

การประยุกต์ใช้งานอุปกรณ์ตัวเก็บประจุจากฟิล์มเพชรที่อุณหภูมิสูง
HIGH TEMPERATURE DIAMOND THIN FILM FOR
CAPACITOR APPLICATION



โดย

นาย ชีระพงษ์ คล่องการพานิช

นาย สามารถ ศรีอิม

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
สาขาวิชาอิเล็กทรอนิกส์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2542

เลขหม.....

เลขทะเบียน.....36958

วัน, เดือน, ปี.....29 ต.ค. 2543

เอกสารนี้เป็นเอกสารสำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
โดยไม่ได้รับอนุญาต หากมีการเปลี่ยนแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การประยุกต์ใช้งานอุปกรณ์ตัวเก็บประจุจากฟิล์มเพชรที่อุณหภูมิสูง

HIGH TEMPERATURE DIAMOND THIN FILM FOR
CAPACITOR APPLICATION



นาย ชีระพงษ์ คล่องการพานิช 40013173

นาย สามารถ ศรีอิม 40013233

อาจารย์ที่ปรึกษา

รศ.ดร.วิสุทธิ์ จิตรุ่งเรือง

ปริญญาานิพนธ์สำหรับปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิชาอิเล็กทรอนิกส์

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2542

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริญญาโทปีการศึกษา 2542

ภาควิชา อิเล็กทรอนิกส์

คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
เรื่อง การประยุกต์ใช้งานอุปกรณ์ตัวเก็บประจุจากฟิล์มเพชรที่อุณหภูมิสูง

ผู้จัดทำ

1. นาย ชีระพงษ์ คล่องการพานิช 40013173
2. นาย สามารถ ศรีอิม 40013233



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การประยุกต์ฟิล์มบางเพชรเป็นตัวเก็บประจุไฟฟ้าใช้งานที่อุณหภูมิสูง

นาย ชีระพงษ์ คล่องการพานิช

นาย สามารถ ศรีอิม

รศ.ดร.วิสุทธิ จิตรุ่งเรือง

อาจารย์ที่ปรึกษา

ปีการศึกษา 2542

บทคัดย่อ

เพชรอยู่ในรูปหนึ่งของคาร์บอน มีคุณสมบัติทางกายภาพที่ดีกว่าซิลิกอนและแคลเซียมอาร์เซไนด์หลายอย่าง เช่น เพชรมีค่าช่องว่างแถบพลังงานต้องห้าม (Eg) สูงถึง 5.5 eV มากที่สุดในบรรดาสารกึ่งตัวนำที่นำมาสร้างเป็นอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ในปัจจุบัน ทำให้เหมาะสมสำหรับใช้งานที่อุณหภูมิสูง นอกจากนี้ยังมีความคล่องตัวของประจุพาหะ แรงดันพังทลายและความนำความร้อนสูง เพชรจึงมีข้อดีหลายอย่างในการนำไปประยุกต์ใช้ จึงได้มีการสร้างและพัฒนาอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์จากเพชรขึ้น และตัวเก็บประจุไฟฟ้า (Capacitor) เป็นอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์พื้นฐานที่มีความสำคัญยิ่งที่วงจรอิเล็กทรอนิกส์จำเป็นต้องมีเสมอไม่ว่าส่วนใดก็ส่วนหนึ่งของวงจร

รายงานนี้จึงนำเสนอ การนำฟิล์มบางเพชรที่เกิดจากวิธี Hot-Filament CVD มาสร้างเป็นตัวเก็บประจุไฟฟ้าเพื่อนำไปใช้งานในสภาพแวดล้อมที่มีอุณหภูมิขณะใช้งานสูง โดยอาศัยคุณสมบัติของเพชรที่มีค่าช่องว่างแถบพลังงานต้องห้าม (Eg) สูงถึง 5.5 eV

HIGH TEMPERATURE DIAMOND THIN FILM FOR CAPACITOR APPLICATION

Mr.Teerapong Klongkanpanich

Mr.Samart Sorn-im

Assoc.Prof.Dr.Wisut Titiroongruang

1999

ABSTRACT

As we've known that semiconducting diamond, a type of structural carbon, has the unique physical properties compared with Si and GaAs such as wide energy band gap (5.5 eV), high breakdown voltage and high thermal conductivity and high carrier mobility. These advantages make diamond been the most important and interesting material in wide range of applications. Also capacitor is one of the most important basic electronic devices in any part of electronic circuits.

This project presents the capacitor application of diamond thin film in high temperature operation by using the useful diamond property of high energy band gap. Diamond films are synthesized by hot-filament CVD method.

สารบัญ

บทคัดย่อภาษาไทย	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	II
สารบัญ	III
สารบัญภาพ	VI
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ความเป็นมา	1
1.2 เทคนิคการสร้างฟิล์มเพชรด้วยวิธี CVD แบบต่างๆ	3
1.2.1 Thermal Enhanced CVD Methods	3
1.2.1.1 Filament-Assisted Thermal CVD	3
1.2.2 Combustion Flame - Assisted CVD	5
บทที่ 2 ทฤษฎีของเพชรและหลักการควบคุมการเกิดฟิล์มเพชรเฉพาะที่	7
2.1 เพชรและรูปต่างๆของคาร์บอน	7
2.1.1 Diamond	7
2.1.2 Graphite	8
2.1.3 Microcrystalline carbon	9
2.1.4 Amorphous carbon	10
2.2 คุณสมบัติต่างๆของเพชร	10
2.2.1 คุณสมบัติทางกล	10
2.2.2 คุณสมบัติทางแสง	11
2.2.3 คุณสมบัติทางไฟฟ้า	12
2.2.4 คุณสมบัติของเพชรเมื่อเทียบกับสารกึ่งตัวนำชนิดอื่น	13
2.3 หลักการพื้นฐานของวิธี CVD แบบความร้อน	14
2.3.1 ในระบบต้องมีอะตอมของไฮโดรเจนปรากฏอยู่	14
2.3.2 ต้องมีการกระตุ้นก๊าซที่มีอนุภาคคาร์บอน	14
2.3.3 อุณหภูมิของฐานรองต้องมีความเหมาะสม	15
2.3.4 ต้องมีการเตรียมพื้นผิวของฐานรอง	15

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4	กลไกการเกิดฟิล์มเพชรของวิธี CVD	18
2.4.1	กระบวนการของก๊าซเฟส	18
2.4.2	ลักษณะการเกิดรูปทรงของผลึกเพชร	22
2.5	การวิเคราะห์และตรวจสอบคุณสมบัติของฟิล์มเพชร	24
2.5.1	การวิเคราะห์ลักษณะพื้นผิวของฟิล์มเพชรด้วยเทคนิค SEM	25
2.5.2	การวิเคราะห์ด้วยเทคนิค Raman spectroscopy	28
บทที่ 3 ทฤษฎีของตัวเก็บประจุไฟฟ้า		35
บทที่ 4 กระบวนการทดลอง		41
4.1	การเตรียมแผ่นฐานรอง	41
4.1.1	การทำความสะอาดผิวแผ่นซิลิกอนเริ่มต้น	41
4.1.2	การเตรียมพื้นผิวฐานรองโดยการขัดด้วยครีมเพชร	42
4.2	กระบวนการสร้างฟิล์มเพชร	43
4.3	กระบวนการทำความสะอาดฟิล์มเพชร	46
4.4	กระบวนการกัดแผ่นซิลิกอนออกจากฟิล์มเพชร	46
4.5	กระบวนการทดสอบฟิล์มเพชร	48
4.5.1	การทดสอบด้วยเครื่อง Scanning Electron Microscopy	48
4.5.2	การทดสอบด้วยเครื่อง Raman spectroscopy	48
4.6	กระบวนการสร้างตัวเก็บประจุไฟฟ้า	49
4.6.1	กระบวนการสร้างแผ่นโลหะ	49
4.6.2	กระบวนการสร้างขั้วโลหะ	49
4.7	การวัดค่าตัวเก็บประจุไฟฟ้า	50
4.7.1	การวัดค่า I-V ของตัวเก็บประจุไฟฟ้าที่อุณหภูมิ 27 และ 200 องศาเซลเซียส	50
4.7.2	การวัดค่า C-V ของตัวเก็บประจุไฟฟ้าที่อุณหภูมิ 27 และ 200 องศาเซลเซียส	51
4.7.3	การวัดค่าของตัวเก็บประจุโดยการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิอย่างกะเอียด	51

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5 ผลการทดลองและวิเคราะห์ผลการทดลอง	52
5.1 ลักษณะผิวหน้าของแผ่นซิลิกอนที่ผ่านการเตรียมพื้นผิวด้วยการขัดด้วย ครีมเพชร	52
5.2 ผลการสร้างฟิล์มเพชร โดยวิธี CVD แบบความร้อน	53
5.3 ผลการกัดแผ่นซิลิกอนออกจากฟิล์มเพชรด้วย KOH	53
5.4 ผลการทดสอบฟิล์มเพชร	54
5.4.1 กระบวนการทดสอบฟิล์มเพชร	54
5.4.1.1 การทดสอบด้วยเครื่อง SEM	54
5.4.1.2 การทดสอบด้วยเครื่อง Raman spectroscopy	55
5.5 การวัดค่า I-V และ C-V ของตัวเก็บประจุไฟฟ้าที่สร้างจากฟิล์มเพชร	56
5.5.1 ผลการวัดค่า I-V ของตัวเก็บประจุไฟฟ้าที่อุณหภูมิ 27 และ 200 องศาเซลเซียส	56
5.5.2 ผลการวัดค่า C-V ของตัวเก็บประจุไฟฟ้าที่อุณหภูมิ 27 และ 200 องศาเซลเซียส	57
5.5.3 ผลการวัดค่าของตัวเก็บประจุโดยการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิอย่าง ละเอียด	62
บทที่ 6 สรุปและวิจารณ์	64
ภาคผนวก ก	67
ภาคผนวก ข	74
กิตติกรรมประกาศ	77
บรรณานุกรม	78

สารบัญภาพ

รูปที่ 1.1	แสดงแผนภาพระบบ Hot-Filament-Assisted Thermal CVD [1]	4
รูปที่ 1.2	แสดงแผนภาพระบบ Combustion Flame-Assisted CVD [2]	5
รูปที่ 2.1	แสดงแบบจำลองโครงสร้างผลึกของเพชร [1]	8
รูปที่ 2.2	แสดงโครงสร้างผลึกของเพชรเทียบกับกราฟไฟต์ [1]	9
รูปที่ 2.3	แสดง Raman spectrum ของฟิล์มเพชรที่ได้จากการ ใช้อุณหภูมิสูงด้วย เงื่อนไขต่าง ๆ กัน [4]	17
รูปที่ 2.4	แสดงกระบวนการทางเคมีที่เกิดขึ้นในรีแอกเตอร์ CVD ของเพชร [2]	19
รูปที่ 2.5	แสดงกระบวนการเกิดกราฟไฟต์และเพชรขณะสังเคราะห์เพชรและการเปลี่ยน กลับไปมาของพันธะแบบ sp^2 ไปสู่ sp^3 [2]	20
รูปที่ 2.6	แสดงแผนภาพการเกิดรูปทรงของฟิล์มเพชร ในฟังก์ชันของความเข้มข้น ของก๊าซมีเทนในไฮโดรเจน และอุณหภูมิฐานรอง [1]	23
รูปที่ 2.7	แสดงลักษณะรูปร่างของฟิล์มเพชรแบบต่าง ๆ จากการถ่าย SEM	25
รูปที่ 2.8	แสดงตัวอย่างการวัดความหนาของฟิล์มเพชรที่ได้จากภาพถ่าย SEM	28
รูปที่ 2.9	แผนภาพแสดงการเปลี่ยนแปลงระดับพลังงานของอิเล็กตรอนที่อุณหภูมิต่าง ๆ	30
รูปที่ 2.10	แสดง Raman spectrum ของฟิล์มเพชรที่สร้างจากเงื่อนไขต่าง ๆ กัน [4]	32
รูปที่ 3.1	สัญลักษณ์ของตัวเก็บประจุไฟฟ้า	35
รูปที่ 3.2	การเกิดประจุในชั้นไดอิเล็กตริกที่เกิดจากการเหนี่ยวนำของสนามไฟฟ้าที่ให้	36
รูปที่ 3.3	โครงสร้างภายในของตัวเก็บประจุ	36
รูปที่ 3.4	แสดงวงจรสมมูลของตัวเก็บประจุในทางปฏิบัติ	38
รูปที่ 4.1	แสดงตัวอย่างครีมเพชรที่ใช้ในการขัดแผ่นซิลิกอน	43
รูปที่ 4.2	แสดงแผนภาพกระบวนการสร้างฟิล์มเพชร	44
รูปที่ 4.3	แสดงอุปกรณ์ชุดทดลองที่ใช้ในการสร้างฟิล์มเพชร	45
รูปที่ 4.4	แสดงรูปชุดเครื่องมือการกัดแผ่นซิลิกอนด้วย KOH [6]	47
รูปที่ 4.5	เครื่อง Scanning Electron Microscopy (SEM)	48
รูปที่ 4.6	เครื่อง Raman Spectroscopy ที่ใช้ในการวัด Raman Spectrum	49
รูปที่ 4.7	แสดงรูปตัวเก็บประจุที่ใช้ในการทดลอง	50
รูปที่ 4.8	เครื่อง HP 4061A ที่ใช้ในการวัดค่า I-V และ C-V	50
รูปที่ 4.9	รูปการจัดชุดเครื่องมือในการวัดผลของอุณหภูมิที่มีผลต่อตัวเก็บประจุ	51
รูปที่ 5.1	ลักษณะผิวหน้าของแผ่นซิลิกอนที่ผ่านการเตรียมพื้นผิวสำหรับสร้างฟิล์มเพชร	52
รูปที่ 5.2	แสดงแผ่นซิลิกอนที่สร้างฟิล์มเพชรอยู่บนผิวหน้า	53

สารบัญภาพ(ต่อ)

รูปที่ 5.3 แสดงฟิล์มเพชรที่ได้หลังจากกัดด้วย โพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ (KOH)	53
รูปที่ 5.4 แสดงรูปพื้นผิวของฟิล์มเพชรที่ถ่ายด้วยเครื่อง SEM	54
รูปที่ 5.5 Raman Spectrum ของฟิล์มเพชรที่สร้างได้	55
รูปที่ 5.6 ผลการทดลองการวัด I-V ของตัวเก็บประจุไฟฟ้าที่ทำจากฟิล์มเพชร	56
รูปที่ 5.7 ผลการทดลองการวัด C-V ของตัวเก็บประจุไฟฟ้าที่ทำจากฟิล์มเพชร ที่ความถี่ 10 kHz	57
รูปที่ 5.8 ผลการทดลองการวัด C-V ของตัวเก็บประจุไฟฟ้าที่ทำจากฟิล์มเพชร ที่ความถี่ 20 kHz	58
รูปที่ 5.9 ผลการทดลองการวัด C-V ของตัวเก็บประจุไฟฟ้าที่ทำจากฟิล์มเพชร ที่ความถี่ 1 MHz	59
รูปที่ 5.10 ผลการทดลองการวัด C-V ของตัวเก็บประจุไฟฟ้าที่ทำจากฟิล์มเพชร ที่ความถี่ 4 MHz	60
รูปที่ 5.11 ผลการทดลองการวัด C-V ของตัวเก็บประจุไฟฟ้าที่ทำจากฟิล์มเพชร ที่ความถี่ 10 MHz	61
รูปที่ 5.12 ผลการทดลองการวัดค่าเก็บประจุที่อุณหภูมิค่าต่าง ๆ ที่แรงดันไฟฟ้า 10 โวลต์ ความถี่ 1 MHz	63
รูปที่ ข-1 ผลการทดลองการวัด C-V ของตัวเก็บประจุไฟฟ้าชนิดเซรามิกค่า 47 pF ที่ 27 องศาเซลเซียส	74
รูปที่ ข-2 ผลการทดลองการวัด C-V ของไดโอดเบอร์ 1N 4008 ที่ 27 องศาเซลเซียส	75

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมา

เมื่อประมาณ 200 ปีที่ผ่านมาในปี ค.ศ. 1772 Antoine Lavoisier นักเคมีชาวฝรั่งเศส ได้ทดลองเผาเพชรในภาชนะที่ปิดสนิทด้วยความร้อนจากแสงอาทิตย์ผ่านเลนส์ ผลที่ได้คือเกิดก๊าซ CO_2 และผงดำที่เหลืออยู่ อย่างไรก็ตาม Lavoisier ไม่ได้สนใจที่ตีพิมพ์เผยแพร่งานที่พบ ต่อมาในปี ค.ศ. 1972 Tennant นักเคมีชาวอังกฤษได้ทำการทดลองตาม Lavoisier และได้รับผลอย่างเดียวกัน จนกระทั่งเมื่อ Sir. William Henry Bragg และ ลูกชายคือ Sir. William Lawrence Bragg ได้ใช้ X-ray ศึกษาคาร์บอนและพบว่ามียหลายรูปแบบคือ Cubic (เพชร), Hexagonal (กราไฟต์) และ Amorphous ตลอดจนเมื่อนักวิทยาศาสตร์ทราบว่าเพชรมีความหนาแน่น 3.52 g/cm^3 สูงกว่ากราไฟต์ซึ่งมีค่าเพียง 2.25 g/cm^3 ทำให้สามารถเปลี่ยนคาร์บอนให้เป็นเพชรได้ จึงเป็นจุดเริ่มต้นในการสังเคราะห์เพชรขึ้น

จนกระทั่งเมื่อปี ค.ศ. 1955 Bundy et al. ได้ทำการสังเคราะห์เพชรเป็นผลสำเร็จที่ General Electric Research Laboratories (GE) ด้วยวิธี High - Pressure High-temperature (HPHT) วิธีการดังกล่าวถูกตรวจสอบว่าสามารถสังเคราะห์เพชรซ้ำได้ ดังเช่นในปี ค.ศ. 1953 นักวิทยาศาสตร์ชาวสวีเดนอ้างว่าได้ทำการสังเคราะห์เพชรด้วยวิธี HPHT สำเร็จแต่ไม่มีการรายงานผลงานออกมา ซึ่งการสังเคราะห์เพชรด้วยวิธี HPHT นั้น กระบวนการสร้างสามารถเปลี่ยนคาร์บอน (ส่วนมากอยู่ในรูปของกราไฟต์) เป็นเพชรได้โดยใช้อุณหภูมิและความดันสูง ดังนั้นอุปกรณ์ที่ใช้จึงเป็นอุปกรณ์เฉพาะและมีราคาแพงมาก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำหรับการสังเคราะห์เพชร ที่ความดันต่ำได้เริ่มต้นที่ Union Carbide Corporation เมื่อปี ค.ศ. 1949 โดย W.G. Eversole et al. ประสบผลสำเร็จสามารถสังเคราะห์เพชรบนผลึกเพชรได้จาก ก๊าซไฮโดรคาร์บอนในปี ค.ศ. 1952-1953 ทำให้เริ่มมีการศึกษาการสังเคราะห์เพชรที่ความดันต่ำ แพร่หลายขึ้น ต่อมาในปี ค.ศ. 1956 Boris Spitsyn et al. ได้นำเสนอถึงการสร้างเพชรที่ความดันต่ำ โดยใช้ความร้อนทำให้ก๊าซ CCl_4 และ CBr_4 แตกตัวเกิดเพชรบนผลึกเพชร พร้อมกันนั้นที่ Physical Chemistry Institute, Moscow ได้เริ่มทำการศึกษาการสร้างเพชรที่ความดันต่ำเป็นครั้งแรกใน โซเวียตจนกระทั่งปี ค.ศ. 1971 Angus et al. ได้เสนอถึงการใช้อะตอมไฮโดรเจน ที่เกิดจากการ แล่ตัวบริเวณไส้หลอดทั้งสแตนในการกำจัดคราไฟต์ที่เกิดขึ้นขณะสังเคราะห์เพชร เพชรที่ได้จาก การสังเคราะห์สามารถทำให้เป็นสารกึ่งตัวนำชนิดพีได้โดยการผสมก๊าซ B_2H_6 เข้าไปในก๊าซ CH_4 ระหว่างการสร้าง วิธีการนี้นำเสนอโดย Proferl et al. ในปี ค.ศ. 1973 นับเป็นจุดเริ่มต้นในการศึกษา ถึงการทำเพชรที่สังเคราะห์ขึ้นมาใช้งานในทางอิเล็กทรอนิกส์

ในประเทศญี่ปุ่น Setaka et al. ได้เริ่มต้นศึกษาการสังเคราะห์เพชรเป็นครั้งแรกที่ Japan's National Institute for Research in Inorganic Materials (NIRIM) ในปี ค.ศ. 1974 ด้วยวิธี HPHT เช่นเดียวกับที่ GE โดยมีจุดมุ่งหมายที่จะนำเพชรที่สังเคราะห์ได้เป็นวัสดุสำหรับใช้งานทาง อิเล็กทรอนิกส์และออปโตอิเล็กทรอนิกส์ แต่ในตอนหลังวิธีที่ใช้ในการสังเคราะห์ฟิล์มเพชรกลับ กลายเป็นวิธี CVD (Chemical Vapour Deposition) เนื่องจากเทคนิคการสังเคราะห์เพชรแบบ CVD มีความเหมาะสม สำหรับการสร้างเพชรให้เป็นฟิล์ม และมีความหลากหลายในการสังเคราะห์เพชร มากกว่า นับแต่นั้นการสังเคราะห์ฟิล์มเพชรในประเทศญี่ปุ่นมีการพัฒนาอย่างมาก เทคนิคการ สังเคราะห์ฟิล์มเพชรที่ความดันต่ำถูกนำเสนออย่างต่อเนื่อง โดยในปี ค.ศ. 1981 Matsumoto et al. ได้นำเสนอเทคนิคการสร้างเพชรด้วยวิธี Hot-Filament CVD (HFCVD) และ Microwave Plasma CVD (MPCVD) ถูกนำเสนอในปี ค.ศ. 1982 จนกระทั่งในปี ค.ศ. 1987 Suzuki et al. ค้นพบเทคนิค วิธีการ DC Plasma-Assisted CVD และ Hirose et al. ได้นำเสนอถึงการสร้างเพชรด้วยวิธี Combustion ในปี ค.ศ. 1988 ซึ่งเทคนิคการสังเคราะห์เพชรทั้งหมดที่นำเสนอ มีหลักการพื้นฐานคือ การทำให้อะตอมไฮโดรคาร์บอนแตกตัวบริเวณพื้นผิวที่สร้าง โดยฐานรองที่ใช้มีหลายชนิด อาทิเช่น Si, SiC, W, WC, Ta, Mo และ Al_2O_3 เป็นต้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.2 เทคนิคการสร้างฟิล์มเพชรด้วยวิธี CVD แบบต่างๆ

ปัจจุบันการสังเคราะห์เพชรที่ความดันต่ำได้รับความนิยมอย่างมาก เนื่องจากกระบวนการสร้างไม่ยุ่งยากและต้นทุนการสร้างต่ำ การสังเคราะห์ฟิล์มเพชรด้วยวิธี CVD เป็นหนึ่งในวิธีสร้างที่มีผู้ให้ความสนใจแพร่หลาย มีการพัฒนาทางเทคนิคการสร้างแตกต่างกันไป แต่โดยทั่วไปแล้ววิธีการ CVD นี้สามารถแบ่งออกเป็น 2 กลุ่ม หลักๆ ได้ตามเทคนิคที่ใช้คือ

1. Thermal Enhanced CVD Methods
2. Combustion Flame - Assisted CVD

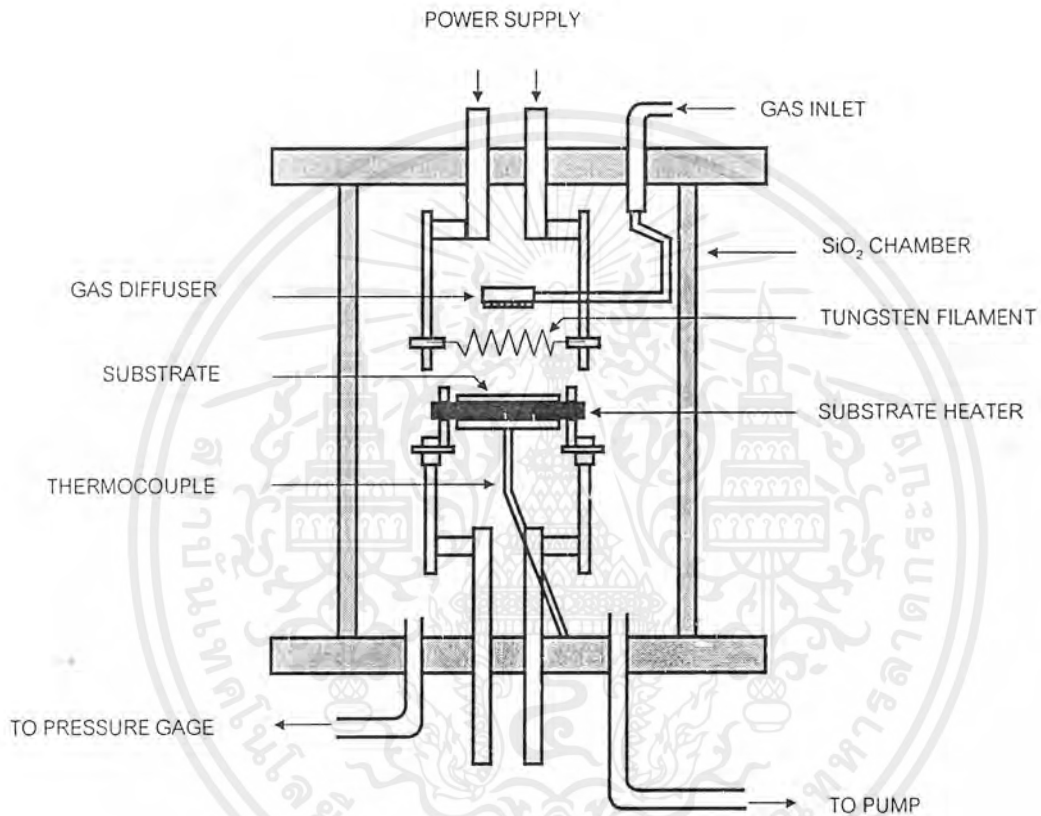
ซึ่งแต่ละวิธีจะมีความแตกต่างกันของพารามิเตอร์ อาทิเช่น อัตราการเกิดของฟิล์มเพชร, อุณหภูมิที่ใช้ในการสร้าง, อุณหภูมิของฐานรอง, พื้นที่การเกิดฟิล์มเพชร ตลอดจนคุณภาพของฟิล์มที่ได้ แต่ท้ายที่สุดฟิล์มเพชรที่สร้างจากวิธีการต่างๆ จากการตรวจสอบจะพบว่า ลักษณะรูปร่างของฟิล์มและสเปกตรัมของ Raman จะคล้ายกันอันเป็นที่ยืนยันได้ว่า แม้เทคนิคที่ใช้สร้างฟิล์มเพชรแตกต่างกันไป แต่ผลที่ได้ก็คือ ฟิล์มเพชรเหมือนกันนั่นเอง

