

การสังเคราะห์ฟิล์มเพชรและประยุกต์ใช้งานโดยวิธี **Combustion Activation CVD**  
Synthesis and Application of Diamond Film by Combustion Activation CVD



โดย  
นาย อติศักดิ์ ร่มพุดตาล  
นาย อภิรักษ์ ร่มพุดตาล

เลขหน้.....  
เลขทะเบียน..... **46263**  
วัน, เดือน, ปี **2 1 ส.ค. 2546**

.b.....  
.i.....

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต  
สาขาวิชาวิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์  
คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานปีการศึกษา 2544 นั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การสังเคราะห์ฟิล์มเพชรและประยุกต์ใช้งานโดยวิธี **Combustion Activation CVD**  
Synthesis and Application of Diamond Film by Combustion Activation CVD

โดย

นาย อติศักดิ์ ร่มพุดตาล 42515754

นาย อภิรักษ์ ร่มพุดตาล 42515757



อาจารย์ที่ปรึกษา

รศ.ดร.วิสุทธิ จูติรุ่งเรือง

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2544

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รายงานเรื่อง การสังเคราะห์ฟิล์มเพชรและประยุกต์ใช้งาน โดยวิธี Combustion Activation CVD  
Synthesis and Application of Diamond Film by Combustion Activation CVD

จัดทำโดย นายอดิศักดิ์ ร่มพุดตาล

นายอภิรักษ์ ร่มพุดตาล

อาจารย์ที่ปรึกษา รศ.ดร.วิสุทธิ์ ชูติรุ่งเรือง



รายงานฉบับนี้ได้ผ่านการตรวจสอบโดยอาจารย์ที่ปรึกษาแล้ว

ลงชื่อ

อาจารย์ที่ปรึกษา

(รศ.ดร.วิสุทธิ์ ชูติรุ่งเรือง)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษา 13 มีนาคม 2545 หน้าไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# การสังเคราะห์ฟิล์มบางเพชรและประยุกต์ใช้งานโดยวิธี Combustion Activation CVD

นายอดิศักดิ์ ร่มพุดตาล 42515754  
นายอภิรักษ์ ร่มพุดตาล 42515757  
รศ.ดร.วิสุทธิ ฐิติรุ่งเรือง อาจารย์ที่ปรึกษา  
ภาคการศึกษาที่ 2 ปีการศึกษา 2544

## บทคัดย่อ

โครงการนี้ได้กล่าวถึงการสังเคราะห์ฟิล์มเพชรด้วยกระบวนการ Combustion Activation CVD โดยอาศัยปฏิกิริยาการเผาไหม้ระหว่างก๊าซออกซิเจน ( $O_2$ ) และก๊าซอะเซทิลีน ( $C_2H_2$ ) ที่ความดันบรรยากาศซึ่งสามารถสร้างเพชรในรูปของฟิล์มบางบนฐานรองซิลิคอนเพื่อเป็นการพัฒนาอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ การเตรียมผิวหน้าของฐานรองซิลิคอนจากวิธีต่างกันจะเป็นปัจจัยสำคัญในการเกิดนิวคลีเอชัน ในกระบวนการนี้จะใช้ความแตกต่างของการเกิดนิวคลีเอชันของซิลิคอนไดออกไซด์ ผิวหน้าซิลิคอนขัดมันและพอร์ซซิลิคอน เพื่อป้องกันการและเลือกบริเวณที่สังเคราะห์ โดยผลของการสังเคราะห์จะถูกวิเคราะห์ด้วยเทคนิค Scanning Electron Microscopy (SEM) และเทคนิค Raman spectroscopy นอกจากนี้ยังได้ศึกษาการเทอร์มินเทฟิล์มเพชรด้วยก๊าซไฮโดรเจน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# Synthesis and Application of Diamond Film by Combustion Activation CVD

Adisak Romputtal 42515754

Apirak Romputtal 42515757

Assoc.Prof.Dr.WisutTitiroongruang

## ABSTRACT

In this project, the diamond films are synthesized from Combustion Activation CVD method. The Combustion Activation CVD is reacted between oxygen gas( $O_2$ ) and acetylene gas ( $C_2H_2$ ). Diamond films are fabricated on silicon substrate. Surface preparation of silicon substrates are made different method. The effect of surface preparation grow different nucleation. This process use different nucleation of silicon dioxide, Mirror-polished and porous silicon about protection is synthesized by diamond films and selection of area is synthesised by diamond film. The result of synthesis can be analyzed by Scanning Electron Microscope(SEM) and Raman Spectroscopy. Furthermore study diamond films are terminated by hydrogen gas.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## กิตติกรรมประกาศ

รายงานการสังเคราะห์ฟิล์มเพชรและประยุกต์ใช้งาน โดยวิธี Combustion Activation CVD สำเร็จลุล่วงได้เป็นอย่างดีนั้นขอขอบคุณ รศ.ดร.วิสุทธิ ฐิติรุ่งเรือง อาจารย์ที่ปรึกษา สำหรับแนวคิด การแก้ไขปัญหาที่เป็นประโยชน์อย่างสูงและที่ๆทุกคนห้องวิจัยสารกึ่งตัวนำไฟฟ้ายิ่งยวด ที่ช่วยเหลือในด้านต่างๆ

และสุดท้ายสำคัญที่สุดขอกราบขอบพระคุณบิดา มารดา ที่ให้การสนับสนุนทางการศึกษา และเป็นกำลังใจที่ดีที่สุดในทุกๆด้านมาโดยตลอดจนถึงทุกวันนี้

อดิศักดิ์ ร่มพุ่มताल

อภิรักษ์ ร่มพุ่มताल



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## คำนำ

ซิลิคอนและแกเลียมอาร์เซไนด์เป็นสารกึ่งตัวนำที่ใช้ในปัจจุบันซึ่งสารกึ่งตัวนำที่กล่าวมาก็มีข้อดีหลายประการแต่มีข้อจำกัดที่อุณหภูมิสูงจึงได้มีผู้นำเอาฟิล์มเพชรมาใช้งาน เนื่องจากคุณสมบัติที่ดีกว่าในด้านต่างๆ อาทิเช่น ช่องว่างแถบพลังงานกว้างทำให้สามารถใช้งานที่อุณหภูมิสูงและความถี่สูงได้ดี การสังเคราะห์ผลึกเพชรที่ความดันต่ำจึงเข้ามามีบทบาทต่อการสร้างอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์

รายงานฉบับนี้ได้นำเสนอการสังเคราะห์ฟิล์มเพชรและประยุกต์ใช้งานด้วยวิธี Combustion Activation CVD โดยเริ่มการศึกษาการสังเคราะห์ฟิล์มเพชร ระยะเวลาในการสังเคราะห์ที่ต่างกัน อุณหภูมิฐานรองที่ต่างกัน ตำแหน่งเปลวไฟในการสังเคราะห์ ผลการเกิดนิวคลีเอชันจากการเตรียมผิวหน้าของฐานรองซิลิคอนจากวิธีการกัดแบบเคมีไฟฟ้า และ แบบ Stain กระบวนการไฮโดรเจนเทอมีเนชัน และ อุณหภูมิที่มีผลต่อผลึกเพชร



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อ	I
Abstract	II
กิตติกรรมประกาศ	III
คำนำ	IV
สารบัญ	V
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 โครงสร้างเพชร	2
1.2 คุณสมบัติของสารกึ่งตัวนำเพชร	3
1.3 คุณสมบัติทางไฟฟ้าของเพชร	3
1.4 คุณสมบัติทางกลของเพชร	4
1.5 การประยุกต์ใช้งาน	4
บทที่ 2 ทฤษฎี	6
2.1 ลักษณะโครงสร้างของผลึก	6
2.2 หลักการของเทคนิค CVD แบบความร้อน	7
2.3 การตั้งคราห์ผลึกเพชรที่ความดันต่ำ	9
2.4 การเกิดนิวเคลียสชั้นแบบรอยต่อเนื้อสารต่างชนิดกัน	17
2.5 การเตรียมฐานรองซิงเกิลด้วยการกัดเคมี	18
2.6 หลักการตั้งคราห์ฟิล์มเพชรด้วยวิธี Combustion Activation CVD	20
2.7 การวิเคราะห์คุณสมบัติของฟิล์มเพชรด้วย Raman Spectroscopy	21
2.8 การวิเคราะห์ด้วย Scanning Electron Microscope (SEM)	23
2.9 การเทอร์มินเนทฟิล์มเพชรด้วยอะตอมไฮโดรเจน	24
2.10 กระบวนการเลือกสร้างฟิล์มเพชรเฉพาะพื้นที่และเทอร์มินเนทด้วยก๊าซไฮโดรเจน	25
บทที่ 3 กระบวนการตั้งคราห์ฟิล์มเพชร	26
3.1 การเตรียมฐานรอง	26
3.2 การเทอร์มินเนทฟิล์มเพชรด้วยอะตอมไฮโดรเจน	28
3.3 กระบวนการเลือกสร้างฟิล์มเพชรเฉพาะพื้นที่และเทอร์มินเนทด้วยก๊าซไฮโดรเจน	29
3.4 การจับชุดการทดลอง	30
3.5 การทดลอง	30
3.6 การตั้งคราห์ฟิล์มเพชร	31
3.7 ขั้นตอนการวัดด้วยวิธีเข็มร้อน	32

	หน้า
3.8 การศึกษาผลของอุณหภูมิที่มีผลต่อค่าความต้านทานของฟิล์มเพชร	29
บทที่ 4 ผลการทดลอง	34
4.1 กระบวนการสร้างฟิล์มเพชรด้วย Combustion Activation CVD	34
4.2 การวิเคราะห์ฟิล์มเพชรที่สังเคราะห์ได้	35
4.3 ผลการทดลองกระบวนการเลือกสร้างฟิล์มเพชรเฉพาะพื้นที่	37
4.4 ผลการทดลองหาคุณลักษณะกระแสกับแรงดัน	37
4.5 ผลการวัดด้วยวิธีเข็มร้อน	38
4.6 ผลของอุณหภูมิที่มีต่อผลึกเพชร	39
บทที่ 5 สรุปและวิจารณ์ผล	40
เอกสารอ้างอิง	VI



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# บทที่ 1

## บทนำ

ปัจจุบันสารกึ่งตัวนำที่ใช้ในการทำอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ที่นำมาใช้งานส่วนมาก ได้แก่ ซิลิกอนและแกลเลียมอาร์เซไนด์ ซึ่งสารกึ่งตัวนำที่กล่าวมาก็มีข้อดีหลายประการแต่มีข้อจำกัดที่อุณหภูมิสูง จึงได้มีผู้นำเอาฟิล์มเพชรมาใช้งาน

ซิลิกอนและแกลเลียมอาร์เซไนด์เป็นสารกึ่งตัวนำที่ใช้ในปัจจุบันแต่มีข้อจำกัดในการใช้งานอยู่มากเพื่อพัฒนาประสิทธิภาพอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ให้รองรับกับความต้องการในการใช้งานอย่างกว้างขวางมากขึ้นสารกึ่งตัวนำเพชรจึงเป็นสารกึ่งตัวนำชนิดใหม่ที่น่าสนใจเนื่องจากคุณสมบัติที่ดีกว่าในด้านต่างๆ อาทิเช่น ช่องว่างแถบพลังงานกว้างทำให้สามารถใช้งานที่อุณหภูมิสูงและความถี่สูงได้ดี การสังเคราะห์ผลึกเพชรจึงเข้ามามีบทบาทต่อการสร้างอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ ดังนั้นเพชรจึงได้ถูกนำไปศึกษาเพื่อที่จะนำมาใช้เป็นสารกึ่งตัวนำทางอิเล็กทรอนิกส์และเมื่อเทียบกับซิลิกอนและแกลเลียมอาร์เซไนด์ คือ

1. เพชร มีค่าความนำความร้อน (Thermal Conductivity) สูงกว่าซิลิกอนและแกลเลียมอาร์เซไนด์ ดังนั้นจึงสามารถทำงานที่อุณหภูมิสูงได้ดี
2. เพชร มีช่องว่างแถบพลังงานต้องห้าม (Energy Gap) สูงถึง  $5.5\text{eV}$  ซึ่งเมื่อเทียบกับซิลิกอนและแกลเลียมอาร์เซไนด์ เพชรเป็นโครงสร้างรูปหนึ่งของคาร์บอน ซึ่งอยู่ในธาตุหมู่ 4 สามารถนำมาใช้เป็นสารกึ่งตัวนำได้เช่นเดียวกับซิลิกอนและแกลเลียมอาร์เซไนด์
3. เนื่องจากช่องว่างแถบพลังงานที่สูงกว่ามากดังนั้นจึงเหมาะที่จะทำงานที่อุณหภูมิสูงเนื่องจากสามารถที่จะควบคุมประจุพาหะได้ โดยไม่มีผลของอุณหภูมิมาเกี่ยวข้อง
4. เพชร มีค่าความคล่องตัวของโฮล (Hole mobility) สูงและค่าคงที่ไดอิเล็กตริก (Dielectric Constant) ต่ำทำให้ทำงานที่ความถี่สูงได้ดีเปรียบเทียบกับคุณสมบัติของสารกึ่งตัวนำเพชรกับสารกึ่งตัวนำอื่นๆ

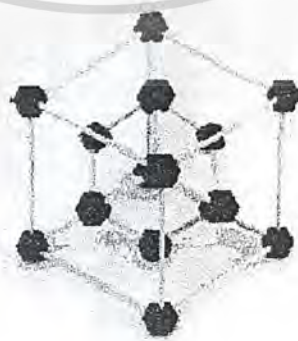
จากตารางที่ 1.1 แสดงถึงการเปรียบเทียบคุณสมบัติทางกายภาพของเพชรกับซิลิกอน และแกลเลียมอาร์เซไนด์ ซึ่งสารทั้งสองเป็นสารที่ใช้ในการผลิตในอุตสาหกรรมเป็นหลัก

ตารางที่ 1.1 เปรียบเทียบคุณสมบัติทางกายภาพของเพชร ซิลิกอนและแกลเลียมอาร์เซไนด์

Materials	Diamond	Si	GaAs
Crystal Structure	Diamond	Diamond	Zinc blends
Energy Gap (eV)	5.45	1.1	1.43
Electron Mobility ( $\text{cm}^2/\text{V.s}$ )	2000	1500	8500
Hole Mobility ( $\text{cm}^2/\text{V.S}$ )	1800	600	400
Breakdown Field (V/cm)	$10 \times 10^6$	$5 \times 10^6$	$6 \times 10^6$
Resitivity ( $\Omega.\text{cm}$ )	$10^{16}$	$10^3$	$10^9$
Saturated Electron Velocity (cm/s)	$2.7 \times 10^7$	$1 \times 10^7$	$1 \times 10^7$
Dielectric Constant ( $\epsilon$ )	5.7	11	12.5
Lattice Constant ( $\text{\AA}$ )	3.567	5.143	5.653
Thermal Conductivity (W/cm.K)	20	1.5	0.46

### 1.1 โครงสร้างเพชร

เพชรมีโครงสร้างเป็นแบบโครงข่ายทรงเหลี่ยมสี่หน้า (Tetrahedral network) ของอะตอมคาร์บอนอย่างสม่ำเสมอด้วยระยะระหว่างอะตอม  $1.545 \text{ \AA}$  โดยคาร์บอนแต่ละอะตอมนั้นจะเกาะกับอะตอมคาร์บอนอื่น 4 อะตอม เป็นโครงสร้างผลึกแบบลูกบาศก์เชื่อมต่อกันด้วยพันธะโควาเลนต์ชนิดซิกมาและมีวงโคจรอเล็กตรอนเป็นแบบ  $sp^3$  ที่แข็งแรงมาก การจัดเรียงตัวของยูนิทเซลล์ 1 ยูนิทเซลล์ประกอบไปด้วยคาร์บอน 8 อะตอม โดย  $1/8$  ของอะตอมอยู่ที่มุมทั้งหมด  $1/2$  อะตอมอยู่ที่แต่ละหน้าของยูนิทเซลล์และสุดท้ายมี 4 อะตอมฝังตัวอยู่ในยูนิทเซลล์ ดังรูปที่ 1.1 ทำให้ผลึกเพชรมีลักษณะต่างๆ ที่พิเศษกว่าธาตุอื่น ๆ



รูปที่ 1.1 แสดงลักษณะยูนิทเซลล์ของเพชร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้สำหรับครูผู้ใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 1.2. คุณสมบัติของสารกึ่งตัวนำเพชร

การศึกษาคุณสมบัติของสารกึ่งตัวนำเพชร ได้มีการแบ่งชนิดเพชรที่มีอยู่ในธรรมชาติโดยพิจารณาชนิดและปริมาณของสารเจือปนที่พบในเพชรเป็นเกณฑ์กำหนดซึ่งสามารถแบ่งได้เป็น 4 ประเภท คือ

- 1.type-Ia พบมากที่สุด ในธรรมชาติประกอบด้วยไนโตรเจนจำนวนมาก(ตั้งแต่0.3%โดยอะตอม) โดยไนโตรเจนมารวมตัวกันเป็นกลุ่มเป็นลักษณะเพชรในธรรมชาติ
- 2.type-Ib พบได้น้อยมากในธรรมชาติประมาณ 0.1% ส่วนมากพบในเพชรที่ได้มีการสังเคราะห์ขึ้นและมีความเข้มของสารเจือไนโตรเจนน้อยมากและมีการกระจายตัวอยู่อย่างสม่ำเสมอ
- 3.type-IIaพบได้น้อยมากในธรรมชาติเช่นกันดังนั้นจึงมีความเข้มสารเจือปนน้อยเช่นกัน ประกอบกับไม่มีโบรอนเจือปนจึงมีสมบัติเป็นฉนวนมาก
- 4.type-IIbพบได้ยากสุดในธรรมชาติมีจำนวนไนโตรเจนเจือปนมากกว่าจะมีจำนวนโบรอนมากกว่าไนโตรเจน ดังนั้นเป็นเพชรชนิดนี้จึงมีสมบัติเป็นสารกึ่งตัวนำ

## 1.3. คุณสมบัติทางไฟฟ้าของเพชร

พิจารณาคูสมบัติของเพชรในแง่ของสารกึ่งตัวนำเพชรในทางธรรมชาติมีค่าสัมประสิทธิ์ของHall อยู่ในช่วง 1012 ที่อุณหภูมิ 140 องศาเซลวิน ถึง 1015 ที่อุณหภูมิห้อง ค่าความคล่องตัวของHall ของเพชรในทางธรรมชาติมีค่า  $1800 \text{ cm}^2/\text{volt-sec}$  ในขณะที่อิเล็กตรอนที่ค่า  $2000 \text{ cm}^2/\text{volt-sec}$  สำหรับค่าความคล่องตัวของโฮล ที่ได้จากการสร้างเพชรที่อุณหภูมิ 500องศาเซลเซียส วัดได้  $50 \text{ cm}^2/\text{volt-sec}$  สารกึ่งตัวนำที่มีใช้ในปัจจุบันมีเพียงเยอรมันเนียม และอินเดียมแอนติโมไนด์ เท่านั้นที่มีค่าความคล่องตัวของโฮลสูงๆ ส่วนวัสดุอื่นจะมีความเร็วอ้อมตัวของโฮลต่ำ และ dielectric strength ต่ำ ที่ความแรงสนามไฟฟ้ามีค่า  $10 \text{ cm/sec}$  ความเร็ววอร์ฟได้สูงสุด  $10 \text{ cm/sec}$  และในกรณีของอิเล็กตรอนมีความเร็วสูงสุด คือ  $2.0 \times 10^7 \text{ cm/sec}$  สำหรับอิเล็กตรอนสภาพความต้านทานไฟฟ้าของเพชรในธรรมชาติมีค่าสูงถึง  $10^{16} \text{ ohm-cm}$

