1.036 โดยผลตอบสนองทางแสงของฟิล์มเพชรอยู่ที่ความยาวคลื่นประมาณ 235 nm

Abstract

In this paper, we proposed the electrical characterization and optical response of diamond film (n-type and p-type diamond films) by hot filament chemical vapor deposition (HFCVD) method. B_2O_3 was utilized as a dopant for synthesizing p-type diamond film. In the synthesized process we varied the volumed ratio of B : C as 1, 10, 100 and 1000 ppm, in order to synthesis n-type diamond film, P_2O_5 was used and volumed ratio of P: C as 300, 700, 1000 and 10000 ppm. We found that the more increasing of boron dopant concentration, the more decreasing of n-type diamond film resistance. Moreover, at the dopant concentration of 10 ppm, we get the maximum value of ratio between σ_D and σ_{ph} which is equal to 1.036 and the optical response of diamond film has a maximum value at 235 nm wavelength .

1. บทนำ

ปัจจุบันฟิล์มเพชรเป็นที่รู้จักกันอย่างแพร่หลาย ด้วยคุณสมบัติที่ดีหลายด้านของฟิล์มเพชรที่คิดว่าจะสามารถ

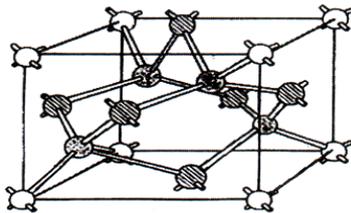
นำมาใช้กันอยู่ในปัจจุบัน อีกทั้งยังสามารถสังเคราะห์ได้ง่าย ไม่ซับซ้อน และค่าใช้จ่ายค่อนข้างต่ำ ซึ่งสามารถนำไป

ประยุกต์ใช้งานทางอิเล็กทรอนิกส์หลายด้านด้วยคุณสมบัติเด่น เช่น มีค่าช่องว่างพลังงานที่สูงถึง 5.45 eV ทำให้อุปกรณ์ที่สร้างจากฟิล์มเพชร สามารถทำงานที่ อุณหภูมิสูงได้ดีและมีเสถียรภาพกว่าเมื่อเทียบกับสารกึ่งตัวนำชนิดอื่น งานวิจัยฉบับนี้จึงนำเสนอคุณสมบัติ ทางไฟฟ้าต่างๆของฟิล์มเพชร ตลอดจนวิเคราะห์คุณสมบัติของฟิล์มเพชรเพื่อเป็นประโยชน์ในการนำฟิล์มเพชร ไปประยุกต์ใช้งานเป็นอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ต่อไป

2. หลักการ

2.1 ทฤษฎี

รูปที่ 1 แสดงลักษณะโครงสร้างของผลึกเพชร ซึ่ง มีลักษณะ โครงสร้างผลึกเป็นแบบ face center cubic (fcc) โดยอะตอมของคาร์บอนจะเกาะเกี่ยวกันด้วยพันธะแบบ sp^3 การจับตัวกันของคาร์บอนจะมีลักษณะเป็นวงแหวนหกเหลี่ยม โดยอะตอมที่อยู่ใกล้เคียงกันจะมีการเหลื่อมในตำแหน่งสูงและต่ำสลับกัน



รูปที่ 1 โครงสร้างผลึกเพชร

คุณสมบัติของฟิล์มเพชร เมื่อเปรียบเทียบกับซิลิคอนและ แกลเลียมอาร์เซไนด์ แสดงดังตารางที่ 1 ซึ่งสารทั้งสองชนิดนิยมใช้เป็นสารกึ่งตัวนำหลักในการผลิตอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ โดยสามารถสรุปข้อดีของเพชร ที่เหมาะสมในการใช้งานเป็นสารกึ่งตัวนำ ดังนี้

1. เพชร มีค่าช่องว่างพลังงานสูง จึงเหมาะสำหรับใช้งานที่ อุณหภูมิสูง ทำให้สามารถควบคุมประจุพาหะได้
2. เพชร มีค่าคงที่ไดอิเล็กทริกต่ำ ทำให้สามารถทำงานได้ดีที่ความถี่สูง
3. มีค่าสภาพคล่องของ อิเล็กตรอน และ โฮล สูง

Materials	Diamond	Si	GaAs
Crystal Structure	Diamond	Diamond	Zinc blends
Energy gap (eV)	5.45	1.1	1.43
Electron mobility ($cm^2/V.s$)	2000	1500	8500
Hole mobility ($cm^2/V.s$)	1800	600	400
Breakdown field (V/cm)	10×10^6	5×10^6	6×10^6
Resistivity ($\Omega.cm$)	10^{16}	10^3	10^0
Saturated electron velocity (cm/s)	2.7×10^7	1×10^7	1×10^7
Dielectric Constant (ϵ)	5.7	11	12.5
Lattice constant (\AA)	3.567	5.431	5.653
Thermal conductivity (W/cm.K)	20	1.5	0.46

ตารางที่ 1 แสดงการเปรียบเทียบ คุณสมบัติของฟิล์มเพชร กับ ซิลิคอน และ แกลเลียมอาร์เซไนด์ [1]

2.2 กระบวนการสร้าง

ขั้นตอนแรก ทำการเตรียมฐานรอง ซิลิคอน [2] โดยนำมาขัดด้วยครีမ်เพชรขนาด $1 \mu m$ แล้วนำแผ่นซิลิคอนที่ผ่านการขัดนี้ไปทำความสะอาดตามกระบวนการมาตรฐานของศูนย์วิจัยอิเล็กทรอนิกส์ จากนั้นทำการตั้งเครื่องฟิล์มเพชร ชนิดพี [3] และเอ็น [4] โดยใช้แหล่งจ่ายเป็นสารละลายผสมของแอลกอฮอล์ กับ โบรอน ไตรออกไซด์ ที่ 1 ppm, 10 ppm, 100 ppm และ 1000 ppm และ สารละลายผสมของแอลกอฮอล์กับฟอสฟอรัสเพนออกไซด์ 300 ppm, 700 ppm, 1000 ppm และ 10000 ppm ตามลำดับ จากนั้นนำชิ้นงานไปทำขั้วสัมผัสโดยทำการเคลือบโลหะทองคำที่บริเวณฟิล์มเพชร ตามลวดลายที่ออกแบบแล้วทำการ sintering ที่อุณหภูมิ 500 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 12 นาที หลังจากนั้น ทำการทดสอบด้วยวิธี Seebeck effect เพื่อหาชนิดของประจุพาหะส่วนมาก (โฮลและ อิเล็กตรอน) รวมทั้งวัด คุณสมบัติทางไฟฟ้า เช่น ความต้านทาน (Ω) สภาพต้านทาน(resistivity : ρ) ค่าสภาพนำไฟฟ้า (conductivity : σ) ค่าความหนาแน่นประจุโฮล (hole carrier density : p) และ ความหนาแน่นประจุอิเล็กตรอน (electron carrier density : n) ซึ่งสมการที่