1.2.1 Thermal Enhanced CVD Methods

1.2.1.1 Filament-Assisted Thermal CVD

วิธีนี้ถูกนำเสนอครั้งแรกโดย Matsumoto et al. จาก NIRIM ในปี ค.ศ. 1981 แผนภาพของวิธี Filament-Assisted Thermal CVD แสดงดังรูป 1.1 ภายใน Chamber มีไส้หลอดทั้งเสตนทำหน้าที่กำเนิดความร้อน อุณหภูมิของไส้หลอดทั้งเสตนมีค่าสูงถึง 2,000-2,300°C ฐานรองวางอยู่ด้านล่างของไส้หลอดมีอุณหภูมิ 700-1,000°C เมื่อก๊าซผสมระหว่างมีเทนและไฮโดรเจนถูกปล่อยเข้าไปใน Chamber ที่บริเวณไส้หลอดทั้งเสตนจะเกิดการแตกตัวของก๊าซขึ้นเป็นไฮโดรเจนอะตอมและคาร์บอนอะตอม ฐานรองสามารถไบอัสไฟเพื่อเพิ่มความหนาแน่นของการนิวเคลียส และอัตราการก่อตัวของฟิล์มเพชร ที่อัตราส่วนระหว่างก๊าซมีเทน (0.5-2%) ต่อก๊าซไฮโดรเจน กระทำที่ความดัน 10-100 ทอร์ ฟิล์มเพชรจะมีอัตราการเกิด 1-10 $\mu\text{m/hr}$ วิธี Filament-Assisted Thermal CVD นี้เป็นวิธีการที่ง่าย ค่าใช้จ่ายไม่สูงนัก ฟิล์มเพชรที่สร้างได้มีเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไมออนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คุณภาพดีมาก สามารถสร้างฟิล์มเพชรได้ในบริเวณกว้าง และมีความปลอดภัยสูง แต่ปัญหาที่พบคืออายุการใช้งานไส้หลอดทั้งสแตนด์สตัน เนื่องจากผลของการให้ความร้อนแก่ไส้หลอดทั้งสแตนด์สตันเป็นเวลานาน ทั้งสแตนด์สตันจะเกิดปฏิกิริยาเคมีเปลี่ยนเป็น α -W₂C ทำให้ไส้หลอดเปราะและผิครูปได้ง่าย

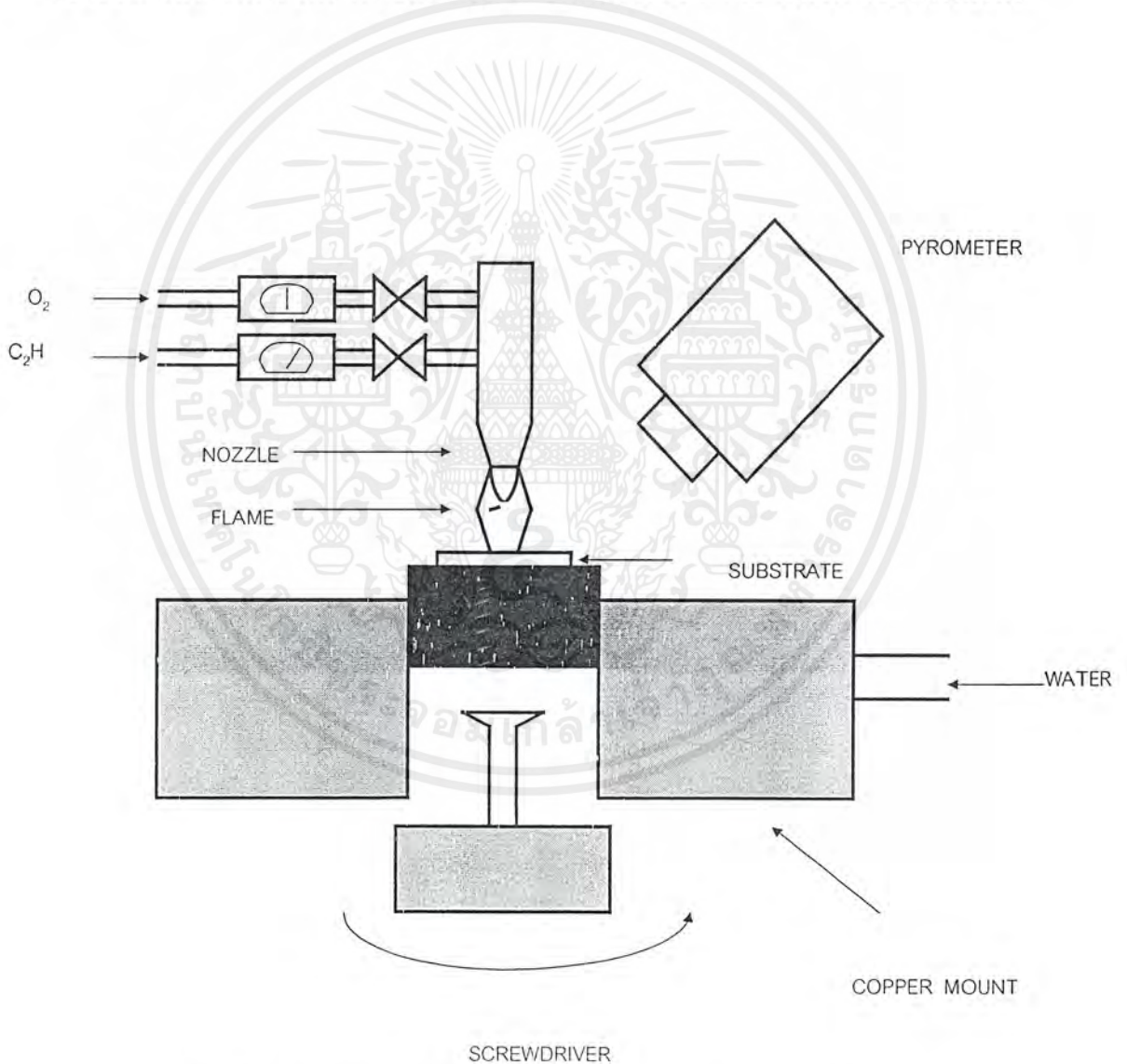


รูปที่ 1.1 แสดงแผนภาพระบบ Hot-Filament-Assisted Thermal CVD [1]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.2.2 Combustion Flame - Assisted CVD

Hirose et al. รายงานถึงการสร้างฟิล์มเพชรด้วยวิธีนี้เป็นครั้งแรกในปีค.ศ.1988 ฟิล์มเพชรถูกสร้างขึ้นที่ความดันบรรยากาศ โดยใช้เปลวไฟที่เกิดจากก๊าซผสมระหว่างอะเซติลีนกับไฮโดรเจนในอัตราส่วนที่เหมาะสม วิธีนี้ได้รับการตรวจสอบและยืนยันจากคณะทำงานของ



รูปที่ 1.2 แสดงแผนภาพระบบ Combustion Flame-Assisted CVD [2]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Naval Research Laboratories ว่าสามารถสร้างฟิล์มเพชรได้จริง นับเป็นการกระตุ้นให้มีความสนใจจำนวนมากเนื่องจากอุปกรณ์ที่ใช้หาได้ง่าย ต้นทุนการสร้างมีค่าต่ำมากและอัตราการเกิดของฟิล์มเพชรมีค่าสูง รูปที่ 1.2 แสดงแผนภาพวิธี Combustion Flame-Assisted CVD แก๊สอะเซติลีนและแก๊สออกซิเจน จะถูกควบคุมอัตราการไหลโดย Mass flow controllers เพื่อให้ได้ส่วนผสมตามต้องการ ด้านหลังของฐานรองมีน้ำไหลผ่านเพื่อระบายความร้อน อุณหภูมิของฐานรองอยู่ในช่วง 800-1,000°C อัตราการก่อตัวของฟิล์มเพชรมีค่าประมาณ 20 $\mu\text{m/hr}$ (Snail et al. จาก Naval Research Laboratories รายงานว่าค่าสูงสุดที่พบมีค่าถึง 150 $\mu\text{m/hr}$) อย่างไรก็ตาม วิธีนี้จะมีปัญหาในการสร้างเนื่องจากการควบคุมอุณหภูมิของฐานรองทำได้ยาก

เทคนิคการสร้างฟิล์มเพชรด้วยวิธี CVD ที่ความดันต่ำที่กล่าวถึงในข้างต้นแต่ละวิธีมีความแตกต่างกันออกไปในเทอมของอัตราการเกิดฟิล์มเพชร, พื้นที่ในการเกิดฟิล์มเพชรหรือคุณภาพของฟิล์มเพชรที่เกิดขึ้น ซึ่งการเลือกใช้เทคนิคการสร้างขึ้นอยู่กับวัตถุประสงค์ของการนำฟิล์มเพชรไปประยุกต์ใช้งาน ตัวอย่างเช่นถ้าต้องการนำฟิล์มเพชรไปใช้งานทางด้านอิเล็กทรอนิกส์ฟิล์มเพชรที่ใช้ต้องมีคุณภาพสูง มีความบริสุทธิ์ปราศจากสารเจือปน ดังนั้นควรใช้เทคนิคการสร้างวิธี Filament-Assisted Thermal CVD หรือวิธี Microwave-Plasma-Assisted CVD แต่ถ้าต้องการสร้างฟิล์มเพชรให้มีความหนาเพื่อใช้เคลือบป้องกันการสึกกร่อน เทคนิคการสร้างวิธี DC-Plasma-Assisted CVD หรือวิธี DC-Plasma Jet CVD ซึ่งเป็นวิธีที่มีค่าอัตราการเกิดฟิล์มเพชรสูง จะถูกเลือกใช้ใช้งาน

บทที่ 2

ทฤษฎีของเพชร วิธีสังเคราะห์ฟิล์มเพชรแบบ CVD ความร้อน และวิธีการตรวจสอบ

คาร์บอนเป็นธาตุที่อยู่ในหมู่ 4 โดยทั่วไปแล้วเมื่อเอ่ยถึงคาร์บอน เรามักจะนึกถึงถ่านอันเป็นรูปหนึ่งของมันที่พบได้ง่าย แต่แท้จริงแล้วคาร์บอนยังสามารถอยู่ในรูปอื่นได้อีก อาทิเช่น กราไฟต์ หรือ เพชร เป็นต้น ตลอดจนปัจจุบันได้มีผู้สนใจศึกษาถึงการสร้างและนำฟิล์มเพชรมาใช้งานอย่างแพร่หลาย โดยเฉพาะเทคนิคการสังเคราะห์ฟิล์มเพชรนั้นจำเป็นต้องมีอะตอมคาร์บอนในระบบเพื่อที่จะทำให้เกิดฟิล์มเพชรขึ้นมา แต่ในบางครั้งพบว่าฟิล์มที่สังเคราะห์ได้นั้นไม่มีคุณสมบัติเป็นเพชรหรือมีคุณสมบัติของสารชนิดอื่นอยู่ด้วย ตัวอย่างเช่น กราไฟต์, อมอร์ฟัสคาร์บอน (Amorphous carbon), Microcrystalline carbon และ Lonsdaleite ซึ่งสารที่กล่าวมาทั้งหมดนี้ก็คือรูปต่างๆของคาร์บอนนั่นเอง โดยสารแต่ละชนิดมีความแตกต่างกันไปแล้วแต่ลักษณะโครงสร้างภายใน ดังนั้นหัวข้อต่อไปนี้จะกล่าวถึงรูปต่างๆของคาร์บอนที่มักพบในกระบวนการสังเคราะห์เพชร

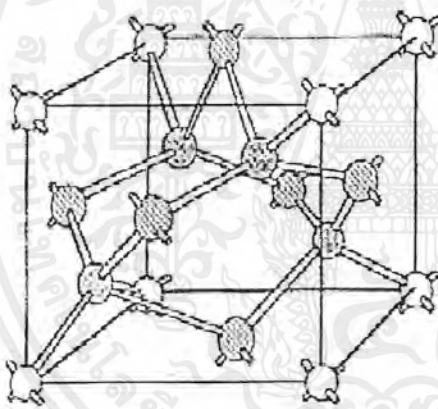
2.1 เพชรและรูปต่างๆของคาร์บอน

2.1.1 Diamond

ในกรณีของเพชรธรรมชาติ อะตอมคาร์บอนจะจับตัวเป็นโครงสร้างที่เรียกว่า “Diamond structure” ซึ่งสามารถแสดงได้ดังรูปที่ 2.1 จากรูปพบว่าภายในยูนิตเซลล์จะมีอะตอมคาร์บอน 6 อะตอมเรียงตัวแบบ Face center cubic (fcc) และอะตอมคาร์บอนอีก 4 อะตอมอยู่ในตำแหน่ง $1/4$ เมื่อวัดตามแนวทแยงมุมจากมุมของยูนิตเซลล์ คาร์บอนแต่ละอะตอมจะจับตัวแบบ tetrahedral กับอะตอมคาร์บอนทั้งสี่ตัวที่อยู่รอบๆตัวมันเองด้วยพันธะโควาเลนต์แบบ sp^3 ในที่สุดจะได้ว่าใน Diamond structure นี้อะตอมของคาร์บอนจะจับตัวกันมีลักษณะเป็นวงแหวนหกเหลี่ยม โดยอะตอมที่อยู่ใกล้เคียงกันจะมีการแกว่งในตำแหน่งสูงและต่ำสลับกันจากระนาบหรืออาจมอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อีกอย่างหนึ่งว่า วงแหวนหกเหลี่ยมเกิดจากอะตอมคาร์บอนที่จับตัวกันเป็นระนาบ {111} 2 อัน วางซ้อนทับกันอยู่ในลักษณะกลับหัวและอะตอมที่อยู่ใกล้เคียงกันจะไม่อยู่ในระดับเดียวกัน รูปที่ 2.1 แสดงให้เห็นระนาบ {111} ของอะตอมคาร์บอนที่เป็นลายจุดและระนาบ {111} ของอะตอมคาร์บอนที่เป็นลายขวางวางซ้อนกันอยู่เป็นรูปวงแหวนหกเหลี่ยม ความยาวแลตทิซอาจถูกมองว่าเป็นการเรียงกันเป็นชั้นๆของวงแหวนหกเหลี่ยม โดยที่แต่ละวงมีตำแหน่งตรงกัน ในทิศทางของระนาบ {111} การเรียงลำดับชั้นจะเป็นแบบ ABC ABC ABC ... ซึ่งทำให้เพชรมีค่าคงที่แลตทิซเป็น 3.567 Å และความยาวพันธะหรือระยะห่างระหว่างอะตอมตัวที่ใกล้ที่สุดมีค่าเท่ากับ 1.54 Å ผลของการตรวจสอบด้วย Raman spectroscopy พบว่าค่ายอดลำดับที่หนึ่ง (First order peak) ของเพชรมีค่า 1332 cm^{-1} และยอดลำดับที่สอง (Second order peak) ของเพชรเท่ากับ 2458 cm^{-1} สำหรับคาร์บอน 12 และในกรณีของคาร์บอน 13 จะมีค่ายอดลำดับที่หนึ่งอยู่ที่ 1284 cm^{-1}



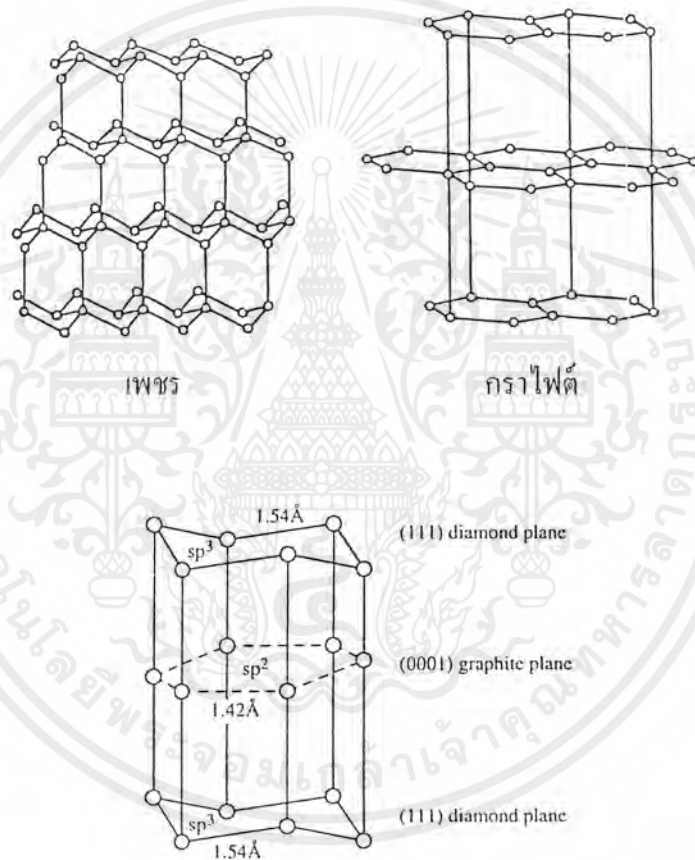
รูปที่ 2.1 แสดงแบบจำลอง โครงสร้างผลึกของเพชร [1]

2.1.2 Graphite

กราไฟต์เป็นรูปพื้นฐานของคาร์บอนที่พบได้มากที่สุด ลักษณะ โครงสร้างภายในของมันแสดงได้ดังรูปที่ 2.2 อะตอมคาร์บอนจะจับตัวที่ลักษณะเป็นวงแหวนหกเหลี่ยมเช่นเดียวกับเพชรแต่ข้อแตกต่างที่เห็นได้เด่นชัดคืออะตอมคาร์บอนที่จับตัวเป็นวงแหวนหกเหลี่ยมของกราไฟต์นั้นจะไม่มีารเชื่อมกันของอะตอมที่อยู่ใกล้กันเหมือนวงแหวนหกเหลี่ยมของเพชร แต่จะมีลักษณะเป็นแผ่นราบเสมอกัน อีกทั้งคาร์บอนแต่ละอะตอมจะจับตัวแบบ Trigonally กับอะตอมทั้งสามตัวที่อยู่ใกล้เคียงด้วยพันธะแบบ sp^2 การเรียงลำดับชั้นของวงแหวนหกเหลี่ยมกราไฟต์จะเป็นแบบ AB AB

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

AB... ตามลำดับ โดยมีระยะห่างระหว่างอะตอมใกล้เคียงเท่ากับ 1.42 \AA ในขณะที่ค่าคงที่แลตทิซคือ 6.707 \AA สำหรับกราฟิต์ ผลการวัดด้วย Raman spectroscopy จะแสดงตำแหน่งยอดลำดับที่หนึ่งที่มีค่า 1580 cm^{-1} และยอดลำดับที่สองอยู่ที่ 3240 cm^{-1} ตามลำดับ



ลักษณะการจัดเรียงตัวของอะตอมคาร์บอนในกราไฟต์ และเพชร [3]

รูปที่ 2.2 แสดงโครงสร้างผลึกของเพชรเทียบกับกราไฟต์ [1]

2.1.3 Microcrystalline carbon

โครงสร้างของผลึกเพชรจะมีเพียงพันธะของคาร์บอนอะตอมแบบ sp^3 เท่านั้น แต่บางกรณีในการสังเคราะห์เพชรอาจจะมีพันธะแบบ sp^2 ใกล้เคียง Crystallite grain boundaries สารที่มีคุณลักษณะนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ลักษณะเช่นนี้จะถูกเรียกว่า Microcrystalline carbon หรือ Microcrystalline graphite กราฟจาก Raman จะแสดงยอดคลื่นที่ตำแหน่ง 1355 cm^{-1} เมื่อเนื้อสารมีขนาดของเกรนเล็กมากๆ และยอดคลื่นอันดับสองมีค่า 2710 cm^{-1}

2.1.4 Amorphous carbon

Amorphous carbon ที่มีพันธะเป็นแบบ sp^2 จะแสดงยอดคลื่นของ Raman มีลักษณะเป็นแถบระหว่างตำแหน่งยอดที่ 1345 cm^{-1} ถึง ตำแหน่งที่ 1550 cm^{-1} โดยยอดคลื่นจะเปลี่ยนจากค่า 1345 cm^{-1} เป็นค่า 1550 cm^{-1} เมื่อเนื้อสารเกิดการ Hydrogenated ซึ่งที่ตำแหน่งยอดคลื่น 1550 cm^{-1} นี้ สารจะถูกเรียกว่า เป็น “Diamond-like carbon” (DLC) ส่วน Amorphous carbon ที่มีพันธะเป็นแบบ sp^3 จะมีตำแหน่งของยอดคลื่นประมาณ 1140 cm^{-1} ซึ่ง Amorphous carbon ชนิดนี้มีชื่อเรียกอีกอย่างหนึ่งคือ “Small size cubic diamond” (ขนาดของผลึก $< 0.1\ \mu\text{m}$)

จากที่กล่าวมาทั้งหมดเป็นรูปร่างต่างๆของคาร์บอนที่พบได้ในกระบวนการสังเคราะห์ฟิล์มเพชร อย่างไรก็ตามฟิล์มเพชรที่ได้จากการสังเคราะห์ไม่ว่าจะเป็นวิธีใดๆ ค่ายอดคลื่นจาก Raman อาจจะไม่แสดงตำแหน่งตรงค่า 1332 cm^{-1} พอดี แต่จะแสดงตำแหน่งที่ใกล้เคียงกับค่าดังกล่าว ตัวอย่างเช่น อาจจะมียอดคลื่นเป็น 1333 cm^{-1} เนื่องจากในการเกิดเพชรขึ้นตามธรรมชาติ กระบวนการเกิดตลอดจนปัจจัยรอบข้างต่างๆมีผลทำให้เพชรธรรมชาติยังมีความแตกต่างกับเพชรที่สังเคราะห์อยู่บ้าง แต่จากผลของการวิเคราะห์หาคุณสมบัติอื่นๆของฟิล์มเพชรพบว่ามีความใกล้เคียงหรือเท่ากับค่าที่ได้จากเพชรธรรมชาติมาก จนยอมรับได้ว่าฟิล์มเพชรที่สังเคราะห์ขึ้นนี้มีคุณสมบัติเหมือนกับเพชรธรรมชาติ

2.2 คุณสมบัติต่างๆของเพชร

เพชรมีคุณสมบัติอีกหลายประการที่น่าสนใจ อาทิเช่น คุณสมบัติทางกล, คุณสมบัติทางแสง และคุณสมบัติทางไฟฟ้า ซึ่งคุณสมบัติแต่ละชนิดจะแสดงรายละเอียดได้ดังนี้

2.2.1 คุณสมบัติทางกล

โครงสร้างของเพชรจะประกอบด้วยพันธะทางเคมีที่มีความแข็งแรง ดังนั้นเพชรจึงมีคุณสมบัติทางกลหลายๆอย่างที่พิเศษกว่าวัสดุชนิดอื่นๆ ตัวอย่างเช่น เพชรจะมีความแข็ง, Molar density และ Thermal conductivity สูง อีกทั้งเพชรมีค่าความยืดหยุ่นและ Bulk modulus

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ต่ำกว่าวัสดุชนิดอื่นๆตลอดจนยังมีค่าสัมประสิทธิ์การกระจายความร้อนต่ำมาก คือมีค่าเพียง $0.8 \times 10^{-6} / ^\circ\text{C}$ คุณสมบัติต่างๆทางกลของเพชรจะมีรายละเอียดดังนี้

- **Thermal conductivity** เพชรมีค่า Thermal conductivity สูงที่สุดในบรรดาวัสดุทั้งหมด คือมีค่าถึง 20 watts/cm. $^\circ\text{C}$ ข้อมูลแสดงการเปรียบเทียบอยู่ในภาคผนวก ก ค่าความนำความร้อนนี้จะมีค่าลดลงเมื่อมีไนโตรเจนจำนวนมากหากฟิล์มเพชรเป็นแบบผลึกรวม (polycrystalline) ที่ได้จากการสร้างที่มีคุณภาพที่ดี พบว่าความนำความร้อนในทิศทางของการปลูกผลึก มีค่าเป็น 55 % ของผลึกเดี่ยว ส่วนในระนาบของการปลูกผลึก ความนำความร้อนของผลึกเดี่ยวจะมีค่ามากกว่า 25 % แต่ส่วนมากแล้วจะขึ้นอยู่กับขนาดของผลึก

- **Molar heat capacity** ค่า Molar heat capacity หมายความว่า ปริมาณความร้อนที่ใช้ในการทำให้อุณหภูมิของหนึ่งน้ำหนักโมลของวัสดุใดๆ มีค่าเพิ่มขึ้น 1 องศา จากภาคผนวก ก แสดงการเปรียบเทียบค่า Molar heat capacity ระหว่างเพชรกับวัสดุชนิดอื่นๆ จะพบว่าค่าของเพชรมีค่าน้อยเมื่อเทียบกับวัสดุอื่นๆ นั่นหมายความว่า เพชรมีความเหมาะสมที่จะนำมาใช้งานด้านการกระจายความร้อนได้ดีเท่ากับ Heat sink

- **Thermal expansion** คือค่าอัตราส่วนของระยะทางที่ความร้อนที่อุณหภูมิใดๆแพร่ไปถึงเทียบกับระยะทางที่เปลี่ยนไปเมื่ออุณหภูมิเท่ากับ 0°C ค่า Thermal expansion นี้จะเป็นสัดส่วนโดยตรงกับค่า Molar heat capacity สำหรับของแข็งค่าสัมประสิทธิ์ของการกระจายความร้อนเชิงปริมาตรจะมีค่ามากกว่าเชิงเส้นประมาณ 3 เท่า สำหรับค่า Thermal expansion ของเพชรและวัสดุอื่นๆ ถูกเปรียบเทียบไว้ในภาคผนวก ก