โบรอนเป็นสารที่ถูกนำมาใช้ในการเจือลงในเพชร โดยทำหน้าที่เป็นอะตอมสารเจือผู้รับพลังงานกระตุ้นของโบรอน จะขึ้นอยู่กับความเข้มข้นของอะตอมโบรอน ในกรณีที่ความเข้มข้นของอะตอมโบรอนที่ค่ามากๆ ทำให้พลังงานกระตุ้นที่ค่าน้อยมากเกิด Shallow Level มากขึ้น โดยทั่วไปแล้ว ความเข้มข้นของอะตอมสารเจือที่มีค่าประมาณ  $10^{18} \text{ cm}^{-3}$  มีพลังงานกระตุ้น  $370 \text{ meV}$  พิจารณาถึงไนโตรเจนและฟอสฟอรัส ที่ถูกนำมาใช้เป็นอะตอมสารเจือผู้ให้ในเพชร แต่เนื่องจากระดับพลังงานของไนโตรเจนมีค่าน้อยกว่าแถบความนำ  $1.57 \text{ eV}$  ทำให้ไม่สามารถนำมาเป็นวัสดุที่เป็นชนิดเอ็นได้ กรณีของฟอสฟอรัสมิขนาดอะตอมที่ใหญ่กว่าคาร์บอน ดังนั้นเมื่อเป็นสารเจือในเพชรทำให้ลักษณะโครงสร้างของผลึกผิดรูปไป การทดลองสังเคราะห์โดยใช้ฟอสฟอรัสมิปัญหาค่า

เกี่ยวกับการที่ไม่สามารถควบคุมความนำไฟฟ้าของฟิล์มเพชรได้ จึงยังไม่มีข้อเสนอเกี่ยวกับฟิล์มเพชรชนิดอื่นขึ้น

#### 1.4. คุณสมบัติทางกลของเพชร

โครงสร้างของเพชรเกิดจากพันธะโควาเลนต์ซึ่งมีความแข็งแรงมากเป็นผลให้เพชรมีคุณสมบัติทางกลที่พิเศษหลายอย่าง โดยเฉพาะจะมีความแข็ง molar density และ thermal conductivity มากกว่าวัสดุชนิดอื่น ๆ ในขณะที่เดียวกันเพชรก็มีความยืดหยุ่นและ bulk modulus ต่ำกว่าวัสดุชนิดอื่น อีกทั้งยังมีสัมประสิทธิ์การกระจายความร้อนที่ต่ำมาก ๆ สำหรับรายละเอียดของคุณสมบัติต่างๆ มีดังนี้

##### -ความแข็ง

วัสดุทั้งหมดในธรรมชาติเพชรเป็นวัสดุที่แข็งที่สุด โดยความแข็งนี้จะพิจารณาจากแรงกดลงบนพื้นผิววัสดุต่อพื้นที่ซึ่งเพชรมีค่าสูงถึง  $5700 - 10400 \text{ kg/mm}^2$

##### -Thermal conductivity

เพชรมีความนำความร้อนมีค่าสูงสุด โดยมี ค่า  $20 \text{ watt/cm.K}$  การลดลงขอความนำความร้อนเกิดขึ้นได้เมื่อมีโมโน โตรเจนจำนวนมากเกิดขึ้นในเพชรสำหรับฟิล์มเพชรที่เป็นผลึกรวม (Polycrystalline) ที่ได้จากการสร้างที่มีคุณภาพดี ความนำความร้อนในทิศทางการปลูกผลึกของฟิล์มมีค่าเป็น 55% ของผลึกเดี่ยว ในระนาบของการปลูกผลึก ความนำความร้อนของผลึกเดี่ยวมีค่ามากกว่า 25% แต่ส่วนใหญ่จะขึ้นอยู่กับขนาดของ

##### -Young Modulus

บริเวณทั้งหมดที่เกิดจากการผิดรูปไปเนื่องจากมีแรงมากระทำ และสามารถกลับสู่ภาวะเริ่มต้นได้ บริเวณนี้เรียกว่า บริเวณยืดหยุ่น (elastic region) จากกฎของ Hook กล่าวว่าอัตราส่วนของความเค้น (stress) ต่อความเครียดจะมีค่าประมาณคงที่ที่บริเวณดังกล่าว โดยอัตราส่วนของความเค้นที่เกิดจากการดึงต่อความเครียดในเชิงเส้นถูกเรียกว่า Young's Modulus

#### 1.5 การประยุกต์ใช้งาน

เราสามารถนำฟิล์มเพชรที่สังเคราะห์ได้ไปใช้งานด้านอื่นๆอีกหลายด้าน โดยจะพิจารณาถึงคุณสมบัติของเพชร

จากตารางที่ 1.2 แสดงถึงการนำคุณสมบัติของเพชรไปประยุกต์ใช้งานในด้านต่างๆ

ตารางที่ 1.2 การนำคุณสมบัติของเพชร ไปประยุกต์ใช้งานด้านต่างๆ

การประยุกต์ใช้งาน	คุณสมบัติของเพชร
อุปกรณ์ที่ใช้ในการขัด การเคลือบเครื่องมือและ ชั้นป้องกันการสึกกร่อน	ความแข็ง ความเหนียว และความต้านทานต่อ สารเคมี
ไดอะเฟรมลำโพงคุณภาพสูง	โมดูลัสความยืดหยุ่นสูง การขยายตัวทางความ ร้อนต่ำ
เกี่ยวกับร่างกายมนุษย์ เช่น วัสดุข้อต่อฟัน และไบโอเซนเซอร์	การเข้ากันได้ทางชีวภาพของคาร์บอน
การเคลือบป้องกันสารเคมี และเตาปฏิกรณ์ ปรมาณู	ความเฉื่อยต่อสารเคมี ความต้านทานต่อ สารเคมี
วัสดุกระจายความร้อนในอุดมคติสำหรับใช้งาน ที่อุณหภูมิสูง เช่น ภายในห้องเครื่องยนต์	สภาพนำความร้อนสูง
อุปกรณ์สารกึ่งตัวนำกำลังสูง เป็นผลให้มีขนาด การรวมของวงจรรวมที่สูง การบรรจุอุปกรณ์ที่ แน่นขึ้นโดยปราศจากปัญหาที่เกิดจากความร้อน	สภาพความคล่องตัวของโฮลที่สูง ช่องว่าง แถบพลังงานกว้าง แรงดันพังทลายสูง
โทรทัศน์สีจอแบน	กำเนิดแสงสีน้ำเงิน ซึ่งเป็นแม่สีทางแสงที่ใช้ใน การผลิตโทรทัศน์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 2

### ทฤษฎี

#### 2.1 ลักษณะโครงสร้างของผลึก

สารกึ่งตัวนำคือกลุ่มของสารที่มีความนำอยู่ระหว่างโลหะและฉนวน วัสดุสารกึ่งตัวนำที่เป็นธาตุจะประกอบด้วยอะตอมของธาตุชนิดเดียวกัน เช่น ซิลิกอนและเจอร์เมเนียม ซิลิกอนเป็นธาตุสารกึ่งตัวนำที่ใช้ในวงจรรวมและมีความสำคัญมาก ส่วนสารประกอบเช่น แกลเลียมอาร์เซไนด์ แกลเลียมอาร์เซไนด์เป็นสารกึ่งตัวนำประเภทสารประกอบที่นิยมที่สุด มีคุณสมบัติทางแสงที่ดีถูกนำมาใช้ประโยชน์เป็นอุปกรณ์ทางแสง และใช้เฉพาะทาง ยกตัวอย่างเช่น ที่ความเร็วสูง

โครงสร้างของวัสดุสารของแข็งเกิดขึ้นได้โดยการเกาะกันระหว่างอะตอมจำนวนมากมายของธาตุ แต่ละอะตอมจะเกาะเกี่ยวกันอย่างแข็งแรง ลักษณะการจัดเรียงตัวของอะตอมภายในของแข็งและรูปแบบการเกาะเกี่ยวระหว่างอะตอม จะมีผลไปถึงคุณสมบัติทางไฟฟ้าของสารของแข็งนั้น ๆ ด้วย เราอาจพิจารณาจัดแบ่งลักษณะ โครงสร้างของวัสดุสารของแข็ง ตามลักษณะการเกาะเกี่ยวและเรียงตัวของอะตอมได้เป็น 3 ประเภท คือ

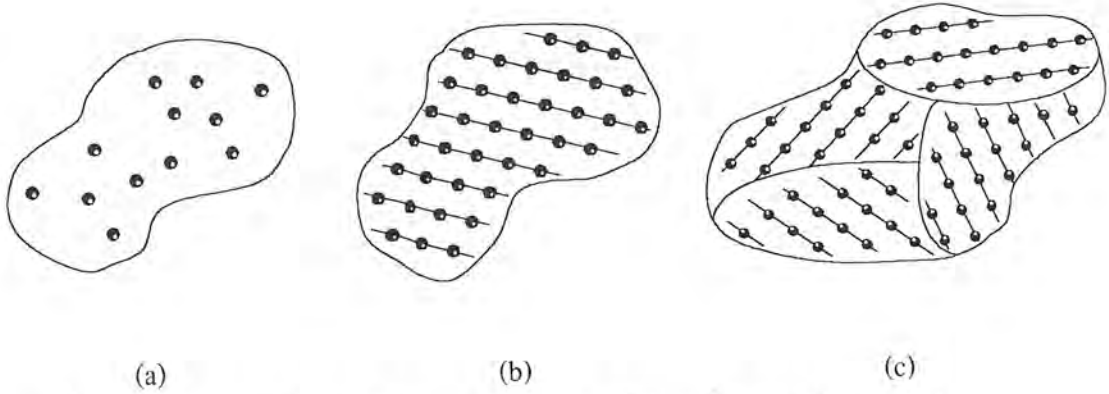
1. โครงสร้างแบบไม่เป็นผลึก (Noncrystalline) หรืออสัณฐาน หรืออมอร์ฟัส (Amorphous)
2. ผลึกรูปเดี่ยว (Single crystal)
3. ผลึกหลายรูป (Polycrystal)

อสัณฐาน หรือ อมอร์ฟัส หมายถึงลักษณะ โครงสร้างของสารของแข็งซึ่งมีการจัดเรียงของอะตอมอย่างไม่เป็นระเบียบ อะตอมต่าง ๆ จะเรียงตัวอย่างกระจัดกระจายไร้รูปแบบ และไม่มีตำแหน่งที่อยู่แน่นอน จึงทำให้วัสดุที่มีโครงสร้างเช่นนี้มีคุณสมบัติทางไฟฟ้าที่ไม่แน่นอน เปลี่ยนไปตามสภาพแวดล้อมซึ่งไม่สามารถจะควบคุมได้จึงไม่เหมาะสมจึงต้องการการพัฒนาเพื่อให้สามารถนำไปใช้เป็นวัสดุสำหรับสร้างเป็นชิ้นส่วนอิเล็กทรอนิกส์หรืออุปกรณ์สารกึ่งตัวนำได้เพราะวัสดุประเภทนี้ใช้ต้นทุนในการสร้างที่ต่ำ ตัวอย่างสิ่งประดิษฐ์จากอสัณฐาน ได้แก่ เซลล์แสงอาทิตย์ (Solar cells) ทรานซิสเตอร์ชนิดฟิล์มบางของอสัณฐานซิลิกอน เป็นต้น

ผลึกรูปเดี่ยว จะมีความเป็นระเบียบของการจัดเรียงอะตอมสูง มีข้อดีคือมีคุณสมบัติมีคุณสมบัติทางไฟฟ้าเหนือกว่าสารที่ไม่เป็นผลึกรูปเดี่ยว เนื่องจากขอบเขตเกรนมีผลทำให้คุณสมบัติทางไฟฟ้าของสารลดลง

ผลึกหลายรูป คือผลึกที่อะตอมมีการจัดเรียงตัวอย่างเป็นระเบียบหลายๆขนาด หรือมีลักษณะของผลึกแต่ไม่ต่อเนื่อง หรือมีความเป็นระเบียบน้อยแสดงดังรูปที่ 2.1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.1 แผนภาพแสดงทิศของผลึก (a) อัดจันฐาน (b) ผลึกรูปเดี่ยว (c) ผลึกหลายรูป

## 2.2 หลักการของเทคนิค CVD แบบความร้อน

ในหัวข้อนี้จะกล่าวถึงกระบวนการสังเคราะห์ด้วยเทคนิค CVD แบบความร้อนด้วยวิธีต่างๆ ซึ่งกระบวนการสร้างฟิล์มเพชรด้วยวิธีต่างๆ แม้ว่าแต่ละวิธีมีความแตกต่างกันไป อย่างไรก็ตามจะมีหลักการพื้นฐานที่สำคัญเหมือนกันดังนี้

- 2.2.1. ในระบบต้องมีอะตอมของไฮโดรเจนปรากฏอยู่
- 2.2.2. ต้องมีการกระตุ้นแก๊สที่มีอนุภาคของคาร์บอน
- 2.2.3. อุณหภูมิของฐานรองต้องมีความเหมาะสม
- 2.2.4. ต้องมีการเตรียมพื้นผิวของฐานรอง

ในกระบวนการสร้างฟิล์มเพชรนั้นจะต้องมีเงื่อนไขของทั้งสี่ข้อมิเช่นนั้นจะเป็นเงื่อนไขที่ไม่เหมาะสมทำให้ไม่เกิดเป็นฟิล์มเพชร แต่อาจจะเกิดเป็นวัสดุอื่น เช่น แกรไฟต์ อัดจันคาร์บอน หรือ Diamond-like carbon (DLC) ก็ได้ เป็นต้น โดยจะกล่าวในรายละเอียดดังนี้

### 2.2.1 ในระบบต้องมีอะตอมของไฮโดรเจนปรากฏอยู่

เนื่องจากการสังเคราะห์ด้วยเทคนิค CVD เป็นการใช้อัดจันคาร์บอนเป็นแหล่งจ่ายอะตอมคาร์บอนและก๊าซไฮโดรเจนอะตอมคาร์บอนและอนุภาคคาร์บอนจะเป็นปัจจัยในการเกิดฟิล์มเพชร ส่วนก๊าซไฮโดรเจนจะเป็นส่วนสำคัญในการกำจัดแกรไฟต์ ทั้งนี้ปริมาณของก๊าซไฮโดรเจนและอนุภาคคาร์บอนจะต้องมีความเหมาะสมจึงจะทำให้การเกิดของเพชรที่มีคุณภาพที่ดีไม่ปนเปื้อนจากแกรไฟต์ ก๊าซไฮโดรคาร์บอนในการสังเคราะห์มีหลายชนิด เช่น มีเทน อะซีโตน อีเทน อะเซทิลีน และแอลกอฮอล์ เป็นต้น ซึ่งก๊าซบางชนิดมีจำนวนก๊าซไฮโดรเจนน้อยจึงต้องผสมก๊าซไฮโดรเจนเพื่อให้ได้อัตราส่วนที่เหมาะสม เมื่อพิจารณาบทบาทของการผสมก๊าซที่ใช้มีสองชนิดคือก๊าซไฮโดรเจนและก๊าซออกซิเจน คือ

บทบาทของก๊าซไฮโดรเจน นับตั้งแต่ Angus et al. เสนอว่าอะตอมไฮโดรเจนสามารถกำจัดแกรไฟต์ออกจากเพชรได้เป็นอย่างดีอีกทั้งได้รับการนำเสนอทำนองเดียวกันจากกลุ่มนักวิทยาศาสตร์ชาวรัสเซียว่าสมดุลความหนาแน่นสูงของอะตอมไฮโดรเจนที่พื้นผิวการเกิดมีคุณสมบัติในการกำจัดแกรไฟต์ หน้าที่หลักอีกอย่างหนึ่งของไฮโดรเจนคือ ช่วยทำให้เพชรมีเสถียรภาพมากขึ้น เนื่องจากบริเวณผิวหน้าของเพชร อะตอมคาร์บอนจะมีพันธะแขวนขาด (Dangling bond) อะตอมไฮโดรเจนจะเข้าไปจับตัวกับแขนที่ขาดของอะตอมคาร์บอนเพื่อป้องกันการเปลี่ยนพันธะหรือ Machlin et al. กล่าวว่าอะตอมไฮโดรเจนช่วยในการกำจัดออกซิเจนที่บริเวณผิวหน้าของฐานรอง

บทบาทของก๊าซออกซิเจน เดิมออกซิเจนเข้าไปในก๊าซผสมระหว่างไฮโดรเจนและไฮโดรคาร์บอนได้รับการรับรองจากผู้ศึกษาการสังเคราะห์เพชรหลายกลุ่ม (Kawato et al.) กล่าวว่าทำให้เพชรที่สร้างได้มีคุณภาพดีที่อุณหภูมิฐานรองต่ำ และยังช่วยให้อัตราการเกิดดีขึ้น

บทบาทหลักๆ ของออกซิเจนคือช่วยให้เพชรที่สังเคราะห์ขึ้นมา มีคุณภาพดี เป็นที่เชื่อกันว่าเมื่อผ่านอนุพลของก๊าซออกซิเจน เช่น  $O^*$ ,  $O_2$  หรือ  $OH^*$  เข้าไปขณะสังเคราะห์เพชรจะช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการกำจัดคาร์บอนที่ไม่ใช่เพชร และยังป้องกันการเสียหายของอะตอมบริเวณพื้นผิวที่ถูกกระตุ้น

อย่างไรก็ตามออกซิเจนมีความสำคัญในการช่วยกำจัดแกรไฟต์ส่วนหน้าที่อื่นๆ ของออกซิเจนที่มีผู้ศึกษาไว้ได้แก่ Kawato et al. เสนอว่าออกซิเจนมีคุณสมบัติที่จะลดความหนาแน่นของอะเซทิลีนซึ่งถูกสันนิษฐานว่าเป็นจุดเริ่มต้นของการเกิดแกรไฟต์และคาร์บอนอัดแน่น Mucha et al. รายงานว่า ออกซิเจนยังเป็นตัวช่วยเพิ่มความเข้มข้นของอะตอมไฮโดรเจน

### 2.2.2 ต้องมีการกระตุ้นก๊าซที่มีอนุพลของคาร์บอน

เมื่ออัตราระหว่างอะตอมไฮโดรเจนและคาร์บอนมีอัตราส่วนที่เหมาะสมแล้วจะต้องมีการกระตุ้นให้ได้อะตอมคาร์บอนออกมาด้วยความร้อน พลาสมา การเหนี่ยวนำหรือCombustion ทำให้ได้อะตอมคาร์บอนออกมาโดยอัตราการก่อตัวของฟิล์มเพชรขึ้นอยู่กับความสามารถในการส่งผ่านอะตอมคาร์บอนสู่ฐานรองซึ่งส่วนมากแล้วในกระบวนการCVD Driving force ที่ใช้ส่งอะตอมคาร์บอน จะอาศัยความแตกต่างของอุณหภูมิระหว่างบริเวณที่ก๊าซเฟสถูกกระตุ้นกับพื้นผิวฐานรองหรืออาจใช้การเป่าก๊าซเฟสไปยังฐานรองรวมไปถึงการใช้สนามไฟฟ้าในการช่วยการส่งผ่าน

การสร้างเพชรด้วยกระบวนการCVDแบบความร้อนมีหลักการพื้นฐานคือต้องมีการกระตุ้นก๊าซเฟสด้วยพลังงานสถานะสูง เพื่อจุดประสงค์สองประการ คือ ประการแรกทำให้ก๊าซไฮโดรคาร์บอนแตกตัวเป็น โมเลกุล ซึ่งพร้อมจะเกิดปฏิกิริยาการก่อตัวที่พื้นผิว และประการที่สองแยกโมเลกุลไฮโดรเจนเพื่อสร้างสมดุลความหนาแน่นสูงของก๊าซเฟสของอะตอมไฮโดรเจน โดยทั่วไปแล้วรีแอกเตอร์ที่ใช้กระตุ้นมีอยู่ 4 วิธีคือ Hot filament reactors, Microwave plasma reactors, DC arcjet reactor และ Combustion reactors