ใช้ได้แก่สมการที่ 1-3 จากนั้นวัดผลตอบสนองทางแสงของฟิล์มเพชร

$$R = \rho \frac{L}{A} \dots\dots\dots(1)$$

$$p = \frac{1}{q\mu_n\rho} = N_v \exp\left(\frac{E_v - E_F}{kT}\right) \dots\dots\dots(2)$$

โดยที่

$$N_v = 2 \left[\frac{2\pi kT m_p^*}{h^2} \right]^{\frac{3}{2}}$$

$$n = \frac{1}{q\mu_p\rho} = N_C \cdot \exp\left(\frac{E_F - E_C}{kT}\right) \dots\dots\dots(3)$$

โดยที่

$$N_C = 2 \left[\frac{2\pi kT m_n^*}{h^2} \right]^{\frac{3}{2}}$$

$$\rho = \frac{1}{\sigma} \dots\dots\dots(4)$$

N_C : ความหนาแน่นสถานะยังผลขอบแถบนำไฟฟ้า (Effective density of state of the conduction band)

N_v : ความหนาแน่นสถานะยังผลขอบแถบวาเลนซ์ (Effective density of state of valence band)

m_n^* : มวลยังผลของอิเล็กตรอน มีค่า 0.290 m_0 [5]

m_p^* : มวลยังผลของ โฮล มีค่า 0.614 m_0 [6]

μ_n : สภาพคล่องของอิเล็กตรอน มีค่า 2000 $cm^2/V/s$

μ_p : สภาพคล่องของโฮล มีค่า 1800 $cm^2/V/s$

3. ผลการทดลอง

3.1 การวิเคราะห์ด้วย SEM และ Raman Spectroscopy

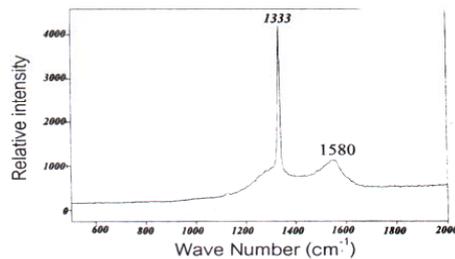
เมื่อทำการสังเคราะห์ฟิล์มเพชรเสร็จแล้ว นำมาตรวจสอบคุณสมบัติด้วย SEM และ Raman Spectroscopy ผลการตรวจสอบแสดงดังรูปที่ 2 และ 3 ตามลำดับ



EHT=5.00 kV Mag = 5.98 KX Stage at R = 359.4
WD = 13 mm Aperture Size = 30.00 μm

รูปที่ 2 ลักษณะผิวหน้าของฟิล์มเพชรที่ถ่ายด้วย SEM

จากรูปที่ 2 แสดงให้เห็นลักษณะผิวหน้าของฟิล์มเพชรที่ถ่ายด้วย SEM โดยมีลักษณะเป็นผลึกเล็กๆ เรียงชิดติดกัน โดยผลึกมีขนาดโดยเฉลี่ยประมาณ 1 μm



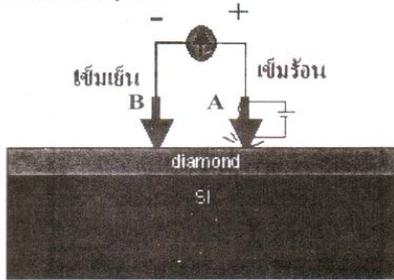
รูปที่ 3 ผลการตรวจสอบคุณสมบัติด้วย Raman Spectroscopy

สังเกตจากกราฟยอดสูงสุดของ Raman Spectrum อยู่ที่ 1333 cm^{-1} ซึ่งมีค่าใกล้เคียงกับเพชรธรรมชาติมาก (เพชรธรรมชาติ มีค่ายอด Spectrum อยู่ที่ 1332 cm^{-1} สำหรับ กราไฟต์ มีค่ายอด Spectrum อยู่ที่ 1580 cm^{-1}) ดังนั้นจึงยืนยันได้ว่าฟิล์มเพชรที่ทำการสังเคราะห์ขึ้นมีคุณสมบัติใกล้เคียงกับเพชรธรรมชาติ

3.2 การตรวจสอบด้วยวิธี Seebeck effect

การตรวจสอบด้วยวิธี Seebeck effect เป็นวิธีหนึ่งที่น่ามาใช้ในการตรวจสอบชนิดของประจุพาหะส่วนมากในสารกึ่งตัวนำ โดยอาศัยหลักการที่ว่า เมื่อ

อุณหภูมิของแท่งสารกึ่งตัวนำมีการเปลี่ยนแปลงจะทำให้เกิดการแพร่ของประจุพาหะในแท่งวัสดุขึ้น ซึ่งใช้อุปกรณ์การทดลองดังรูปที่ 4



รูปที่ 4 อุปกรณ์การหาชนิดประจุพาหะส่วนมาก

จากรูปจะเห็นว่าชุดอุปกรณ์ประกอบด้วยเข็ม 2 เล่มจัดติดบนฟิล์มเพชร โดยเข็ม A ทำหน้าที่เป็นเข็มร้อน และต่อเข้ากับขั้วบวกของกัลวานอมิเตอร์ ส่วนเข็ม B จะมีอุณหภูมิเท่ากับอุณหภูมิห้องและต่อเข้ากับขั้วลบของกัลวานอมิเตอร์

เมื่อทำการทดสอบฟิล์มเพชรชนิดพี ปรากฏว่าเข็มของกัลวานอมิเตอร์ชี้ไปทางบวกแสดงว่าประจุพาหะหลักในการนำกระแสของฟิล์มเพชรที่ทำการวัด คือ โฮล

เมื่อทำการทดสอบฟิล์มเพชรชนิดเอ็น ผลก็ตรงกันข้ามคือ เข็มของกัลวานอมิเตอร์ ชี้ไปทางด้านลบ จากผลการทดลอง จึงเป็นข้อมูลยืนยันได้ว่าฟิล์มเพชรที่ทำการสังเคราะห์ได้นั้นเป็น ชนิด พี และ เอ็น ตามลำดับ

3.3 ผลการตรวจสอบคุณสมบัติทางไฟฟ้าของฟิล์มเพชร

นำชิ้นฟิล์มเพชรชนิด พีและเอ็นที่ได้ ไปทำการวัด ค่าความต้านทาน แล้วนำค่าที่ได้ไปคำนวณ ค่าคุณสมบัติทางไฟฟ้าต่างๆ ดังสมการที่ 1 -3 ค่าที่ได้แสดงไว้ในตารางที่ 2 และ ตารางที่ 3 ตามลำดับ