- **Hardness** เพชรเป็นสารที่มีความแข็งสูงที่สุดในบรรดาวัสดุทั้งหมดที่เรารู้จัก โดยจะมีค่าความแข็งสูงถึง 5,700-10,400 kg/mm² อย่างไรก็ตามนักวิทยาศาสตร์ได้พยายามสร้างสารประกอบ C_3N_4 (Carbon Nitride) เชื่อว่าเป็นสารที่มีความแข็งมากกว่าเพชร สำหรับตารางการเปรียบเทียบค่าความแข็งของเพชรกับวัสดุอื่นๆ จะแสดงไว้ในภาคผนวก ก

2.2.2 คุณสมบัติทางแสง

การพิจารณาค่าสมบัติทางแสงของเพชรส่วนใหญ่แล้ว จะพิจารณาค่าดัชนีหักเห และการดูดกลืนแสงที่อุณหภูมิ และความยาวคลื่นที่กำหนด ตารางแสดงการเปรียบเทียบค่าดัชนีหักเหของเพชรและวัสดุอื่นๆที่อุณหภูมิห้องจะแสดงในภาคผนวก ก

2.2.3 คุณสมบัติทางไฟฟ้า

หากพิจารณาคุณสมบัติของเพชรในแง่ของสารกึ่งตัวนำ พบว่าค่าสัมประสิทธิ์ของ Hall ในเพชรธรรมชาติมีค่าอยู่ในช่วง 10^{12} ที่อุณหภูมิ 140 K ถึง 10^{15} ที่อุณหภูมิห้อง และมีค่าความคล่องตัว Hall ของโฮลสูงถึง $1,800 \text{ cm}^2/\text{volt}\cdot\text{sec}$ ในขณะที่ของอิเล็กตรอนมีค่า $2,000 \text{ cm}^2/\text{volt}\cdot\text{sec}$ แต่ในเพชรที่ได้จากการสร้างที่อุณหภูมิ 500°C พบว่ามีค่าความคล่องตัว Hall ของโฮลเพียง $850 \text{ cm}^2/\text{volt}\cdot\text{sec}$ ซึ่งในสารกึ่งตัวนำที่ใช้ในปัจจุบันมีเพียงเจอร์มาเนียม (Germanium) และอินเดียมแอนติโมไนด์ (Indium antimonide) เท่านั้นที่มีค่าความคล่องตัวของโฮลสูงๆ ส่วนในวัสดุอื่นๆจะมีค่าความเร็วโฮลอื่นตัวและ Dielectric strength ต่ำ ที่ความแรงสนามไฟฟ้า 10^4 Volt/cm ความเร็วครีฟของอิเล็กตรอนและโฮลเริ่มมีการอิมพัลส์สำหรับ โฮลมีค่าความเร็วครีฟสูงสุดที่ 10^7 cm/sec และในกรณีของอิเล็กตรอนจะมีค่าความเร็วสูงสุดที่ $2.0 \times 10^7 \text{ cm/sec}$ ค่าสภาพต้านทานไฟฟ้าของเพชรในธรรมชาติจะสูงถึง $10^{16} \text{ ohm}\cdot\text{cm}$

โบรอนเป็นสารเจือที่ถูกนำมาใช้ในการเปลี่ยนสภาพฟิล์มเพชรให้มีคุณสมบัติเป็นสารกึ่งตัวนำชนิดพี โดยอาจอยู่ในรูปของก๊าซหรือของเหลวทั้งนี้เนื่องมาจากโบรอนเป็นธาตุอยู่ในหมู่ 3 ทำหน้าที่เป็นอะตอมสารเจือผู้รับ อีกทั้งยังมีขนาดอะตอมเหมาะสมสามารถจับตัวกับอะตอมคาร์บอนโดยไม่ทำให้เกิดพิษเสียรูป ค่าพลังงานกระตุ้นของโบรอนขึ้นอยู่กับค่าความเข้มข้นของอะตอมโบรอนที่เจือลงไป ถ้าความเข้มข้นของอะตอมโบรอนมีค่ามาก พลังงานกระตุ้นจะมีค่าน้อยลงเกิด Shallow level มากขึ้น โดยทั่วไปแล้วถ้าความเข้มข้นของอะตอมโบรอนมีค่าประมาณ 100 ppm หรือ 10^{19} cm^{-3} พลังงานกระตุ้นจะมีค่าประมาณ $370 \times 10^{-3} \text{ eV}$ และสำหรับฟิล์มเพชรชนิด Highly doped (อะตอมสารเจือมากกว่า 10^{19} - 10^{20} cm^{-3}) ค่าพลังงานกระตุ้นจะมีค่าต่ำคือประมาณ $2 \times 10^{-3} \text{ eV}$

สำหรับกรณีของสารเจือผู้ให้ หากพิจารณาในโตรเจนพบว่าไม่สามารถใช้เป็นอะตอมสารเจือผู้ให้ได้ เนื่องจากค่าพลังงานกระตุ้นของไนโตรเจนมีค่าต่ำกว่าแถบความนำ คือมีค่าเพียง 1.57 eV เท่านั้น ดังนั้นจึงไม่เกิด Shallow level ขึ้น อีกทั้งอะตอมของไนโตรเจนยังทำให้โครงสร้างของเพชรเสียรูปไป ส่วนกรณีของฟอสฟอรัสซึ่งมีขนาดอะตอมใหญ่กว่าคาร์บอนการคำนวณจากทฤษฎีทำนายว่าฟอสฟอรัสสามารถใช้เป็นอะตอมสารเจือผู้ให้ได้ Okano et al. รายงานในปี ค.ศ. 1990 ว่าได้ทำการสังเคราะห์ฟิล์มเพชรชนิดเอ็นขึ้นมา โดยใช้ไอระเหยของสารละลาย P_2O_5 ในเมทานอล ซึ่งถูกเจือจางด้วยอะซิโตน ค่าความหนาแน่นประจุพาหะวัดได้ 10^{15} cm^{-3} และความคล่องตัวของอิเล็กตรอน $50 \text{ cm}^2 \text{ V}^{-1} \text{ s}^{-1}$ แต่ปัญหาที่พบคือ ไม่สามารถควบคุมค่าสภาพต้านทานทางไฟฟ้าของฟิล์มเพชรได้ อีกทั้งกระบวนการสังเคราะห์ยังไม่มี ความแน่นอน และอะตอมฟอสฟอรัสมีขนาดใหญ่ เมื่อสร้างพันธะกับอะตอมคาร์บอนแล้วมีผลทำให้โครงสร้างของเพชร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เสียรูปไป ดังนั้นลิเทียมจึงเป็นสารที่ได้รับความนิยมและศึกษาถึงความเป็นไปได้ในการใช้งาน

ซึ่งจากการศึกษาพบว่าฟิล์มเพชรที่ทำการได้ปลิเทียมด้วยวิธี Ion-implantation แสดงคุณสมบัติเป็นฟิล์มชนิดเอ็น แต่ในการได้แบบ In-situ และ In-diffusion จะไม่เกิดผลตามต้องการ เนื่องจากเกิดการชดเชยด้วยความหนาแน่นสูงของสถานะผู้รับที่กระจายอยู่ในแถบพลังงานต้องห้ามตลอดจนลิเทียมในเพชรมีการกระจายตัวสูงอย่างสม่ำเสมอที่อุณหภูมิห้องซึ่งทำให้การได้ปไม่มี ความแน่นอน

2.2.4 คุณสมบัติของเพชรเมื่อเทียบกับสารกึ่งตัวนำชนิดอื่น

ตารางที่ 2.1 แสดงให้เห็นถึงการเปรียบเทียบคุณสมบัติทางกายภาพของเพชรกับซิลิกอนและแกลเลียมอาร์เซไนด์ ซึ่งสารทั้งสองชนิดดังกล่าวนิยมใช้เป็นสารกึ่งตัวนำหลักในการผลิตอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ ผลจากตาราง 2.1 สามารถสรุปข้อดีของเพชรที่เหมาะสมในการใช้งาน เป็นสารกึ่งตัวนำดังนี้

ตารางที่ 2.1 แสดงการเปรียบเทียบคุณสมบัติทางกายภาพของเพชรกับสารกึ่งตัวนำซิลิกอนและแกลเลียมอาร์เซไนด์ [1]

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 (Ω.cm)	10 ¹⁶	10 ³	10 ⁹
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 (Å)	3.567	5.431	5.653
Thermal conductivity (W/cm.K)	20	1.5	0.46

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1. เพชรที่มีค่าแถบพลังงานต้องห้ามสูงกว่าซิลิกอนและแกลเลียมอาร์เซไนต์มากจึงเหมาะสำหรับใช้ในงานที่เกี่ยวข้องกับอุณหภูมิสูงๆ ซึ่งที่อุณหภูมิสูงๆซิลิกอนและแกลเลียมอาร์เซไนต์จะมีประจุพาหะอิสระเกิดขึ้น (โฮลและอิเล็กตรอน) จำนวนมากข้ามผ่านแถบพลังงานต้องห้าม ทำให้ไม่สามารถควบคุมจำนวนประจุพาหะได้ตามต้องการ
2. เพชรมีค่าคงที่ไดอิเล็กตริกต่ำ ทำให้สามารถทำงานได้ดีที่ความถี่สูง
3. ค่าสภาพความต้านทานไฟฟ้าของเพชรธรรมชาติมีค่าสูงมาก ดังนั้นจึงเหมาะสมที่จะนำมาใช้งานเป็นฉนวนไฟฟ้า ซึ่งค่าสภาพความต้านทานทางไฟฟ้านี้สามารถเปลี่ยนค่าได้ตามต้องการ โดยเติมอะตอมสารเจือลงไป

2.3 หลักการพื้นฐานของวิธี CVD แบบความร้อน

จากที่กล่าวมาแล้วในหัวข้อ 1.2 เกี่ยวกับกระบวนการสร้างฟิล์มเพชรด้วยวิธีต่างๆ แม้ว่าแต่ละวิธีมีความแตกต่างกันไป อย่างไรก็ตามจะมีหลักการพื้นฐานที่สำคัญเหมือนกันดังนี้

2.3.1 ในระบบต้องมีอะตอมของไฮโดรเจนปรากฏอยู่

เนื่องจากการเกิดของเพชรจากอนุมูลคาร์บอน ในบรรยากาศที่มีอะตอมของไฮโดรเจนเป็นเครื่องยืนยันให้เห็นว่า เพชรจะมีความเสถียรในสถานะที่มีอะตอมไฮโดรเจนมากกว่ากราฟไฟต์ สามารถอธิบายได้ดังนี้คือใน โครงสร้างเพชรถ้าหากมีอะตอมคาร์บอนข้างเคียงสองอะตอมถูกแทนที่ด้วยไฮโดรเจน จะพบว่าพันธะ sp^3 ยังคงมีอยู่ ซึ่งในกรณีเดียวกันนี้ กราไฟต์จะมีการเปลี่ยนแปลงในวงแหวนกราฟไฟต์ทั้งหมด นั่นคือ ในการเกิดเพชรจากอนุมูลคาร์บอน ซึ่งถูกเจือจางด้วยไฮโดรเจน จะนำไปสู่สองกระบวนการคือ หนึ่งคาร์บอนเริ่มก่อตัวในรูปของกราฟไฟต์ โดยมีเพชรอยู่บ้างเล็กน้อย และสองเกิดการเลือกกำจัดกราฟไฟต์ออกด้วยอะตอมไฮโดรเจน อาจกล่าวโดยสรุปว่า อะตอมไฮโดรเจนเป็นตัวสำคัญในการกำจัดกราฟไฟต์หรือลดการเกิดกราฟไฟต์ขึ้น

2.3.2 ต้องมีการกระตุ้นก๊าซที่มีอนุมูลคาร์บอน

ไม่ว่าจะกระตุ้นด้วยความร้อน พลาสมา หรือ Combustion เพื่อให้ได้อะตอมคาร์บอนออกมา โดยอัตราการก่อตัวของฟิล์มเพชรขึ้นอยู่กับความสามารถในการส่งผ่านอะตอมคาร์บอนสู่ฐานรอง ซึ่งส่วนมากแล้วในกระบวนการ CVD แรงที่ใช้ส่งอะตอมคาร์บอน จะอาศัยความเอกลสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไมออนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แตกต่างของอุณหภูมิระหว่างบริเวณที่ก๊าซเฟสถูกกระตุ้นกับพื้นผิวฐานรอง หรืออาจใช้การเป่าก๊าซเฟสไปยังฐานรองรวมถึงการใช้สนามไฟฟ้าในการช่วยการส่งผ่าน

2.3.3 อุณหภูมิของฐานรองต้องมีความเหมาะสม

วิธี CVD แบบความร้อนทั้งหมดที่กล่าวมาเพชรจะก่อตัวบนพื้นผิวของฐานรองที่อุณหภูมิตั้งแต่ 500°C ถึง $1,200^{\circ}\text{C}$ แล้วแต่กระบวนการที่ใช้ ถ้าหากอุณหภูมิของฐานรองมีค่าสูงหรือต่ำเกินไปจากนี้ อาจจะทำให้เกิดกราฟไฟต์หรือ Diamond-like carbon (DLC) ได้

2.3.4 ต้องมีการเตรียมพื้นผิวของฐานรอง

ฟิล์มเพชรจะมีอัตราการเกิดสูง หากมีการเตรียมพื้นผิวฐานรองเพื่อรองรับการนิวเคลียชัน ซึ่งกระบวนการเตรียมพื้นผิวที่ใช้มีหลายวิธีด้วยกัน โดยแต่ละวิธีจะให้อัตราการเกิดฟิล์มเพชรไม่เท่ากัน นอกจากนี้ยังรวมไปถึงฐานรองที่ใช้ บริเวณพื้นผิวต้องไม่มีตัวเร่งต่างๆที่ทำให้เกิดกราฟไฟต์ และต้องมีข้อจำกัดในการแพร่ของอะตอมคาร์บอนลงไปเนื้อของฐานรองที่อุณหภูมิที่ทำการสร้าง

ในกระบวนการสร้างนั้น ต้องใช้หลักการทั้งสี่ข้อนี้ร่วมกันเพื่อผลออกมาจะได้ฟิล์มเพชรที่มีคุณภาพดี อัตราการเกิดฟิล์มเพชรมีค่าสูง หากขาดข้อหนึ่งข้อใดไป ผลที่ออกมาจะไม่ใช่เพชร คืออาจเป็นกราฟไฟต์, อมอร์ฟัสคาร์บอน หรือ Diamond-like carbon ก็ได้โดยวิธีการที่ใช้ในการควบคุมเงื่อนไขทั้งสี่ข้อดังกล่าว สามารถใช้เทคนิคหลายอย่างควบคุมตามความเหมาะสม

สำหรับในปฏิญญาพันธบัตรที่นำเสนอนี้ จะใช้การสังเคราะห์ฟิล์มเพชรด้วยวิธี Filament-Assisted Thermal CVD ดังที่ได้กล่าวมาข้างแล้วในหัวข้อ 1.2.1.1 ซึ่งฟิล์มเพชรที่ได้มีคุณภาพดี ราคาต้นทุนต่อการสร้างต่ำ และยังสามารถสร้างได้ในบริเวณกว้างโดยบริเวณที่เกิดเพชรจะขึ้นอยู่กับลักษณะรูปทรงของไส้หลอด เนื่องจากบริเวณรอบๆไส้หลอด มีการกระตุ้นของก๊าซเฟสเกิดขึ้น

อย่างไรก็ตามข้อเสียของวิธีนี้คือมักจะเกิดการเสื่อมสภาพของไส้หลอดเนื่องมาจากปฏิกิริยาทางเคมีระหว่างก๊าซไฮโดรคาร์บอนกับไส้หลอด อีกทั้งขณะทำการสร้างเพชรเป็นเวลานาน ไส้หลอดจะมีการย่อยหรือบิดเบี้ยว เนื่องจากค่าแรงดึงดูดของโลกและความร้อนที่เกิดขึ้นทำให้ระยะห่างระหว่างไส้หลอดกับฐานรองมีค่าไม่เท่ากัน ดังนั้นความร้อนของฐานรองมีค่าไม่สม่ำเสมอทั้งแผ่น ส่งผลต่อคุณภาพของฟิล์มที่ได้ Wolden et al. [3] ได้ศึกษาถึงการเปลี่ยนรูปทรงของไส้หลอด, เส้นผ่าศูนย์กลาง, ระยะห่างระหว่างไส้หลอดกับฐานรอง พบว่าค่าต่างๆเหล่านี้มีผลทำให้

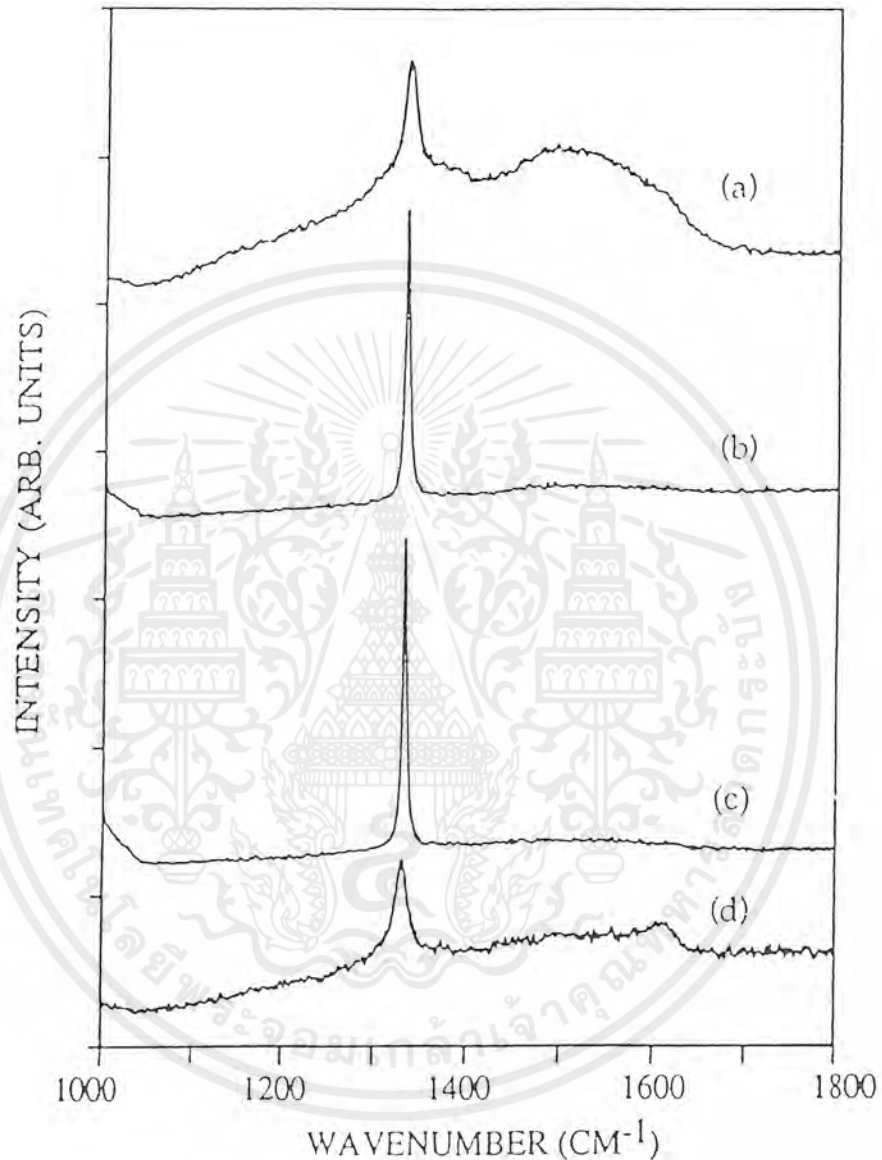
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อุณหภูมิฐานรองเปลี่ยนไป และยังพบอีกว่าหากอุณหภูมิของฐานรองมีความสม่ำเสมอ ความหนาของฟิล์มเพชรที่ได้จะมีขนาดเท่ากันตลอด ซึ่งทำได้โดยการเพิ่มจำนวนไส้หลอด หรือระยะห่างระหว่างฐานรองกับไส้หลอด ในกรณีที่ไส้หลอดมีจำนวนมากกว่าหนึ่งอัน อุณหภูมิของฐานรองจะมีความสม่ำเสมอ ณ จุดที่ระยะห่างระหว่างไส้หลอดกับฐานรองมีค่าน้อยกว่าหรือเท่ากับระยะห่างของไส้หลอดแต่ละอัน อย่างไรก็ตามคุณภาพของฟิล์มเพชรจะมีค่าลดลง เมื่อระยะห่างระหว่างไส้หลอดกับฐานรองเพิ่มมากขึ้น เนื่องจากกระบวนการส่งผ่านของอนุภาคก๊าซในรีแอคเตอร์จะมีค่าจำกัดในการแพร่

ก๊าซที่ใช้ในกระบวนการสร้างฟิล์มเพชร ส่วนมากนิยมใช้สารประกอบไฮโดรคาร์บอน (เช่น CH_4 , C_2H_4 , CH_3OH หรือ $\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$) ผสมกับก๊าซไฮโดรเจนในอัตราส่วนที่เหมาะสม ตัวอย่างเช่น เงื่อนไขการสร้างอาจใช้อัตราส่วนของก๊าซ CH_4 ต่อไฮโดรเจนน้อยกว่า 1% อัตราการไหลของก๊าซ 100 sccm. ความดันที่ใช้ต่ำกว่า 100 ทอร์ อุณหภูมิฐานรองประมาณ 800°C และอุณหภูมิไส้หลอดอยู่ระหว่าง $2,000\text{-}2,200^\circ\text{C}$ ฐานรองที่ใช้อาจเป็น Si หรือ Mo จากเงื่อนไขฟิล์มเพชรที่ได้มีอัตราการก่อตัวประมาณ $1 \mu\text{m/hr}$

มีวิธีที่ช่วยในการเกิดฟิล์มเพชรวิธีหนึ่งคือการไบอัสระหว่างไส้หลอดกับฐานรอง นั่นคือเหมือนกับว่าเป็นการนำเอาวิธีแบบ Hot filament ร่วมกับกระบวนการพลาสมา โดยเพิ่มสนามไฟฟ้าและเหนี่ยวนำให้เกิดประจุขึ้นมาในระบบแบบความร้อน [3] ภายใต้การไบอัสระบบจะประพุดตัวคล้ายไดโอดเนื่องจากจำนวนอิเล็กตรอนจากไส้หลอด (โลหะที่อุณหภูมิสูงกว่า $2,000^\circ\text{C}$) มีค่ามากกว่าฟลักซ์อิเล็กตรอนจากฐานรอง (อุณหภูมिन้อยกว่า $1,000^\circ\text{C}$) นั่นคือถ้าฐานรองมีสถานะเป็นบวกเมื่อเทียบกับไส้หลอด (Forward bias) กระแสอิเล็กตรอนจากไส้หลอดจะไหลสู่ฐานรองอย่างมาก แต่ถ้าฐานรองถูกไบอัสแบบย้อนกลับทำให้ไม่มีการไหลของอิเล็กตรอน จนกระทั่งถึงค่าแรงดันวิกฤติ (ประมาณ -160 V) กระแสอิเล็กตรอนจะมีจำนวนมาก ซึ่งที่ค่าแรงดันวิกฤตินี้ก่อให้เกิด DC-plasma ขึ้นในระบบ การไบอัสแต่ละแบบส่งผลให้ฟิล์มเพชรที่เกิดขึ้นมีคุณสมบัติต่างๆกันไป การเปรียบเทียบคุณสมบัติของเพชรที่ได้จากการไบอัสสามารถแสดงได้ในรูปที่ 2.3

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง



รูปที่ 2.3 แสดง Raman spectrum ของฟิล์มเพชรที่ได้จากการไบอัสฐานรองด้วยเงื่อนไขต่าง ๆ กัน [4]
 (a) ไบแอสไปข้างหน้า 150 V ($I \sim 125$ mA) (b) ไม่มีการไบแอส ($I \sim 10$ μ A),
 (c) ไบแอสย้อนกลับ -150 V ($I \sim -5$ μ A) (d) ไบแอสย้อนกลับ -180 V ($I \sim 60$ mA)

จากรูปแสดงให้เห็นว่าการไบอัสจะส่งผลถึงการนิวคลีเอชัน, ลักษณะรูปร่างและการจับตัวเป็นพันธะ การไบอัสไปข้างหน้า ทำให้เกิดปรากฏการณ์ Electron bombardment ของฟิล์ม ซึ่ง

จะนำไปสู่การเพิ่มขึ้นของการนิวคลีเอชัน อย่างไรก็ตามฟิล์มที่ได้มีความไม่สมบูรณ์สูงและเกิด

เอกสารเป็นเอกสารที่ส่งมอบวัสดุหรือบริการเชิงเทคนิคเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาติให้เผยแพร่ข้อมูลในการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Secondary nucleation และ Twinning ความไม่สมบูรณ์ของฟิล์มในกรณีนี้แสดงได้ดังกราฟจาก รูป 2.3 a สำหรับการไบอัสแบบย้อนกลับกรณีที่แรงดันไม่เกินค่าวิกฤติ สเปกตรัมของ Raman แสดงให้เห็นว่าฟิล์มเพชรมีคุณภาพดี แต่ถ้าแรงดันเกินค่าวิกฤติฟิล์มเพชรที่ได้จะไม่สมบูรณ์ด้วย เหตุผลเช่นเดียวกับการให้ไบอัสไปข้างหน้า

สรุปได้ว่าวิธี Filament-Assisted Thermal CVD นี้จะได้เพชรที่มีคุณภาพดีและอัตราการก่อตัวสูงพอสมควร อีกทั้งสิ่งเจือปนที่เกิดจากไส้หลอดมีน้อยมากจนยอมรับให้ใช้ในงานทางด้านอิเล็กทรอนิกส์ได้จนเป็นวิธีที่นิยมใช้ในอุตสาหกรรมสร้างฟิล์มเพชร