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์สงวนเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แม้ว่าแต่ละระบบการสร้างความแตกต่างกันในแง่ของรูปแบบทางวิศวกรรม แต่ทั้งหมดจะมีลักษณะสำคัญพื้นฐานเหมือนกัน คือทำให้ได้ฟิล์มเพชรที่มีคุณภาพดีออกมา พลังงานจำนวนมากที่ใช้จะอยู่ในรูปของพลังงานไฟฟ้าหรือความร้อน ทำให้โมเลกุลของไฮโดรเจนและไฮโดรคาร์บอนแตกตัว การสร้างจะกระทำที่ความดันต่ำเพื่อป้องกันการรวมตัวของอะตอมของไฮโดรเจนกลับไปสู่รูปของโมเลกุลอุณหภูมิของก๊าซเฟสมีค่าสูงกว่า  $1,700^{\circ}\text{C}$  เกิดขึ้นที่บริเวณ Activation zone การระบายความร้อนทั้งแบบแอคทีฟหรือพาสซีฟเป็นตัวรักษาระดับอุณหภูมิของฐานรองให้มีค่าประมาณ  $925^{\circ}\text{C}$

อย่างไรก็ตามกระบวนการส่งผ่านจะมีความแตกต่างกันอย่างสิ้นเชิง ในรีแอคเตอร์ทั้งสี่ชนิดรีแอคเตอร์ชนิด Hotfilament และ Microwave plasma มีการแพร่เป็นส่วนสำคัญ ความเร็วหรือความหนาแน่นของ "Boundary layer" จึงมักจะพบการเปลี่ยนแปลงอย่างต่อเนื่องของอุณหภูมิ ความเร็วหรือความหนาแน่นของอนุภาคระหว่างบริเวณกระตุ้น (Hot filament หรือ Plasma ball) และพื้นผิวการเกิดในแต่ละรีแอคเตอร์ ส่วนรีแอคเตอร์ชนิด Arc jet และ Combustion เป็นชนิดที่มีความเร็วของ Boundary layer สูง (ตัวอย่างเช่น อาจสูงเกินกว่า  $10\text{ cm/s}$ ) จึงมีการพาเป็นส่วนสำคัญ ความเร็วและความหนาแน่นจะเกิดขึ้นใกล้ๆ กับพื้นผิวที่เกิด

### 2.2.3 อุณหภูมิของฐานรองต้องมีความเหมาะสม

วิธี CVD แบบความร้อนทั้งหมดที่กล่าวมา เพชรจะก่อตัวบนพื้นผิวของฐานรองที่อุณหภูมิตั้งแต่  $500^{\circ}\text{C}$  ถึง  $1,200^{\circ}\text{C}$  แล้วแต่กระบวนการที่ใช้ ถ้าหากอุณหภูมิของฐานรองมีค่าสูง หรือต่ำเกินไปจากนี้ อาจจะทำให้เกิดแกรไฟต์หรือ DLC ได้ การควบคุมอุณหภูมิฐานรองทำได้หลายกรณี เช่น การระบายความร้อนด้วยน้ำ การให้ความร้อนด้วยเครื่องกำเนิดความร้อนในกรณีที่อุณหภูมิของฐานรองมีค่าต่ำกว่าอุณหภูมิที่เหมาะสม จุดประสงค์เพื่อให้ได้อุณหภูมิที่เหมาะสมและคงที่

### 2.2.4 ต้องมีการเตรียมพื้นผิวของฐานรอง

ฟิล์มเพชรจะมีอัตราการเกิดสูงหรือต่ำขึ้นอยู่กับ การเตรียมพื้นผิวฐานรอง ซึ่งการสังเคราะห์ฟิล์มเพชรสามารถทำบนฐานรองได้หลายชนิด เช่น Si, SiC, Cu, WC เป็นต้น แต่สำหรับในที่นี้จะกล่าวถึงฐานรองชนิดซิลิกอนเพียงอย่างเดียว การเตรียมผิวฐานรองเป็นการทำเพื่อให้เกิดนิวเคลียสของเพชรให้เร็วขึ้น เช่น การขัดฐานรองด้วยคริมเพชร ซึ่งรายละเอียดจะได้กล่าวต่อไป

## 2.3 การสังเคราะห์ผลึกเพชรที่ความดันต่ำ

เพชรโดยธรรมชาติจะมีการจัดตัวภายใต้เงื่อนไขของความดันสูงและอุณหภูมิสูง ซึ่งนำไปสู่เทคโนโลยีการสังเคราะห์เพชรที่ความดันสูง แต่การสังเคราะห์เพชรด้วยความดันสูงในอดีตจำเป็นต้องใช้เครื่องมือเฉพาะ ค่าใช้จ่ายในการปฏิบัติการสูง ทั้งยังไม่สามารถนำเพชรที่ได้ไปประยุกต์ใช้ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งยังมีให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ใช้งานได้หลากหลายตามคุณสมบัติที่ตัวมันมีอยู่ แต่ก็เชื่อว่า จะไม่สามารถสังเคราะห์เพชรที่ความดันต่ำ

โดยปกติเพชรและกราไฟต์เป็นรูปแบบหนึ่งของ CARBON เหมือนกัน แต่กราไฟต์จะมีความเสถียรทางเทอร์โมไดนามิกส์มากกว่าเพชรซึ่งใช้พลังงานอิสระเพียง 0.692 kcal/mol ในการเปลี่ยน CARBON ในรูปของเพชรไปสู่กราไฟต์ แต่การสังเคราะห์เพชรที่ความดันต่ำสามารถทำได้เนื่องจากการรวมปัจจัยทางเทอร์โมไดนามิกส์ จลศาสตร์และทางเคมี โดยใช้วิธีการสังเคราะห์จากสถานะก๊าซเป็นก๊าซผสมระหว่างไฮโดรคาร์บอนกับไฮโดรเจน J.C. Angus ได้เป็นคนค้นพบว่าอะตอมไฮโดรเจนมีส่วนสำคัญในการยับยั้งการเกิดของกราไฟต์ และช่วยในการเพิ่มอัตราการเกิดของเพชรได้มาก ซึ่งกระบวนการเหล่านี้เป็นจุดเริ่มต้นในการสังเคราะห์เพชรที่ความดันต่ำด้วยวิธีการ CVD (Chemical Vapor deposition) ซึ่งกระบวนการสังเคราะห์เพชรที่ความดันต่ำด้วยวิธีการ CVD นี้สามารถสังเคราะห์เพชรเป็นฟิล์มบางได้บนวัสดุที่หลากหลาย ซึ่งเป็นการเปิดโอกาสในการนำเพชรไปประยุกต์ใช้งานได้หลากหลายมากขึ้น

การสังเคราะห์เพชรที่ความดันต่ำด้วยวิธีการ CVD มีอยู่ด้วยกันหลายวิธี แต่ละชนิดมีความแตกต่างกันในด้านของค่าใช้จ่ายของอุปกรณ์, ค่าใช้จ่ายทางการปฏิบัติการ, พื้นที่การเกิด, แหล่งจ่ายก๊าซ และอุณหภูมิของฐานรอง แต่กระบวนการเหล่านี้ได้รับการยืนยันว่าสามารถสังเคราะห์เพชรได้ กระบวนการทั้งหลายเหล่านี้สามารถแบ่งออกเป็นกลุ่มใหญ่ๆ ได้ 3 กลุ่ม คือ

2.3.1 Hot Filament Chemical Vapor deposition

2.3.2 Plasma Activation

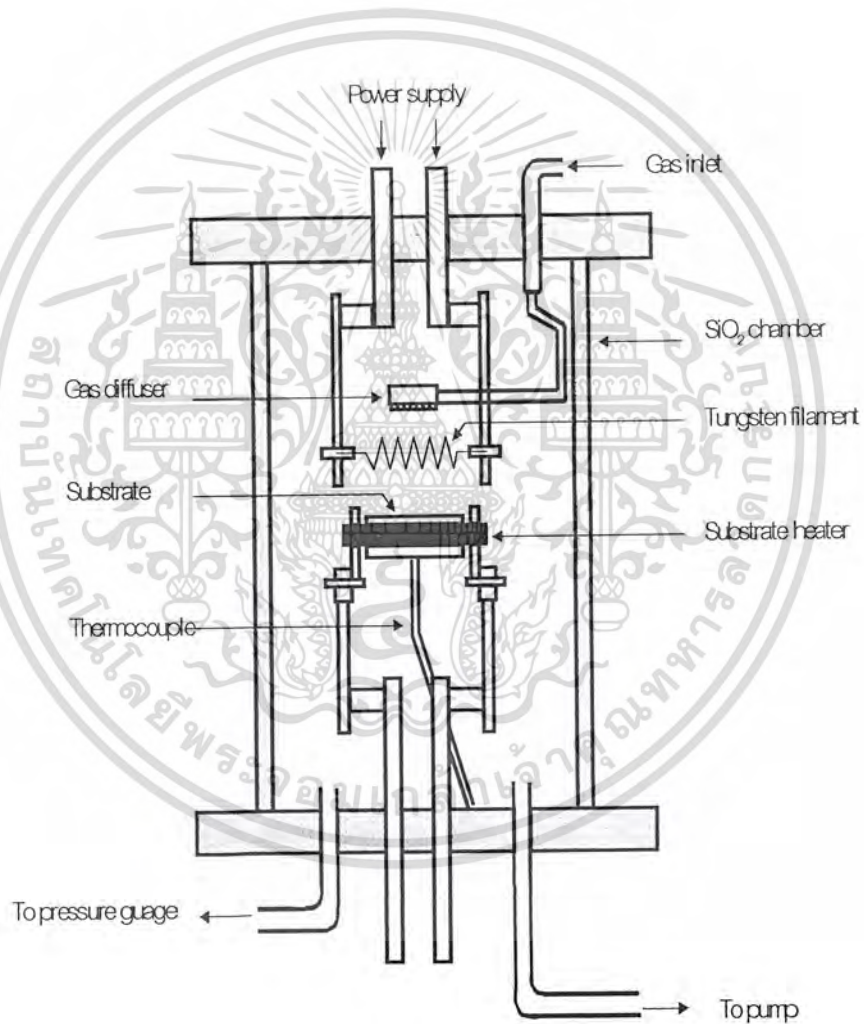
2.3.3 Combustion Activation Chemical Vapor deposition

### 2.3.1 กระบวนการ Hot Filament Chemical Vapor deposition

พบว่าอะตอมไฮโดรเจนจะเกิดขึ้นได้ง่ายมากโดยการผ่านก๊าซไฮโดรเจน ( $H_2$ ) เหนือไส้หลอดโลหะที่ไม่ติดไฟ (เช่น ทังสเตน) ที่มีความร้อนระหว่าง 1,800 ถึง 2,300 °C โดยเมื่ออะตอมของ  $H_2$  รวมเข้าไปสู่ก๊าซไฮโดรคาร์บอน จะสังเกตได้ว่าเพชรสามารถก่อตัวขึ้นได้ในขณะที่กราไฟต์ถูกยับยั้งการเกิด จากรูป 2.1 เป็นระบบ Hot Filament Chemical Vapor deposition (HFCVD) ที่ใช้ในการสังเคราะห์เพชร โดยค่าใช้จ่ายทางอุปกรณ์และค่าใช้จ่ายทางการปฏิบัติการที่ต่ำ กระบวนการ HFCVD จึงเป็นที่นิยมในทางอุตสาหกรรม รูปแบบโดยทั่วไปประกอบด้วย ระบบควบคุมแก๊สซึ่งมีการวัดการไหลของก๊าซให้คงที่ โดยก๊าซมีเทน ( $CH_4$ ) 1% ในไฮโดรเจน โดยก๊าซนี้จะไหลผ่านไส้หลอด ไส้หลอดที่ใช้จะเป็น ทังสเตน (Tungsten) โมลิบดีนัม (Molybdenum) และ เรเนียม (Rhenium) โดยไส้หลอดจะถูกติดตั้งเหนือฐานรอง โดยฐานรองจะมีอุณหภูมิประมาณ 500-1000 °C เกิดการแพร่และปฏิกิริยาที่บริเวณผิวของไส้หลอดที่นำไปสู่การก่อตัวของเพชร ฟิล์มเพชรที่ได้มี

เอกสารอัตราการผลิตประมาณ  $1-10$  (nm/hr) นอกจากนี้ยังมีการพบว่า เมื่อมีการ Bias ฐานรองกับไส้หลอดคร่ำไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จะมีส่วนช่วยในการกระตุ้นในการเติบโตของเพชรบนฐานรอง ข้อดีของกระบวนการนี้คือ เป็นวิธีที่ง่าย, ใช้ค่าใช้จ่ายทางอุปกรณ์และค่าปฏิบัติการที่น้อย, ฟิล์มเพชรที่ได้มีความสม่ำเสมอ, มีความปลอดภัยสูง แต่พบว่าข้อเสียของระบบคือ อายุการใช้งานไส้หลอดที่สั้น อันเนื่องมาจากผลของความร้อนที่ไส้หลอดได้รับเป็นผลให้ไส้หลอดมีการผิดรูปและเกิดการเปราะ ซึ่งเป็นผลจากการก่อตัวของคาร์บอนไส้หลอด



รูปที่ 2.2 แผนภาพของระบบ Hot filament CVD เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 2.3.2 Plasma Activation

ในช่วงปี 1970 นักวิทยาศาสตร์ชาวโซเวียตได้พบว่าอะตอมไฮโดรเจนสามารถเกิดขึ้นได้จากการใช้ electrical charge จาก Plasma ซึ่งอะตอมไฮโดรเจนมีส่วนสำคัญในการก่อตัวของเพชร กระบวนการ Plasma Activation ในปัจจุบันจะมีอยู่ด้วยกัน 3 กลุ่มใหญ่ๆที่ใช้งาน โดยทั่วไปคือ

1. Microwave plasma enhanced CVD
2. RF plasma enhanced CVD
3. DC plasma enhanced CVD
4. Plasma torch activation
5. Electron cyclotron resonance

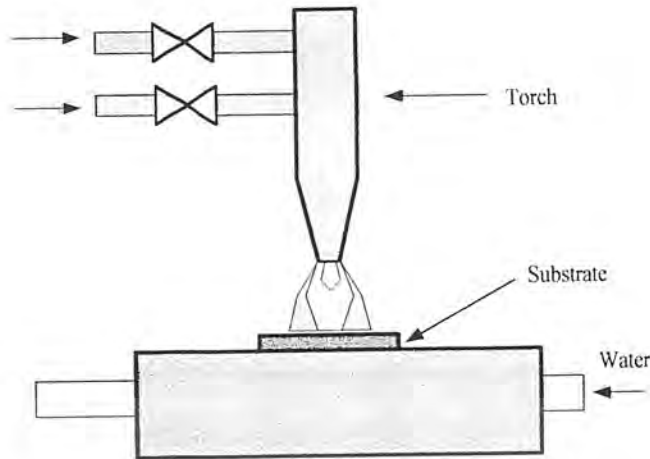
### 2.3.3 Combustion Activation CVD

กระบวนการนี้ถูกค้นพบโดย Yoichi Hirose แห่งสถาบัน NIRIM โดยการใช้เปลวไฟที่ได้จากการเผาไหม้ของออกซิเจน ( $O_2$ ) กับ อะเซทิลีน ( $C_2H_2$ ) ในช่วง 0.7 - 0.98 กระทำในบรรยากาศปกติการสังเคราะห์วิธีนี้เป็นส่วนหนึ่งของเทคนิคCVDด้วยก๊าซออกซิเจนกับไฮโดรคาร์บอนเป็น กระบวนการสังเคราะห์ภายใต้บรรยากาศการสังเคราะห์ผลึกเพชร โดยทั่วไปจะต้องมีปัจจัยสำคัญของการสังเคราะห์นี้คือ แหล่งกำเนิดคาร์บอนและอุณหภูมิที่เหมาะสมในการจัดเรียงตัวของคาร์บอนใน โครงสร้างเพชรการสังเคราะห์ด้วยวิธี Combustion activation เป็นการใช้หลักการเผาไหม้ไม่สมบูรณ์ระหว่างออกซิเจนกับอะเซทิลีนซึ่งเป็นก๊าซที่ประกอบด้วยสารประกอบด้วยสารประกอบไฮโดรคาร์บอนเงื่อนไขของการสังเคราะห์คือทำให้เหลือก๊าซไฮโดรคาร์บอนและการเผาไหม้หนึ่งทำให้เกิดความร้อนจนสามารถทำให้ก๊าซไฮโดรคาร์บอนแตกตัวออกเป็นอนุภาคคาร์บอน และก๊าซไฮโดรเจนจะเกิดการเผาไหม้ครั้งที่สองกับออกซิเจนทำให้เกิดเป็นคาร์บอนไดออกไซด์ และน้ำตามลำดับ

ก๊าซออกซิเจนและก๊าซอะเซทิลีนจะถูกควบคุมอัตราการไหลด้วย Mass Flow meter ฐานรองจะถูกหล่อเย็นด้วยน้ำเพื่อให้อุณหภูมิเหลือเพียง 700- 1050  $^{\circ}C$  ข้อดีของกระบวนการนี้คือ มีอัตราการเกิดที่สูงประมาณ 150 ( $\mu m/hr$ ). สามารถกระทำในบรรยากาศปกติโดยไม่จำเป็นต้องทำปฏิกิริยาภายใน chamber ค่าใช้จ่ายในการปฏิบัติการและอุปกรณ์ที่น้อย ไม่จำเป็นต้องใช้ไฟฟ้ามาเกี่ยวข้องในกระบวนการขณะสังเคราะห์ สามารถสร้างบนฐานรองที่เป็นส่วนโค้งได้กระบวนการนี้จึงเป็นที่น่าสนใจในปัจจุบันแต่ก็มีข้อเสียอยู่คือ จากปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นเร็วทำให้ควบคุมอุณหภูมิของฐานรองได้ยาก และยังไม่สามารถเจือสารเจือลงไปในฟิล์มเพชรได้

เมื่อทราบเงื่อนไขแล้วจึงพิจารณาก๊าซไฮโดรคาร์บอนที่ใช้ในการสังเคราะห์มีหลายชนิด เช่น อะเซทิลีน เอทิลีน อีเทน การสังเคราะห์ด้วยเทคนิคCVDจะใช้ธาตุเพียงสองชนิดคือไฮโดรเจน และคาร์บอนเท่านั้นแต่การสังเคราะห์ด้วยวิธีนี้จะใช้แตกต่างกันก็จะมี ออกซิเจนเข้ามาเกี่ยวข้องด้วย

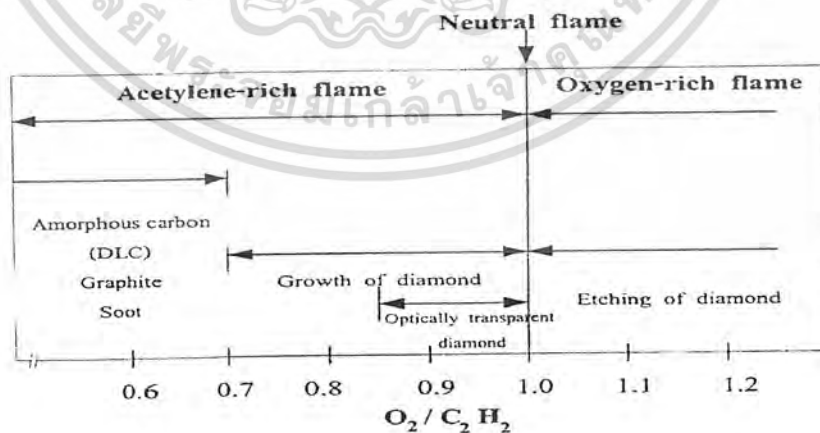
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่นำมาจากห้องสมุดของโรงเรียนเตรียมอุดมศึกษาพัฒนาการ  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.3 แสดงแผนภาพระบบ Combustion Activation CVD