B:C (ppm)	1	10	100	1000
R(Ω)	2000	1000	400	40
$\rho(\Omega cm)$	80	40	16	1.56
$\sigma(s/cm)$	0.0125	0.025	0.0625	0.64
$P(cm^{-3})$	$1.56 \cdot 10^{16}$	$3.13 \cdot 10^{16}$	$7.81 \cdot 10^{16}$	$8 \cdot 10^{16}$

ตารางที่ 2 ค่าคุณสมบัติทางไฟฟ้าต่างๆของฟิล์มเพชรชนิดพี

P:C (ppm)	300	700	1000	10000
R(kΩ)	10.44	7.71	5.34	2.08
$\rho(\Omega cm)$	23.49	17.34	12	4.678
$\sigma(s/cm)$	0.043	0.057	0.083	0.214
$N(cm^{-3})$	$1.34 \cdot 10^{14}$	$1.81 \cdot 10^{14}$	$2.63 \cdot 10^{14}$	$2.09 \cdot 10^{15}$

ตารางที่ 3 ค่าคุณสมบัติทางไฟฟ้าต่างๆของฟิล์มเพชรชนิดเอ็น

จากตารางที่ 2-3 แสดงให้เห็นว่า เมื่อความเข้มข้นอะตอมสารเจือ สูงขึ้น ความต้านทาน จะมีค่าลดลงจากนั้นนำค่าที่ได้มาคำนวณ หาค่าคุณสมบัติทางไฟฟ้าต่างๆ เช่น สภาพต้านทานไฟฟ้า ความนำไฟฟ้า และ ความหนาแน่นอะตอมสารเจือ ของทั้งฟิล์มเพชรชนิด พี และฟิล์มเพชรชนิดเอ็น ได้ จากข้อมูลข้างต้นทำให้สามารถควบคุมคุณสมบัติทางไฟฟ้า ของฟิล์มเพชร ได้

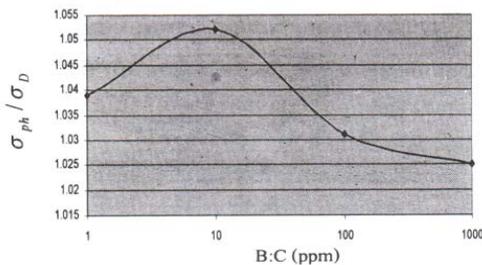
3.4 ผลการศึกษาสภาพนำไฟฟ้าทางแสงและผลตอบสนองทางแสงของฟิล์มเพชร

นำฟิล์มเพชรที่ได้จากการสร้างมา วัดสภาพต้านทานไฟฟ้า (ρ) เพื่อคำนวณสภาพนำไฟฟ้ามืด (σ_D) ได้จากสมการที่ 4 และ สภาพนำไฟฟ้าของฟิล์มเพชรขณะได้รับแสง (σ_{ph}) โดยเปลี่ยนแปลงอัตราส่วนของ B : C เป็น 1, 10, 100 และ 1000 ppm ผลการทดลอง แสดงดังตารางที่ 4

B:C (ppm)	$\rho(\Omega\text{cm})$	$\sigma_D(\text{s/cm})$	$\sigma_{ph}(\text{s/cm})$	σ_{ph}/σ_D
1	80	0.0125	0.0130	1.039
10	40	0.025	0.0263	1.052
100	16	0.0625	0.0644	1.031
1000	1.56	0.64	0.656	1.025

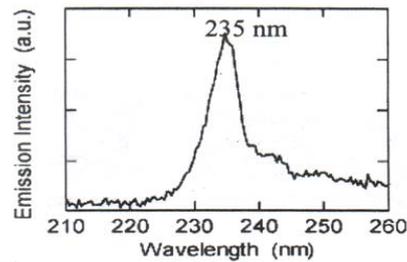
ตารางที่ 4 ผลของความเข้มข้นสารเจือโบรอนต่อสภาพนำไฟฟ้าของฟิล์มเพชร

จากตารางที่ 4 จะสังเกตว่าเมื่อ B:C เพิ่มขึ้นสภาพต้านทาน (ρ) จะลดลง และสภาพนำไฟฟ้า (σ_D) มีค่าเพิ่มขึ้นเนื่องจาก เมื่อความหนาแน่นอะตอมสารเจือสูงขึ้น จะทำให้ความต้านทานภายในเนื้อสารมีค่าลดลง ส่งผลให้ σ_D ซึ่งแปรผกผันกับ ρ มีค่าเพิ่มขึ้น โดยจะได้ว่าสภาพนำไฟฟ้า (σ_D) ของฟิล์มเพชรนั้นที่อัตราส่วน B:C ที่ 1000 ppm จะมีความนำไฟฟ้ามากที่สุด ส่วนอัตราส่วนของสภาพนำไฟฟ้าแสงต่อสภาพนำไฟฟ้า (σ_{ph}/σ_D) นั้นที่อัตราส่วนของ B:C ที่ 10 ppm มีค่า 1.052 ซึ่งมีอัตราการเปลี่ยนแปลงมากที่สุด ดังรูปที่ 5 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนของสภาพนำไฟฟ้าแสงต่อสภาพนำไฟฟ้า (σ_{ph}/σ_D) กับอัตราส่วนของ B:C



รูปที่ 5 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนของสภาพนำไฟฟ้าทางแสงต่อสภาพนำไฟฟ้ากับอัตราส่วนของ B:C

ส่วนผลการทดลองวัดผลตอบสนองต่อความยาวคลื่นแสงของฟิล์มเพชร ทำการป้อนคลื่นแสงให้กับฟิล์มเพชรด้วยเครื่อง monochrometer ผลการทดลอง แสดงดังรูปที่ 6