2.4 กลไกการเกิดฟิล์มเพชรของวิธี CVD

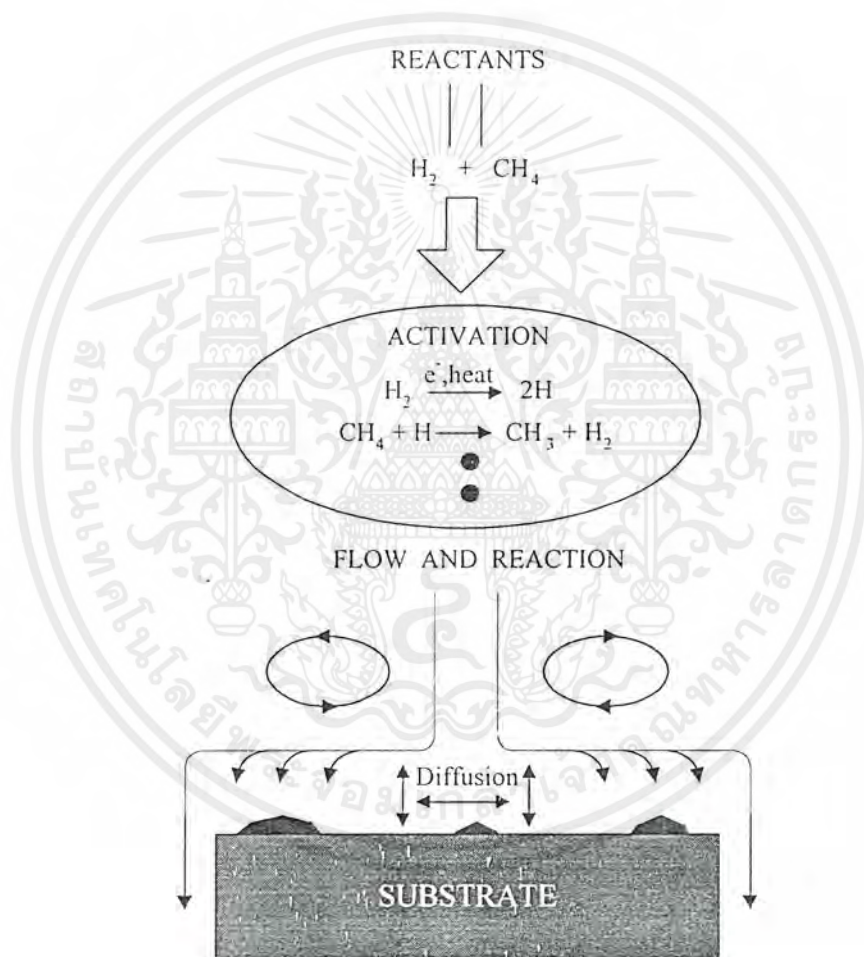
2.4.1 กระบวนการของก๊าซเฟส

การสร้างเพชรด้วยกระบวนการ CVD มีหลักการพื้นฐานคือต้องมีการกระตุ้นก๊าซเฟส ด้วยพลังงานสถานะสูง เพื่อจุดประสงค์ 2 อย่าง คือ 1.ทำให้ก๊าซไฮโดรคาร์บอนแตกตัวเป็น โมเลกุล ซึ่งพร้อมจะเกิดปฏิกิริยาการก่อตัวที่พื้นผิวและ 2.แยกโมเลกุลไฮโดรเจนเพื่อสร้าง สมดุลย์ความหนาแน่นสูงของก๊าซเฟสของอะตอมไฮโดรเจน โดยทั่วไปแล้วรีแอกเตอร์ที่ใช้กระตุ้น มีอยู่ 4 วิธีที่นิยมคือ Hot-filament reactors, Microwave plasma reactors, DC arcjet reactor และ Combustion-synthesis reactors [2]

แม้ว่าแต่ละระบบการสร้างมีความแตกต่างกันในแง่ของรูปแบบทางวิศวกรรมแต่ทั้งหมด จะมีลักษณะสำคัญพื้นฐานเหมือนกัน คือทำให้ได้ฟิล์มเพชรที่มีคุณภาพดีออกมา พลังงานจำนวนมากที่ใช้จะอยู่ในรูปของพลังงานไฟฟ้าหรือเคมี ทำให้โมเลกุลของไฮโดรเจนและไฮโดรคาร์บอน แตกตัว การสร้างจะกระทำที่ความดันต่ำ (ประมาณ 10 torr-1 atm) เพื่อป้องกันการรวมตัวของ อะตอมของไฮโดรเจนกลับไปสู่รูปของโมเลกุล อุณหภูมิของก๊าซเฟสมีค่าสูงกว่า 1,700°C เกิดขึ้น ที่บริเวณ Activation zone การระบายความร้อนทั้งแบบแอกทีฟหรือพาสซีฟเป็นตัวรักษาระดับ อุณหภูมิของฐานรองให้มีค่าประมาณ 925 °C

อย่างไรก็ตามกระบวนการส่งผ่านจะมีความแตกต่างกันอย่างสิ้นเชิง ในรีแอกเตอร์ทั้งสี่ ชนิด รีแอกเตอร์ชนิด Hot-filament และ Microwave plasma มีการแพร่เป็นส่วนสำคัญเหมือนกันว่า ตรงนั้นไม่มีความร้อน, ความเร็วหรือความหนาแน่นของ "Boundary layer" ดังนั้นจึงมักจะพบการ เปลี่ยนแปลงอย่างต่อเนื่องในอุณหภูมิ, ความเร็วหรือความหนาแน่นของอนุภาคระหว่างบริเวณ เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

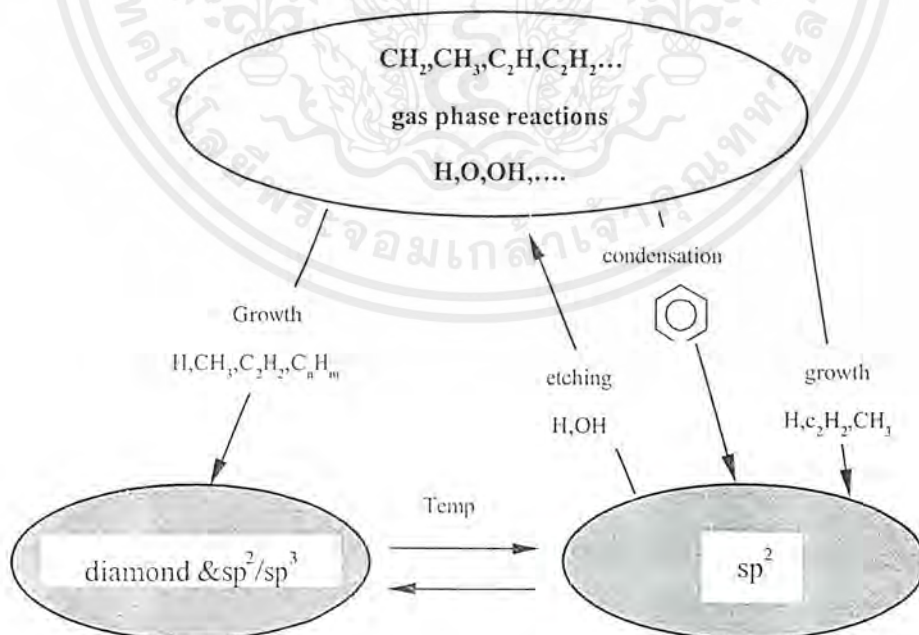
กระตุ้น (Hot-filament หรือ Plasma ball) และพื้นผิวการเกิดในแต่ละรีแอกเตอร์ ส่วนรีแอกเตอร์ชนิด Arc jet และ Combustion CVD เป็นชนิดที่มีความเร็วสูง (ตัวอย่างเช่น อาจสูงเกินกว่า 10^5 cm/s) ดังนั้นจึงมีการพาเป็นส่วนสำคัญ ชั้นบางๆของ Boundary layer ในอุณหภูมิ, ความเร็ว และความหนาแน่นจะเกิดขึ้นใกล้ๆ กับพื้นผิวที่เกิด



รูปที่ 2.4 แสดงกระบวนการทางเคมีที่เกิดขึ้นในรีแอกเตอร์ CVD ของเพชร [2]

จากแผนภาพในรูปที่ 2.4 แสดงให้เห็นถึงกระบวนการที่เกิดขึ้นในรีแอกเตอร์ CVD รีแอกเตอร์แบบ Hot-filament หรือก๊าซที่ใส่เข้าไปคือก๊าซผสมระหว่างมีเทนและไฮโดรเจน ซึ่งเป็นที่นิยมใช้สำหรับรีแอกเตอร์แบบ Hot-filament และ Plasma รีแอกเตอร์ที่เข้าไปในบริเวณที่มีอุณหภูมิสูง หรือพลังเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไมอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

งานสูงจะถูกกระตุ้นภายในบริเวณนั้น ปฏิริยาเคมีเริ่มเกิดขึ้นเมื่อ โมเลกุลไฮโดรเจนแตกตัวออกเป็นไฮโดรเจนอะตอม เมื่อเวลาผ่านไปประมาณ 10^{-9} s และเกิดการชนกันของก๊าซในรีแอกเตอร์โดยใช้เวลาดั้งแต่ 10^{-4} s ถึง 10 s จากนั้นปฏิริยาที่เกิดขึ้นต่างๆจะถูส่งผ่าน โดยการไหล, การแพร่และการพาจากรีแอกเตอร์ ไปยังฐานรองที่บริเวณใกล้ฐานรอง การแพร่จะเข้าสู่บริเวณที่การไหลหยุดนิ่งซึ่งถูกเรียกว่า “Boundary layer” พื้นผิวบนฐานรองจะเกิดการดูดกลืน, การคาย, การแพร่ที่พื้นผิวหรือเข้าไปในเนื้อสารและเกิดปฏิริยาทางเคมีต่างๆ กระบวนการที่เกิดขึ้นทั้งหมดเป็นประโยชน์ต่อการเกิดเพชรและมีความสำคัญเกี่ยวข้องกับกระบวนการต่างๆ เป็นฟังก์ชันที่ซับซ้อนของอุณหภูมิ, โครงสร้างและองค์ประกอบของพื้นผิว นอกจากนี้ในการสังเคราะห์ฟิล์มเพชรด้วยวิธี CVD คาร์บอนที่เกิดขึ้นสามารถจับตัวเป็นพันธะเคมีได้หลายรูปแบบแล้วแต่ Hybridization ว่าเป็นแบบ sp^1 , sp^2 หรือ sp^3 รูปที่ 2.5 แสดงแผนภาพกระบวนการที่เกิดขึ้นขณะสร้างเพชรว่าคาร์บอนสามารถเป็นได้ทั้งเพชร (sp^3) หรือ กราไฟต์ (sp^2), การเปลี่ยนไปมาระหว่างพันธะแบบ sp^2 ไปสู่ sp^3 หรือ sp^3 กลับไป sp^2 , การกำจัดรูปอื่นๆของคาร์บอนที่ไม่ใช่เพชร และกระบวนการอื่นๆที่เป็นการกำหนดอัตราการก่อตัวและคุณภาพในการเกิด ซึ่งค่าต่างๆเหล่านี้ขึ้นอยู่กับเงื่อนไขการทดลอง เช่น อุณหภูมิ, ความดัน, โหมงการกระตุ้น, ความเข้มข้นของก๊าซที่ใช้หรือแม้แต่รูปร่างของรีแอกเตอร์



รูปที่ 2.5 แสดงกระบวนการเกิดกราฟไฟต์และเพชรขณะสังเคราะห์เพชรและการเปลี่ยนกลับไปมาของพันธะแบบ sp^2 ไปสู่ sp^3 [2]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไมอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

-ปฏิกิริยาที่ไร้หลอด

Langmuir [2] เป็นคนแรกที่ค้นพบการแตกตัวของไฮโดรเจนบนไส้หลอดทั้งสแตนท์ที่มีอุณหภูมิสูงเมื่อปี ค.ศ.1912 และวิธี Hot-filament ได้แสดงให้เห็นว่าเป็นวิธีที่มีโครงสร้างง่ายๆ อีกทั้งมีประสิทธิภาพในการทำให้เกิดอะตอมไฮโดรเจน ต่อมาได้มีการนำมาใช้ในการสร้างฟิล์มเพชร โดยทำเป็นวิธีที่มีโครงสร้างง่ายๆ อีกทั้งมีประสิทธิภาพในการทำให้เกิดอะตอมไฮโดรเจน ต่อมาได้มีการนำมาใช้ในการสร้างฟิล์มเพชร โดยทำเป็นรีแอคเตอร์ ชนิด Hot-filament Jansen et al. ได้ศึกษาถึงการแตกตัวของก๊าซไฮโดรเจนที่บริเวณไส้หลอด โดยอาศัยการแตกต่างกันในกำลังที่ใช้ไปโดยไส้หลอดในสถานะสุญญากาศ และในบรรยากาศของก๊าซไฮโดรเจน วัดค่าของอัตราการแตกตัวของก๊าซไฮโดรเจน พบว่าอัตราการแตกตัวขึ้นอยู่กับลักษณะรูปทรงของไส้หลอดและจากการวิเคราะห์อัตราของอะตอมไฮโดรเจนที่ได้ขึ้นอยู่กับพารามิเตอร์อื่นๆ อีกตัวอย่างเช่น สัมประสิทธิ์การแพร่, ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของหลอดและค่าคงที่อัตราการแตกตัว

-ผลของอุณหภูมิฐานรอง

ในกระบวนการสร้างเพชรด้วยวิธี CVD อุณหภูมิของฐานรองจะส่งผลต่อการเกิดเพชรหลายอย่าง Spitsyn et al. [2] ได้เสนอผลจากการทดลองว่ามีเพชรเกิดขึ้นเมื่ออุณหภูมิของฐานรองมีค่าตั้งแต่ 500°C ถึง $1,200^{\circ}\text{C}$ แล้วแต่วิธีการที่ใช้ โดยหากอุณหภูมิฐานรองมีค่าเกินกว่า $1,200^{\circ}\text{C}$ ผลที่ได้จะเป็นกราไฟต์ และหากอุณหภูมิฐานรองต่ำกว่า 500°C ในก๊าซผสมระหว่างไฮโดรคาร์บอนและไฮโดรเจน ผลที่ได้จะเป็น DLC เกิดขึ้นแทน เมื่อไม่กี่ปีมานี้ Inspektor et al. รายงานถึงอุณหภูมิต่ำสุดที่สร้างเพชรขึ้นได้ประมาณ 300°C โดยใช้ก๊าซที่มีส่วนผสมของ C-H-O นอกจากนี้อุณหภูมิฐานรองยังมีผลต่ออัตราการเกิดเพชรอีกด้วย โดยอัตราการเกิดเพชรจะมีค่าลดลงเมื่ออุณหภูมิสูงเกินกว่า $1,000^{\circ}\text{C}$

-บทบาทของก๊าซไฮโดรเจน

นับตั้งแต่ Angus et al. เสนอว่าอะตอมไฮโดรเจนสามารถกำจัดกราไฟต์ออกจากเพชรได้เป็นอย่างดี อีกทั้งได้รับการนำเสนอทำนองเดียวกันจากกลุ่มนักวิทยาศาสตร์ชาวรัสเซียว่าสมดุลของความหนาแน่นสูงของอะตอมไฮโดรเจนที่พื้นผิวการเกิด มีคุณสมบัติในการกำจัดกราไฟต์ Setaka et al. ได้แสดงให้เห็นถึงการกำจัดกราไฟต์ออกโดยอะตอมไฮโดรเจนที่ถูกกระตุ้นด้วยขนาดที่เร็วกว่าเพชรมาก อย่างไรก็ตามที่อุณหภูมิการสร้างเพชรต่างๆ แบบจำลองของ Frenklach et al. ทำนายว่าอัตราการกำจัดพันธะ sp^2 ของอะตอมไฮโดรเจนจะลดลงเมื่อเทียบกับอัตราที่เกิดขึ้นของกระบวนการอื่นๆ เช่น Hydrogenation ของพันธะ sp^2 ไปสู่ sp^3 โดยอะตอมไฮโดรเจน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

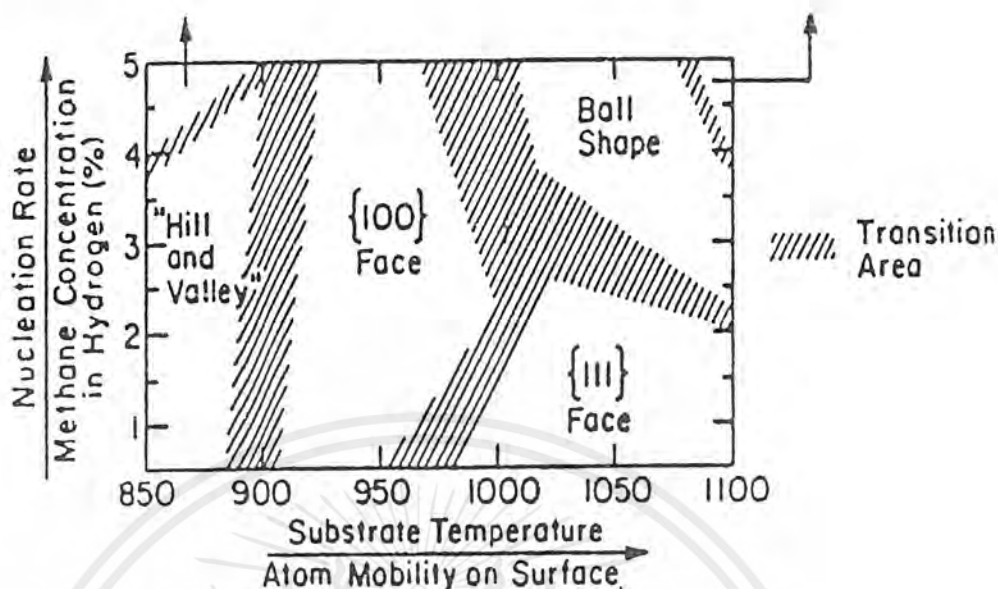
หน้าที่หลักอีกอย่างหนึ่งของไฮโดรเจนคือ ช่วยทำให้เพชรมีเสถียรภาพมากขึ้น [2] เนื่องจากบริเวณผิวหน้าของเพชรอะตอมคาร์บอนจะมีพันธะแขวนขาด (Dangling bond) อะตอมไฮโดรเจนจะเข้าไปจับตัวกับแขนที่ขาดของอะตอมคาร์บอนเพื่อป้องกันการเปลี่ยนพันธะของ sp^3 ไปเป็น sp^2 หรือ sp และอะตอมไฮโดรเจนยังมีความสำคัญอย่างมากในกระบวนการเกิดเพชร โดยจะเป็นตัวกำจัดไฮโดรเจนที่จับตัวเป็นพันธะ Cd-H กับอะตอมคาร์บอนที่บริเวณผิวหน้าของเพชร อะตอมคาร์บอนในพันธะระหว่าง Cd-H เมื่อสูญเสียอะตอมไฮโดรเจนออกไปจะเป็น Cd ดังสมการ



เมื่อ Cd คืออะตอมคาร์บอนที่บริเวณผิวหน้าของเพชร และ Cd^{\bullet} ก็อะตอมคาร์บอนบริเวณผิวหน้าที่ถูกกระตุ้น นอกจากนี้ยังมีผู้ให้ความเห็นเกี่ยวกับหน้าที่อื่นๆ ของไฮโดรเจนอีก เช่น Frenklach et al. เสนอว่าอะตอมไฮโดรเจนยังช่วยในการเกิดก๊าซเฟส หรือ Machlin et al. กล่าวว่าอะตอมไฮโดรเจนช่วยในการกำจัดออกซิเจนที่บริเวณผิวหน้าของฐานรอง

2.4.2 ลักษณะการเกิดรูปทรงของผลึกเพชร

โดยทั่วไปแล้วผลึกเพชรที่เกิดจากการสร้างด้วยวิธี CVD ส่วนมากมักพบในรูปของ Octahedral, Cubo-octahedral, cubic และ Multiply twinned particles ปัจจัยที่ทำให้เพชรเกิดเป็นรูปทรงต่าง ๆ กันขึ้นอยู่กับเงื่อนไขหลายอย่าง อาทิเช่น อุณหภูมิฐานรอง, ความเข้มข้นของก๊าซไฮโดรคาร์บอนกับไฮโดรเจนที่ใช้ มีการรายงานเกี่ยวกับพฤติกรรมการเกิดผลึกเพชรที่เงื่อนไขต่าง ๆ กัน ตัวอย่างเช่น ในปีค.ศ. 1987 Haubner et al. ได้ศึกษาลักษณะรูปทรงของผลึกเพชรที่สร้างด้วยวิธี Microwave plasma บนฐานรอง SiAlON พบว่ารูปทรงของผลึกเพชรที่ได้จะมีความสัมพันธ์กับความหนาแน่นของพลาสมาที่เปลี่ยนไปตลอดจนรวมไปถึงพารามิเตอร์ต่างๆ ในการสร้างเช่น แรงดันก๊าซ, อัตราการไหลของก๊าซ, ความเข้มข้นของมีเทน และอุณหภูมิฐานรอง พวกเขาพบว่าที่ความหนาแน่นของพลาสมาและอุณหภูมิฐานรองสูงผลึกเพชรจะมีระนาบ {111} แต่หากพลาสมาที่มีความหนาแน่นต่ำและอุณหภูมิฐานรองต่ำ ผลึกเพชรที่ได้จะมีระนาบ {100} Haubner et al. ได้เสนอแนะว่าการเกิดของผลึกเพชรที่มีระนาบต่างๆกัน น่าจะเป็นผลมาจากการอิมพัลส์ของคาร์บอนในก๊าซเฟส, ความคล่องตัวของคาร์บอนบนพื้นผิวและพลังงานพื้นผิวของผิวหน้าผลึกขณะเกิด



รูปที่ 2.6 แสดงแผนภาพการเกิดรูปทรงของฟิล์มเพชร ในฟังก์ชันของความเข้มข้นของก๊าซมีเทน ในไฮโดรเจน และอุณหภูมิฐานรอง [1]

นอกจากนี้ในปี ค.ศ.1990 Zhu et al. ได้ศึกษาถึงลักษณะการเกิดรูปทรงต่าง ๆ ของผลึก และฟิล์มเพชรที่สร้างด้วยวิธี Microwave plasma CVD [1] Zhu et al. พบว่าการเปลี่ยนไปของ อุณหภูมิฐานรอง, ความเข้มข้นของก๊าซมีเทน และอัตราการไหลของก๊าซ มีผลอย่างยิ่งกับการเกิด ผลึกเพชรเป็นระนาบ {111} หรือ {100} การทดลองได้นำการเพิ่มค่าอุณหภูมิฐานรองหรืออัตราการไหลของก๊าซ ตามลำดับ (อุณหภูมิฐานรองตั้งแต่ 850°C ถึง 1,150°C อัตราการไหลของก๊าซ จาก 0 ถึง 400 sccm) พบว่าผิวหน้าของฟิล์มเพชรจะเปลี่ยนจากระนาบ {100} เป็นระนาบ {111} และเมื่อเพิ่มความเข้มข้นของก๊าซมีเทนในไฮโดรเจนจาก 0.5 % เป็น 2% รูปทรงของฟิล์มเพชรจะ เปลี่ยนจากระนาบ {111} เป็นระนาบ {100} หากเพิ่มความเข้มข้นของก๊าซมีเทนขึ้นไปถึง 5 % ผลที่ได้จะเป็นฟิล์มเพชรที่มีผลึกขนาดเล็ก (น้อยกว่า 1 μm) ซึ่งมีกราฟเป็นองค์ประกอบเกิดขึ้น ผลจากการทดลองที่ได้นี้สามารถแสดงเป็นแผนภาพได้ดังรูปที่ 2.6 แผนภาพดังกล่าวถูกเรียกว่า “แผนภาพการเกิดรูปทรงของฟิล์มเพชร” ซึ่งใช้ทำนายการเกิดรูปทรงของฟิล์มเพชรได้ในกระบวนการ สร้างแบบ CVD

แผนภาพดังกล่าวสามารถใช้ทำนายรูปทรงของเพชรได้ โดยใช้ค่าอุณหภูมิฐานรองและ ความเข้มข้นของก๊าซมีเทนในไฮโดรเจนเป็นหลัก ตัวอย่างเช่น ฟิล์มเพชรระนาบ {111} ส่วนมาก เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จะพบในการสร้างที่มีอุณหภูมิฐานรองสูง และความเข้มข้นของก๊าซมีเทนในไฮโดรเจนต่ำ ในขณะที่ฟิล์มเพชรระนาบ {100} ได้จากการสร้างที่ใช้อุณหภูมิฐานรองและความเข้มข้นของก๊าซมีเทนในไฮโดรเจนมีค่าปานกลาง

2.5 การวิเคราะห์และตรวจสอบคุณสมบัติของฟิล์มเพชร

ภายหลังจากกระบวนการสร้างเพชรเสร็จสิ้นแล้ว ชิ้นงานที่ได้จะถูกนำไปตรวจสอบและวิเคราะห์หาคุณสมบัติของเพชรต่อไป

การวิเคราะห์คุณสมบัติของฟิล์มเพชรมีหลายวิธีการแล้วแต่ความเหมาะสมในการใช้งาน อาทิเช่น ถ้าต้องการตรวจสอบลักษณะพื้นผิวของฟิล์มเพชรพื้นที่เกิดฟิล์มเพชรหรือแม้แต่ความหนาของเพชรที่เกิดขึ้น นิยมใช้เทคนิคการวิเคราะห์ด้วยเครื่อง Scanning Electron Microscopy (SEM) แต่หากต้องการวิเคราะห์ถึงพันธะของอะตอมคาร์บอนที่จับตัวกัน เพื่อตรวจสอบว่าเป็นเพชร, กราไฟต์, อมอร์ฟัส หรือ DLC เทคนิคการวิเคราะห์ด้วย Raman spectroscopy จะถูกนำมาใช้หรือถ้าต้องการวัดคุณสมบัติทางไฟฟ้าของฟิล์มเพชร อาทิเช่น ความคล่องตัวของประจุพาหะ, ความหนาแน่นของประจุพาหะ เทคนิคการวัดด้วย Hall effect จะถูกเลือกใช้งาน