เมื่อพิจารณาก๊าซไฮโดรคาร์บอนแต่ละชนิดจะมีจำนวนอะตอมคาร์บอนไม่เท่ากันจึงมีผู้ศึกษาผลของก๊าซไฮโดรคาร์บอนแต่ละชนิดต่ออัตราการเกิดซึ่งเปรียบเทียบกับก๊าซมีเทน โดยก๊าซมีเทนนี้จะได้จากการคำนวณผลที่ได้นั้นแสดงให้เห็นว่าก๊าซอะเซทีลีนมีอัตราการเกิดที่สูงกว่าก๊าซชนิดอื่นๆ

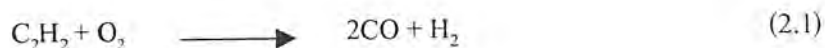
ก๊าซอะเซทีลีนนั้นใช้เป็นเชื้อเพลิงที่ให้ความร้อนสูงสามารถจุดไฟได้ ซึ่งมีผู้ทำการศึกษา คือ Hirose et al. ได้ทำการเสนอกระบวนการสังเคราะห์จากวิธี Combustion activation จากการศึกษาพบว่าเกิดเป็นผลึกเพชรขึ้นเมื่อใช้อัตราส่วนของออกซิเจนกับอะเซทีลีนระหว่าง 0.70-1.0 ในสังเคราะห์แสดงดังรูปที่ 2.4 ที่อัตราส่วนโดยปริมาตรต่ำกว่า 0.70 จะเกิดเป็นอสัณฐาน DLC หรือ เชม่า และอัตราส่วนโดยปริมาตรมากกว่า 1 จะไม่เกิดเพชร



รูปที่ 2.4 อัตราส่วน โดยประมาณของก๊าซออกซิเจนกับอะเซทีลีน

เมื่อศึกษาอัตราส่วน โดยปริมาตรของก๊าซออกซิเจนและอะเซทีลีนที่หัวเชื่อมทองเหลืองเกิด

เอกสารนี้เป็นการเผยแพร่ใหม่ตามสมควรแก่ใหม่ดังนั้น เพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



จากสมการ (2.1) พบว่าอัตราส่วนโดยปริมาตรของก๊าซออกซิเจนต่ออะเซทิลีนเป็นเท่ากับ 1 จะเกิดการเผาไหม้สมบูรณ์ เมื่อทำการศึกษาอัตราส่วน โดยปริมาตรของก๊าซเพื่อดูลักษณะของเปลวที่เหมาะสมในการทดลอง เมื่อปรับอัตราส่วน โดยปริมาตรของก๊าซเล็กน้อยเปลวไฟของก๊าซจะเป็นดังนี้คือ

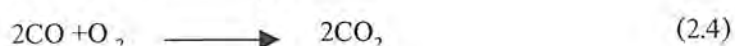
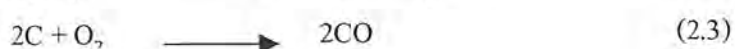
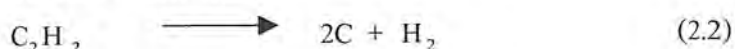
### 2.3.3.1. อัตราส่วนโดยปริมาตรของก๊าซออกซิเจนต่ออะเซทิลีนระหว่าง 0.70-0.98

เมื่อปรับอัตราส่วน โดยปริมาตรของก๊าซออกซิเจนต่ออะเซทิลีนระหว่าง 0.70-0.98 จะพบว่าเปลวไฟของก๊าซจากหัวเชื่อมทองเหลืองจะปรากฏเปลวแบ่งออกเป็น 3 ชั้นคือ เปลวไฟชั้นนอก กลาง และ ใน ดังรูปที่ 2.5



รูปที่ 2.5 แผนภาพเปลวไฟที่อัตราส่วน โดยปริมาตรของก๊าซออกซิเจนต่ออะเซทิลีน 0.70-0.98

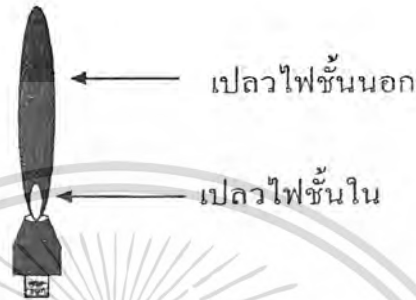
จากรูปที่ 2.5 เปลวไฟชั้นในเป็นการเผาไหม้ระหว่างก๊าซออกซิเจนและอะเซทิลีนในอัตราส่วน 1:1 ตามสมการ (2.1) จะได้ก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ และก๊าซไฮโดรเจน ซึ่งเป็นบริเวณที่อุณหภูมิสูงประมาณ  $3,000^{\circ}\text{C}$  ส่วนของเปลวชั้นกลางก๊าซอะเซทิลีนที่เหลืออยู่จะแพร่ออกไปจากเปลวชั้นในและเกิดการแตกตัวเป็นอะตอมคาร์บอนและก๊าซไฮโดรเจนตามสมการ (2.2) และคาร์บอนจะเผาไหม้กับออกซิเจนภายนอกเกิดเป็นก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ตามสมการที่(2.3)ในขณะที่เปลวไฟชั้นนอกจะเกิดการเผาไหม้ของคาร์บอนมอนอกไซด์กับก๊าซออกซิเจนจากบรรยากาศภายนอกได้เป็นก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ตามสมการ(2.4)รวมทั้งก๊าซไฮโดรเจนเกิดการเผาไหม้กับก๊าซออกซิเจนภายนอกเช่นกันได้เป็นน้ำตามสมการ (2.5)



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาค้นคว้า ไม่วงผูกมัดให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านธุรกิจ ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 2.3.3.2 อัตราส่วนโดยปริมาตรของก๊าซออกซิเจนต่ออะเซทิลีนเท่ากับ 1

เมื่อปรับอัตราส่วน โดยปริมาตรดังกล่าวพบว่าเปลวไฟของก๊าซจากหัวเชื่อมทองเหลืองจะปรากฏเปลวไฟแบ่งออกเป็น 2 ชั้นดังรูปที่ 2.6

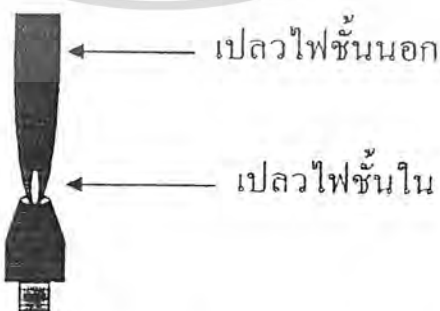


รูปที่ 2.6 แผนภาพเปลวไฟที่อัตราส่วน โดยปริมาตรของก๊าซออกซิเจนต่ออะเซทิลีนเท่ากับ 1

เปลวไฟชั้นใน เป็นการเผาไหม้ระหว่างก๊าซออกซิเจนและอะเซทิลีนในอัตราส่วน 1:1 ตามสมการ(2.1) โดยเปลวไฟนั้นมีอุณหภูมิสูงกว่าเปลวไฟชั้นในของอัตราส่วน โดยปริมาตร 0.7- 0.98 ส่วนของเปลวไฟชั้นนอกเกิดการเผาไหม้สมบูรณ์ตามสมการ (2.4) และ (2.5)

### 2.3.3.3 อัตราส่วนโดยปริมาตรของก๊าซออกซิเจนต่ออะเซทิลีนมากกว่า 1

เมื่อปรับอัตราส่วน โดยปริมาตรดังกล่าวพบว่าเปลวไฟของก๊าซจากหัวเชื่อมทองเหลืองจะปรากฏเปลวไฟแบ่งออกเป็น 2 ชั้น โดยที่รัศมีเปลวไฟชั้นในจะสั้นกว่ารัศมีของเปลวไฟชั้นนอกประมาณ 1/5 เท่า

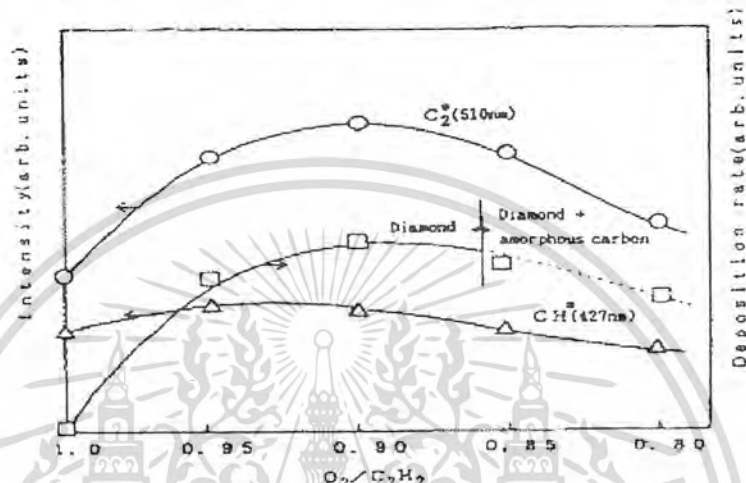


รูปที่ 2.7 แผนภาพเปลวไฟที่อัตราส่วน โดยปริมาตรของก๊าซออกซิเจนต่ออะเซทิลีนมากกว่า 1

ส่วนของเปลวไฟชั้นในเป็นการเผาไหม้ระหว่างก๊าซออกซิเจนและอะเซทิลีนในอัตราส่วน 1:1

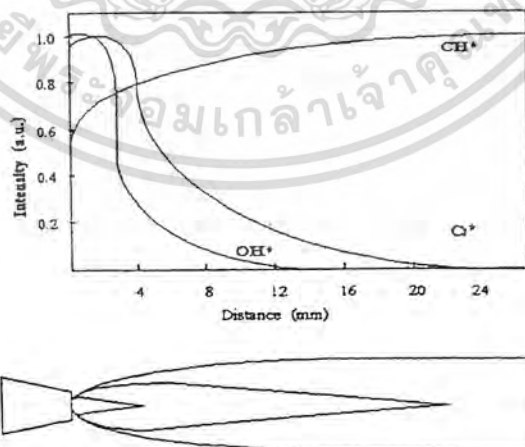
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่จัดทำขึ้นเพื่อใช้ในการศึกษาวิจัยเท่านั้น ไม่สามารถนำออกจำหน่ายหรือทำซ้ำโดยไม่ได้รับอนุญาต  
ส่วนหนึ่งของเปลวไฟชั้นนอกเกิดการเผาไหม้ไม่สมบูรณ์ระหว่างอะเซทิลีนกับออกซิเจนภายนอกเล็กน้อย  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จาแรงดันก๊าซที่หัวของเปลว การเผาไหม้ในบริเวณนี้มี คาร์บอน คาร์บอนไดออกไซด์ และ คาร์บอนมอนอกไซด์ ทั้งหมดนี้คือปัจจัยสำคัญของการเรียงตัวของคาร์บอนในโครงสร้างเพชรเมื่อ พิจารณาที่เปลวไฟชั้นกลางพบว่ามีจำนวนของก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ซึ่งมีความสำคัญมากในการ เกิดเป็นฟิล์มเพชรเมื่อพิจารณาอัตราการเกิดและปริมาณของ  $C_2^*$  และ  $CH^*$  จะพบว่าอัตราการเกิด เพชรจะมีค่าสูงสุดเมื่อ  $C_2^*$  มีค่าสูงสุดเช่นกันแสดงดังรูปที่ 2.8



รูปที่ 2.8 แผนภาพอัตราการเกิดเพชรที่ปริมาณสารต่างๆ

ฉะนั้นเมื่อจำนวน  $C_2^*$  มากขึ้นด้วย ในขณะที่ตำแหน่งของเปลวไฟต่างๆจะมีประมาณของ  $C_2^*$ ,  $CH^*$  และ  $OH^*$  แสดงดังรูปที่ 2.9



รูปที่ 2.9 แผนภาพการกระจายของอนุภาคต่างๆในเปลวไฟ

สิ่งที่ต้องคำนึงถึงคืออุณหภูมิฐานรองที่เหมาะสมอุณหภูมิของฐานรองนี้เป็นผลจากการเผาไหม้ของเปลวไฟดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 2.4 การเกิดนิวเคลียสแบบรอยต่อเนื้อสารต่างชนิดกัน

การเกิดฟิล์มเพชรบนฐานรองที่ไม่ใช่เพชร สถานะเริ่มต้นของการเกิดนิวเคลียสจะช้ามาก อีกทั้งค่าความหนาแน่นในการนิวเคลียสยังต่ำ แต่ปัญหาดังกล่าวสามารถแก้ไขได้โดย การเตรียมพื้นผิวฐานรองให้มีความเหมาะสม เพื่อเร่งอัตราการนิวเคลียสและความหนาแน่น ของการนิวเคลียสให้มีค่าเพิ่มขึ้น โดยทั่วไปแล้วการเกิดฟิล์มเพชรชนิดผลึกกระนาบรวม (Polycrystalline diamond) จะแบ่งได้เป็น 5 ขั้นตอนย่อยๆ ดังนี้คือ

1. มีช่วงเวลาที่ใช้ในการก่อตัวระยะหนึ่งซึ่งช่วงเวลานี้จะเกิดการแพร่ของอะตอมคาร์บอนเข้าไปในฐานรอง ทำให้เกิดชั้น Intermediate layer ขึ้น
2. เกิดการนิวเคลียสของผลึกเดี่ยวๆ บนพื้นผิวฐานรอง
3. เมื่อเวลาเพิ่มขึ้นและผลึกเดี่ยวๆ มีความหนาแน่นมากขึ้น การนิวเคลียสของฐานรองจะสิ้นสุดลงและเริ่มเกิดผลึกเพชร
4. มีการเชื่อมต่อกันระหว่างผลึกเพชรเดี่ยวๆ กับผลึกเพชรข้างเคียง
5. เกิดการจับตัวเป็นฟิล์มเพชรอย่างต่อเนื่อง

การเกิดชั้น Intermediate layer เป็นจุดเริ่มต้นของการเกิดเพชรตาม นอกจากขึ้นอยู่กับวัสดุที่นำมาเป็นฐานรอง วิธีเตรียมฐานรองและเงื่อนไขการสร้างแล้ว กระบวนการนิวเคลียสสามารถอธิบายได้จากปริมาณสองค่า คือ

1. ค่าความหนาแน่นของการนิวเคลียสที่บริเวณพื้นผิว (Nucleation density,  $N_d$ ),  $\text{cm}^{-2}$
2. อัตราการนิวเคลียสที่บริเวณพื้นผิว (Nucleation rate,  $N_r$ ),  $\text{cm}^{-2} \text{h}^{-1}$

ความหนาแน่นของการนิวเคลียสคือจำนวนของการเกิดนิวเคลียสต่อหนึ่งหน่วยพื้นที่ และอัตราการนิวเคลียสคือจำนวนของนิวเคลียสที่เกิดต่อหนึ่งหน่วยพื้นที่ต่อหนึ่งหน่วยเวลานั้นเอง โดยค่าความหนาแน่นขึ้นอยู่กับจำนวนของตำแหน่งที่เหมาะสมกับการกระตุ้นให้เกิดนิวเคลียส ดังนั้นการนิวเคลียสบนฐานรองจะสิ้นสุดลง เมื่อตำแหน่งที่เหมาะสมถูกยึดครอง หรือผลึกที่เกิดขึ้นคลุมบริเวณผิวเหนือฐานรองโดยสมบูรณ์ ความหนาแน่นการนิวเคลียสยังเป็นตัวกำหนดความหนา ขนาดของผลึก การเชื่อมต่อนระหว่างผลึกเพชร การยึดเกาะกับฐานรอง ผิวหน้า และความสม่ำเสมอของฟิล์มที่ได้ โดยทั่วไปแล้วถ้าความหนาแน่นของการนิวเคลียสมีค่าจะสูงทำให้ผิวหน้าของฟิล์มที่ได้มีความเรียบ

1. อัตราการนิวเคลียสของเพชรบนฐานรอง ที่ไม่ใช่เพชรมีค่าตั้งแต่  $10^3$  ถึง  $10^8 \text{ cm}^{-2} \text{h}^{-1}$  โดยค่าดังกล่าวจะขึ้นกับวิธีการเตรียมพื้นผิวฐานรองและเงื่อนไขในการสร้าง
2. การนิวเคลียสของผลึกเพชรจะเกิดบนฐานรองที่มีจุดบกพร่อง (เช่น รอยขีด) แสดงว่าการนิวเคลียสของเพชรเกิดขึ้นโดยมีกลไกแบบรอยต่อเนื้อสารต่างชนิดกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. อัตราการนิวคลีเอชันของเพชรบนฐานรองชนิดผลึกเดี่ยวมีค่าน้อยกว่าอัตราการนิวคลีเอชันบนฐานรองชนิดผลึกรวมภายใต้เงื่อนไขการเตรียมฐานรองและเนื้อสารของฐานรองเหมือนกัน
4. อัตราการนิวคลีเอชันของเพชรบนฐานรองที่เกิดคาร์ไบด์ (Si, Mo, W) จะมีกำลังมากกว่า 1 หรือ 2 ค่าของอัตราการเกิดบนฐานรองที่ไม่เกิดคาร์ไบด์ (Cu, Au)
5. อัตราการนิวคลีเอชันบนฐานรองที่ไม่ใช่เพชรมีค่าลดลงเมื่อฐานรองถูกปกคลุมและขนาดของผลึกมีค่าเพิ่มขึ้น

การเตรียมพื้นผิวของฐานรองมีส่วนสนับสนุนอย่างมากในการเพิ่มค่าความหนาแน่นและอัตราการนิวคลีเอชันให้สูงขึ้น จากการทดลองศึกษาถึงผลจากการนิวคลีเอชันของเพชรบนฐานรองที่ไม่ใช่เพชรด้วยวิธีการเตรียมพื้นผิวฐานรองต่างๆ กัน พบว่าความหนาแน่นของการนิวคลีเอชันมีค่าตั้งแต่  $10^5 \text{ cm}^{-2}$  (บนฐานรองที่ไม่มีการเตรียมพื้นผิว) จนถึง  $10^{11} \text{ cm}^{-2}$  (บนฐานรองที่เตรียมพื้นผิวด้วยการขัด) ซึ่งผลของการนิวคลีเอชันบนพื้นผิวดังกล่าวน่าสนใจเพื่อเป็นแนวทางสำหรับการเลือกใช้วิธีการต่างๆ ในการเตรียมพื้นผิวดังตารางที่ 2.1

ตารางที่ 2.1 แสดงการเปรียบเทียบค่าความหนาแน่นการนิวคลีเอชันของเพชรจากการเตรียมพื้นผิวฐานรองด้วยวิธีต่างๆ

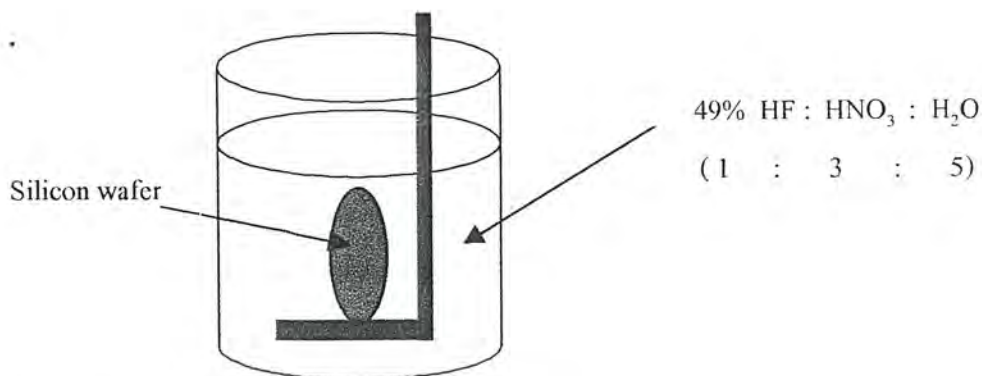
Pretreatment method	Nucleation density ( $\text{cm}^{-2}$ )
No pretreatment	$10^3$ - $10^5$
Scratching	$10^6$ - $10^{10}$
Ultrasonic scratching	$10^7$ - $10^{11}$
Seeding	$10^6$ - $10^{10}$
Covering / Coating with Graphite film	$10^6$
a-C film	$>10^9$