รูปที่ 6 การตอบสนองต่อความยาวคลื่นแสงของฟิล์มเพชร

จากรูปที่ 6 จะเห็นได้ว่าการตอบสนองต่อความยาวคลื่นแสงของฟิล์มเพชรนั้นอยู่ที่ประมาณ 235 nm ซึ่งเป็นไปตามทฤษฎีที่ว่า การที่จะกระตุ้นอิเล็กตรอนให้หลุดเป็นอิสระนั้นค่าพลังงานโฟตอนต้องมีค่ามากกว่า หรือเทียบเท่ากับ ช่องว่างพลังงานของสารกึ่งตัวนำนั้น ถ้าความยาวคลื่นแสงน้อยกว่า ค่าช่องว่างพลังงาน สารกึ่งตัวนำ นั้นจะไม่ดูดกลืนแสง ดังนั้นความยาวคลื่นแสงที่จะถูกดูดกลืนได้เป็นไปตามสมการที่ 5

$$\lambda = \frac{1240}{E_g} \dots\dots\dots (5)$$

4. สรุป

จากการทดลองพบว่า สภาพนำไฟฟ้า (σ_D) ของฟิล์มเพชรนั้นที่อัตราส่วน B:C ที่ 1000 ppm จะมีความนำไฟฟ้ามากที่สุด ส่วนอัตราส่วนของสภาพนำไฟฟ้าแสงต่อสภาพนำไฟฟ้า (σ_{ph}/σ_D) นั้นที่อัตราส่วนของ B:C ที่ 10 ppm มีค่า 1.052 ซึ่งมีอัตราการเปลี่ยนแปลงมากที่สุด แสดงให้เห็นว่าที่อัตราส่วนของ B:C 10 ppm นั้นจะให้ผลการตอบสนองดีที่สุด ส่งผลให้ส่งผลให้อัตราการเพิ่มขึ้นของสภาพนำไฟฟ้ามีค่าสูงกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับค่าอื่น

และ จากการศึกษาผลตอบสนองทางความยาวคลื่นแสงของฟิล์มเพชรพบว่า ฟิล์มเพชรตอบสนองความยาวคลื่นแสงดีที่สุดจะอยู่ในช่วง ความยาวคลื่น 235 nm ซึ่งจากผลที่ได้สามารถทราบถึงคุณสมบัติทางไฟฟ้าต่างๆ เพื่อนำไปประยุกต์ใช้เป็นอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์

5. เอกสารอ้างอิง

- [1] R. F. David. "Diamond Film and Coatings," USA : Noyes Publications, 1993.
- [2] วิจิต ทักขิณาวาริน นิรุช ปิ่นเกตุ พิระวุฒ ชินวรรังสี กอบศักดิ์ ศรีประภา และ วิสุทธิ์ ฐิติรุ่งเรือง.
"ผลการเตรียมพื้นผิวฐานรองที่มีผลต่อการนิเวศลิเอชันของฟิล์มเพชร". ประชุมวิชาการทางวิศวกรรมไฟฟ้า ครั้งที่ 21 หน้า EL034 พฤศจิกายน 2541 .
- [3] นริศ จันทร์แดง. "การสังเคราะห์สารกึ่งตัวนำเพชร" วิทยานิพนธ์ วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิศวกรรมไฟฟ้า บัณฑิตวิทยาลัย สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง 2538.
- [4] S. Bohr, R. Haubner, B. Lux. "Influence of phosphorus addition on diamond CVD," Diamond and Related Materials. Vol. 4 , pp. 133-144, 1995.
- [5] F. Nava, C. Canali, C. Jacoboni, L. Reggiani, and S. F. Kozlov, "Electron effective masses and lattice scattering in natural diamond," Solid State Comm. 33 , 475, 1980.
- [6] J. C. Hensel and G. Feher, "Cyclotron resonance experiments in uniaxially stressed silicon: Valence band inverse mass parameter and deformation potentials," Phys. Rev. 129, 1041, 1963.

 ISSN 0125-1724 วิศวกรรม ลาดกระบัง		
LADKRABANG ENGINEERING JOURNAL <small>ฉบับวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าลาดกระบัง</small>		
ปีที่ 23 ฉบับที่ 1	มีนาคม 2549	
1.	Direction Sequence Construction for Offline Thai Handwriting <i>Kor Kittikorn Boontee Kruatrachue</i>	1
2.	การสังเคราะห์วัสดุประกอบคล้ายไม้จากพีวีซีกับผงหนังและเยื่อชานอ้อย <i>ไพศาล นาคพิพัฒน์ เดือนพร บุญศิริคำชัย</i>	7
3.	การออกแบบวงจรรขยายป้อนกลับกระแสแรงดันต่ำ <i>มนตรี สุขเสียง สมปอง วิเศษพานิชกิจ กอบชัย เดชหาญ</i>	14
4.	วงจรกรองความถี่โบทวอด OTA-C ที่โปรแกรมได้ทางดิจิทัล <i>สุวัฒน์ สุภรณ์ระ มนตรี คำเงิน พิพัฒน์ พรหมมี กอบชัย เดชหาญ กฤษณ์ อ่างแก้ว จิระศักดิ์ ชาญภูมิธรรม</i>	20
5.	การศึกษาคุณสมบัติทางไฟฟ้าและผลตอบสนองทางแสงของฟิล์มเพชร <i>ทองนันทิณี วิเศษชัยสิทธิ์ วิเศษชัยสิทธิ์</i>	26
6.	โฟโตไดโอดแบบรอยต่อเนื้อสารชนิดเดียวกันของฟิล์มเพชรชนิดเฮนและฟิล์มเพชรชนิดพี <i>ทรงเกียรติ กิตติสุนธิ์วิทย์ วิเศษชัย จิตติรุ่งเรือง</i>	32
7.	คอนเวอร์เตอร์ดีซี-เอซี เชื่อมต่อการไฟฟ้าโดยมีการแก้ไขตัวประกอบกำลังด้วยตัวควบคุมสัญญาณดิจิทัล <i>วิวัฒน์ ชูวิทย์ วิจิตร กิณเรศ</i>	38
8.	การศึกษาการตรวจจับแก๊งตัวนำไรเตอร์แดกหักโมเตอร์เหนียวนำโดยใช้โครงข่ายประสาทเทียม <i>กมล สะอาดวง เอลิมชาติ มานพ วิจิตร กิณเรศ สุรชาติ ลีรักर्मผล</i>	44
9.	รถไฟฟ้าขับเคลื่อนสี่ล้อ <i>โสภณ สวัสดิ์นาควิน ประภาส ไทรสุวรรณ</i>	50
10.	การใช้วิธีควบคุมแบบฟิวส์โอเรียลเตทสำหรับควบคุมการเปลี่ยนความเร็วของเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากังหันลม <i>ยุวสิทธิ์ พัฒนาศิลา มณฑล ลีลาจินดาไกรฤกษ์</i>	56
11.	การวิเคราะห์การสูญเสียที่เพิ่มขึ้นของมอเตอร์เหนียวที่เกิดจากแรงดันฮาร์มอนิกส์ที่ป้อนด้วยพีดับบลิวเอ็ม โดยอินเวอร์เตอร์หลายระดับชนิดเซบบริดจ์ <i>ฉัตรชัย เอมสะอาด วิจิตร กิณเรศ</i>	62
12.	การวิเคราะห์ความเชื่อถือได้ของระบบไฟฟ้ากำลังโดยพิจารณาการทำงานผิดพลาดของระบบป้องกันโซน 3 <i>ไพโรจน์ เทียนทอง มณฑล ลีลาจินดาไกรฤกษ์</i>	68
13.	วงจรถักไฟใหม่ตาส์ฟบริดจ์คอนเวอร์เตอร์ที่มีการปรับปรุงแรงดันตกคร่อมระหว่างคาปาซิเตอร์ไม่สมดุล <i>จางูวิทย์ จันทโร วิจิตร กิณเรศ</i>	74
14.	การออกแบบและวิเคราะห์ผลวิหัทใหม่ดเอซี-ดีซีคอนเวอร์เตอร์ทางด้านอินพุตสำหรับเครื่องเชื่อมไฟฟ้ากระแสตรงที่ มีการควบคุมกระแสปฐมภูมิของหม้อแปลงความถี่สูง <i>พูนศรี วรรณการ ประภาส ไทรสุวรรณ วิจิตร กิณเรศ</i>	80