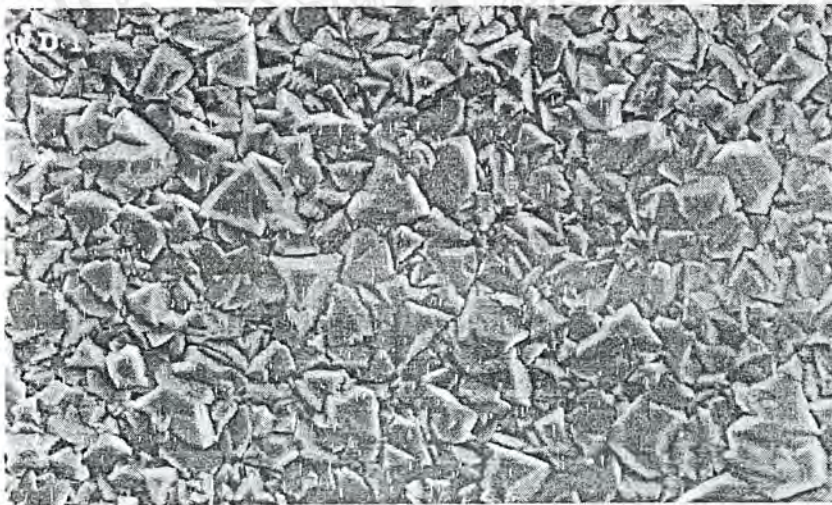
สำหรับในปฏิญานิพนธ์ฉบับนี้จะใช้เทคนิคการวิเคราะห์คุณสมบัติของเพชร 2 วิธีคือ

1. วิเคราะห์ลักษณะพื้นผิว, รูปทรง, ความหนา และการเกิดฟิล์มเพชรบนพื้นที่ที่กำหนดด้วย SEM
2. วิเคราะห์ Raman Spectroscopy เพื่อเป็นแสดงว่าฟิล์มเพชรที่สร้างขึ้นนั้น มีคุณสมบัติใกล้เคียงกับเพชรธรรมชาติ

2.5.1 การวิเคราะห์ลักษณะพื้นผิวของฟิล์มเพชรด้วยเทคนิค SEM

SEM (Scanning Electron Microscopy) เป็นเทคนิคที่นิยมใช้ในการตรวจสอบลักษณะพื้นผิวของฟิล์มที่มีขนาดเล็กกว่าไมครอน (μm) หลักการพื้นฐานของ SEM คือทำการกวาดโฟกัสของอิเล็กตรอนบนพื้นผิวและตรวจจับอิเล็กตรอนลำดับที่สองที่ปล่อยออกมาจากพื้นผิว ขนาดของอิเล็กตรอนสามารถปรับโฟกัสให้มีเส้นผ่าศูนย์กลางเล็กสุดได้ถึง 10-20 nm โดยขนาดของลำอิเล็กตรอนจะมีความสำคัญกับความคมชัดของภาพที่ได้ ความสว่างหรือความเข้มของอิเล็กตรอนลำดับที่สองที่ปล่อยออกมาจะขึ้นอยู่กับความแตกต่างทางเรขาคณิตของพื้นผิวที่ตรวจสอบ ซึ่งมีผลทำให้ตำแหน่งของตัวตรวจจับไม่สมดุล ลักษณะของพื้นผิวที่ได้จะถูกแสดงบนจอชนิด CRT (Cathode-ray tube)

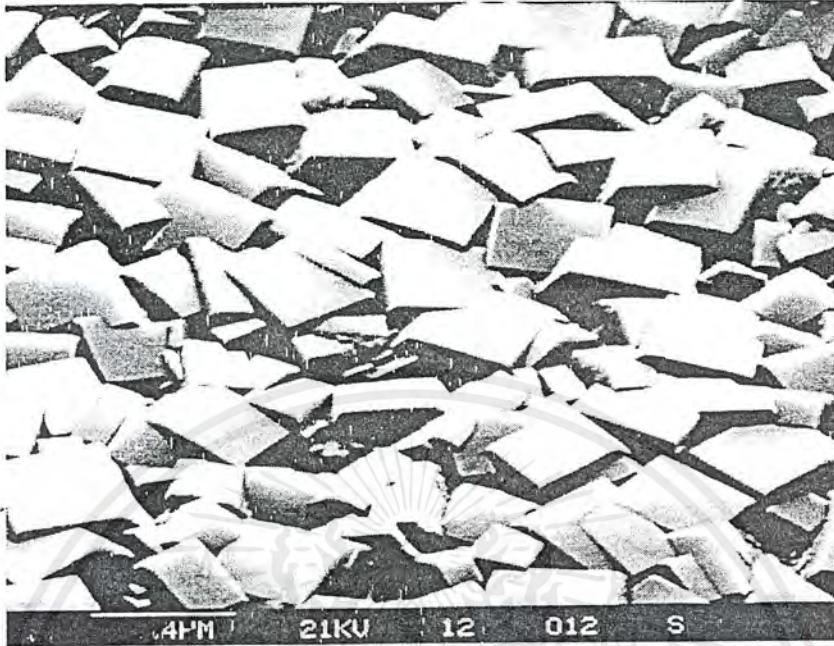
นอกจากนี้เทคนิคต่าง ๆ ในการสร้างฟิล์มเพชรด้วยวิธี CVD ทำให้ได้รูปร่างลักษณะของฟิล์มแตกต่างกันไป ขึ้นอยู่กับเงื่อนไขในการสร้าง โดยทั่วไปแล้วฟิล์มเพชรที่เกิดบนฐานรองที่ไม่ใช่เพชร (โดยเฉพาะฐานรอง Si) บริเวณผิวนั้นจะมีความขรุขระและรูปร่างลักษณะของพื้นผิวที่พบส่วนมากจะมี 4 แบบคือ 1. ระนาบ {111} 2. ระนาบ {100} 3. ระนาบรวม (Polycrystalline) และ 4. Cauliflower-like หรือ Microcrystalline ดังแสดงในรูปที่ 2.7 ซึ่งลักษณะของฟิล์มเพชรที่เกิดขึ้นขึ้นอยู่กับพารามิเตอร์ต่าง ๆ ที่ใช้ในการสร้าง โดยเฉพาะอุณหภูมิของฐานรองและความเข้มข้นของก๊าซไฮโดรคาร์บอนต่อก๊าซไฮโดรเจน



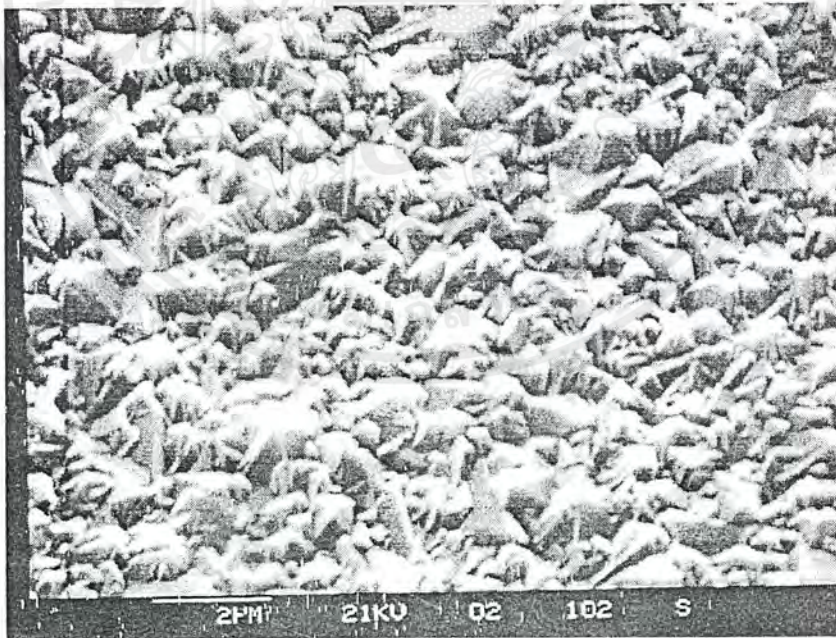
(a) {111} Triangular faces

รูปที่ 2.7 แสดงลักษณะรูปร่างของฟิล์มเพชรแบบต่าง ๆ จากการถ่ายภาพ SEM

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

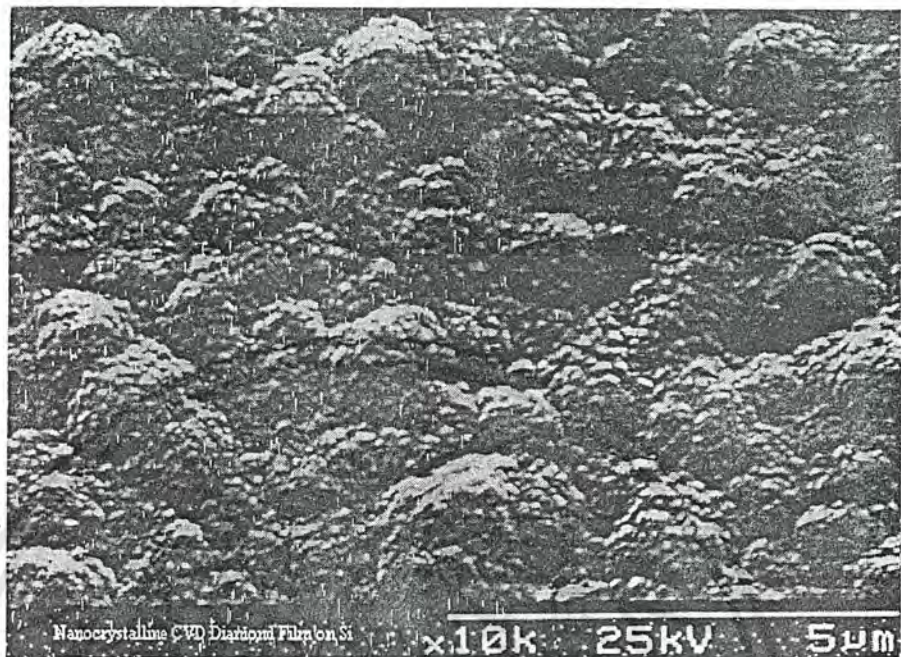


(b) {100} Square faces



(c) Polycrystalline faces

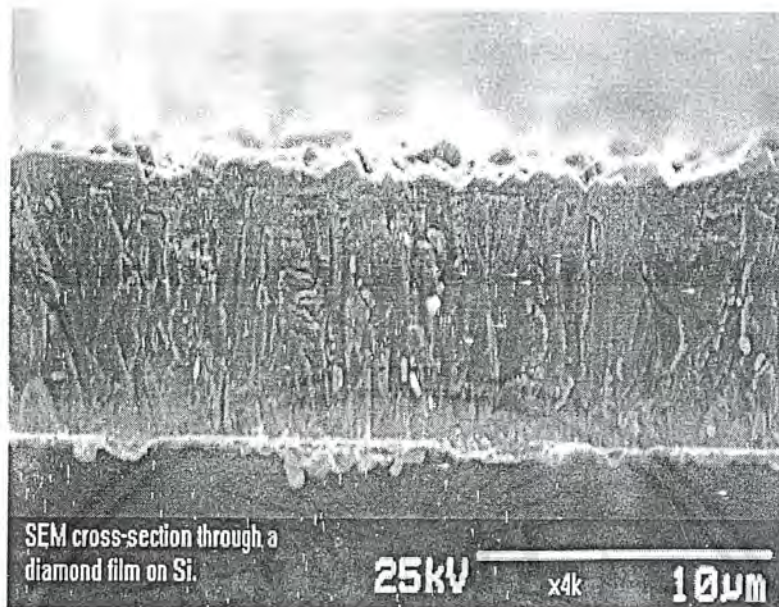
รูปที่ 2.7(ต่อ) แสดงลักษณะรูปร่างของฟิล์มเพชรแบบต่าง ๆ จากการถ่าย SEM เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(d) Cauliflower-like or microcrystalline

รูปที่ 2.7(ต่อ) แสดงลักษณะรูปร่างของฟิล์มเพชรแบบต่าง ๆ จากการถ่าย SEM

จากรูปที่ 2.7 เป็นภาพถ่ายที่ได้จากการตรวจสอบด้วยเทคนิค SEM ซึ่งหากใช้ร่วมกับการวิเคราะห์ฟิล์มเพชรด้วยเทคนิค Raman spectroscopy จะช่วยให้การวิเคราะห์มีประสิทธิภาพมากขึ้น เช่น Raman spectrum ที่ได้จากการวัดชิ้นงานที่มีผิวหน้าแบบ Cauliflower-like ในรูปที่ 2.7 d จะมียอดกราฟลดลง และเกิดยอดของกราฟได้ขึ้นมา เมื่อเทียบกับผลที่ได้จากการตรวจสอบพื้นผิวของเพชรรูปอื่น ๆ (2.7 a ถึง 2.7 c) พบว่าฟิล์มเพชรที่มีลักษณะพื้นผิวแบบรูปที่ 2.7 d แสดงคุณสมบัติของเพชรน้อยกว่าชนิดอื่น ๆ นอกจากนี้ยังสามารถใช้ SEM หาความหนาของฟิล์มเพชรที่สร้างขึ้นได้ ดังตัวอย่างจากรูปที่ 2.8 อีกด้วย



รูปที่ 2.8 แสดงตัวอย่างการวัดความหนาของฟิล์มเพชรที่ได้จากภาพถ่าย SEM

2.5.2 การวิเคราะห์ด้วยเทคนิค Raman spectroscopy

Raman spectroscopy เป็นเทคนิคที่นิยมใช้ในการวิเคราะห์คุณสมบัติของฟิล์มเพชร โดยมีความไวต่อการแยกเฟสของเพชรและกราฟไฟต์สูง แม้ว่าจะมีกราฟไฟต์เพียงเล็กน้อยก็ตามเนื่องจากประสิทธิภาพการกระเจิงของกราฟไฟต์มีค่ามากกว่าของเพชรมาก ตำแหน่งและความกว้างของยอดจาก Raman spectrum จะเป็นตัวแสดงถึงชนิดของพันธะระหว่างอะตอมคาร์บอนที่ตรวจสอบได้

หลักการพื้นฐานของ Raman spectroscopy คือใช้การสั่นของอะตอมภายในโครงสร้างของเนื้อสารหรือผิวหน้าของผลึก ทำให้สามารถแยกความแตกต่างของพันธะระหว่างอะตอมคาร์บอนได้ การทำงานของ Raman spectroscopy อาศัยปรากฏการณ์การกระเจิงทางแสง โดยหลักการของปรากฏการณ์ดังกล่าวคือการวัดการลดลงของความเข้มของลำแสงที่ผ่านไปในตัวกลางที่ไม่มีการดูดกลืน ผลของ Raman จะขึ้นอยู่กับปรากฏการณ์การกระเจิงของโมเลกุล ซึ่งอยู่บนพื้นฐานที่ว่า การกระเจิงของแสงที่เกิดขึ้นเป็นผลจากการชนกันระหว่างโฟตอนกับการสั่นของแลตทิซหรือโฟนอน ทำให้เกิดคู่ของโฟตอนและโฟนอน สนามไฟฟ้าของความเข้มลำแสงเป็นตัวบังคับให้แสงมีคลื่นไปทางเดียวในผลึก ซึ่งมีความสัมพันธ์กับ Polarizability ดังสมการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$P = \alpha E \quad (2.2)$$

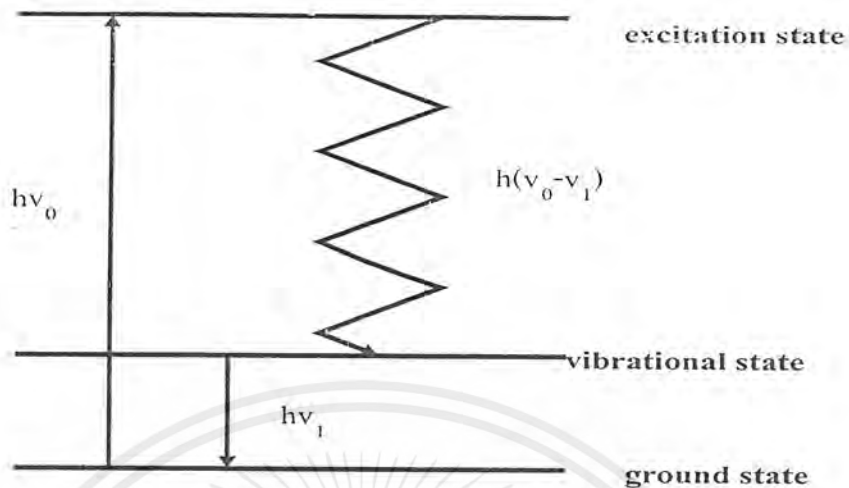
โดยที่ P คือ โมเมนต์ทางไฟฟ้าที่เกิดขึ้น
 E คือ สนามไฟฟ้า
 α คือ Polarizability

เมื่อมีการสั่นของแลตทิซเกิดขึ้นอันเป็นภาวะการกระตุ้นของ Raman ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลง Polarizability Raman จะปล่อยโฟตอนบางส่วนออกมา โดยโฟตอนนี้เกิดจากการสั่นของไดโพล ซึ่งมีทั้งที่ความถี่เหมือนกับลำแสงตกกระทบ (Elastic rayleigh scattering) หรือมีการเลื่อนไปของความถี่ ซึ่งมีค่าเท่ากับความถี่ของการสั่นของแลตทิซ (Inelastic stokes or anti-stokers scattering):

$$P = E_0 \alpha_0 \cos(2\pi \nu_0 t) + \frac{1}{2} E_0 \sum \alpha_n \left\{ \cos 2\pi(\nu_0 - \nu_n)t + \cos 2\pi(\nu_0 + \nu_n)t \right\} \quad (2.3)$$

โดยที่ E_0 คือ สนามไฟฟ้าของลำแสงที่ตกกระทบ
 t คือ เวลา
 ν_0 คือ ความถี่ของลำแสงที่ตกกระทบ
 ν_n คือ ความถี่ของโฟนอน
 α_n คือ Polarizability ในฟังก์ชันของโหมดการสั่น

ปรากฏการณ์ “Stokes scattering” เกิดขึ้นเมื่อผลึกได้รับพลังงานจากลำแสง ทำให้เกิดการสั่นของแลตทิซขึ้น ขณะที่ปรากฏการณ์ “Anti-stokes scattering” เกิดจากการทำลายของความร้อนที่กระตุ้นการสั่น โหมดของการสั่นจะขึ้นอยู่กับพันธะระหว่างอะตอมในของแข็ง ดังนั้น Raman spectrum สามารถใช้ในการวิเคราะห์โครงสร้างของของแข็งได้เป็นอย่างดี



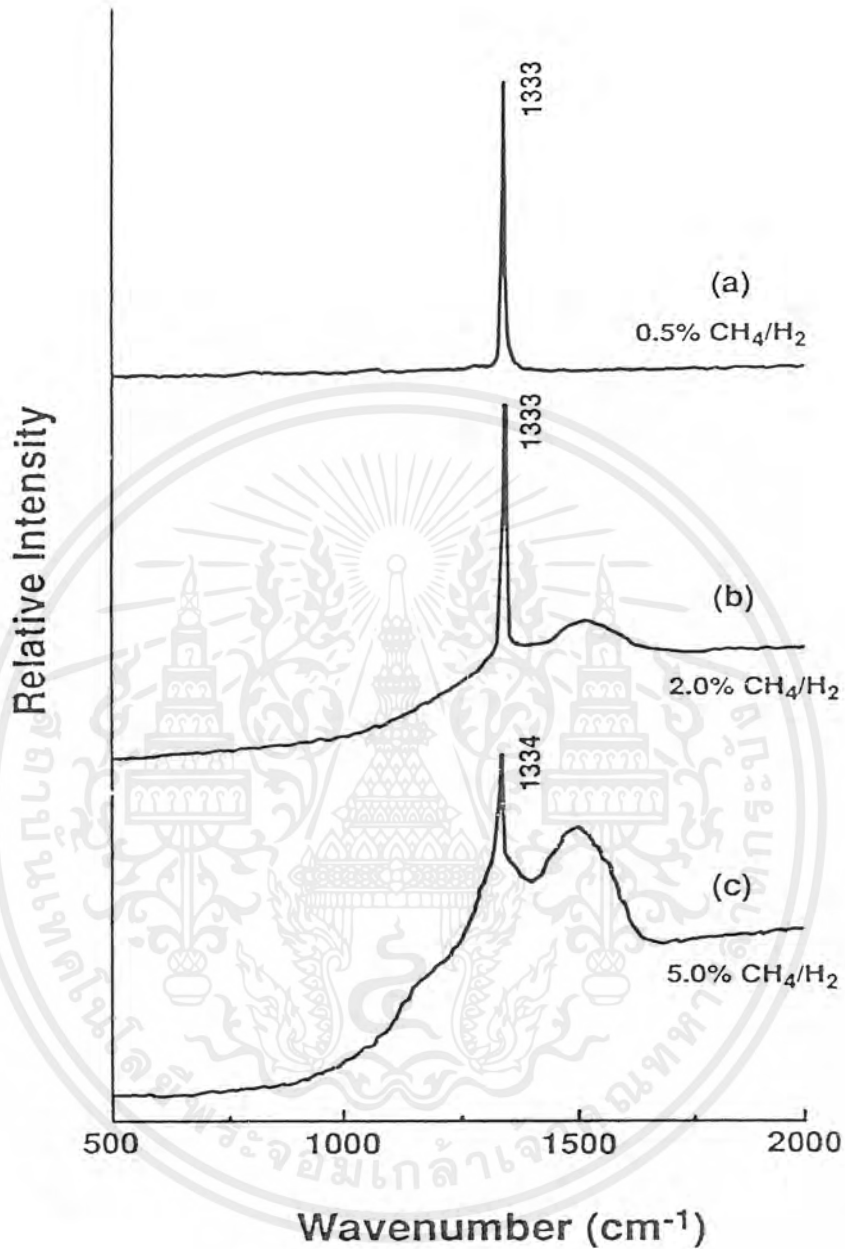
รูปที่ 2.9 แผนภาพแสดงการเปลี่ยนแปลงระดับพลังงานของอิเล็กตรอนที่ถูกกระตุ้น

จากรูปที่ 2.9 แสดงให้เห็นถึงการเกิดปรากฏการณ์ Raman scattering เมื่อยังไม่แสงเลเซอร์ผ่านเข้าไปในสารตัวอย่าง โฟตอนจากลำแสงเลเซอร์ที่มีพลังงาน hV_0 จะเข้าไปรบกวนการจัดตัวของอิเล็กตรอนและถูกอิเล็กตรอนของอะตอมสารตัวอย่างดูดกลืนพลังงานไปบางส่วน ทำให้ตัวอิเล็กตรอนเองมีพลังงานเพิ่มขึ้นเกิดการกระโดดข้ามไปสู่สถานะใหม่ que เรียกว่า “สถานะกระตุ้น” (Excitation state) ซึ่งเป็นสถานะที่ไม่เสถียร ดังนั้นอิเล็กตรอนจึงตกกลับมาสู่สถานะเดิม โดยมีการคายพลังงานออกมามีค่า $h(V_0 - V_1)$ ส่วนพลังงานที่สูญเสียไปคือ hV_1 ถูกใช้สำหรับทำให้เกิดการสั่นของอะตอมในโครงสร้างผลึก โดยพลังงาน hV_1 ที่สูญเสียไปนี้อยู่ในย่านอินฟราเรด พลังงานที่เหลือ $h(V_0 - V_1)$ ก็คือพลังงานโฟตอนของแสงที่กระเจิงออกมานั้นเอง สำหรับสเปกตรัมของแสงที่ได้จะถูกเรียกว่า “Stoke line”

จากการใช้ Raman spectroscopy ตรวจสอบพันธะชนิดต่างๆของคาร์บอนฟิล์มสามารถจำแนกชนิดต่างๆของคาร์บอนได้เป็น เพชร, กราไฟต์, อมอร์ฟัสคาร์บอน และ Hydrogenated carbon ซึ่งความสัมพันธ์ระหว่างตำแหน่งยอดของ Raman spectrum และพันธะของคาร์บอน แสดงไว้ในตารางที่ 2.2 (รายละเอียดต่าง ๆ ในตาราง 2.2 ได้ถูกอธิบายไว้แล้วในหัวข้อ 2.1) นอกจากนี้สามารถใช้ Raman spectrum ในการวิเคราะห์คุณสมบัติของฟิล์มเพชรที่ได้จากเงื่อนไขการสร้างต่าง ๆ กันเพื่อหาเงื่อนไขที่ดีที่สุด ตัวอย่างเช่น รูปที่ 2.10 แสดงถึง Raman spectrum ของฟิล์มเพชรที่สร้างจากเงื่อนไขต่าง ๆ กันคือ (a) 0.5% CH_4/H_2 (b) 2% CH_4/H_2 และ (c) 5% CH_4/H_2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 2.10a สเปกตรัมมีลักษณะแถบและยอดที่อยู่ใกล้เคียงกับตำแหน่ง 1332 cm^{-1} ซึ่งเป็นค่ายอดของเพชรธรรมชาติมาก นอกจากนี้ยังไม่พบยอดกราฟที่ตำแหน่งอื่นๆ ดังนั้นฟิล์มเพชรจึงมีคุณภาพดี แสดงว่าเงื่อนไขที่ใช้สร้างดังกล่าวมีความเหมาะสม ส่วนรูปที่ 2.10b พบว่าสเปกตรัมของกราฟที่ตำแหน่งใกล้เคียงกับ 1332 cm^{-1} เริ่มกว้างขึ้น และเกิดแถบกว้างขึ้นที่ตำแหน่งศูนย์กลางของแถบประมาณ 1500 cm^{-1} อันเป็นตำแหน่งของ Amorphous carbon หรือ Diamond-like carbon แสดงว่าฟิล์มเพชรที่ได้มีความเป็นเพชรน้อยลงและมี Amorphous carbon หรือ Diamond-like carbon เจือปนอยู่ สำหรับสเปกตรัมของรูป 2.10c ยอดที่ตำแหน่งใกล้เคียงกับ 1332 cm^{-1} ลดลงอย่างมากและมีการเลื่อนตำแหน่งไปที่ 1334 cm^{-1} ตลอดจนแถบกว้างที่ตำแหน่งประมาณ 1500 cm^{-1} เริ่มมียอดชัดเจนกว่ากราฟที่ได้ในเงื่อนไข (b) แสดงว่าฟิล์มเพชรจากเงื่อนไขการสร้างนี้มีความเป็นเพชรน้อย และมี Amorphous carbon หรือ Diamond-like carbon เจือปนอยู่มาก เมื่อเทียบกับเงื่อนไขการสร้างที่ใช้ทั้งหมด นอกจากนี้ข้อสังเกตที่สำคัญจากการเปรียบเทียบสเปกตรัมที่แตกต่างกัน พบว่าลักษณะสำคัญของพันธะแบบ sp^3 ของเพชร เกิดขึ้นที่ความถี่ต่ำกว่า 1332 cm^{-1} ในขณะที่ยอดที่เกิดจากพันธะแบบ sp^2 ของกราฟไฟต์เกิดขึ้นที่ตำแหน่งความถี่สูงกว่า 1332 cm^{-1} อันเป็นผลเนื่องมาจากพันธะระหว่าง sp^2 ของอะตอมคาร์บอน มีความแข็งแรงน้อยกว่าพันธะแบบ sp^3