## 2.5 การเตรียมฐานรองซิลิกอนด้วยการกัดเคมี

### - การกัดแบบ Stain

เป็นการกัดซิลิกอนที่มีการกัดแบบทั่วทั้งแผ่น โดยมีส่วนประกอบของสารละลาย (49%HF :  $\text{HNO}_3$  :  $\text{H}_2\text{O}$ ) ในอัตราส่วน (1 : 3 : 5) การกัดจะไม่สามารถควบคุมพื้นที่หรือความสม่ำเสมอได้โดยมีการกัดดังรูปที่ 2.10

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.10 การเตรียมผิวหน้าด้วยเทคนิคการกัดแบบ Stain

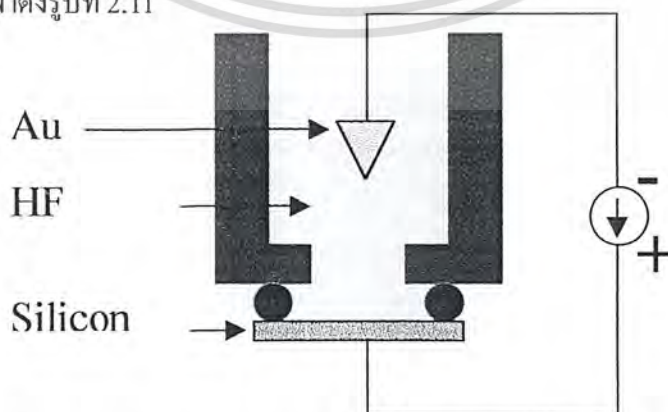
### - Electrochemical Etching

เป็นเทคนิคการกัดซิลิกอนให้อยู่ในระดับนาโนเมตร ด้วยการกำหนดค่าตัวแปรต่างๆ โดยสรุปได้ดังตารางที่ 2.2

ตารางที่ 2.2 ตารางแสดงการกำหนดค่าตัวแปรต่างๆ เพื่อการกัดซิลิกอน

Material	Parameter	n - type	p - type
Substrate ( $\Omega$ - cm)	1-50	Porosity	1 / Porosity
HF Concentrate (%)	10-47	1 / Porosity	1 / Porosity
Current Intensity (mA/cm <sup>2</sup> )	10-90	Porosity	Porosity
Experiment Time (min)	10-30	Porosity	Porosity
Light	Y/N	Yes	No

วิธีการกัดทางไฟฟ้าเคมีนี้มีกระบวนการง่ายด้วยการกัดไฟฟ้าที่เรียกว่า Anodization ซึ่งมีอุปกรณ์เซลล์ไฟฟ้าดังรูปที่ 2.11



รูปที่ 2.11 การเตรียมผิวหน้าด้วยเทคนิคการกัดแบบเซลล์ไฟฟ้าเคมี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 2.6 หลักการสังเคราะห์ฟิล์มเพชรด้วยวิธี Combustion Activation CVD

### 2.6.1 อุณหภูมิของฐานรอง

ในการทดลองใช้อุณหภูมิของเปลวไฟอยู่ระหว่าง 900 – 1100 °C จึงต้องมีระบบระบายความร้อนให้กับฐานรองให้มีอุณหภูมิที่เหมาะสม โดยความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนโดยปริมาตรของก๊าซออกซิเจนกับอะเซทิลีนกับอุณหภูมิแสดงไว้ในตารางที่ 2.3

ตารางที่ 2.3 อัตราส่วน โดยปริมาตรของก๊าซออกซิเจนและอะเซทิลีน

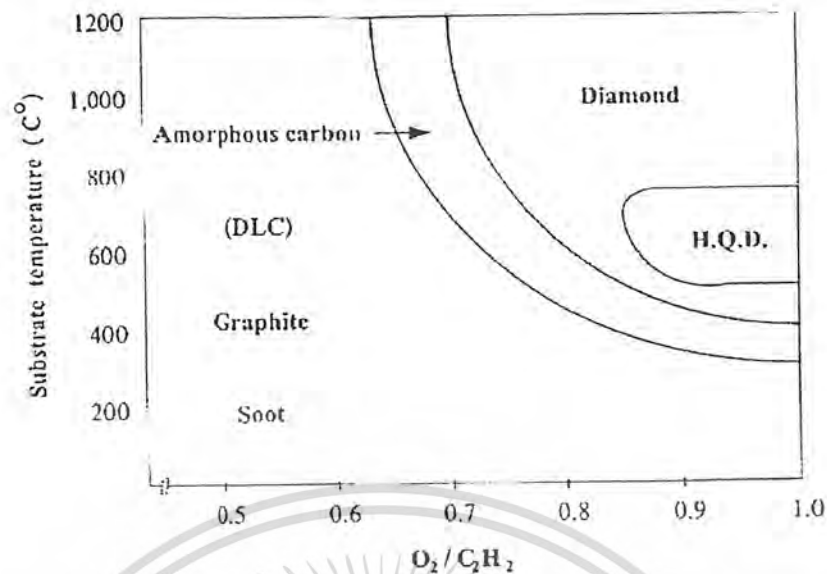
อัตราส่วน โดย ปริมาตร $O_2 : C_2H_2$	ชนิดของเปลวไฟเชื่อม	อุณหภูมิ	
		องศาฟาเรนไฮต์	องศาเซลเซียส
0.8:1.0	Carbonizing	5550	3066
0.9:1.0	Carbonizing	5700	3149
1.0:1.0	Neutral	5850	3232
1.5:1.0	Oxidizing	6200	3427
1.8:1.0	Oxidizing	6300	3428
2.0:1.0	Oxidizing	6100	3371

อุณหภูมิที่เปลวไฟนี้จะให้ความร้อนกับฐานรองขึ้นอยู่กับระยะห่างระหว่างเปลวไฟชั้นในและฐานรองซึ่งเมื่อเปลวไฟนี้อยู่ใกล้จะต้องมีการควบคุมอุณหภูมิให้เหมาะสมและคงที่เป็นสำคัญ

### 2.6.2 การควบคุมการเกิดของฟิล์มเพชร

เมื่อทราบพารามิเตอร์ทั้งหมดในการสังเคราะห์แล้วนั้นการเกิดของฟิล์มเพชรด้วยเทคนิค Combustion activation แล้วนั้น จะมีขอบเขตการสังเคราะห์ที่อัตราส่วนโดยปริมาตรของก๊าซค่าต่างๆ ซึ่งจะมีอุณหภูมิของเปลวแสดงดังตารางที่ 2.3 การเกิดเป็นฟิล์มเพชรได้นั้นจะต้องทำการสังเคราะห์ให้ได้ผลึกเพชรเสียก่อนซึ่งจะแสดงดังรูปที่ 2.12 โดยมีความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนโดยปริมาตรและอุณหภูมิของฐานรองอยู่ในช่วง 0.70-0.98 และ 400-1,200 °C ตามลำดับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.12 แผนภาพความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนโดยปริมาตรของก๊าซและอุณหภูมิของการเกิดผลึกเพชร

กระบวนการสร้างฟิล์มเพชรด้วยวิธีการ CVD ต่างๆเหล่านี้ เป็นกระบวนการที่สังเคราะห์เพชรที่ความดันต่ำ ซึ่งแต่ละวิธีมีวิธีการที่แตกต่างกันไป แต่ทั้งหมดนี้จะอาศัยอะตอมไฮโดรเจนช่วยในการก่อตัว ซึ่งเทคนิคต่างๆเหล่านี้มีข้อดีและข้อเสียที่แตกต่างกัน แต่ในเอกสารฉบับนี้จะเลือกใช้กระบวนการ Combustion Activation CVD เพื่อทำการสร้างฟิล์มเพชรชนิด Intrinsic เพื่อนำเอาฟิล์มเพชรที่ได้มาประยุกต์ใช้งานทางอิเล็กทรอนิกส์ต่อไป

## 2.7 การวิเคราะห์คุณสมบัติของฟิล์มเพชรด้วย Raman Spectroscopy

การทำงานของ Raman Spectroscopy จะอาศัยปรากฏการณ์การกระเจิงของแสงเข้าช่วย คือ การวัดการลดลงของความเข้มของแสงที่ผ่านไปตัวกลางที่ไม่มีการดูดกลืน ผลของ Raman ขึ้นอยู่กับ Raman Spectroscopy ใช้ในการศึกษาการสั่นของอะตอมภายในโครงสร้างของเนื้อสารหรือบริเวณปรากฏการณ์การกระเจิงของโมเลกุล ซึ่งอยู่บนพื้นฐานที่ว่า การกระเจิงของแสงที่เกิดขึ้นเป็นผลจากการชนกันระหว่างโฟตอนกับการสั่นของแลตทิซหรือโฟนอน การกระเจิงของ Raman อาศัยความยาวของเลเซอร์ที่มีความยาวในการกระตุ้น ทำให้เกิดคู่โฟนอนกับโฟตอน สนามไฟฟ้าของความเข้มแสงบังคับแสงให้หักเหไปทางเดียวในผลึกเมื่อผลึกได้รับพลังงานจากลำแสงทำให้เกิดการสั่นของแลตทิซขึ้น โหมดการสั่นจะขึ้นอยู่กับพันธะของอะตอมในของแข็ง ดังนั้นจึงสามารถใช้ Raman Spectrum ในการวิเคราะห์โครงสร้างของของแข็งได้

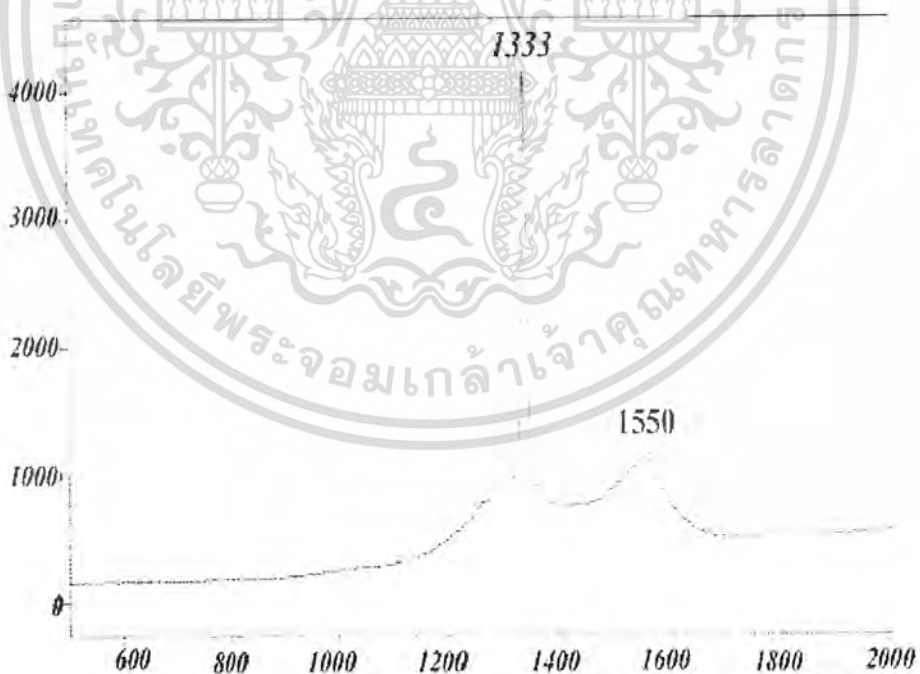
การกระเจิงของ Raman มีประโยชน์ในการศึกษาคุณสมบัติทางเคมีและฟิสิกส์ของคาร์บอน โดยเฉพาะฟิล์มเพชรที่สร้างจาก วิธีการ CVD ซึ่งจะมีความไวต่อธรรมชาติของพันธะคาร์บอนตัว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

นั้น ซึ่งจะสามารถแยกชนิดของคาร์บอนออกเป็นเพชร กราไฟท์ อะมอร์ฟัสคาร์บอน และไฮโดรจิเนตคาร์บอน

สำหรับเพชรแล้วความเข้มของยอด Raman อันดับที่ 1 อยู่ที่ตำแหน่ง  $1332\text{ cm}^{-1}$  และอันดับที่ 2 อยู่ที่  $2458\text{ cm}^{-1}$  ส่วนกราฟท์ความเข้มของยอดอันดับที่ 1 และอันดับที่ 2 อยู่ที่ ตำแหน่ง  $1580\text{ cm}^{-1}$  และ  $3240\text{ cm}^{-1}$  ตามลำดับรวมทั้งยอดที่เกิดที่ตำแหน่ง  $1335\text{ cm}^{-1}$  ที่เป็นของ microcrystalline graphite สำหรับในเทอมของอะมอร์ฟัสคาร์บอน ยอดมีลักษณะกว้างออกที่ตำแหน่งประมาณ  $1550\text{ cm}^{-1}$  และ  $1355\text{ cm}^{-1}$  ด้วยเหตุที่ประสิทธิภาพของการกระเจิง Raman สำหรับกราฟท์ที่มีค่ามากกว่าเพชร นอกจากนี้การที่ยอดของ Raman กว้างออกสามารถดูความสมบูรณ์ของโครงสร้างผลึกได้

การวิเคราะห์คุณสมบัติของฟิล์มเพชรด้วยวิธี Raman Spectroscopy สามารถยืนยันว่าฟิล์มเพชรที่สังเคราะห์ได้แสดงคุณสมบัติเป็นเพชรจริงหรือไม่ ซึ่งเพชรในธรรมชาติ Raman Spectrum จะมียอดเกิดขึ้นที่ตำแหน่ง  $1332\text{ cm}^{-1}$  ดังรูปที่ 2.13 แสดง Raman Spectrum ของฟิล์มเพชรตัวอย่างที่นำไปวิเคราะห์ด้วย Raman Spectroscopy ซึ่งมียอดเกิดขึ้นที่ ตำแหน่ง  $1333\text{ cm}^{-1}$  ซึ่งใกล้เคียงกับเพชรธรรมชาติมาก



รูปที่ 2.13 การวิเคราะห์ผลึกเพชรด้วยวิธี Raman Spectroscopy

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.4 แสดงยอดกราฟหลัก ๆ จากการวัดเพชรด้วยเครื่อง Raman spectroscope

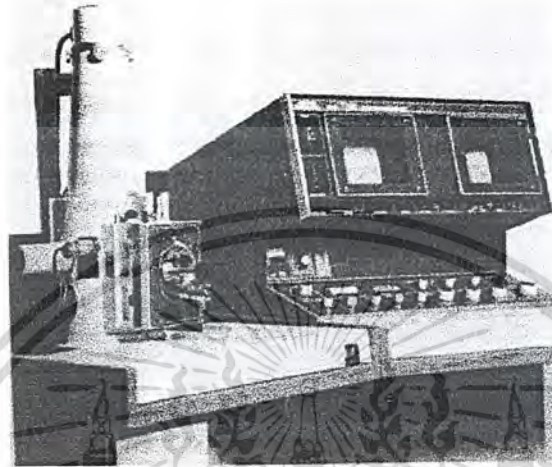
ตำแหน่งพีก	ชนิดของคาร์บอน	รายละเอียด
$\approx 1,140 \text{ cm}^{-1}$	Small size ( $< 0.1 \mu\text{m}$ ) cubic diamond	พบในฟิล์มเพชรที่มีเกรนขนาดเล็ก ( $< 0.1 \mu\text{m}$ )
$1,315\text{-}1,326 \text{ cm}^{-1}$	Hexagonal diamond	เป็นแถบกว้างพบในการสังเคราะห์แบบ Shock wave
$1,332 \text{ cm}^{-1}$	Cubic diamond	พีกอันดับที่ 1 ของเพชรธรรมชาติที่มีความกว้างที่ครึ่งหนึ่งของความสูงเป็น $1.9 \text{ cm}^{-1}$
$1,345 \text{ cm}^{-1}$	อสัณฐานคาร์บอน	แถบกว้าง เมื่อถูกไฮโดรเจนจะเป็นไหล่ของแถบ $1,550 \text{ cm}^{-1}$
$1,355 \text{ cm}^{-1}$	Microcrystalline graphite	พบในวัสดุสารที่มีเกรนขนาดเล็ก
$1,550 \text{ cm}^{-1}$	อสัณฐานคาร์บอน หรือ Diamond-like carbon	แถบกว้าง
$1,580 \text{ cm}^{-1}$	แกรไฟต์	พีกอันดับที่ 1
$2458 \text{ cm}^{-1}$	Cubic diamond	พีกอันดับที่ 2
$2710 \text{ cm}^{-1}$	Microcrystalline graphite	พีกอันดับที่ 2
$3240 \text{ cm}^{-1}$	แกรไฟต์	พีกอันดับที่ 2

ตำแหน่งพีกที่ได้ Raman spectrum ในรูปที่ 2.13 เมื่อเปรียบเทียบกับค่ามาตรฐานในตาราง 2.4 พบว่า ตำแหน่งพีกที่  $1,140 \text{ cm}^{-1}$  เป็นตำแหน่งของคาร์บอนชนิด Small size cubic diamond ที่ตำแหน่ง  $1,332 \text{ cm}^{-1}$  ตรงกับตำแหน่งพีกของ Cubic diamond ของเพชรธรรมชาติ และตำแหน่ง  $1,580 \text{ cm}^{-1}$  นั้น เป็นตำแหน่งของแกรไฟต์ ซึ่งหากว่าพบพีกที่ตำแหน่งอื่น ๆ ก็สามารนำมาเทียบกับค่ามาตรฐานจากตารางได้เช่นกัน

## 2.8 การวิเคราะห์ด้วย Scanning Electron Microscope (SEM)

การวิเคราะห์ด้วยเทคนิค Scanning Electron Microscope (SEM) เป็นการศึกษาลักษณะของผิวชิ้นงาน โดยมีกำลังขยาย 50-40,000 เท่า สามารถแสดงผลเป็นภาพสามมิติ มีความคมชัดสูงถึง 2.5-10 nm โดยหลักการทำงานของ SEM โดยทำให้เป็นเทคนิคที่นิยมใช้ในการตรวจสอบลักษณะพื้นผิวของฟิล์มที่มีขนาดเล็กกว่าไมครอน ( $\mu\text{m}$ ) หลักการพื้นฐานของ SEM คือทำการกวาดโฟกัสของอิเล็กตรอนบนพื้นผิวและตรวจจับอิเล็กตรอนลำดับที่สองที่ปล่อยออกมาจากพื้นผิวขนาดใหญ่ สารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไมอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

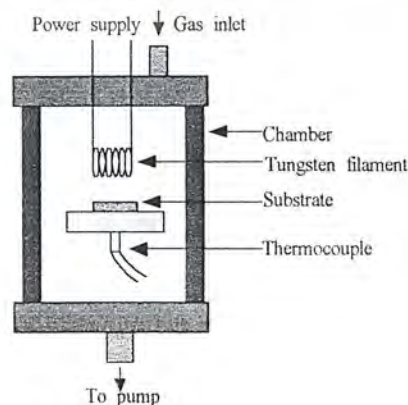
ของอิเล็กตรอนสามารถปรับโฟกัสให้มีเส้นผ่านศูนย์กลางเล็กสุดได้ถึง 10-20 nm โดยขนาดของลำอิเล็กตรอนจะมีความสำคัญกับความคมชัดของภาพที่ได้ ความสว่างหรือความเข้มของอิเล็กตรอนลำดับที่สองปล่อยออกมาจะขึ้นอยู่กับความแตกต่างทางเรขาคณิตของลักษณะพื้นผิว ซึ่งทำให้ตำแหน่งของตัวจับไม่สมดุขยัลักษณะของพื้นผิวที่ได้แสดงในจอ Cathode Ray Tube ( CRT )



รูปที่ 2.14 แสดงลักษณะของเครื่อง Scanning Electron Microscope(SEM)