โฟโตไดโอดแบบรอยต่อเนื้อสารชนิดเดียวกันของฟิล์มเพชร ชนิดเอ็นและฟิล์มเพชรชนิดพี

Homojunction Photodiode Between N-type Diamond /P-type Diamond Structure

ทรงเกียรติ กิตติธนธิรักษ์ วิสุทธิ ฐิติรุ่งเรือง

ศูนย์วิจัยอิเล็กทรอนิกส์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

บทคัดย่อ

บทความนี้นำเสนอโฟโตไดโอดแบบรอยต่อเนื้อสารชนิดเดียวกันระหว่างฟิล์มเพชรชนิดเอ็นและพี โดยวิธี CVD แบบขดลวดความร้อนซึ่งทำการสร้างบนฐานรองซิลิคอน โดยเปลี่ยนแปลงอัตราส่วนของฟอสฟอรัสต่อคาร์บอน (P:C) เป็น 500, 5000, 10000 ppm ภายหลังจากการสร้างฟิล์มเพชรแล้วนำไปตรวจสอบคุณสมบัติต่างๆด้วย Scanning Electron Microscope (SEM), Raman spectroscopy แล้วนำมาวัดคุณลักษณะ กระแส-แรงดัน ซึ่งจะได้อัตราแรงดันเปิดวงจร (V_{oc}) มีค่าเท่ากับ 265 mV โดยเมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้นอัตราการลดลงของ (V_{oc}) จะต่ำกว่าโฟโตไดโอดทั่วไป ค่าของกระแสไฟฟ้าลัดวงจรมีค่าเท่ากับ 4.2 mA ซึ่งจะลดลงเมื่ออัตราส่วนของ (P:C) มีค่าลดลง โดยมีพื้นที่รับแสงประมาณ 12 mm²

Abstract

In this paper, we proposed the fabrication of homojunction (n-type and p-type diamond films) photodiode by hot filament chemical vapor deposition (HFCVD) method on silicon substrate. The properties of diamond films were verified by SEM and Raman spectroscopy. Experimentally, the electrical properties of photodiode were investigated on both of various P:C concentration ratio (500 ppm, 5000 ppm, 10000 ppm). At 12 mm² photo-active area of photodiode, the opened-circuit voltage (V_{oc}) was measured equally to 265 mV were decreased rate was lower than the conventional photodiode when temperature increased. The short-circuit current (I_{sc}) was 4.2 mA and getting lower when P:C was decreased.

1. บทนำ

อุปกรณ์สารกึ่งตัวนำที่เปลี่ยนพลังงานพลังงานแสงเป็นพลังงานไฟฟ้ามีด้วยกันหลายชนิด โฟโตไดโอดก็เป็นอีกชนิดหนึ่งโดยนิยมสร้างจากสารกึ่งตัวนำที่มี

ช่องว่างพลังงานที่ต่ำกว่า 2 eV ซึ่งเมื่อนำโฟโตไดโอดเหล่านี้ไปทำงานที่อุณหภูมิสูงจะเกิดปัญหาอย่างมากต่อแรงดันเปิดวงจร (V_{oc}) โดยจะมีค่าลดลงตามอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้นอย่างเป็นเชิงเส้น จะเห็นได้ว่าเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น

กระแสในตัวย้อนกลับ (I_s) จะมีค่าเพิ่มขึ้นแบบเอ็กซ์โพเนนเชียล ส่งผลให้แรงดันเปิดวงจร (V_{oc}) มีค่าลดลง ดังสมการที่ 2 ดังนั้นในกรณีที่ช่องว่างพลังงาน (E_g) แคบเมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้นจะมีผลอย่างมากต่อแรงดันเปิดวงจร (V_{oc})

งานวิจัยฉบับนี้จึงนำเสนอสารกึ่งตัวนำเพชรซึ่งมีค่าช่องว่างแถบพลังงานมากถึง 5.45 eV โดยค่าช่องว่างแถบพลังงานที่สูงนี้เองเป็นคุณสมบัติเด่นที่ช่วยลดผลของอุณหภูมิ โดยเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น โฟโตไดโอดยังคงทำงานได้ดี และเมื่อเปรียบเทียบกับสารกึ่งตัวนำที่มีค่าช่องว่างพลังงานน้อยกว่า พบว่าค่าแรงดันเปิดวงจร (V_{oc}) ของโฟโตไดโอดที่สร้างจากฟิล์มเพชรมีการเปลี่ยนแปลงต่ออุณหภูมิน้อยกว่า

$$I_s = Aqn_i^2 \left[\frac{1}{N_a} \left(\frac{D_e}{\tau_e} \right)^{\frac{1}{2}} + \frac{1}{N_d} \left(\frac{D_h}{\tau_h} \right)^{\frac{1}{2}} \right] \dots (1)$$

โดยที่

$$n_i^2 = 15 \times 10^{32} T^3 \cdot \exp\left(\frac{-E_G}{KT}\right)$$

$$V_{oc} = \frac{kT}{q} \ln \left[\frac{I_L - I}{I_s} \right] \dots (2)$$

I_s : กระแสในตัวย้อนกลับ

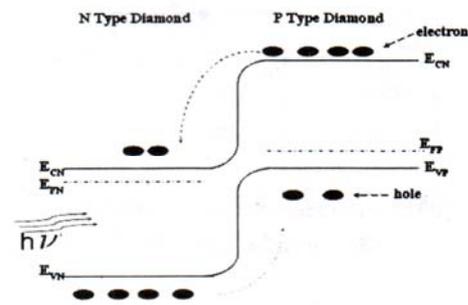
I_L : กระแสไฟฟ้าโฟโตที่เกิดจากแสง

2. หลักการ

2.1 ทฤษฎี

โฟโตไดโอดเป็นสิ่งประดิษฐ์ที่ตรวจรับแสงชนิดโฟโตอิเล็กทริกมีโครงสร้างเป็นสารกึ่งตัวนำชนิดรอยต่อพี-เอ็น เมื่อมีแสงมาตกกระทบที่รอยต่อจะทำให้เกิดกระแสไฟฟ้า โดยพลังงานโฟตอนของแสงจะไปกระตุ้นให้อิเล็กตรอนกระโดดจากแถบวาเลนซ์ขึ้นไปสู่แถบความนำ และที่แถบวาเลนซ์จะเหลือโฮลอยู่