รูปที่ 2.10 แสดง Raman spectrum ของฟิล์มเพชรที่สร้างจากเงื่อนไขต่าง ๆ กัน [4]

(a) 0.5 % CH₄/H₂ (b) 2 % CH₄/H₂ และ (c) 5 % CH₄/H₂ [1]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.2 แสดงค่ายอดของ Raman spectrum ที่สัมพันธ์กับพันธะชนิดต่าง ๆ ของคาร์บอน [3]

Peak position	Type of carbon	Description
$\sim 1140 \text{ cm}^{-1}$	small size ($< 0.1 \mu\text{m}$) cubic diamond	occasionally observed in diamond films with very small grain sizes ($< 0.1 \mu\text{m}$)
$1315\text{-}1326 \text{ cm}^{-1}$	hexagonal diamond	broad band, observed in shock wave produced diamond
1332 cm^{-1}	cubic diamond	first order peak with FWHM of 1.9 cm^{-1} for natural diamond
1345 cm^{-1}	amorphous carbon	broad band. It becomes a shoulder of the 1550 cm^{-1} band when the material is hydrogenated
1355 cm^{-1}	microcrystalline graphite	observed in materials with small grain sizes
1550 cm^{-1}	amorphous or diamond-like carbon	broad band
1580 cm^{-1}	Graphite	first order peak
2458 cm^{-1}	cubic diamond	second order peak
2710 cm^{-1}	microcrystalline graphite	second order peak
3240 cm^{-1}	Graphite	second order peak

นอกจากนี้ Raman spectroscopy ยังมีประโยชน์อย่างมากในการวิเคราะห์หาปริมาณความสัมพัทธ์ของพันธะ sp^3 กับพันธะ sp^2 โดยหากทราบความแรงของการกระเจิงสัมพัทธ์ก็สามารถพิจารณาหาจำนวนสัมพัทธ์ขององค์ประกอบของเพชรและกราฟต์ในฟิล์มเพชรที่ได้จากการสร้างด้วยวิธี CVD ได้หรืออีกทางหนึ่งกราฟต์จะมีการดูดกลืนแสงในช่วงแสงสีขาวยาว แต่ในเพชรจะไม่มี การดูดกลืน ทำให้แสงสามารถผ่านเพชรได้ตลอด ดังนั้นถ้าหากฟิล์มมีกราฟต์เจือปนอยู่แสงที่ผ่านเข้าไปในเนื้อสารจะไม่เป็นระเบียบ ปกติแล้วบริเวณที่มีการดูดกลืนจะวัดได้เฉพาะผิวหน้าเท่านั้น ด้วยเหตุนี้ความเข้มข้นและขนาดของผลึกมีผลสำคัญต่อ Raman spectrum ที่ได้สำหรับการสร้างฟิล์มเพชรภายใต้เงื่อนไขที่เหมาะสม ผลจากขนาดของผลึกสามารถตัดทิ้งได้เนื่องจากไม่มีองค์ประกอบของ Microcrystalline graphite เจือปน แต่ถ้าฟิล์มเพชรที่ได้จากเงื่อนไขการสร้างที่ไม่เหมาะสม (เช่น ความเอียงสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เข้มข้นของ CH_4 / H_2 มีค่ามากกว่า 20 %) ขนาดของผลึกเพชรจะมีผลต่อการวิเคราะห์คุณภาพของฟิล์มสรุปได้ว่าการวิเคราะห์คุณภาพของฟิล์มเพชรจากเปอร์เซ็นต์สัมพัทธ์ของพันธะแบบ sp^3 และ sp^2 จึงมีความสำคัญและยังรวมไปถึงขนาดของผลึกเพชรที่บริเวณ sp^2 ก็มีความสำคัญเช่นกัน



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3

ทฤษฎีของตัวเก็บประจุไฟฟ้า

ตัวเก็บประจุไฟฟ้า (Capacitor) เป็นอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์พื้นฐานที่มีหน้าที่เก็บสะสมพลังงานในรูปแบบของสนามไฟฟ้า ซึ่งสัญลักษณ์ของตัวเก็บประจุไฟฟ้าแสดงดังรูปที่ 3.1

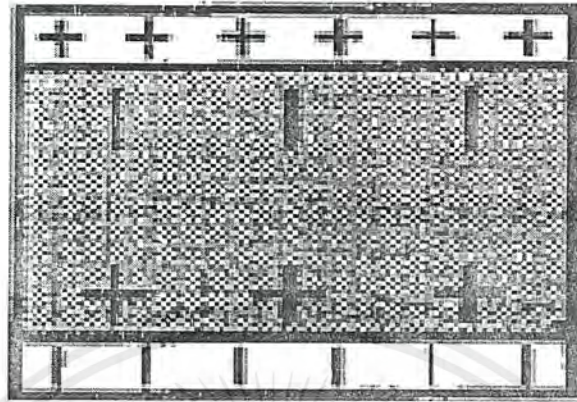


รูปที่ 3.1 สัญลักษณ์ของตัวเก็บประจุไฟฟ้า

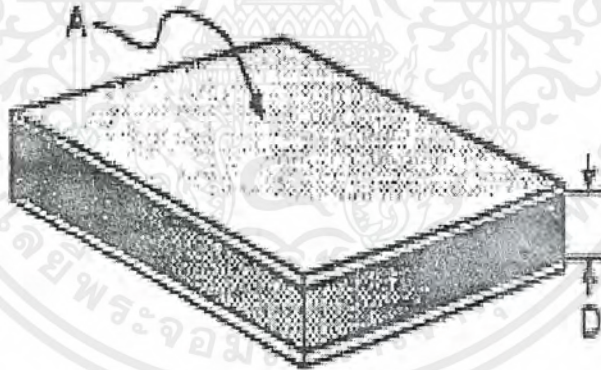
โครงสร้างภายในตัวเก็บประจุ

เราจะมาทำความรู้จักกับโครงสร้างภายในของตัวเก็บประจุก่อนเพื่อที่จะได้เข้าใจหลักการของตัวเก็บประจุไฟฟ้าว่าสามารถเก็บสะสมพลังงานในรูปแบบของสนามไฟฟ้าดังที่แสดงในรูปที่ 3.2 ได้อย่างไร อันดับแรกในตัวเก็บประจุต่างๆ ไปนั้นจะประกอบไปด้วยแผ่นฟอยล์โลหะบางๆ วางประกบกันและระหว่างกลางถูกคั่นแยกด้วยแผ่นฉนวนหรือแผ่นไดอิเล็กตริก (Dielectric) เช่น ไม้ก้ำ หรือ ไฟเบอร์ ลักษณะการประกบกันจะเหมือนกับแซนวิช ซึ่งจะม้วนหรือห่อเป็นรูปร่างขึ้นมาแล้วหุ้มหรือเคลือบด้วยฉนวนภายนอกอีกครั้ง มีลวดตัวนำเชื่อมติดกับแผ่นฟอยล์โลหะแต่ละแผ่นต่อออกมาภายนอกเป็นขาสำหรับใช้งาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.2 การเกิดประจุในชั้นไดอิเล็กตริกที่เกิดจากการเหนี่ยวนำของสนามไฟฟ้าที่ให้



รูปที่ 3.3 โครงสร้างภายในของตัวเก็บประจุ

รูปที่ 3.3 แสดงโครงสร้างภายในของตัวเก็บประจุ โดย A คือพื้นที่ของแผ่นตัวนำ และ D คือ ความหนาของไดอิเล็กตริก ในการเพิ่มค่าของตัวเก็บประจุนั้นทำได้โดยทำให้ความหนาของแผ่นไดอิเล็กตริกมีความบางที่สุดเท่าที่จะบางได้ ความบางนี้จะจำกัดอยู่ที่ค่าๆ หนึ่งที่มีเมื่อป้อนแรงดันใช้งานสูงสุดแล้ว แผ่นไดอิเล็กตริกยังไม่เกิดความเสียหายอันเนื่องมาจากความเข้มของสนามไฟฟ้าที่เกิดขึ้น องค์ประกอบสำคัญอีกอย่างก็คือ ค่าความต้านทานของแผ่นไดอิเล็กตริก ถ้าแผ่นไดอิเล็กทริกนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตริกมีความบางและมีพื้นที่มากแล้วจะเป็นเหตุให้ *ความต้านทานรั่วไหล* (leakage resistance) ระหว่างแผ่นฟอยล์เพิ่มมากขึ้น เป็นเหตุให้คุณภาพของตัวเก็บประจุเลวลง

ในตัวเก็บประจุแบบเซรามิกฟิล์มและแบบพลาสติกฟิล์มจะมีโครงสร้างเป็นแผ่นฟิล์มโลหะวางในลักษณะเรียงสลับกับแผ่นไดอิเล็กตริก ซึ่งคุณสมบัติเฉพาะตัวของแผ่นไดอิเล็กตริกแบบพลาสติกจะมีความต้านสูงมากทำให้ความต้านทานรั่วไหลมีค่าต่ำ

ตัวเก็บประจุแบบอิเล็กโทรไลต์โครงสร้างจะประกอบไปด้วย แผ่นฟอยล์โลหะที่ด้านหนึ่งเป็นออกไซด์ประกบกับกาวตัวนำ (แบบแห้ง) หรือน้ำยาอิเล็กโทรไลต์ (แบบเปียก) ทำหน้าที่เป็นแผ่นตัวนำอีกด้าน ออกไซด์บนแผ่นฟอยล์จะทำหน้าที่เป็นฉนวน ซึ่งจะอยู่ระหว่างฟอยล์โลหะกับน้ำยา เนื่องจากแผ่นฟิล์มของออกไซด์มีขนาดบางมากค่าความเก็บประจุจึงมีขนาดมากตามไปด้วย โดยปกติแล้วแผ่นฟอยล์โลหะจะทำด้วยอะลูมิเนียมหรือแทนทาลัม

ค่าความเก็บประจุหรือค่าความจุของตัวเก็บประจุจะถูกกำหนดโดยขนาดรูปร่างและความหนาของฟอยล์และค่าความนำไฟฟ้าสัมพัทธ์ (ϵ_r) ของฉนวนซึ่งสามารถคำนวณได้จากสูตร ดังนี้

$$C = \epsilon A / d \quad (3.1)$$

โดยที่
และ

$$\epsilon = \epsilon_r \times \epsilon_0$$

$$\epsilon_0 = 8.85E^{-12}$$

F/cm

$$C = \epsilon_r \times 8.85E^{-12} \times A / d \quad F \quad (3.2)$$

- โดย A คือพื้นที่ผิวหน้าของฟอยล์ มีหน่วยเป็นตารางเมตร
d คือระยะห่างระหว่างฟอยล์มีหน่วยเป็นเมตร
และค่า ϵ_r ของโพลีเอสเตอร์จะมีค่าประมาณ 3 สำหรับ แบบ

แทนทาลัมออกไซด์จะมีค่าอยู่ราวๆ 11

ความหนาและชนิดของวัสดุที่นำมาทำเป็น ไดอิเล็กตริกหรือแผ่นฉนวนของตัวเก็บประจุจะเป็นตัวกำหนดแรงดันพังทลายของตัวเก็บประจุ ดังนั้นในตัวเก็บประจุที่มีค่าทนแรงดันที่สูงจะมีขนาดใหญ่กว่าแบบค่าทนแรงดันต่ำ

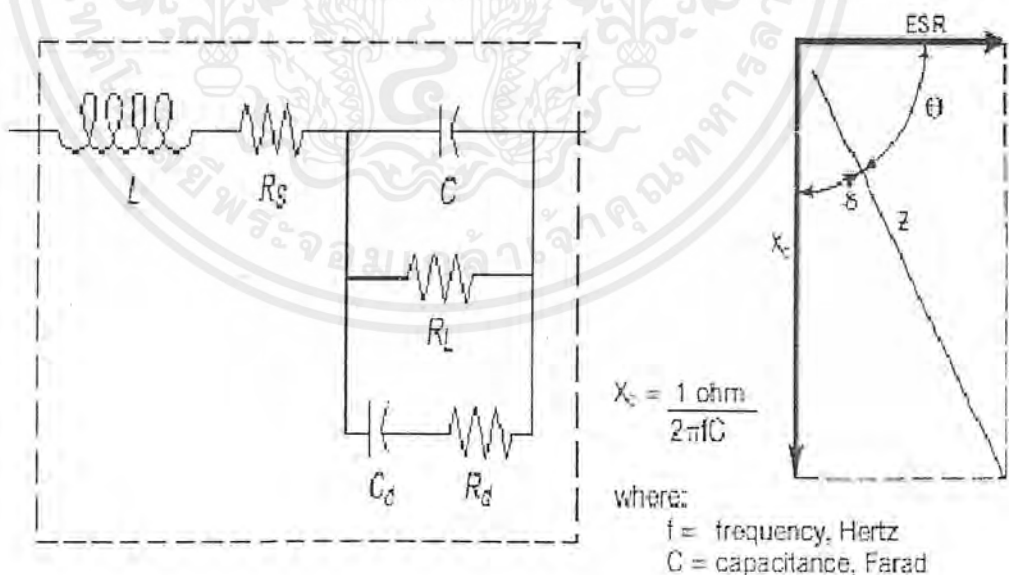
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตัวเก็บประจุเป็นอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ประเภทนอนลิเนียร์ (nonlinear) ซึ่งมีบทบาทใช้ งานมากมายในวงจรอิเล็กทรอนิกส์ คุณลักษณะที่เด่นชัดของมันก็คือ ค่าความต้านทานจะขึ้นอยู่กับ ค่าความถี่ ซึ่งค่าความต้านทานไฟสลับ (X_C) ของตัวเก็บประจุในอุดมคติจะมีค่าตามสูตร ดังนี้

$$X_C = 1/(2\pi fC) \quad (\text{โอห์ม}) \quad (3.3)$$

จากสูตรนี้จะได้ค่าของความต้านทานไฟสลับของตัวเก็บประจุออกมาในลักษณะเส้นกราฟ ลดลงแบบคงที่บนสเกลลอการิทึม แต่ในความเป็นจริงการลดลงของค่าความต้านทานนี้จะไม่ลดลง เป็นเชิงเส้นตลอด เพราะจะทำให้ได้ค่าความต้านทานเป็นศูนย์ซึ่งเป็นไปไม่ได้

นอกจากจะมีความต้านทานที่เกิดขึ้นภายในตัวมันเองแล้ว ยังมีค่าของความเหนี่ยวนำที่เกิด ขึ้นภายในตัวของมันเองอีก ซึ่งค่านี้จะมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับโครงสร้างของตัวเก็บประจุเอง นั่นก็ คือ ลักษณะรูปร่างและความยาวของส่วนประกอบต่างๆ และที่แน่นอนที่สุดก็คือ ไม่มีไดโอดอิเล็กทรอนิกส์ชนิดใดที่เป็นฉนวนได้สมบูรณ์แบบ ดังนั้นก็จะมีกระแสรั่วไหลภายในตัวมันเสมอ ซึ่งจะเพิ่มมาก ขึ้นเมื่อค่าแรงดันที่ตกคร่อมตัวมันมีค่าสูงขึ้น



รูปที่ 3.4 แสดงวงจรสมมูลของตัวเก็บประจุในทางปฏิบัติ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 3.4 แสดงวงจรสมมูลของตัวเก็บประจุในทางปฏิบัติ โดย C คือค่าความเก็บประจุจริงของมัน โดยจะขนานอยู่กับค่าความต้านทานของฉนวน (R_L ของไดอิเล็กตริก) แล้วไปอนุกรมกันอีกทีกับค่าของความต้านทาน (R_S) และค่าความเหนี่ยวนำ (L) ที่เกิดขึ้น นอกจากนี้แล้วในส่วนของวงจรขนานระหว่าง C และ R_L ก็จะถูกขนานอีกทีกับวงจรอนุกรมที่ประกอบไปด้วย R_D และ C_D ซึ่งแทนค่าของ การดูดกลืนในไดอิเล็กตริก (Dielectric Absorption หรือ DA) ซึ่งเป็นค่าที่ไม่ค่อยจะได้ยินใครกล่าวถึงนัก

ค่าดูดกลืนในไดอิเล็กตริกหรือค่า DA นี้ก็คือ ปรากฏการณ์ที่เกิดจากการเคลื่อนที่ของประจุภายในไดอิเล็กตริกซึ่งก่อให้เกิดลักษณะของความจำขึ้นภายใน (เกิดค่าฮิสเตอร์ซิส) ส่วนใหญ่บริษัทผู้ผลิตมักจะไม่ว่ายบอกค่า DA มาให้ด้วย ค่า DA นี้มีผลต่อคุณภาพเสียงอย่างมากในวงจรที่ต้องยุ่งเกี่ยวกับตัวเก็บประจุซึ่งได้มีการพิสูจน์มาแล้ว

ลักษณะเฉพาะที่น่ารู้เกี่ยวกับตัวเก็บประจุ

ค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ที่แสดงมากับค่าตัวชี้ของบริษัผู้ผลิต มีดังต่อไปนี้

1. ตัวประกอบการสูญเสีย (dissipation factor) $\cot \theta$ หรือ $\tan \delta$

ค่านี้จะแสดงการสูญเสียที่เกิดจาก R_S ซึ่งจะมีค่าน้อย (θ คือ มุมเฟส, δ คือ มุมการสูญเสีย) แต่ถึงจะมีค่าน้อยก็มีความสำคัญมากทีเดียว เพราะจะมีผลเมื่อนำตัวเก็บประจุไปใช้ในวงจรที่เกี่ยวกับครอสโอเวอร์ฟิลเตอร์ ($\tan \delta$ จะขึ้นอยู่กับความถี่ และมีค่าเท่ากับ $2\pi fCR_S$) ผู้ผลิตบางแห่งให้ค่าของ R_S แยกออกมาสำหรับตัวเก็บประจุขนาดใหญ่ ๆ

2. ค่า DA (Dielectric Absorption)

ซึ่งบริษัทจำนวนมากที่จะให้ค่า DA มาด้วยกับตัวเก็บประจุ ซึ่งค่า DA เหล่านี้จะเป็นตัวกำหนดคุณภาพของตัวเก็บประจุว่าดีเพียงใด เพราะถ้าค่า DA น้อยมากทำไรก็หมายความว่าตัวเก็บประจุมีคุณภาพดีมาก และในตัวเก็บประจุแบบอิเล็กโทรไลต์ขนาดใหญ่ ๆ นั้น ส่วนใหญ่ผู้ผลิตจะไม่ยอมระบุค่า DA มาด้วย

3. ความต้านทานของฉนวน (R_L)

ปกติแล้วจะมีค่าเป็นร้อย ๆ เมกะโอห์ม และไม่ค่อยมีบทบาทสำคัญเท่าไรนัก กับการใช้งาน เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4. ค่าความสูญเสีย

ซึ่งจะถูกแสดงด้วยค่าตัวประกอบของกำลัง (power factor) มีค่าเท่ากับอัตราส่วน R_s/Z (หรือ $\sin \delta$)

5. ลักษณะสมบัติทางอุณหภูมิจ

โดยปกติจะให้มาสำหรับไดโอดีคกริกอยู่แล้ว

6. ค่าความเก็บประจุและค่าความผิดพลาด

ส่วนใหญ่จะระบุมากับตัวเก็บประจุอยู่แล้ว ซึ่งโดยปกติจะกำหนดที่ความถี่ 1 kHz สำหรับตัวเก็บประจุทั่ว ๆ ไป ยกเว้นชนิดใช้กับความถี่สูง

7. ค่าทนแรงดันสูงสุด

เวลาเลือกใช้งานนั้นจะต้องกำหนดให้มีค่าสูงกว่าค่าแรงดันใช้งานสูงสุดที่ตกร้อมตัวเก็บประจุ ค่านี้บริษัทผู้ผลิตอาจจะให้มาในรูปของค่าแรงดันไฟตรงหรือค่าแรงดันไฟสลับก็ได้

บทที่ 4

กระบวนการทดลอง

4.1 การเตรียมแผ่นฐานรอง

ฟิล์มเพชรสามารถเกิดบนฐานรองที่ไม่ใช่เพชรหลายชนิดด้วยกัน ตัวอย่างของวัสดุที่สามารถนำมาใช้เป็นฐานรองในการสร้างฟิล์มเพชรได้ เช่น Si, SiC, WC, W, Mo, Cu และ Al_2O_3 เป็นต้น แต่สำหรับการทดลองนี้จะเลือกใช้ฐานรองที่เป็น Si ระนาบ (100) เนื่องจากเป็นวัสดุที่มีใช้อยู่แล้วในห้องปฏิบัติการของศูนย์วิจัยอิเล็กทรอนิกส์ ก่อนที่จะนำแผ่นฐานรองซิลิกอนไปใช้ในการทดลอง จำเป็นต้องมีกระบวนการเตรียมแผ่นฐานรองดังกระบวนการต่อไปนี้

4.1.1 การทำความสะอาดผิวแผ่นซิลิกอนเริ่มต้น (Initial cleaning)

- ทำความสะอาดผิวด้วยน้ำบริสุทธิ์ (Deionized water; DI) ในเครื่องสั่นความถี่สูง (Ultrasonic cleaning)
- ล้างด้วยน้ำ DI
- กัดผิวหน้าด้วยกรดกัดแก้ว (HF) 5% เป็นเวลา 2 นาที
- ล้างด้วยน้ำ DI
- สัมในกรดไนตริก (HNO_3) เป็นเวลา 10 นาที เพื่อกำจัดเศษโลหะที่ผิวหน้า
- ล้างด้วยน้ำ DI
- สัมในน้ำบริสุทธิ์เป็นเวลา 5 นาที
- ล้างด้วยน้ำ DI
- เป่าแห้งด้วยก๊าซไนโตรเจน (N_2)

- ต้มในไตรโคลโรเอททีลีน (Trichloroethylene) เป็นเวลา 5 นาที เพื่อกำจัดสิ่งสกปรกประเภทไขมันล้างด้วยอะซิโตน (Acetone) ในเครื่องต้นความถี่สูง เป็นเวลา 3 นาที
- ล้างด้วยน้ำ DI
- จุ่มลงในกรดกัดแก้ว 5% เป็นเวลา 20 นาที
- ล้างด้วยน้ำ DI
- เป่าแห้งด้วยก๊าซไนโตรเจน

เมื่อแผ่นฐานรองซิลิกอนผ่านกระบวนการทำความสะอาดผิวแผ่นเริ่มต้นแล้ว ขั้นตอนต่อไปจะเป็นกระบวนการเตรียมพื้นผิวฐานรองเพื่อกระตุ้นให้เกิดการนิวเคลียชันของเพชรเร็วขึ้น โดยการเตรียมพื้นผิวฐานรองจะมีหลายวิธีด้วยกัน ซึ่งวิธีการเตรียมพื้นผิวของฐานรองจะถูกเลือกใช้ให้เหมาะสมตามกระบวนการทดลองและสร้าง สำหรับวิธีการเตรียมพื้นผิวฐานรองที่นำเสนอในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้มีดังนี้คือ

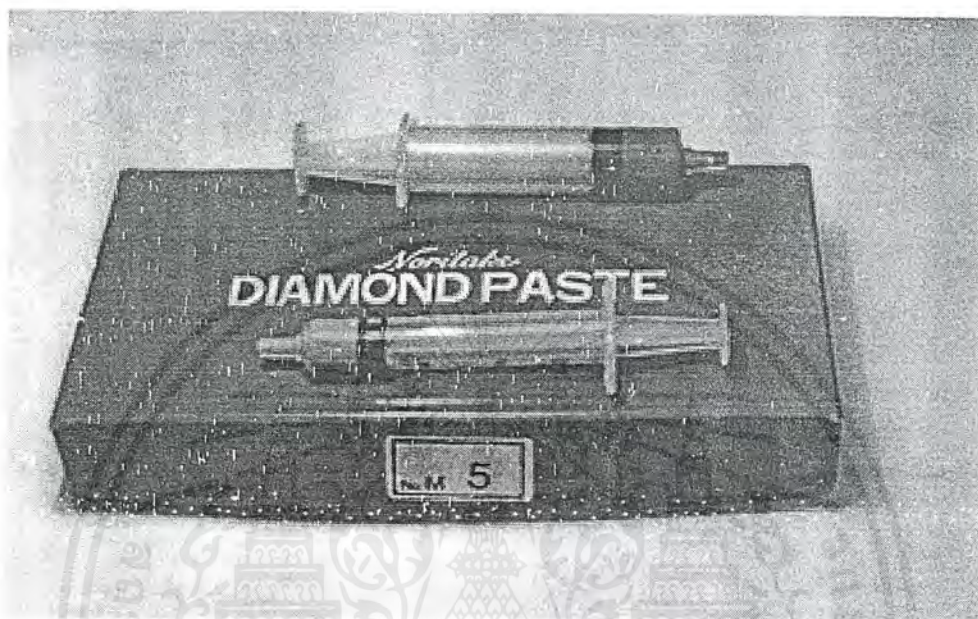
4.1.2 การเตรียมพื้นผิวฐานรองโดยการขัดด้วยครีมเพชร

การเตรียมพื้นผิวฐานรองวิธีนี้จะใช้ครีมเพชรขนาด 0.25 ไมโครเมตรขัดที่ผิวหน้าฐานรองซิลิกอน เนื่องจากได้มีผู้ทำการวิจัยแล้วพบว่าขนาดของครีมเพชรคือ 0.25 ไมโครเมตร โดยครีมเพชรที่ใช้ในการขัดแผ่นซิลิกอนแสดงในรูปที่ 4.1 จะทำให้เกิดอัตราการนิวเคลียชันที่ดีที่สุด ดังนั้นเราจึงเลือกครีมเพชรขนาด 0.25 ไมโครเมตร [2] ใช้เวลาในการขัดประมาณ 3 ชั่วโมง ผลจากการขัดด้วยครีมเพชรจะทำให้เกิดรอยขีดเล็ก ๆ ขึ้นที่บริเวณผิวหน้าของแผ่นซิลิกอน โดยขนาดของรอยขีดที่เกิดขึ้นนี้จะขึ้นอยู่กับขนาดของครีมเพชรที่ใช้ภายหลังจากขัดแผ่นซิลิกอนเรียบร้อยแล้วต้องนำแผ่นซิลิกอนไปทำความสะอาด โดยกระทำตามขั้นตอนดังต่อไปนี้