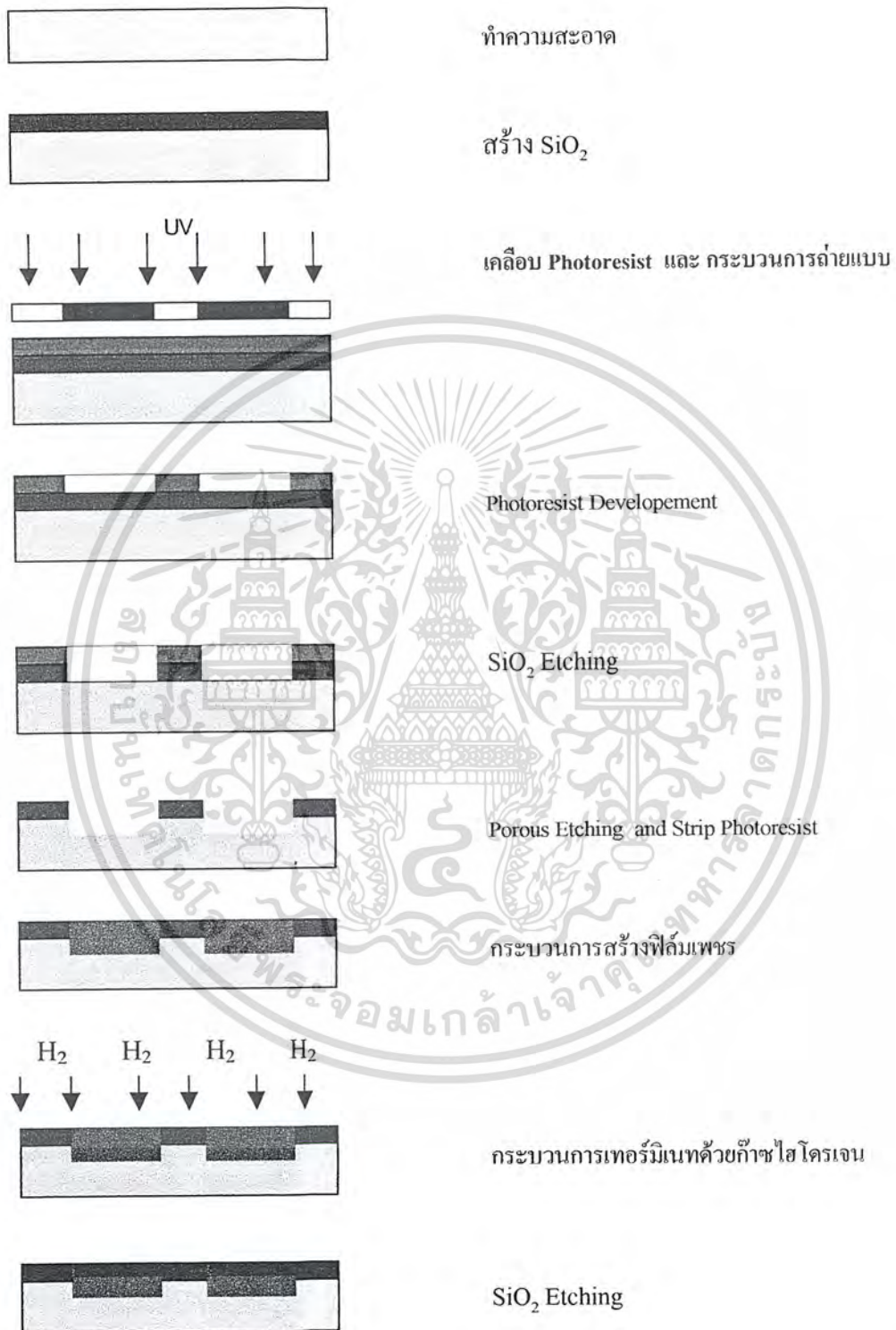
## 2.9 การเทอร์มินเทฟิล์มเพชรด้วยอะตอมไฮโดรเจน

เพชรเป็นสารกึ่งตัวนำชนิดอินทรีนซิกที่มีค่าความต้านทานสูงมาก ๆ เป็นที่ทราบกันแล้วว่าชั้นความนำผิวชนิดพีของฟิล์มเพชรสามารถถูกสังเคราะห์ได้ด้วยวิธี CVD หรือ วิธีทางเคมีเช่น วิธีพลาสมาไฮโดรเจนความต้านทานไฟฟ้าของฟิล์มเพชรจะมีค่าลดลงไม่มากนักคือประมาณ  $10^4 \Omega$  จากค่าสูงสุดที่  $10^{10}$  เมื่อผิวของฟิล์มเพชร ได้อยู่ในบรรยากาศที่ประกอบด้วยกรดและน้ำ ผลการทดลองไม่พบว่ามีชั้นความนำผิวชนิดพีบนผิวรอยต่อของฟิล์มเพชรก่อนที่จะสิ้นสุดการสังเคราะห์ และชั้นความนำของผิวชนิดพี จะปรากฏขึ้นหลังจากฟิล์มเพชรสัมผัสกับบรรยากาศของไฮกรดและน้ำ ดังนั้นจึงสามารถสรุปและนำเสนอกระบวนการเกิดการเรียงตัวของโครงสร้างของชั้นความนำผิวฟิล์มเพชรชนิดพีดังรูปที่ 2.15



เอกสารรูปที่ 2.15 แผนภาพการเทอร์มินเทฟิล์มด้วยก๊าซไฮโดรเจนเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 2.10 กระบวนการเลือกสร้างฟิล์มเพชรเฉพาะพื้นที่และเทอร์มินัลด้วยก๊าซไฮโดรเจน



รูปที่ 2.16 แผนภาพกระบวนการเลือกสร้างฟิล์มเพชรเฉพาะพื้นที่และเทอร์มินัลด้วยก๊าซไฮโดรเจน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 3

### กระบวนการสังเคราะห์ฟิล์มเพชร

#### 3.1 การเตรียมแผ่นฐานรอง

วัสดุที่เลือกมาทำเป็นฐานรองในการสร้างฟิล์มเพชรจะเป็นแผ่นซิลิกอน เนื่องจากเป็นวัสดุที่มีใช้กันอยู่แล้วในการสร้างอุปกรณ์สารกึ่งตัวนำต่างๆ ก่อนที่จะนำฐานรองไปใช้ในการสร้างฟิล์มเพชรนั้น จะต้องมีการเตรียมฐานรองก่อน โดยมีขั้นตอนดังกระบวนการต่อไปนี้

##### 3.1.1 การเตรียมฐานรองซิลิกอน

การเตรียมฐานรองซิลิกอนจะใช้ซิลิกอนขัดมันซึ่งมีลักษณะเรียบและมันเป็นกระจกเงา โดยเริ่มจากการทำความสะอาดเริ่มต้นตามกระบวนการดังนี้

1. ทำความสะอาดผิวด้วยน้ำบริสุทธิ์ปราศจากไอออน (Deionized water; DI) ในเครื่องสั่นความถี่สูง (Ultrasonic cleaning)
2. ล้างด้วยน้ำ DI
3. กัดผิวหน้าด้วยกรดไฮโดรฟลูออริก (หรือกรดกัดแก้ว ; HF) 5% เป็นเวลา 2 นาที เพื่อกำจัดซิลิกอนไดออกไซด์ที่เกิดขึ้นบริเวณผิวหน้าของแผ่นซิลิกอนออก
4. ล้างด้วยน้ำ DI
5. ต้มในกรดไนตริก ( $\text{HNO}_3$ ) เป็นเวลา 10 นาที เพื่อกำจัดเศษโลหะที่ผิวหน้า
6. ล้างด้วยน้ำ DI
7. ต้มในน้ำบริสุทธิ์เป็นเวลา 5 นาที
8. ล้างด้วยน้ำ DI
9. เป่าแห้งด้วยแก๊สไนโตรเจน
10. ต้มในไตรคลอโรเอทิลีน (Trichloroethylene) เป็นเวลา 5 นาที เพื่อกำจัดสิ่งสกปรกประเภทไขมันแล้วล้างด้วยอะซิโตน (Acetone) ในเครื่องสั่นความถี่สูงเป็นเวลา 3 นาที
11. ล้างด้วยน้ำ DI
12. จุ่มลงในกรดกัดแก้ว 5% เป็นเวลา 2 นาที
13. ล้างด้วยน้ำ DI
14. เป่าแห้งด้วยแก๊สไนโตรเจน

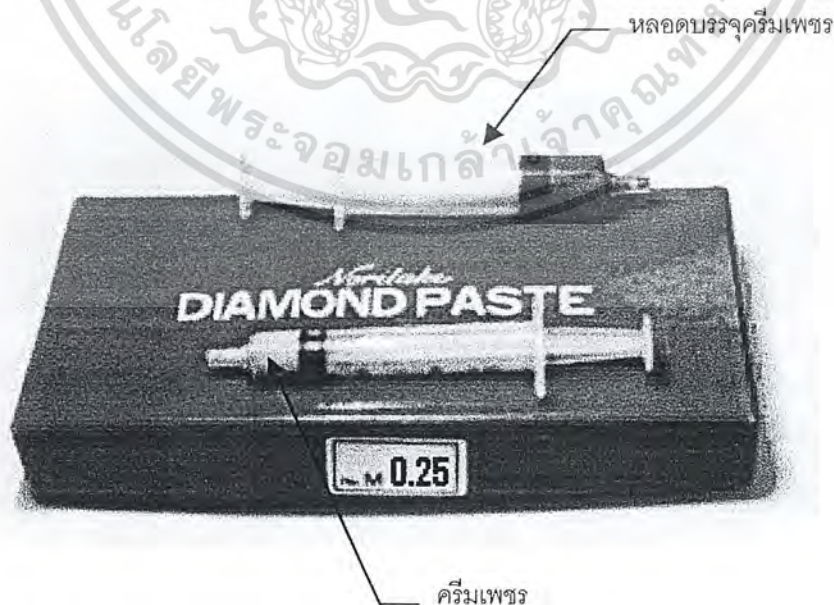
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อนำฐานรองซิลิกอนผ่านกระบวนการทำความสะอาดแล้วนั้นจะนำแผ่นฐานรองซิลิกอนทำการเตรียมผิวฐานรองเพื่อเพิ่มการเกิดเคลือบชั้นของเพชรให้เร็วขึ้นการเตรียมฐานรองที่ใช้ในงานนี้นั้นจะใช้ การขัดฐานรองด้วยครีมเพชร,การเตรียมฐานรองซิลิกอนด้วยการกัดเคมี, การเตรียมฐานรองซิลิกอนด้วยการกัดทางไฟฟ้าเคมี(Electrochemical Etching) ซึ่งมีรายละเอียดดังนี้

### 3.1.2 การขัดฐานรองด้วยครีมเพชร

การเตรียมพื้นผิวฐานวิธีนี้จะใช้ครีมเพชรขนาด  $0.25 \mu\text{m}$  ขัดที่บริเวณผิวหน้าของแผ่นซิลิกอน ซึ่งมีลักษณะเรียบและขัดมันเป็นกระจกเงา (Mirror polished) ใช้เวลาในการขัดประมาณ 1-2 ชั่วโมง ผลจากการขัดด้วยครีมเพชรจะทำให้เกิดรอยขีดเล็ก ๆ ขึ้นที่บริเวณผิวหน้าของแผ่นซิลิกอน โดยขนาดของรอยขีดที่เกิดจะขึ้นอยู่กับขนาดของครีมเพชรที่ใช้ ภายหลังจากขัดแผ่นซิลิกอนเรียบร้อยแล้วต้องนำแผ่นซิลิกอนไปทำการตัดเพื่อทำเป็นฐานรองแล้วล้างซิลิกอนอีกครั้งตามขบวนการดังนี้

1. ต้มในไตร โคล โรเอทริลีน (Trichloroethylene) เป็นเวลา 5 นาที เพื่อกำจัดสิ่งสกปรกประเภทไขมัน
2. ล้างด้วยอะซิโตน (Acetone) ในเครื่องสั่นความถี่สูง เป็นเวลา 5 นาที
3. ล้างด้วยน้ำ DI
4. เป่าแห้งด้วยก๊าซไนโตรเจน

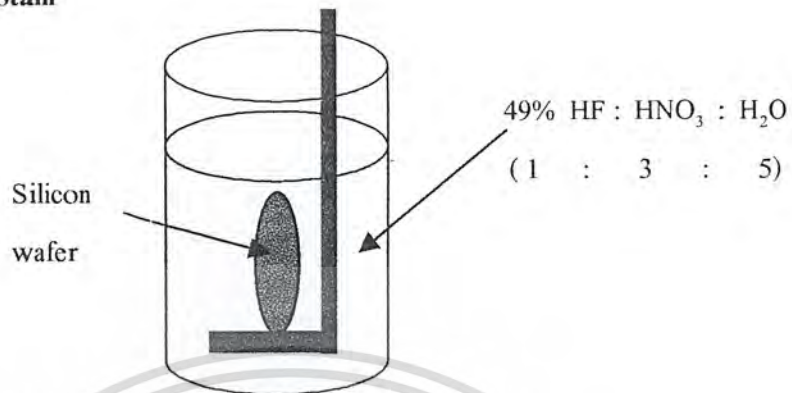


รูปที่ 3.1 แสดงตัวอย่างครีมเพชรที่ใช้ในการขัดแผ่นซิลิกอน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับบริการเชิงวิชาการเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

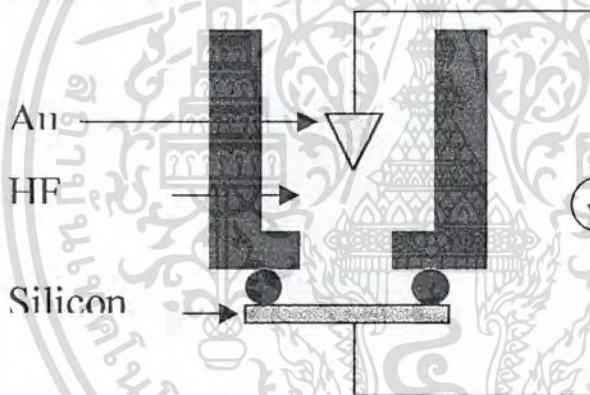
### 3.1.3 การเตรียมฐานรองซิลิกอนด้วยการกัดเคมี

- การกัดแบบ Stain



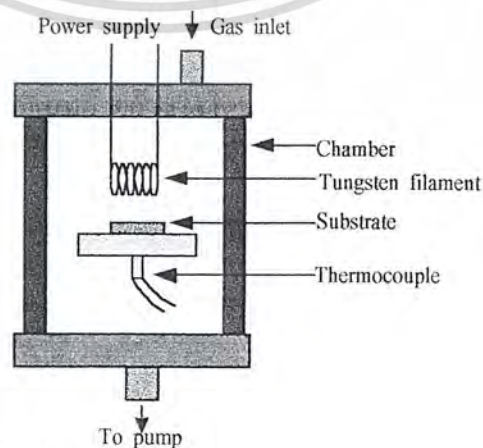
รูปที่ 3.2 การเตรียมผิวหน้าด้วยเทคนิคการกัดแบบ Stain

### 3.1.4 การเตรียมฐานรองซิลิกอนด้วยการกัดทางไฟฟ้าเคมี



รูปที่ 3.3 การเตรียมผิวหน้าด้วยเทคนิคการกัดแบบเซลล์ไฟฟ้าเคมี

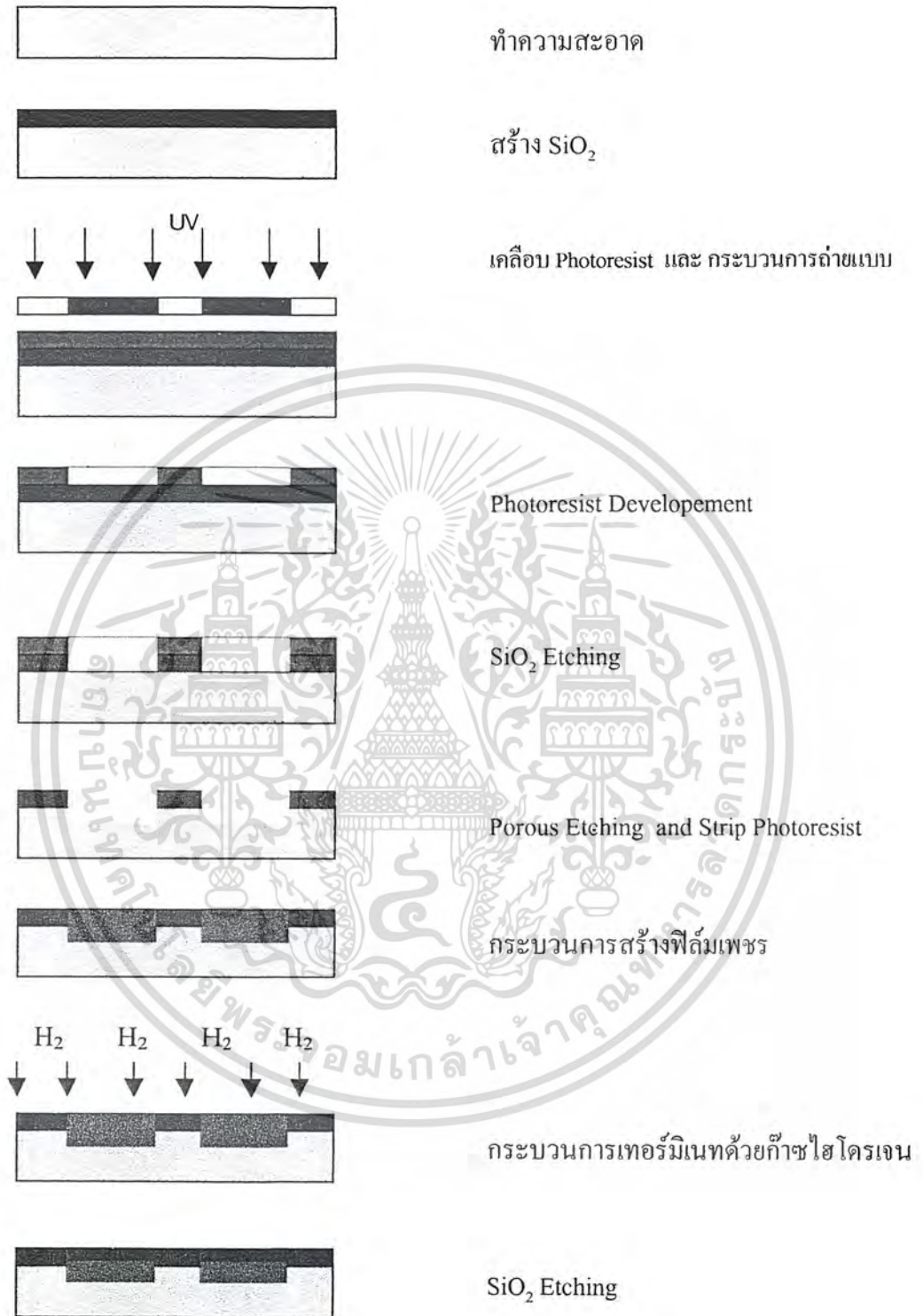
### 3.2 การเทอร์มิเนทฟิล์มเพชรด้วยอะตอมไฮโดรเจน



รูปที่ 3.4 แผนภาพการเทอร์มิเนทด้วยก๊าซไฮโดรเจน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3 กระบวนการเลือกสร้างฟิล์มเพชรเฉพาะพื้นที่และเทอร์มินทด้วยก๊าซไฮโดรเจน



รูปที่ 3.5 แผนภาพกระบวนการเลือกสร้างฟิล์มเพชรเฉพาะพื้นที่และเทอร์มินทด้วยก๊าซไฮโดรเจน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.4 การจัดชุดทดลอง

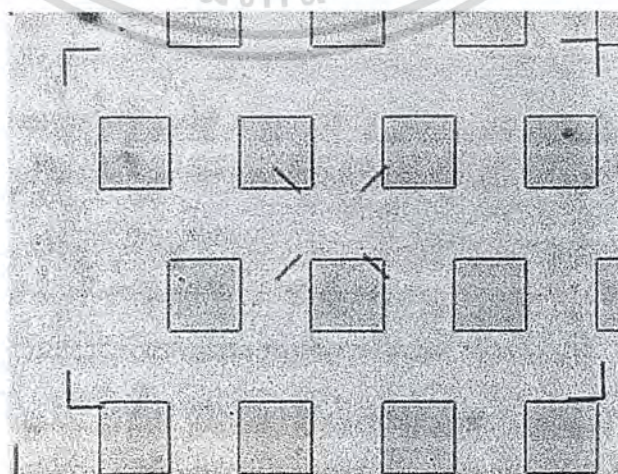
ในการสังเคราะห์เพชรด้วยวิธีCombustion Activation CVD จะจัดชุดทดลองซึ่งมีส่วนประกอบต่างๆดังต่อไปนี้