รูปที่ 1 แสดงลักษณะแถบพลังงานของโฟโตไดโอดชนิดรอยต่อพี-เอ็น ขณะที่ได้รับแรงดันไบแอสย้อนกลับ การเกิดคู่อิเล็กตรอนและโฮลนั้นสามารถเกิดขึ้นได้ที่ชั้นพี และที่ชั้นเอ็น โดย อิเล็กตรอนที่เกิดขึ้นในแถบความนำในชั้นพีจะแพร่กระจายไปในชั้นเอ็นและอิเล็กตรอนที่เกิดขึ้นในแถบความนำในชั้นปลดพาหะจะถูกสนามไฟฟ้าพัดพาให้วิ่งสู่ชั้นเอ็น ส่วนกรณีของโฮลก็จะไหลในทิศทางที่ตรงข้ามกับอิเล็กตรอน คือจะไหลจากแถบวาเลนซ์ในชั้นเอ็นหรือชั้นปลดพาหะไปสู่ชั้นพี โดยจำนวนคู่อิเล็กตรอนและโฮลนี้จะแปรผันตรงกับจำนวนโฟตอนของแสง ที่สาร์บจำนวนโฟตอนของแสง ที่สารกึ่งตัวนำดูดกลืน



รูปที่ 1 แถบพลังงานขณะได้รับไบแอสย้อนกลับ

โดยสมการกระแสแสงของโฟโตไดโอดแสดงดังสมการที่ 3

$$I_L = -qA(L_n + w + L_p)G_L \dots (3)$$

เครื่องหมายลบในสมการ แสดงทิศทางของกระแส

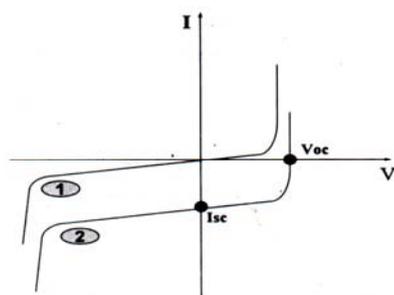
A คือ พื้นที่หน้าตัดของไดโอด

L_n และ L_p คือ ระยะการแพร่ของอิเล็กตรอนและโฮลตามลำดับ

G_L คือ อัตราการเกิดพาหะเนื่องจากแสง = $\frac{\delta n}{\tau} \text{ cm}^{-3} \text{ sec}^{-1}$

W คือ ความกว้างของบริเวณปลดพาหะ

จากที่กล่าวข้างต้นว่าโฟโตไดโอดเป็นอุปกรณ์ที่มีโครงสร้างเป็นแบบรอยต่อ พี-เอ็น เหมือนไดโอดทั่วไป ดังนั้นขณะนี้ยังไม่มีแสงส่องกระทบที่โฟโตไดโอด ลักษณะสมบัติของกระแสไฟฟ้าในสภาวะมืดจะมีรูปร่างเหมือนไดโอดที่ใช้งานทั่วไปดังแสดงดังรูปที่ 2 (เส้นหมายเลข 1) เมื่อมีแสงส่องเข้าสู่โฟโตไดโอด จะทำให้เส้นระหว่างกระแส-แรงดันเลื่อนแบบขนาน ไปสู่เส้นหมายเลข 2 ซึ่งจะได้อ่านค่า I_{sc} และ V_{oc} ดังรูปที่ 2 (เส้นหมายเลข 2)

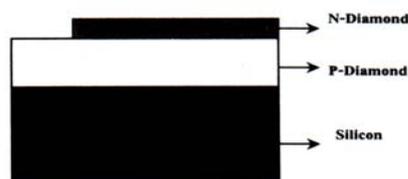


รูปที่ 2 กราฟกระแสและแรงดันของโฟโตไดโอด เส้น 1 สภาวะมืด เส้น 2 เมื่อได้รับแสง

2.2 กระบวนการสร้าง

ขั้นตอนแรก ต้องทำการเตรียมฐานรองซิลิคอน โดยนำมาขัดด้วยครีมเพชร ขนาด 1 μm แล้วนำแผ่นซิลิคอนที่ผ่านการขัดนี้ไปทำความสะอาดตามกระบวนการมาตรฐานของศูนย์วิจัยอิเล็กทรอนิกส์ [1] จากนั้นทำการสร้างฟิล์มเพชรชนิดที่ [2] และ เอ็น [3] ด้วยวิธี CVD แบบความร้อน โดยมีแหล่งจ่ายอะตอมคาร์บอน (C) และ โบรอน (B) เป็นสารละลายผสมระหว่าง เอธิลแอลกอฮอล์ (C_2H_5OH) กับ โบรอนไดรอกไซด์ (B_2O_3) ที่ความหนาแน่นอะตอมสารเจือ 1000 ppm โดยใช้เวลาในการสร้าง 2 ชั่วโมง หลังจากนั้นทำการสร้างชั้นฟิล์มเพชรชนิดเอ็น โดยมีแหล่งจ่ายเป็น สารละลายผสมระหว่าง เอธิลแอลกอฮอล์ (C_2H_5OH) กับ ฟอสฟอรัส เพนออกไซด์ (P_2O_5) ที่ความหนาแน่นอะตอมสารเจือ 500, 5000, 10000 ppm โดยใช้เวลาในการสร้าง 30 นาที โดย

โฟโตไดโอดมีโครงสร้างดัง รูปที่ 3 หลังจากนั้นนำฟิล์มเพชรไปตรวจสอบคุณสมบัติด้วย SEM และ Raman Spectroscopy ทำการทดสอบด้วยวิธี Seebeck effect เพื่อใช้หาชนิดของประจุพาหะส่วนมาก (โฮลและ อิเล็กตรอน) จากนั้นนำชิ้นงานไปทำขั้วสัมผัส โดยทำการเคลือบโลหะทองคำที่บริเวณฟิล์มเพชรชนิดเอ็นให้ได้ลวดลายตามที่ออกแบบไว้แล้วทำการ sintering ที่อุณหภูมิ 500 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 12 นาที โดยชิ้นงานที่สร้างเสร็จแล้วจะได้พื้นที่รับแสงประมาณ 12 mm^2 จากนั้นทำการวัดคุณสมบัติกระแส และ แรงดันของ โฟโตไดโอด