- ต้มแผ่นซิลิกอนในไตรโคลโรเอททีลีน ที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 10 นาที เพื่อให้ครีมเพชรหลุดออกจากแผ่นซิลิกอน
- อุลตราโซนิคในอะซิโตน 5 นาที เพื่อล้างไตรโคลโรเอททีลีนออก
- อุลตราโซนิคในน้ำ DI 5 นาที
- เป่าแผ่นซิลิกอนให้แห้งด้วยก๊าซไนโตรเจน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากนั้นนำแผ่นซิลิกอนไปตรวจสอบด้วยกล้องจุลทรรศน์ เพื่อดูรอยขีดที่เกิดจากการขัด ในกรณีที่รอยขีดที่เกิดมีจำนวนน้อยต้องนำแผ่นซิลิกอนไปขัดใหม่ โดยรอยขีดที่เกิดขึ้นนี้เป็นสิ่งสำคัญในการกระตุ้นให้เกิดการนิวเคลียสของฟิล์มเพชร

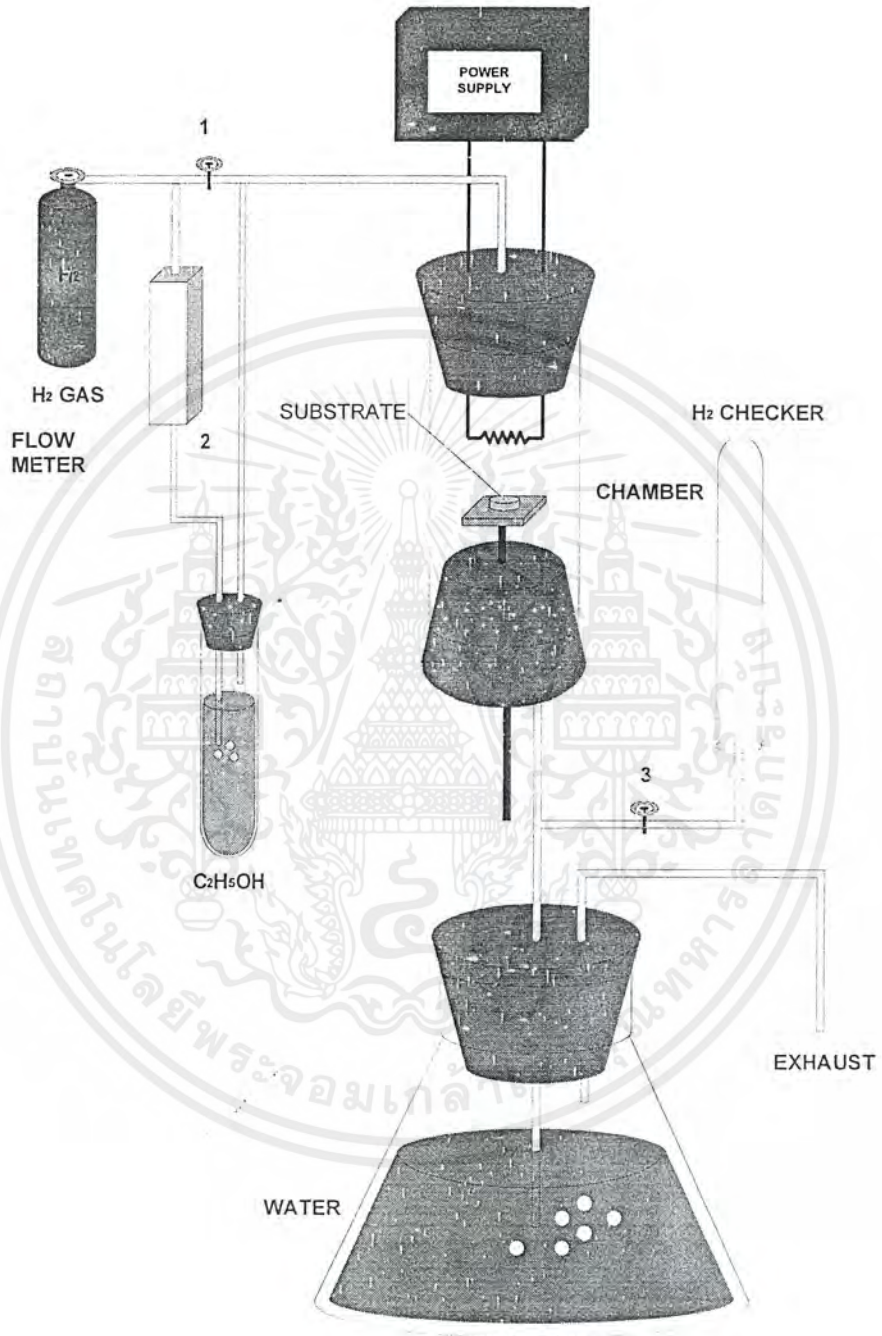


รูปที่ 4.1 แสดงตัวอย่างครีมเพชรที่ใช้ในการขัดแผ่นซิลิกอน

4.2 กระบวนการสร้างฟิล์มเพชร

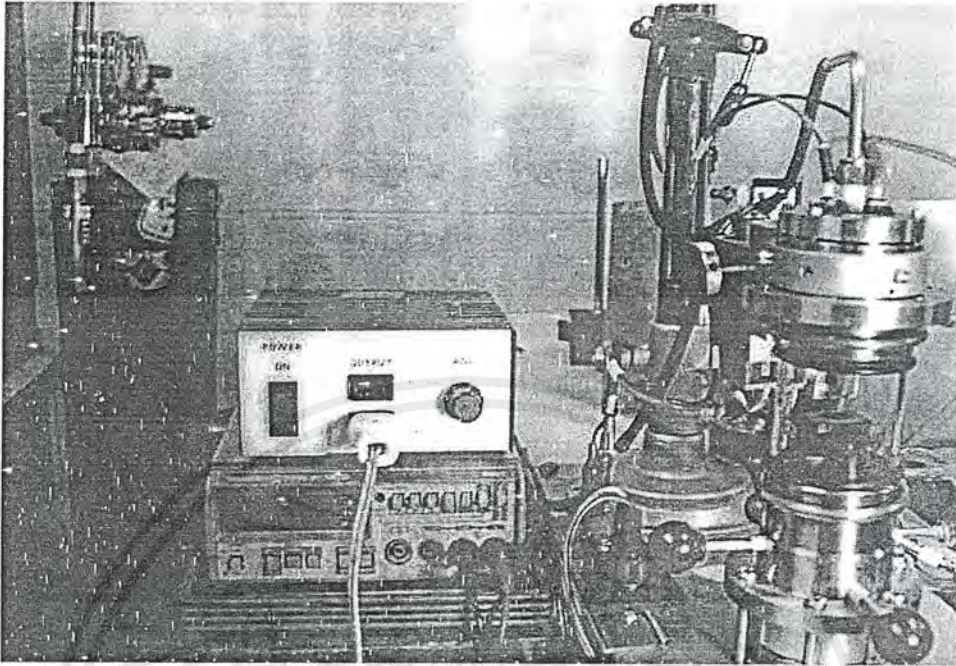
สำหรับกระบวนการสร้างฟิล์มเพชรนั้น เราจะอาศัยหลักการสร้างฟิล์มบางเพชรตามวิธีการ CVD แบบความร้อนตามรูปที่ 4.2 มาสร้างเป็นระบบที่ประกอบขึ้นเอง ซึ่งเป็นอุปกรณ์ชุดที่สร้างขึ้นใหม่ โดยมีการเพิ่ม Heater ที่ฐานรอง และมีชุดปรับแกน XYZ เพื่อความสะดวกในการสร้างและเพื่อเพิ่มพื้นที่ของฟิล์มเพชรที่สามารถสร้างได้ ดังแสดงไว้ในรูปที่ 4.3 การที่เราใช้วิธีการ CVD แบบความร้อนเพราะฟิล์มบางเพชรที่ได้มีคุณภาพดีเหมาะที่จะนำมาสร้างเป็นอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ และเป็นระบบที่มีความปลอดภัยกว่าวิธีอื่น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.2 แสดงแผนภาพกระบวนการสร้างฟิล์มเพชร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.3 แสดงอุปกรณ์ชุดทดลองที่ใช้ในการสร้างฟิล์มเพชร

จากรูปชุดทดลองสร้างฟิล์มเพชรประกอบด้วยอุปกรณ์ต่าง ๆ ต่อไปนี้คือ

1. ถังก๊าซไฮโดรเจน
2. เรกกูเลเตอร์ (ทำหน้าที่ควบคุมการไหลของก๊าซไฮโดรเจน)
3. Flow meter (ทำหน้าที่ควบคุมการไหลของก๊าซไฮโดรเจนที่ผ่านเข้าไปในแหล่งจ่าย)
4. แหล่งจ่าย (เอททิลแอลกอฮอล์)
5. Chamber ทำจากท่อควอตซ์และstainless steel ทรงกลมเส้นผ่าศูนย์กลาง 5.5 เซนติเมตร
6. ขั้วจ่ายไฟกระแสตรง
7. heater 220 v 100 w
8. นาฬิกาจับเวลา
9. dimmer Max 220 v 660 w
10. AC-Voltmeter
11. AC-Ampmeter
12. ขวดใส่น้ำสำหรับเช็kg๊าซไฮโดรเจนที่ไหลออก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3 กระบวนการทำความสะอาดฟิล์มเพชร

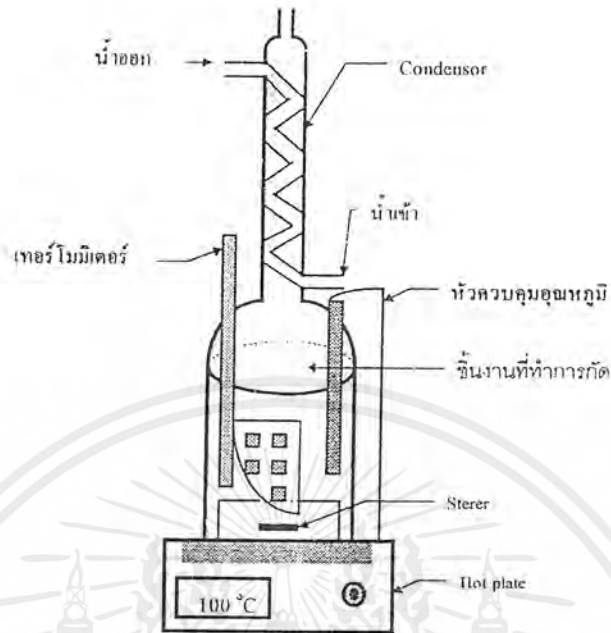
หลังจากทำการสร้างชิ้นงานฟิล์มเพชรบนซิลิกอนด้วยวิธี CVD แบบความร้อนเสร็จแล้ว ก่อนที่จะนำชิ้นงานไปทำการทดสอบ อาจมีบางส่วนที่ไม่ใช่ฟิล์มเพชรเกิดปะปนอยู่ คืออาจจะมีกราไฟต์หรืออะตอมคาร์บอนที่จับตัวกันแบบไม่ใช่โครงสร้างของเพชร ซึ่งอาจจะมีผลทำให้มีค่าผิดพลาดเกิดขึ้นในการวัดคุณสมบัติต่าง ๆ ดังนั้นก่อนที่จะนำฟิล์มเพชรไปทำเป็นตัวเก็บประจุหรือนำไปทำเป็นอุปกรณ์อย่างอื่น เราควรจะต้องทำความสะอาดฟิล์มเพชรเสียก่อน โดยมีขั้นตอนดังนี้

1. นำฟิล์มเพชรที่สร้างได้ลงไปต้มในสารละลายอิมตัวของ CrO_3 ร่วมกับ H_2SO_4 ที่อุณหภูมิ 170 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 นาที เพื่อกำจัดอะตอมคาร์บอนที่ไม่ใช่เพชรออก
2. ล้างด้วยสารละลายเค็ดของ H_2O_2 ผสมกับ 30 % NH_4OH ในอัตราส่วน 1:1 เพื่อล้างสารละลาย CrO_3 ออก
3. ล้างฟิล์มเพชรด้วยน้ำ DI
4. เป่าฟิล์มเพชรให้แห้งด้วยก๊าซ N_2 หลังจากนั้นค่อยนำชิ้นงานไปเข้ากระบวนการกัดแผ่นซิลิกอน เพื่อนำไปสร้างตัวเก็บประจุต่อไป

4.4 กระบวนการกัดแผ่นซิลิกอนออกจากฟิล์มเพชร

การสร้างตัวเก็บประจุไฟฟ้าเราอาศัยหลักการพื้นฐานของตัวเก็บประจุที่มีแผ่นตัวนำ 2 แผ่นประกบกับแผ่นไดอิเล็กตริกหรือฉนวน ไฟฟ้าที่อยู่ตรงกลางในลักษณะของแซนวิช การสร้างตัวเก็บประจุไฟฟ้าที่ทำจากฟิล์มบางเพชร เราจึงใช้ฟิล์มบางเพชรที่เป็นชนิด I-TYPE (intrinsic) มาทำเป็นส่วนที่เป็นแผ่นไดอิเล็กตริกของตัวเก็บประจุ แต่เราทำการสังเคราะห์ฟิล์มบางเพชรบนแผ่นฐานรองที่เป็นแผ่นซิลิกอนดังนั้นการที่เราจะใช้เฉพาะส่วนที่เป็นเพชรเท่านั้น ไม่ต้องการส่วนที่เป็นซิลิกอนเราจึงต้องทำการแยกหรือกัดซิลิกอนออกในส่วนนี้เราใช้สารละลาย โพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ (KOH) ตามอัตราส่วนดังนี้ คือ KOH ความเข้มข้น 4 โมลาร์ (1 โมล ของ KOH เท่ากับ 56.1056 กรัม) กัดที่อุณหภูมิ 75 องศาเซลเซียส ซึ่งจะมีอัตราการกัดประมาณ 1.6 ไมครอนต่อนาที กวนสารละลายด้วยอัตราเร็ว 100 รอบต่อนาที โดยใช้เวลากัด 4 ชั่วโมง 30 นาที [1] โดยรูปชุดเครื่องมือการกัดแผ่นซิลิกอน แสดงในรูปที่ 4.4

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.4 แสดงรูปชุดเครื่องมือเพื่อการกักแผ่นซีลิกอนด้วย KOH [6]

การทดลองเราใช้ซีลิกอนหนา 400 ไมครอน หนา 100 จากอัตราการกักของ KOH 1.6 ไมครอนต่อนาที กวนสารละลายด้วยอัตราเร็ว 100 รอบต่อนาที เราใช้น้ำ DI 150 cc เพื่อให้ท่วมชิ้นงานพอดี เราจึงต้องคำนวณหาว่าเราจะต้องใช้ KOH กี่กรัมดังนี้

1 โมลของ KOH	=	56.1056	กรัม
KOH 4 โมลาร์ (M โมลต่อลิตร)	=	56.1056×4	กรัมต่อลิตร
	=	224.4224	กรัมต่อลิตร
เราใช้น้ำ DI	=	0.15	ลิตร
ดังนั้นต้องใช้ KOH	=	0.15×224.4244	กรัม
	=	33.66336	กรัม

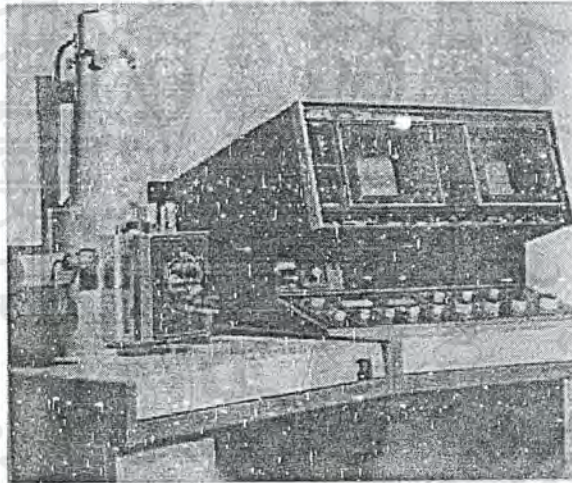
จึงใช้ KOH 34 กรัม กับน้ำ DI 150 cc

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.5 กระบวนการทดสอบฟิล์มเพชร

4.5.1 การทดสอบด้วยเครื่อง Scanning Electron Microscopy (SEM)

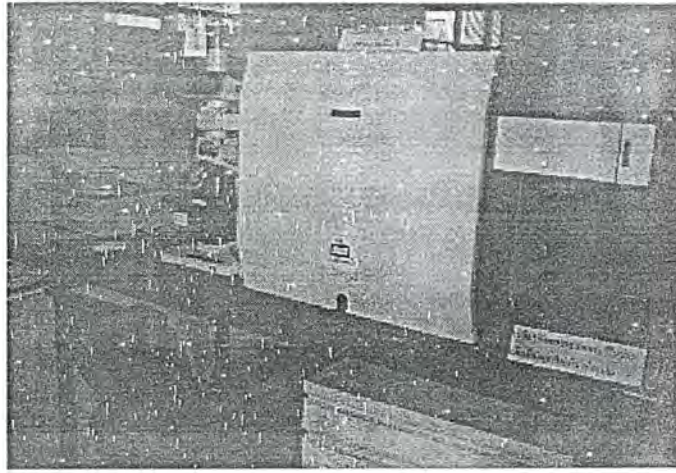
เนื่องจากฟิล์มเพชรที่มีบางมาก ดังนั้นการวัดความหนาหลังจากทำการกัดซิลิกอนออกด้วย โพลเตสเชื่อมไฮดรอกไซด์แล้ว เราต้องนำฟิล์มเพชรที่ได้ไปวัดความหนา ด้วยภาพถ่ายจากเครื่อง Scanning Electron Microscopy ในรูปที่ 4.5 เพื่อนำความหนาที่ได้ไปใช้ในการคำนวณหาค่า Capacitance ของตัวเก็บประจุไฟฟ้าเพื่อใช้เป็นข้อเปรียบเทียบกับผลการวัดด้วยเครื่องวัดค่า Capacitance ต่อไป เพราะถ้าหากนำไปทำแผ่นโลหะประกบ และทำขั้วโลหะแล้วจะยากต่อการวัดหาความหนาของฟิล์มเพชร



รูปที่ 4.5 เครื่อง Scanning Electron Microscopy (SEM)

4.5.2 การทดสอบด้วยเครื่อง Raman Spectroscopy

ก่อนที่จะนำชิ้นงานฟิล์มเพชรที่สร้างจากวิธี CVD แบบความร้อน ไปทำเป็นตัวเก็บประจุไฟฟ้าต่อไปนั้น ต้องนำชิ้นงานที่ได้ไปทำการทดสอบคุณสมบัติว่าเป็นฟิล์มของเพชรหรือไม่ ด้วยเครื่อง Raman Spectroscopy ในรูปที่ 4.6 โดยจะดูจากค่ายอดสูงสุดของกราฟที่ได้ เทียบกับค่ายอดกราฟสูงสุดของเพชรซึ่งมีค่ายอดสูงสุดเท่ากับ 1332 cm^{-1}



รูปที่ 4.6 เครื่อง Raman Spectroscopy ที่ใช้ในการวัด Raman Spectrum

4.6 กระบวนการสร้างตัวเก็บประจุไฟฟ้า (Capacitor)

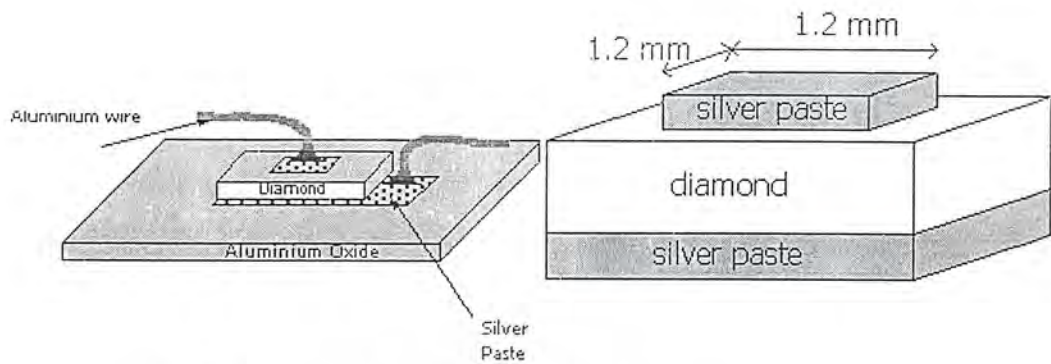
4.6.1 กระบวนการสร้างแผ่นโลหะ

หลังจากเราได้กัดแผ่นซิลิกอนออกแล้วก็จะเหลือแต่ฟิล์มเพชรเท่านั้นเราก็จะนำมาทำแผ่นโลหะประกบทั้ง 2 ด้านของแผ่นฟิล์มเพชรลักษณะแบบแซนวิช โดยแผ่นโลหะที่จะใช้นั้นจะต้องมีลักษณะของรอยสัมผัสแบบโอห์มมิก (Ohmic Contact) ซึ่งเราจะดูได้จากค่าเวิร์คฟังก์ชัน (work function) ของโลหะนั้นเทียบกับค่าเวิร์คฟังก์ชันของเพชร เราจึงเลือกใช้เงินเพราะเป็นโลหะที่เราสามารถหาได้และมีลักษณะที่เหมาะสมเพราะเราใช้ลักษณะที่เป็นกาวเงิน (silver paste)

4.6.2 กระบวนการสร้างขั้วโลหะ

เพื่อเป็นการสะดวกในการวัด และจากลักษณะของฟิล์มเพชรที่บางมากถ้าเราใช้หัววัดของเครื่องวัดทำการวัดโดยตรงอาจทำความเสียหายต่อชิ้นงานได้ เราจึงต้องนำชิ้นงานที่ได้ไปทำขั้วโลหะก่อนที่จะนำชิ้นงานไปทำการวัดต่อไป โดยขั้นตอนการทำขั้วโลหะนั้นเราจะทำพร้อมกันกับกระบวนการทำแผ่นโลหะที่ทำจากกาวเงิน (Silver Paste) ก่อนที่กาวเงินจะแห้ง โดยใช้เส้นลวดอะลูมิเนียมต่อเป็นขั้วโลหะทั้งสองด้าน ซึ่งตัวชิ้นงานและลวดอะลูมิเนียมส่วนที่ต่อกับแผ่นโลหะ (กาวเงิน) นั้นจะถูกยึดให้อยู่กับที่บนแผ่นอะลูมินา (Al_2O_3) ซึ่งมีคุณสมบัติเป็นฉนวนอีกทีหนึ่ง ดังแสดงในรูปที่ 4.7

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

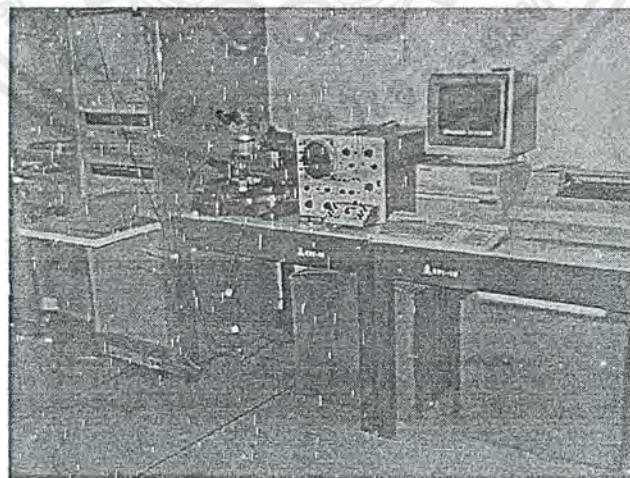


รูปที่ 4.7 แสดงรูปตัวเก็บประจุที่ใช้ในการทดลองและภาพตัดขวาง

4.7 การวัดค่าตัวเก็บประจุไฟฟ้า

4.7.1 การวัดค่า I-V ของตัวเก็บประจุไฟฟ้าที่อุณหภูมิ 27 และ 200 องศาเซลเซียส

การวัดค่า I-V ของตัวเก็บประจุไฟฟ้าที่สร้างจากฟิล์มเพชรที่อุณหภูมิ 27 และ 200 องศาเซลเซียส โดยทำการวัดที่ความถี่ 1 MHz ด้วยเครื่องวัด HP 4061A ในรูปที่ 4.8 เพื่อหาการเปลี่ยนแปลงของกระแสไฟฟ้าจะเป็นอย่างไรเมื่อสนามไฟฟ้าเปลี่ยน เพื่อคุณลักษณะของรอยต่อว่าเป็นรอยสัมผัสโอห์มมิกหรือไม่ โดยการทดลองได้ทำการเปลี่ยนแปลงสนามไฟฟ้าจากค่า 0 โวลต์ถึงค่าบวก 10 โวลต์



รูปที่ 4.8 เครื่อง HP 4061A ที่ใช้ในการวัดค่า I-V และ C-V

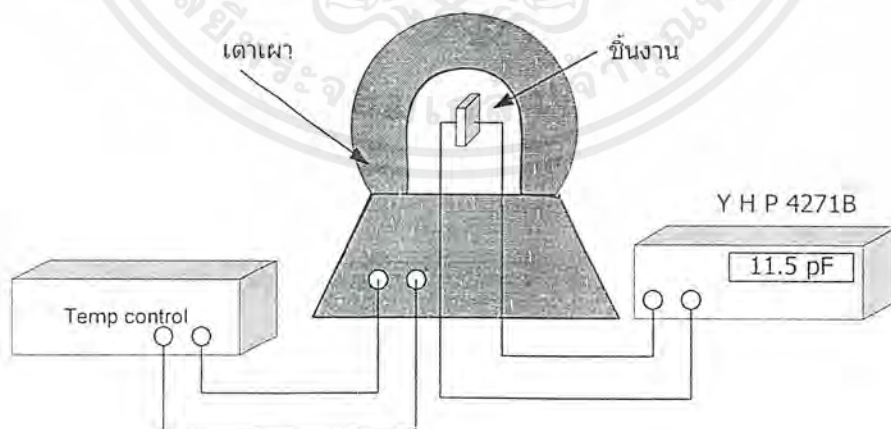
- เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.7.2 การวัดค่า C-V ของตัวเก็บประจุไฟฟ้าที่อุณหภูมิ 27 และ 200 องศาเซลเซียส