1. หัวเผาทองเหลือง
2. ฐานปรับระยะหัวเผา
3. ถังเก็บน้ำ
4. วาล์วควบคุมการไหลของน้ำ
5. Mass Flow Meter
6. แหล่งจ่ายก๊าซอะเซทีลีน
7. แหล่งจ่ายก๊าซออกซิเจน

### 3.5 การทดลอง

#### 3.5.1 กระบวนการทำความสะอาดฐานรองซิลิกอนและสร้างลวดลายบนฐานรองซิลิกอน

- ล้าง DI
- Etching  $\text{SiO}_2$  สารละลาย HF 5% 10 วินาที
- Cleaning ในสารละลาย  $\text{H}_2\text{SO}_4 : \text{H}_2\text{O}_2$  10 นาที ที่อุณหภูมิ  $120^\circ\text{C}$
- ล้างน้ำ DI ให้น้ำผ่าน 5 นาที
- Etching HF 5% 10 วินาที
- ล้างด้วย DI ให้น้ำผ่าน 5 นาที
- สร้างซิลิกอนไดออกไซด์( $\text{SiO}_2$ )
- กระบวนการถ่ายภาพกระจกต้นแบบ
- Etching ซิลิกอนไดออกไซด์ และ ลอกฟิล์มไวแสง



เอกสารรูปที่ 3.6 แสดงลวดลายภายหลัง Etching ซิลิกอนไดออกไซด์ และ ลอกฟิล์มไวแสง ซึ่งประเด็นด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.5.2 กระบวนการเตรียมฐานรองด้วยการกัดเคมี

#### - การกัดแบบ Stain

ซิลิกอนชนิดพี 10  $\Omega\text{-cm}$  49% HF : HNO<sub>3</sub> : H<sub>2</sub>O (1 : 3 : 5) เป็นเวลา 10 นาที



รูปที่ 3.7 แสดงกระบวนการเตรียมฐานรองด้วยการกัดเคมี

### 3.6 การสังเคราะห์ฟิล์มเพชร

สำหรับกระบวนการสังเคราะห์ฟิล์มเพชรด้วยวิธี combustion activation มีขั้นตอนดังต่อไปนี้

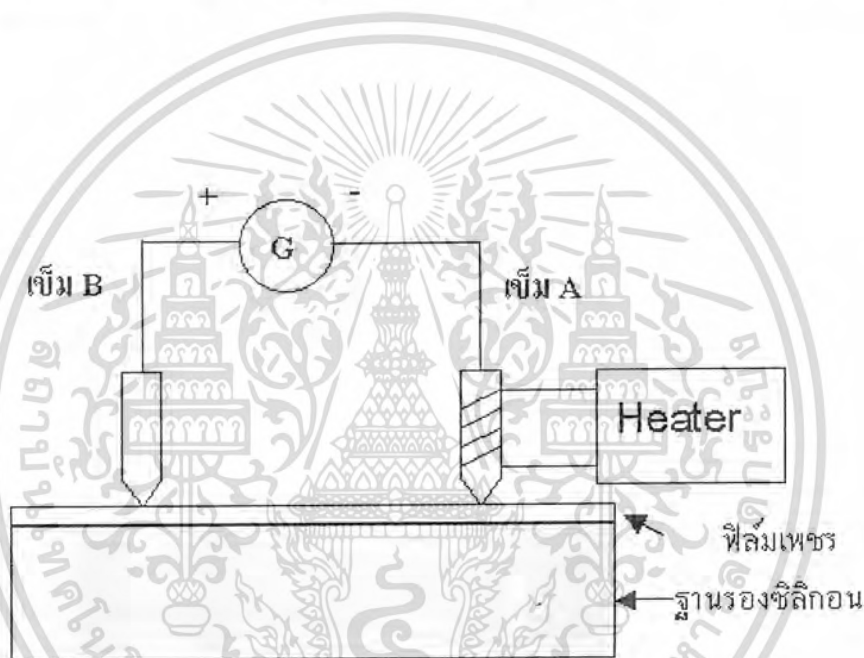
1. เปิดสวิตช์ปั้มน้ำเพื่อให้ น้ำไหลเวียนผ่านท่อทองแดง
2. นำแผ่นซิลิกอนที่ใช้เป็นฐานรองติดกับแท่งทองแดง โดยใช้กาวเงินชนิดสามารถใช้งานได้ที่อุณหภูมิสูง (high-temp silver paste) เป็นตัวยึดซิลิกอนกับท่อทองแดง
3. เปิดวาล์วของ C<sub>2</sub>H<sub>2</sub> แล้วจุดหัวเผา
4. เปิดวาล์วของ O<sub>2</sub> แล้วปรับ mass flow meter ให้ได้เปลวไฟเป็น 3 ชั้น
5. ปรับหัวเผาทองเหลืองให้ได้ระยะที่เหมาะสมจากแผ่นซิลิกอน
6. เผาแผ่นซิลิกอนภายใต้เปลวไฟชั้นกลางจากก๊าซผสมดังกล่าว โดยควบคุมอุณหภูมิของฐานรองไว้ที่ประมาณ 800-1000 องศาเซลเซียสซึ่งสามารถปรับจากวาล์วน้ำที่ไหลผ่านแท่งทองแดง
7. ใช้เวลาในการเผาที่ 30-60 นาที แล้วจึงนำแผ่นฐานรองที่เผาเสร็จแล้วไปตรวจวิเคราะห์ จากนั้นนำชิ้นงานที่ได้จากการสังเคราะห์ไปทำกระบวนการไฮโดรเทอร์มัลเนชั่น และทำการวัดค่าความต้านทานจากกราฟพลุณลักษณะกระแสกับแรงดัน โดยใช้เครื่อง Hewlett packard รุ่น 4061

A Semiconductor/ Component test system และ Curve tracer

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.7 ขั้นตอนการวัดด้วยวิธีเข็มร้อน

เทคนิคการวัดด้วยเข็มร้อน เป็นการทำให้วัสดุสารกึ่งตัวนำได้รับความร้อนที่ปลายด้านหนึ่ง ซึ่งทำให้อุณหภูมิมีการเปลี่ยนแปลงตามแท่งวัสดุ และพบว่าปรากฏการณ์เกิดขึ้นตามมาคือ มีการเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของประจุพาหะเนื่องจากความเข้มข้นของประจุพาหะในสารกึ่งตัวนำเป็นฟังก์ชันที่ขึ้นอยู่กับอุณหภูมิ ดังนั้นเมื่ออุณหภูมิมีการเปลี่ยนแปลงทำให้ความเข้มข้นของประจุพาหะมีการเปลี่ยนแปลงตามไปด้วยซึ่งเป็นสาเหตุให้เกิดการแพร่ของประจุพาหะในแท่งวัสดุขึ้น จากหลักการดังกล่าวจึงนำมาใช้ในการวิเคราะห์ชนิดความนำไฟฟ้าของฟิล์มเพชรว่ามีพาหะหลักในการนำกระแสชนิดใดการทดลองเพื่อหาคุณสมบัติดังกล่าว จะใช้อุปกรณ์การทดลองดังแสดงในรูปที่ 3.8



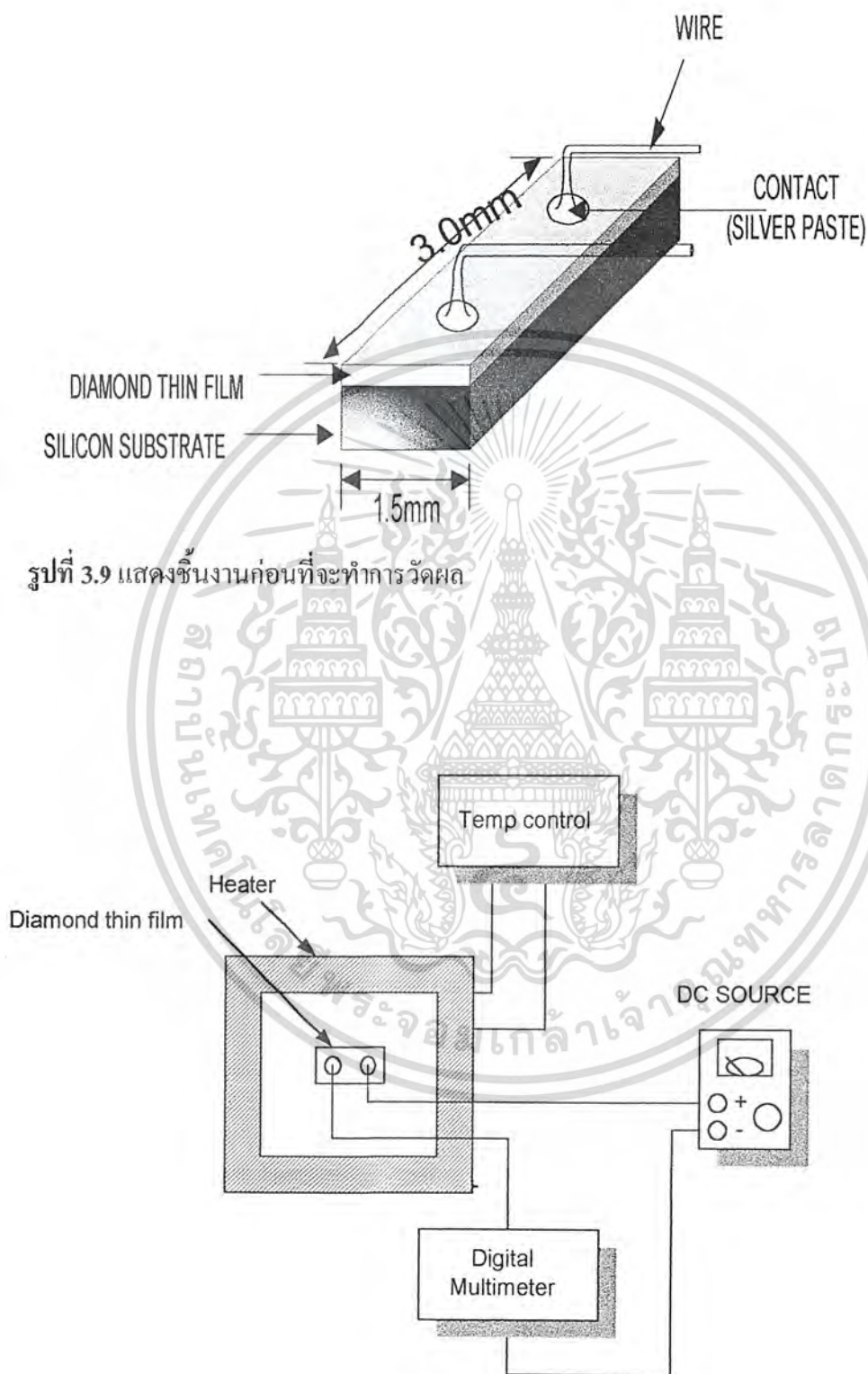
รูปที่ 3.8 แสดงเทคนิควิธีการวัดด้วยเข็มร้อน

จากรูปจะเห็นว่าชุดอุปกรณ์ ประกอบด้วย เข็ม 2 เล่ม จี้ลงบนฟิล์มเพชร โดยเข็ม A ทำหน้าที่เป็น เข็มความร้อน มีลวดทั้งสแตนพินอยู่โดยรอบ ส่วนเข็ม B จะมีอุณหภูมิเท่ากับอุณหภูมิห้อง นำกัลวานอมิเตอร์มาต่อระหว่างเข็มทั้งสอง โดยใช้ขั้วของกัลวานอมิเตอร์ต่อกับเข็ม B และที่ขั้วลบต่อที่เข็ม A เข็มให้ความร้อนแก่เข็ม A

### 3.8 การศึกษาผลของอุณหภูมิที่มีต่อค่าความต้านทานของฟิล์มเพชร

นำชิ้นงานที่ได้มาทำขั้วโลหะ โดยใช้ silver paste ทำเป็นขั้วสัมผัสดังแสดงในรูปที่ 3.9 ต่อจากนั้นนำชิ้นงานมาต่อเข้ากับวงจรแล้วนำไปเข้าเตาเผาที่มีตัวควบคุมอุณหภูมิดังรูปที่ 3.10

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.10 แสดงชุดเครื่องมือการวัดชิ้นงาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 4

### ผลการทดลอง

จากการทดลองรายงานนี้เป็นการศึกษาและพัฒนาการสังเคราะห์ฟิล์มเพชรด้วยวิธี Combustion Activation CVD เพื่อเป็นการพัฒนาอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ การเตรียมผิวหน้าของฐานรองซิลิกอนจากวิธีต่างกันจะเป็นปัจจัยสำคัญในการเกิดนิวคลีเอชัน ในการกระบวนการนี้จะใช้ความแตกต่างของการเกิดนิวคลีเอชันของซิลิกอนไดออกไซด์ ผิวหน้าซิลิกอนขัดมันและพอร์ซิลิกอน เพื่อป้องกันการสังเคราะห์และเติบโตบริเวณที่สังเคราะห์ โดยผลของการสังเคราะห์จะถูกวิเคราะห์ด้วยเทคนิค Scanning Electron Microscopy(SEM) และเทคนิค Raman Spectroscopy นอกจากนี้ยังได้ศึกษาการเทอร์มิเนทฟิล์มเพชรด้วยก๊าซไฮโดรเจน

#### 4.1 กระบวนการสร้างฟิล์มเพชรด้วย Combustion Activation CVD

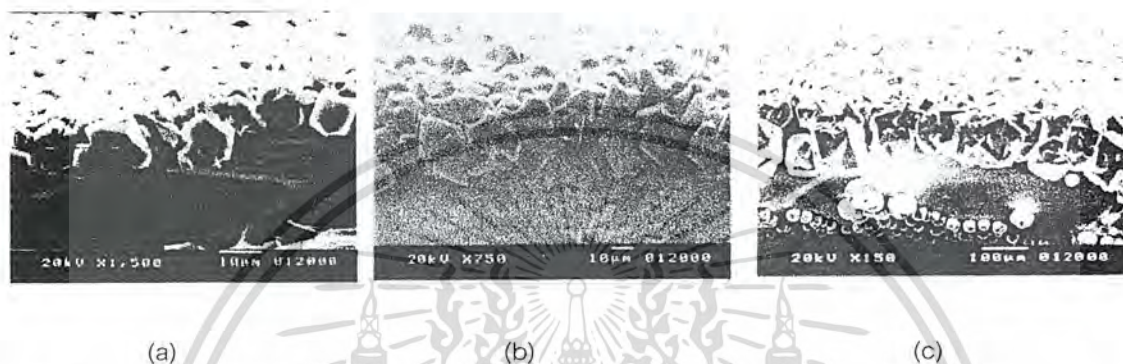
- การสังเคราะห์ฟิล์มเพชรด้วยเงื่อนไขดังนี้

เงื่อนไข	ฟิล์มเพชร
อัตราส่วนโดยปริมาตรของก๊าซ	0.95
แหล่งจ่ายก๊าซ - ออกซิเจน - อะเซทิลีน	อัตราการไหล 475 cc/min อัตราการไหล 500 cc/min
ฐานรอง	ซิลิกอนขัดด้วยครีมเพชร
อุณหภูมิฐานรอง	800° C
ตำแหน่งเปลวไฟ	เปลวไฟชั้นกลาง
เวลาในการทดลอง	30 –60 นาที

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 4.2 การวิเคราะห์ฟิล์มเพชรที่สังเคราะห์ได้

4.2.1. เมื่อเปลี่ยนแปลงเวลาสังเคราะห์จากฟิล์มเพชรที่ได้จากการสังเคราะห์ด้วยกระบวนการ Combustion Activation CVD สามารถวิเคราะห์ลักษณะพื้นผิวของฟิล์มเพชรได้จากภาพถ่าย SEM ดังรูปที่ 4.1 โดยเงื่อนไขอื่น ๆ ให้คงที่และทำการเปลี่ยนแปลงค่าเวลาการสังเคราะห์ค่าต่างๆ



รูปที่ 4.1 ความหนาของฟิล์มเพชรที่ค่าเวลาการสังเคราะห์ค่าต่างๆ (a)30นาที (b)45นาที (c)60นาที

จะเห็นว่าอัตราการโตของความหนาของฟิล์มเพชรจะมีค่าความหนาเพิ่มขึ้นตามเวลาในการสังเคราะห์

4.2.2. เมื่อพิจารณาตำแหน่งของเปลวไฟโดยทดลองที่บริเวณชั้นต่าง ๆ ของเปลวไฟโดยมีเงื่อนไขดังนี้

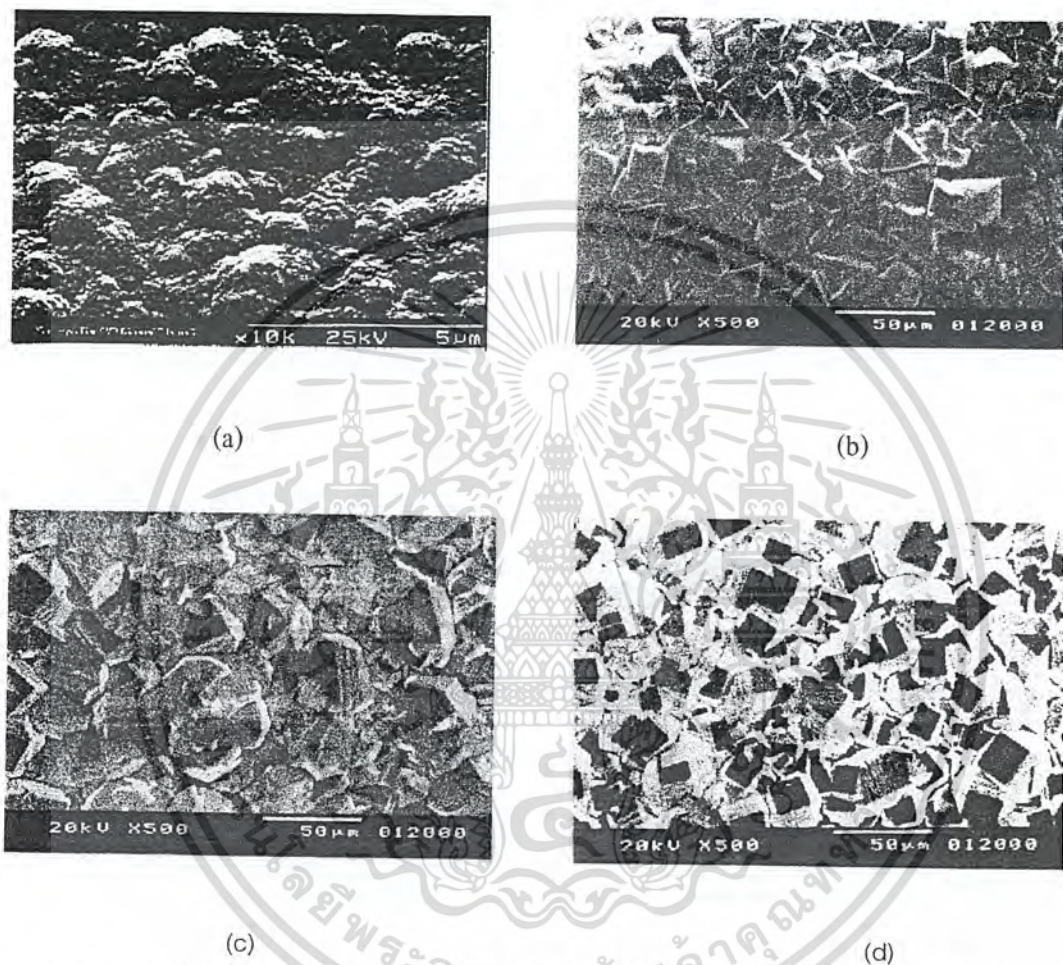
1. ที่ความดันบรรยากาศ
2. อัตราส่วนโดยปริมาตรของก๊าซเท่ากับ 0.95 cc/min
3. อัตราการไหลของก๊าซออกซิเจน 475 cc/min
4. อัตราการไหลของก๊าซอะเซทิลีน 500 cc/min
5. ขนาดหัวทิฟ 150
6. อุณหภูมิฐานรอง 800 c°