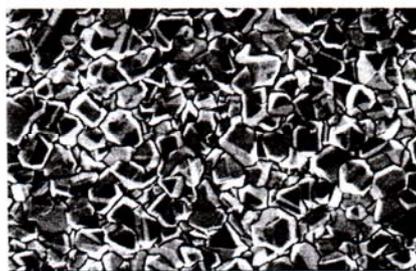


รูปที่ 3 แสดงโครงสร้างของโฟโตไดโอด

3. ผลการทดลอง

3.1 การวิเคราะห์ด้วย SEM และ Raman Spectroscopy

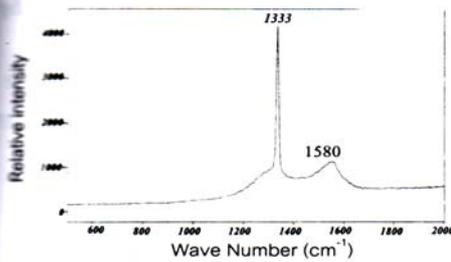
เมื่อทำการสังเคราะห์ฟิล์มเพชรเสร็จแล้ว นำมาตรวจสอบคุณสมบัติด้วย SEM และ Raman Spectroscopy ผลจากการตรวจสอบแสดงดังรูปที่ 4 และ 5 ตามลำดับ



EHT=5.00 kV Mag = 5.98 KX Stage at R = 359.4
WD = 13 mm Aperture Size = 30.00 μm

รูปที่ 4 ลักษณะผิวหน้าของฟิล์มเพชรที่ถ่ายด้วย SEM

จากรูปที่ 4 แสดงภาพถ่าย SEM ของฟิล์มเพชร เพื่อลักษณะผิวหน้าและระนาบของฟิล์มเพชรจะสังเกตเห็นว่าฟิล์มเพชรมีลักษณะเป็นผลึกเล็กๆ เรียงชิดติดกัน โดยผลึกมีขนาดประมาณ 1 μm

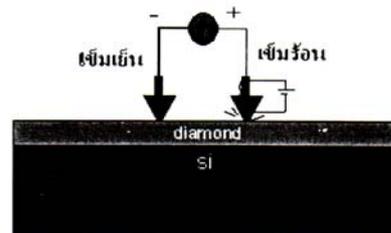


รูปที่ 5 ผลการตรวจสอบคุณสมบัติด้วย Raman Spectroscopy

สังเกตจากกราฟยอดสูงสุดของ Raman Spectrum อยู่ที่ 1333 cm^{-1} ซึ่งมีค่าใกล้เคียงกับเพชรธรรมชาติมาก(เพชรธรรมชาติ มีค่ายอด Spectrum อยู่ที่ 1332 cm^{-1} สำหรับกราฟที่มีค่ายอด Spectrum อยู่ที่ 1580 cm^{-1}) ดังนั้นจึงยืนยันได้ว่าฟิล์มเพชรที่ทำการสังเคราะห์ขึ้นมีคุณสมบัติใกล้เคียงกับเพชรธรรมชาติ

3.2 การตรวจสอบด้วยวิธี Seebeck effect

การตรวจสอบด้วยวิธี Seebeck effect เป็นวิธีหนึ่งที่นำมาใช้ในการตรวจสอบชนิดของประจุพาหะส่วนมากในสารกึ่งตัวนำ โดยอาศัยหลักการที่ว่า เมื่ออุณหภูมิของแท่งสารกึ่งตัวนำมีการเปลี่ยนแปลงจะทำให้เกิดการแพร่ของประจุพาหะในแท่งวัสดุขึ้น ซึ่งใช้อุปกรณ์การทดลองดังรูปที่ 6



รูปที่ 6 อุปกรณ์การหาชนิดประจุพาหะส่วนมาก

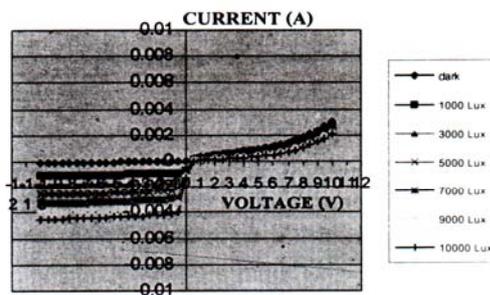
จากรูปจะเห็นว่าชุดอุปกรณ์ประกอบด้วยเข็ม 2 เล่มจัดติดบนฟิล์มเพชร โดยเข็ม A ทำหน้าที่เป็นเข็มร้อนและต่อเข้ากับขั้วบวกของกัลวานอมิเตอร์ ส่วนเข็ม B จะมีอุณหภูมิเท่ากับอุณหภูมิห้องและต่อเข้ากับขั้วลบของกัลวานอมิเตอร์

เมื่อทำการทดสอบฟิล์มเพชรชนิดนี้ ปรากฏว่าเข็มของกัลวานอมิเตอร์ชี้ไปทางบวกแสดงว่าประจุพาหะหลักในการนำกระแสของฟิล์มเพชรที่ทำการวัด คือ โฮล

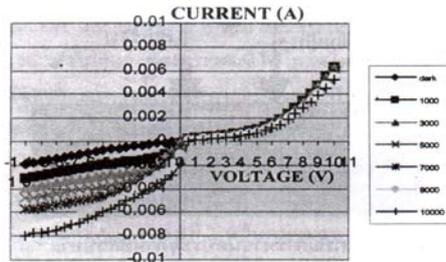
เมื่อทำการทดสอบฟิล์มเพชรชนิดอื่น ผลก็ตรงกันข้ามคือ เข็มของกัลวานอมิเตอร์ ชี้ไปทางด้านลบ จากผลการทดลอง จึงเป็นข้อมูลยืนยันได้ว่าฟิล์มเพชรที่ทำการสังเคราะห์ได้นั้นเป็น ชนิด พี และ เอ็น ตามลำดับ

3.3 ลักษณะสมบัติของกระแส และแรงดันไฟฟ้า

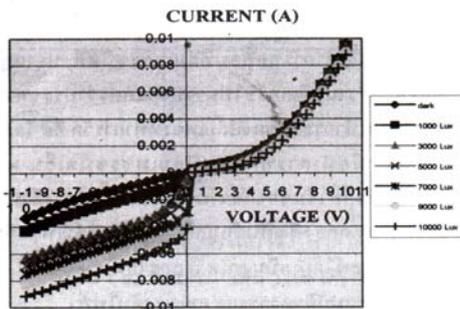
นำชิ้นงานที่ได้จากการสร้างข้างต้นซึ่งมีความหนาแน่นอะตอมสารเจือ 500, 5000, 10000 ppm ทำการฉายแสงที่มีความเข้มแสงค่าต่างๆกัน จะได้ผลการทดลองแสดงดังรูปที่ 7, 8 และ 9 ตามลำดับ



รูปที่ 7 กราฟความสัมพันธ์กระแสและแรงดันของ โฟโตไดโอดที่อัตราส่วน P:C 500



รูปที่ 8 กราฟความสัมพันธ์กระแสและแรงดันของโฟโตไดโอดที่อัตราส่วน P:C 5000



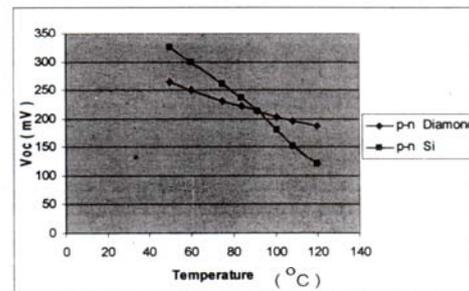
รูปที่ 9 กราฟความสัมพันธ์กระแสและแรงดันของโฟโตไดโอดที่อัตราส่วน P:C 10000

จากกราฟคุณลักษณะกระแส-แรงดันของโฟโตไดโอดทั้งหมดจะสังเกตเห็นว่า เมื่อความเข้มแสงเพิ่มมากขึ้น ปริมาณกระแสในช่วงของการไบแอสย้อนกลับนั้นจะมีค่าเพิ่มมากขึ้นอย่างเห็นได้ชัด เนื่องจากมีจำนวนโฟตอนตกกระทบที่โฟโตไดโอดมากขึ้นทำให้อิเล็กตรอน-โฮล เกิดมากขึ้นและเมื่ออัตราส่วน P:C สูงขึ้นก็จะทำให้ กระแสลัดวงจร (I_{sc}) สูงขึ้นเนื่องจากความหนาแน่นอะตอมสารเจือสูงจะทำให้ความต้านทานภายในเนื้อสารลดลง ส่งผลให้กระแสไหลได้มากขึ้นดังสมการที่ 4

$$I_{sc} = I_L - I_s \left[\exp \frac{q(I_{sc} \cdot R_s)}{kT} - 1 \right] - \frac{I_{sc} \cdot R_s}{R_{sh}} \dots(4)$$

จากสมการ I_{sc} จะขึ้นอยู่กับ I_L โดย I_L จะเพิ่มขึ้น เมื่อความหนาแน่นอะตอมสารเจือสูงขึ้น เนื่องจากความต้านทานภายในเนื้อสารลดลงทำให้กระแสไหลได้มากขึ้น ซึ่งจากการทดลองพบว่าที่อัตราส่วน P:C 10000 มีค่า I_{sc} สูงสุดคือ 4.2 mA ที่ความเข้มแสง 10000 Lux พื้นที่รับแสง 12 mm^2

3.4 ผลของอุณหภูมิที่มีต่อแรงดันเปิดวงจร (V_{oc}) ของโฟโตไดโอด



รูปที่ 10 ผลของอุณหภูมิที่มีต่อค่า V_{oc} ของโฟโตไดโอด

จากกราฟผลการทดลอง ในรูปที่ 10 จะเห็นได้ว่า เมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นค่าของ V_{oc} จะมีค่าลดลงโดยจะสังเกตเห็นว่าโฟโตไดโอดที่สร้างจากซิลิคอนเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นค่า V_{oc} จะลดลงมากกว่าโฟโตไดโอดที่สร้างจากฟิล์มเพชร ดังสมการที่ (1, 2) ข้างต้นซึ่งเป็นข้อดีของโฟโตไดโอดที่สร้างจากฟิล์มเพชรที่สามารถนำไปใช้งานที่อุณหภูมิสูงได้ดี โดยมีผลกระทบกับค่าแรงดันเปิดวงจร (V_{oc}) น้อยกว่าซิลิคอน

4. สรุป

จากการทดลองจะเห็นว่าโฟโตไดโอดที่สร้างจากฟิล์มเพชรมีการตอบสนองทางแสงที่ดี โดยมีค่า V_{oc} ประมาณ 265 mV และค่า $I_{sc} = 4.2 \text{ mA}$ ที่ความเข้มแสงปริมาณสารเจือ (P:C) 10000 โดยวัดที่ความเข้มแสง 10,000 Lux และเนื่องจากฟิล์มเพชรมีค่าช่องว่างแถบพลังงานมากถึง 5.45 eV ดังนั้นเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นค่า V_{oc}

จะเปลี่ยนแปลงน้อยมากเมื่อเปรียบเทียบกับซิลิคอน ซึ่งมีช่องว่างแถบพลังงานน้อยกว่าเนื่องจากค่าแรงดันเปิดวงจร (V_{oc}) แปรผันกับค่าช่องว่างแถบพลังงาน (E_G) ทำให้โฟโตไดโอดที่สร้างจากฟิล์มเพชรสามารถทำงานที่อุณหภูมิสูงได้ดี

5. เอกสารอ้างอิง

- [1] วิจิต ทักษิณาวาริน นิรุช ปิ่นแกตุ พิระวฒ ชินวรงค์สี กอบศักดิ์ ศรีประภา และ วิศุทธิ์ ฐิติรุ่งเรือง. "ผลการเตรียมพื้นผิวฐานรองที่มีผลต่อการนิวคลิเอชันของฟิล์มเพชร". ประชุมวิชาการทางวิศวกรรมไฟฟ้า ครั้งที่ 21 หน้า EL034 พฤศจิกายน 2541
- [2] นริศ จันทรแดง." การสังเคราะห์สารกึ่งตัวนำเพชร " วิทยานิพนธ์ วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขา วิศวกรรมไฟฟ้า บัณฑิตวิทยาลัย, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง 2538 .
- [3] S. Bohr, R. Haubner, B. Lux."Influence of phosphorus addition on diamond CVD," Diamond and Related Materials. Vol.4, pp.133-144 , 1995.

ประวัติผู้เขียน

ชื่อผู้เขียน

นาย ทรงเกียรติ กิตติสนธิรักษ์

วันเดือนปีเกิด

วันที่ 4 ตุลาคม พ.ศ.2523

สถานที่เกิด

จังหวัดกรุงเทพมหานคร

วุฒิการศึกษาระดับปริญญาตรี

วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต(วิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์)

สถานที่สำเร็จการศึกษา

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้า เจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีที่สำเร็จการศึกษา

ปีการศึกษา 2546