ต่อจากนั้นนำแผ่นซิลิกอนมาทำการทดลองที่สภาวะเดียวกันตามที่กำหนดข้างต้น โดยแผ่นแรกกำหนดให้ใช้เปลวไฟชั้นใน ส่วนอีกหนึ่งแผ่นกำหนดให้ใช้เปลวไฟชั้นกลาง และแผ่นสุดท้ายให้ใช้เปลวไฟชั้นนอก ซึ่งผลที่ได้จากการทดลองพบว่าเปลวไฟชั้นกลางเท่านั้นที่เป็นปัจจัยให้เกิดฟิล์มเพชร โดยผลของการสังเคราะห์ จะถูกวิเคราะห์ด้วยเทคนิค Scanning Electron Microscopy (SEM) และเทคนิค Raman Spectroscopy ซึ่งก๊าซที่บริเวณชั้นกลางจะมีอนุภาคคาร์บอนเหลือจากอัตราส่วนการเผาไหม้ ซึ่งคาร์บอนเป็นตัวแปรสำคัญให้เกิดฟิล์มเพชร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 4.2.3. อุณหภูมิของฐานรองที่ต่างกัน

การสังเคราะห์ฟิล์มเพชรด้วยวิธีCVDจะพบว่าที่อุณหภูมิของฐานรองที่ต่างกัน จะเกิดลักษณะของระนาบของเพชรที่แตกต่างกันโดยเงื่อนไขในการสังเคราะห์ฟิล์มเพชรเป็นคั้งหัวข้อขึ้นต้น แต่เปลี่ยนค่าอุณหภูมิของฐานรองนำผลการทดลองมาตรวจสอบด้วยเครื่องSEMจะได้ดังรูป 4.2

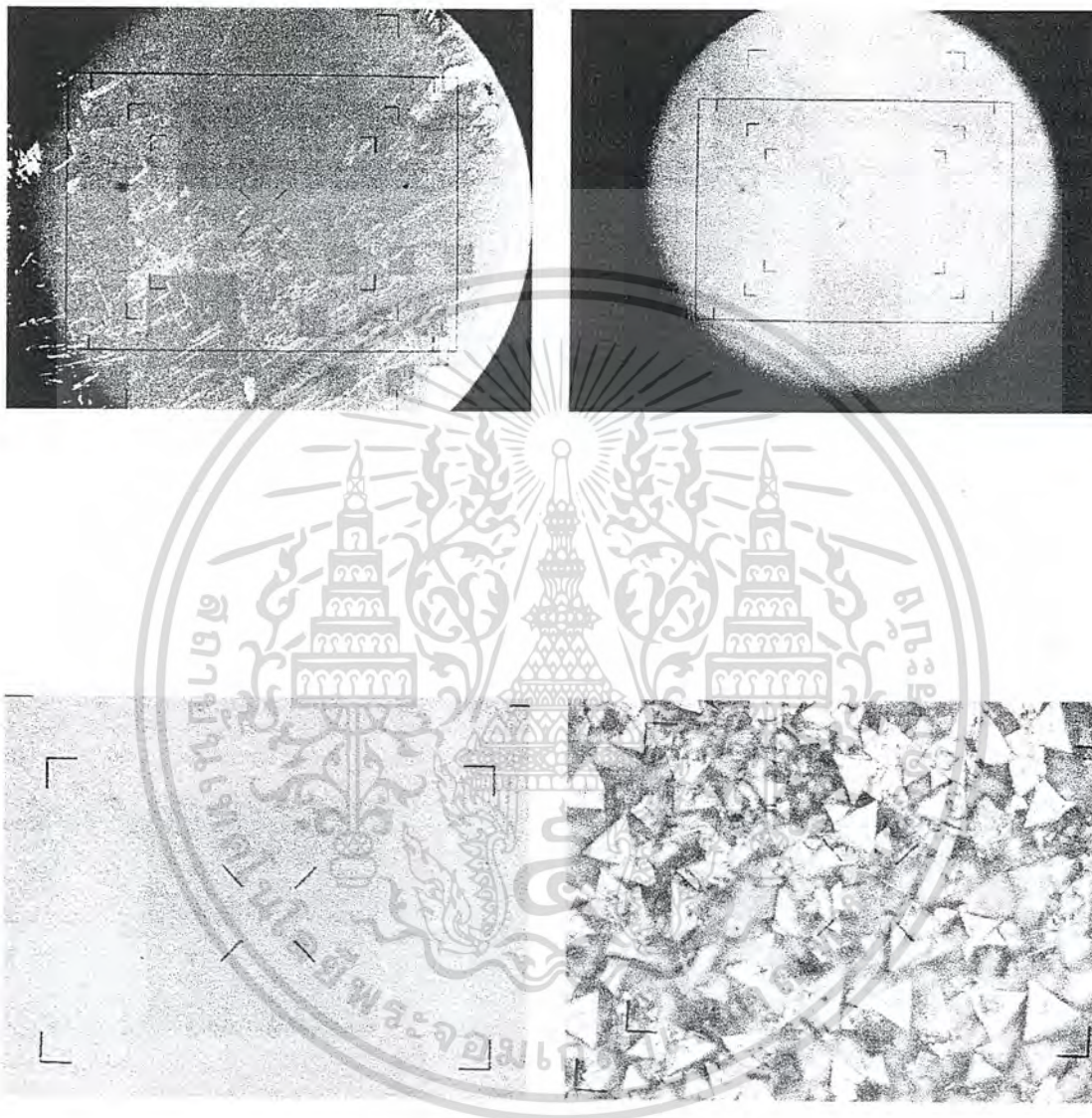


รูปที่ 4.2 แสดงชิ้นงานที่อุณหภูมิต่างๆ (a) ตัวอย่างชิ้นงานที่อุณหภูมิ 550 °C (b) ตัวอย่างชิ้นงานที่อุณหภูมิ 700°C (c) ตัวอย่างชิ้นงานที่อุณหภูมิ 850 °C (d) ตัวอย่างชิ้นงานที่อุณหภูมิ 900°C

จากรูปที่อุณหภูมิต่างๆสามารถวิเคราะห์ ได้ว่าระนาบผลึกที่รูปแบบต่างๆกันจะเปลี่ยนแปลงโดยการเพิ่มอุณหภูมิที่สูงขึ้น ที่อุณหภูมิ 550 °C ระนาบผลึกที่ได้จะมีคุณสมบัติที่เป็นฟิล์มเพชรต่ำ ที่อุณหภูมิ 700 °C ระนาบผลึกที่ได้จะเป็นแบบ {111} ที่ 850 °C ระนาบจะเป็นระนาบรวม คือที่พื้นผิวฐานรองจะมี 2 ระนาบ คือ {111} และ {100} ส่วนที่อุณหภูมิ 900 °C ระนาบจะเป็นแบบ {100}

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

#### 4.3 ผลการทดลองกระบวนการเลือกสร้างฟิล์มเพชรเฉพาะพื้นที่

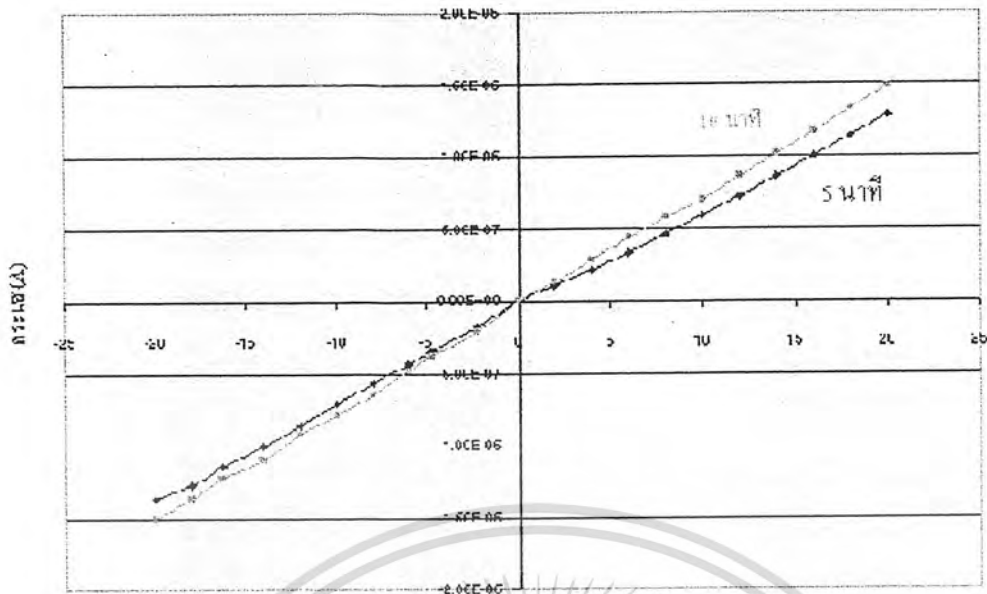


รูปที่ 4.3 แสดงผลกระบวนการเลือกสร้างฟิล์มเพชรเฉพาะพื้นที่

#### 4.4 ผลการทดลองหาคุณลักษณะกระแสกับแรงดัน

จากผลการทดลองรูปที่ 4.4 เมื่อทำกระบวนการไฮโดรเจนเทอมีนชั้นที่เวลา 5 นาทีเปรียบเทียบกับที่เวลา 10 นาทีจะเห็นว่ายิ่งเวลามากจะทำให้ความต้านทานที่ได้ในการทำกระบวนการไฮโดรเจนเทอมีนชั้นลดลง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่ควรนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

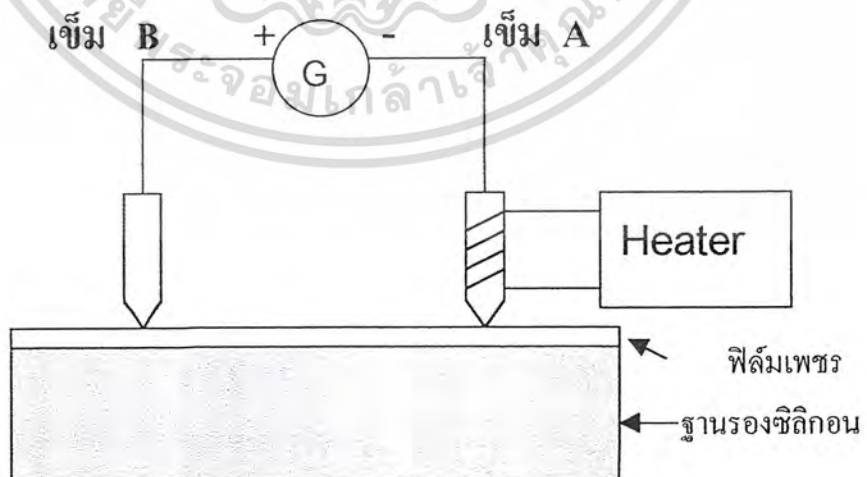


- แรงดัน (จ)
- เวลาในการสังเกต 5 นาที (ค่าความต้านทาน)
  - เวลาในการสังเกต 10 นาที (ค่าความต้านทาน)

รูปที่ 4.4 คุณลักษณะสมบัติของกระแสกับแรงดันของผลึกเพชร

#### 4.5 ผลการวัดด้วยวิธีเข็มร้อน

การทดลองเพื่อหาคุณสมบัติดังกล่าวจะใช้อุปกรณ์การทดลองดังแสดงในรูปที่ 4.5



รูปที่ 4.5 แสดงเทคนิควิธีการวัดด้วยเข็มร้อน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

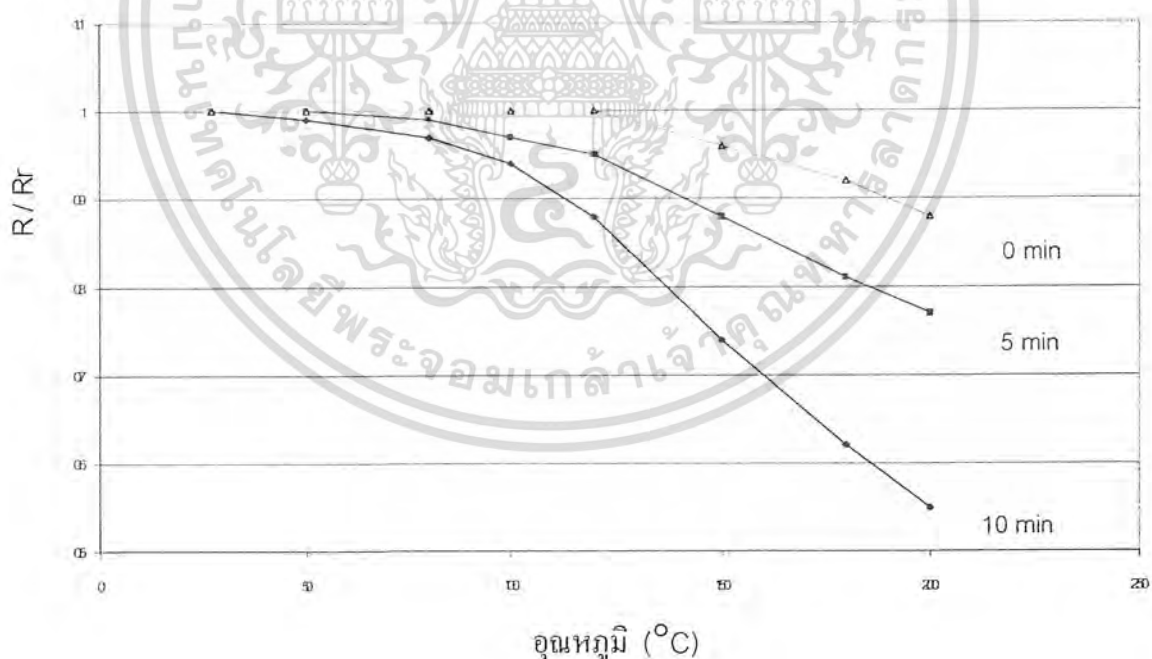
จากรูปจะเห็นว่าชุดอุปกรณ์ ประกอบด้วย เข็ม 2 เล่ม จี๊ลงบนฟิล์มเพชร โดยเข็ม A ทำหน้าที่เป็น เข็มความร้อน มีลวดทั้งสแตนพั่นอยู่โดยรอบ ส่วนเข็ม B จะมีอุณหภูมิเท่ากับอุณหภูมิห้อง นำกัลวานอมิเตอร์มาต่อระหว่างเข็มทั้งสอง โดยใช้ขั้วของกัลวานอมิเตอร์ต่อกับเข็ม B และที่ขั้วลบต่อที่เข็ม A เข็มให้ความร้อนแก่เข็ม A ผลการทดลองที่ได้ สามารถสรุปได้ดังตาราง

ตารางที่ 4.1 ตารางแสดงการทดลองการวัดแบบเข็มร้อนที่ได้หลังจากให้ ความร้อนกับเข็ม A

เข็มกัลวานอมิเตอร์	ชนิดพาหะ
ขั้วทางบวก	ไฮล

#### 4.6 ผลของอุณหภูมิที่มีต่อผลึกเพชร

จากรูปที่ 4.6 พบว่าผลึกเพชรแสดงคุณสมบัติเป็นสารกึ่งตัวนำ คือขณะที่อุณหภูมิเพิ่มผลึกเพชรจะมีค่าความต้านทานจะลดลง โดยความต้านทานมีการเปลี่ยนแปลงน้อยมากในช่วงอุณหภูมิต่ำ แสดงว่าอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ที่สร้างจากผลึกเพชรสามารถทำงานได้ดีมีการเปลี่ยนแปลงเนื่องจากผลของอุณหภูมิน้อยมาก



รูปที่ 4.6 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความต้านทานกับอุณหภูมิ ณ เวลาในการเทอร์มิเนตต่างๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 5

### สรุปและวิจารณ์ผล

รายงานการสังเคราะห์ฟิล์มเพชรด้วยวิธี Combustion Activation CVD นั้นจะใช้เงื่อนไขพื้นฐาน คือ การทำให้ก๊าซอะซิทีลีนทำปฏิกิริยากับก๊าซออกซิเจนเพื่อให้เกิดเปลวไฟที่บริเวณหัวเชื่อมและเกิดเป็นคาร์บอน โครงสร้างเพชรตกลงบนฐานรองซึ่งมีอุณหภูมิที่เหมาะสมและ ได้มีการเตรียม พื้นผิวมาแล้ว และมีเงื่อนไขการเกิดฟิล์มเพชร และสรุปผลการทดลองดังนี้

- 1.สามารถสังเคราะห์ฟิล์มเพชรที่เกิดได้ด้วยวิธีการ Combustion Activation CVD อาศัยการทำปฏิกิริยาเผาไหม้ระหว่าง ออกซิเจนและอะซิทีลีน บนฐานรองซิลิกอน
2. ตำแหน่งของเปลวไฟในการสังเคราะห์ ฟิล์มเพชรจะเกิดขึ้นที่เปลวไฟชั้นกลางเท่านั้น
- 3.ระยะเวลาในการสังเคราะห์ต่างกันจะให้ผลของฟิล์มเพชรออกมาต่างกัน ซึ่งจากผลการทดลองและตรวจสอบด้วยเครื่อง SEM พบว่าเมื่อใช้เวลานานๆจะมีผลให้ชั้นของฟิล์มเพชรมีความหนาмаก ไปด้วย
4. การเตรียมฐานรองด้วยการกัดแบบเคมีไฟฟ้า และ Stainทำให้เกิดนิวมลึเอชันต่างกันมาก
- 5.ที่อุณหภูมิฐานรองต่างกันจะทำให้เกิดระนาบของฟิล์มเพชรต่างกันและถ้าอุณหภูมิต่ำกว่า  $700^{\circ}\text{C}$  จะไม่เกิดเป็นฟิล์มเพชร
- 6.การเทอร์มิเนทด้วยก๊าซไฮโดรเจนทำให้ฟิล์มเพชรมีความต้านทานลดลงเมื่ออยู่ในบรรยากาศ
- 7.จากผลการทดลองของอุณหภูมิที่มีต่อฟิล์มเพชรจะได้ว่ายิ่งอุณหภูมิสูงขึ้นจะมีผลทำให้ค่าความต้านทานลดลง

การสังเคราะห์ฟิล์มเพชรจากวิธีนี้มีข้อดีคือสามารถสังเคราะห์ในอากาศได้โดยไม่ต้องใช้ Chamber และปั๊มสุญญากาศ ต้นทุนในการผลิตต่ำ และอัตราการเกิดผลึกที่เร็ว

## เอกสารอ้างอิง

- [1] ลัดดาวัลย์ สุภาดี, “ การปลูกผลึกเพชรด้วยเทคนิค Hot Filament Chemical Vapor Deposition”วิทยานิพนธ์สำหรับปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ปีการศึกษา 2544
- [2] กอบศักดิ์ ศรีประภา, “การศึกษาการเลือกฟิล์มเพชรเฉพาะพื้นที่ด้วยวิธี CVD แบบความร้อน”, วิทยานิพนธ์สำหรับปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิศวกรรมไฟฟ้าคณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ปีการศึกษา 2541
- [3] โยธิน วงศ์ประเสริฐ, “การศึกษาและพัฒนาฟิล์มเพชรด้วยวิธี Combustion Activation CVD”, วิทยานิพนธ์สำหรับปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิศวกรรมไฟฟ้าคณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ปีการศึกษา 2541



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้