การวัดค่า C-V ของตัวเก็บประจุไฟฟ้าที่สร้างจากฟิล์มเพชรที่อุณหภูมิ 27 และ 200 องศาเซลเซียส โดยทำการวัดที่ความถี่ต่างกันคือ 10 kHz 20 kHz 1 MHz 4 MHz และ 10 MHz โดยแต่ละความถี่จะป้อนแรงดันไฟฟ้าจากค่า -10 โวลต์ ถึง 10 โวลต์ ด้วยเครื่องวัด HP 4061A เพื่อหาการตอบสนองต่อความถี่ของตัวเก็บประจุไฟฟ้า และผลของสนามไฟฟ้าว่าจะมีผลต่อตัวเก็บประจุไฟฟ้าที่สร้างจากฟิล์มเพชรอย่างไร

4.7.3 การวัดค่าของตัวเก็บประจุโดยการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิอย่างละเอียด

จากการทดลองวัด C-V และ I-V ของตัวเก็บประจุไฟฟ้าที่สร้างจากฟิล์มเพชรก่อนหน้านี้เราทำการวัดที่อุณหภูมิที่ 27 และ 200 องศาเซลเซียสเท่านั้น แต่การทดลองนี้จะศึกษาผลของอุณหภูมิเพียงอย่างเดียว โดยจะทำการวัดเริ่มจากอุณหภูมิ 30 และเพิ่มค่าอุณหภูมิทีละ 20 องศาเซลเซียส จนถึงอุณหภูมิ 350 องศาเซลเซียส โดยตัดผลของสนามไฟฟ้าและความถี่ออกไป โดยครั้งนี้เราจะใช้เครื่องวัด YHP 4271B ปรับแรงดันไฟฟ้าคงที่ไว้ 10 โวลต์ และความถี่ที่ 1 MHz เพื่อเป็นการทดลองหาช่วงของอุณหภูมิแวดล้อมที่ตัวเก็บประจุไฟฟ้าฟิล์มเพชรสามารถนำไปใช้งานได้ โดยทำการจัดเครื่องมือดังรูปที่ 4.9



รูปที่ 4.9 รูปการจัดชุดเครื่องมือในการวัดผลของอุณหภูมิที่มีผลต่อตัวเก็บประจุ

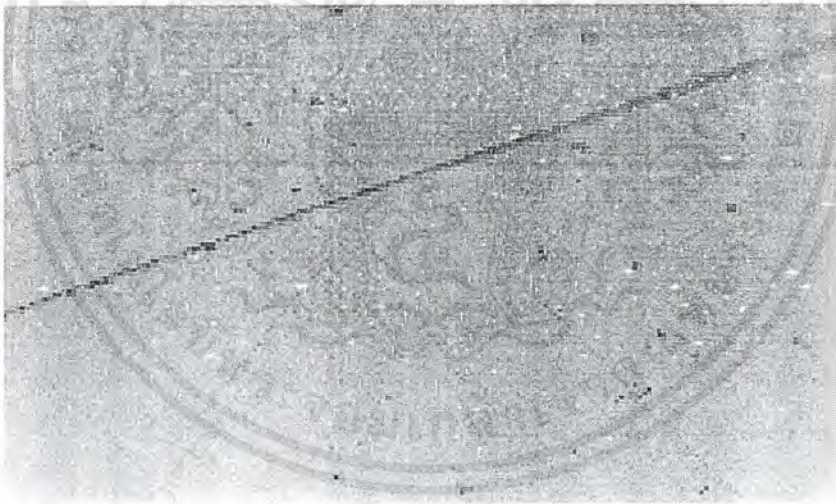
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5

ผลการทดลองและวิเคราะห์ผลการทดลอง

5.1 ลักษณะผิวหน้าของแผ่นซิลิกอนที่ผ่านการเตรียมพื้นผิวด้วยการขัดด้วยครีมเพชร

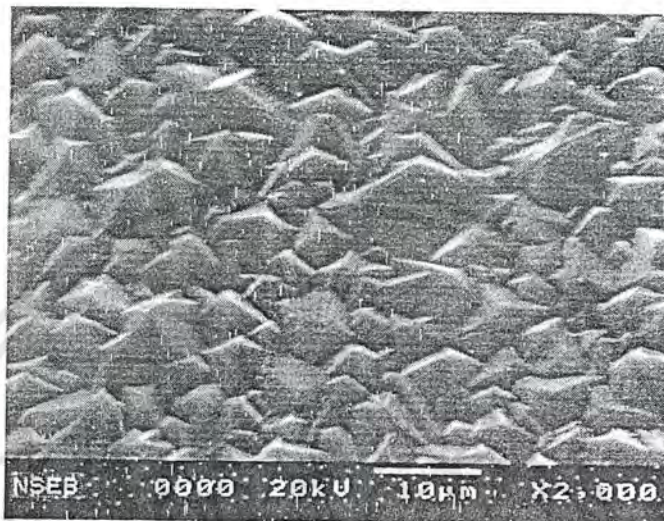
ผิวหน้าแผ่นซิลิกอนที่ผ่านการขัดด้วย ครีมเพชรที่ขนาด $0.25\ \mu\text{m}$ เมื่อทำการตรวจสอบลักษณะด้วยกล้องจุลทรรศน์ แล้วพบว่าผิวหน้าของแผ่นซิลิกอนจะมีรอยขีดเล็ก ๆ กระจายทั่วแผ่น ดังรูปที่ 5.1



รูปที่ 5.1 ลักษณะผิวหน้าของแผ่นซิลิกอนที่ผ่านการเตรียมพื้นผิวสำหรับสร้างฟิล์มเพชร

5.2 ผลการสร้างฟิล์มเพชรโดยวิธี CVD แบบความร้อน

หลังจากขัดแผ่นซิลิกอนด้วยครีมเพชรแล้ว ก็นำแผ่นซิลิกอนที่ไปทำความสะอาด และนำไปสร้างฟิล์มเพชรตามวิธีการ CVD แบบความร้อน ได้ชิ้นงาน ดังแสดงในรูปที่ 5.2

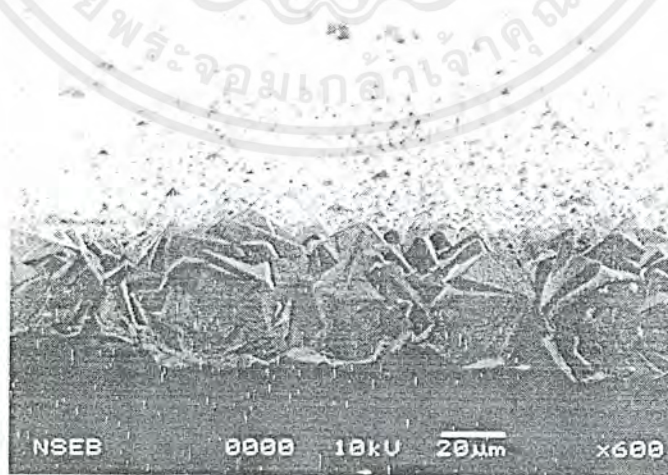


รูปที่ 5.2 แสดงแผ่นซิลิกอนที่สร้างฟิล์มเพชรอยู่บนผิวหน้า

5.3 ผลการกัดแผ่นซิลิกอนออกจากฟิล์มเพชรด้วยโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ (KOH)

ผลการกัดซิลิกอนออกด้วย โพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ (KOH) จนเหลือแต่ฟิล์มเพชรดังรูป

ที่ 5.3



รูปที่ 5.3 แสดงฟิล์มเพชรที่ได้หลังจากกัดด้วย โพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ (KOH)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.4 ผลการทดสอบฟิล์มเพชร

5.4.1 กระบวนการทดสอบฟิล์มเพชร

เมื่อทำการกัทธิกรนอกจนเหลือแต่ฟิล์มเพชรที่สร้างจากวิธี CVD แบบความร้อนแล้ว ก่อนที่จะนำชิ้นงานไปทำเป็นตัวเก็บประจุไฟฟ้าต้องนำชิ้นงานที่ได้ไปทำการทดสอบคุณสมบัติตามวิธีการทดสอบคือ

5.4.1.1 การทดสอบด้วยเครื่อง Scanning Electron Microscopy (SEM)

ผลการทดสอบด้วยเครื่อง SEM ทำให้รู้ความหนาของฟิล์มเพชร เพื่อนำไปคำนวณหาค่า Capacitance โดยจากรูปที่ 5.4 เราอ่านค่าความหนาของฟิล์มเพชรได้ 13 ไมครอน

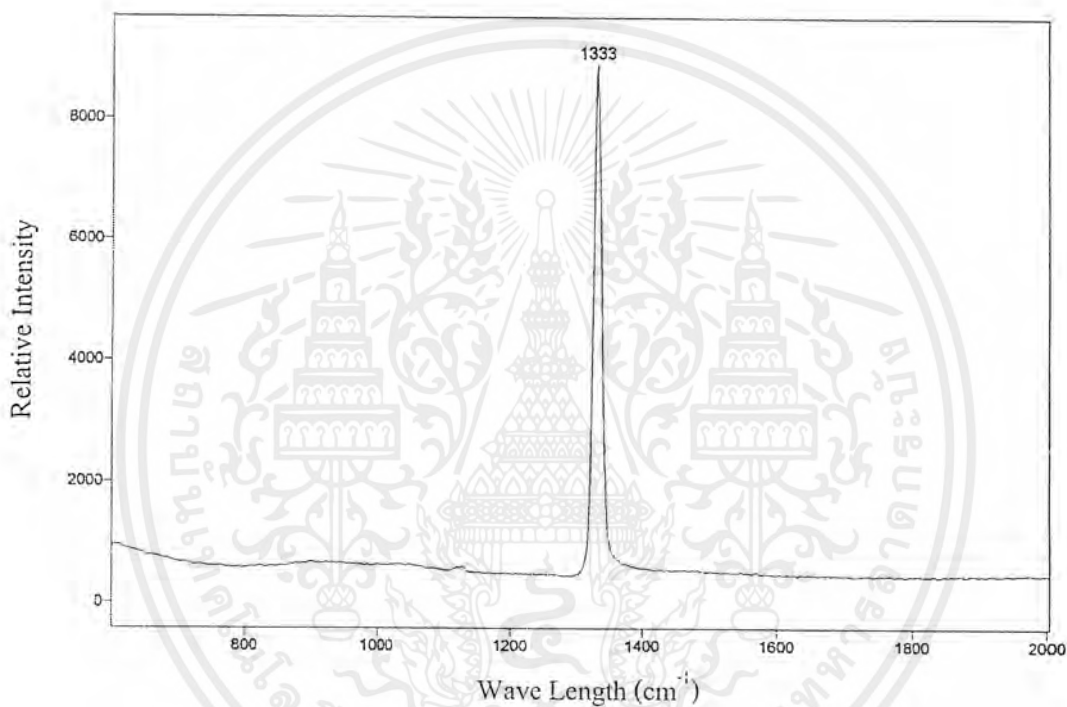


รูปที่ 5.4 แสดงรูปพื้นผิวของฟิล์มเพชรที่ถ่ายด้วยเครื่อง SEM

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.4.1.2 การทดสอบด้วย Raman Spectroscopy

ผลการตรวจสอบด้วยเครื่องวัด Raman Spectroscopy ของฟิล์มเพชรที่สร้างได้ แสดงในรูปที่ 5.5 มีค่ายอดของกราฟ (Raman Peak) อยู่ที่ 1333 cm^{-1} เป็นการยืนยันว่าเพชรที่เราสร้างได้นี้มีคุณสมบัติใกล้เคียงกับเพชรธรรมชาติที่มียอดของกราฟ (Raman Peak) อยู่ที่ 1332 cm^{-1}



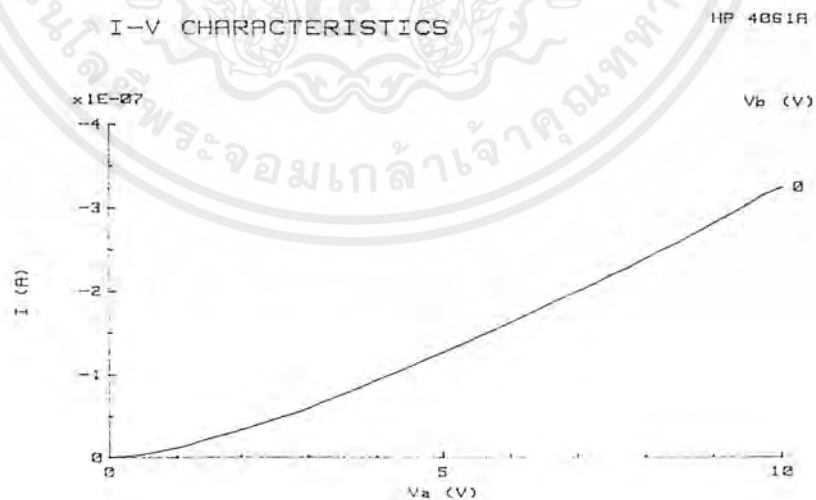
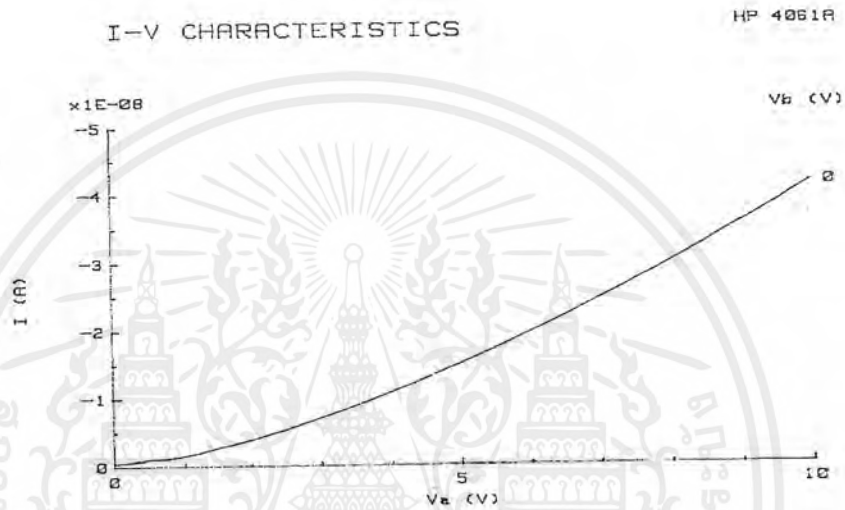
รูปที่ 5.5 Raman Spectrum ของฟิล์มเพชรที่สร้างได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.5 ผลการวัดค่า I-V และ C-V ของตัวเก็บประจุไฟฟ้าที่สร้างจากฟิล์มเพชร

5.5.1 ผลการวัดค่า I-V ของตัวเก็บประจุไฟฟ้าที่อุณหภูมิ 27 และ 200 องศาเซลเซียส

ผลการวัดค่า I-V ของตัวเก็บประจุไฟฟ้าที่สร้างจากฟิล์มเพชรที่อุณหภูมิ 27 และ 200 องศาเซลเซียส ความถี่ค่าต่างๆ ด้วยเครื่องวัด HP 4061A ได้ผลการทดลองดังนี้

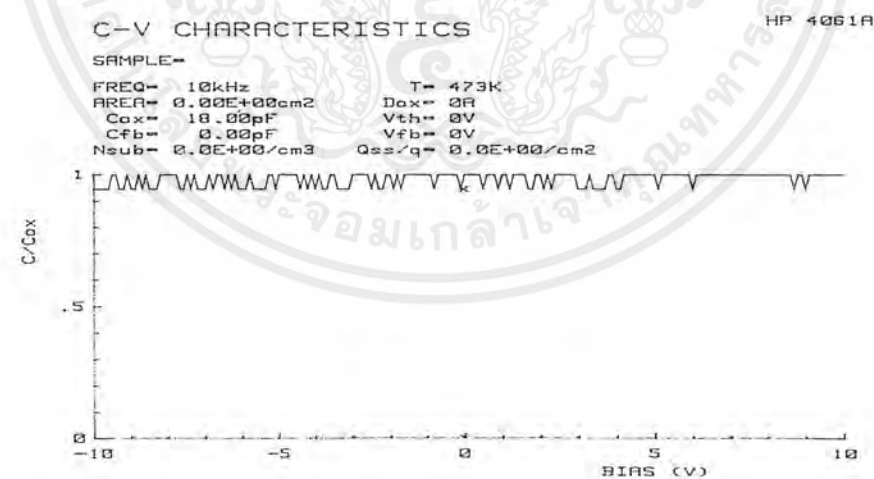
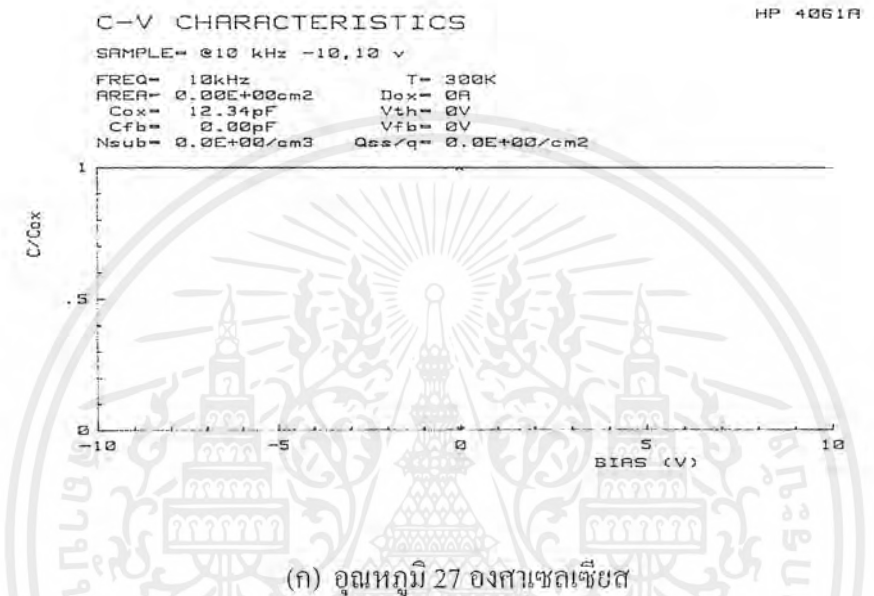


รูปที่ 5.6 ผลการทดลองการวัด I-V ของตัวเก็บประจุไฟฟ้าที่ทำจากฟิล์มเพชร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.5.2 ผลการวัดค่า C-V ของตัวเก็บประจุไฟฟ้าที่อุณหภูมิ 27 และ 200 องศาเซลเซียส

ผลการวัดค่า C-V ของตัวเก็บประจุไฟฟ้าที่สร้างจากฟิล์มเพชรที่อุณหภูมิ 27 และ 200 องศาเซลเซียส ความถี่ค่าต่าง ๆ ด้วยเครื่องวัด HP 4061A ได้ผลการทดลองดังนี้



รูปที่ 5.7 ผลการทดลองการวัด C-V ของตัวเก็บประจุไฟฟ้าที่ทำจากฟิล์มเพชรที่ความถี่ 10 kHz

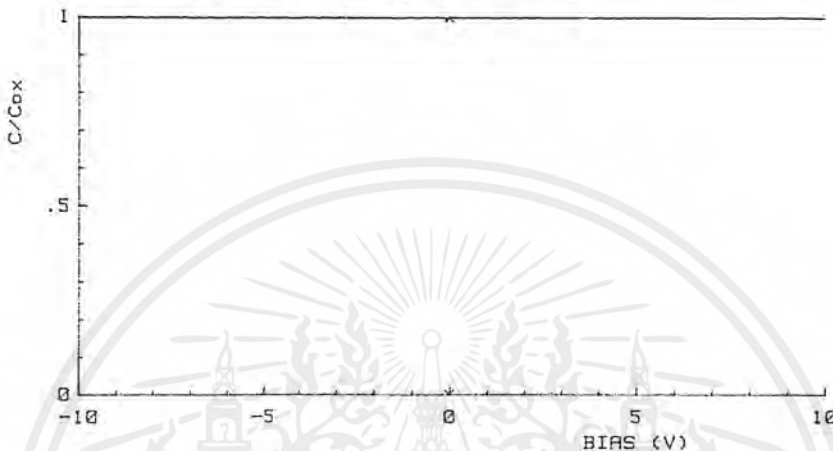
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

C-V CHARACTERISTICS

HP 4061A

SAMPLE= 020 kHz -10,10 v

FREQ= 20kHz T= 300K
 AREA= 0.00E+00cm2 Dox= 0A
 Cox= 11.61pF Vth= 0V
 Cfb= 0.00pF Vfb= 0V
 Nsub= 0.0E+00/cm3 Qss/q= 0.0E+00/cm2



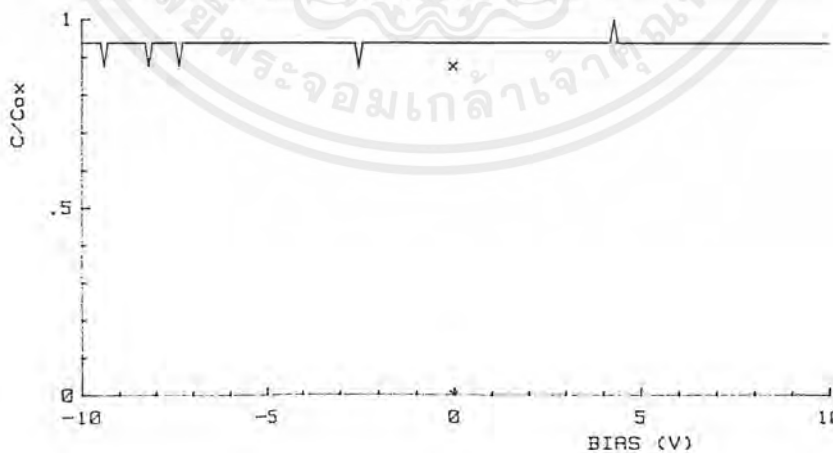
(ก) อุณหภูมิ 27 องศาเซลเซียส

C-V CHARACTERISTICS

HP 4061A

SAMPLE=

FREQ= 20kHz T= 473K
 AREA= 0.00E+00cm2 Dox= 0A
 Cox= 16.00pF Vth= 0V
 Cfb= 0.00pF Vfb= 0V
 Nsub= 0.0E+00/cm3 Qss/q= 0.0E+00/cm2



(ข) อุณหภูมิ 200 องศาเซลเซียส

รูปที่ 5.8 ผลการทดลองการวัด C-V ของตัวเก็บประจุไฟฟ้าที่ทำจากฟิล์มเพชรที่ความถี่ 20 kHz

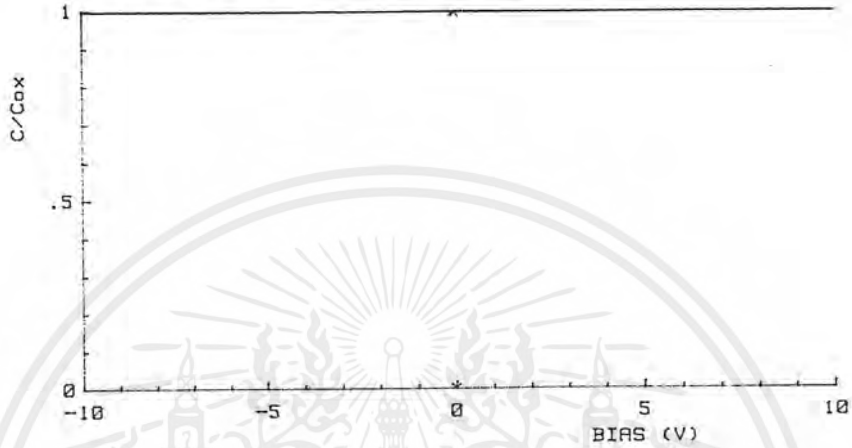
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

C-V CHARACTERISTICS

HP 4061A

SAMPLE=

FREQ= 1MHz T= 300K
 AREA= 0.00E+00cm² Dox= 0A
 Cox= 10.39pF Vth= 0V
 Cfb= 0.00pF Vfb= 0V
 Nsub= 0.0E+00/cm³ Qss/q= 0.0E+00/cm²



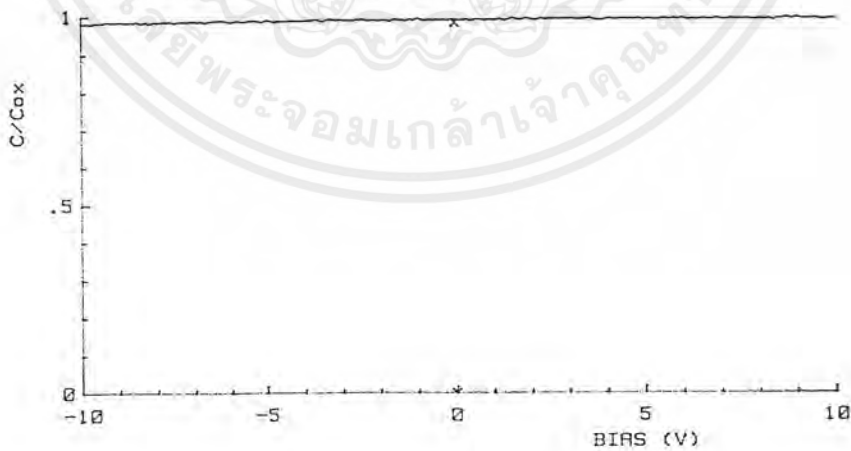
(ก) อุณหภูมิ 27 องศาเซลเซียส

C-V CHARACTERISTICS

HP 4061A

SAMPLE=

FREQ= 1MHz T= 473K
 AREA= 0.00E+00cm² Dox= 0A
 Cox= 11.80pF Vth= 0V
 Cfb= 0.00pF Vfb= 0V
 Nsub= 0.0E+00/cm³ Qss/q= 0.0E+00/cm²



(ข) อุณหภูมิ 200 องศาเซลเซียส

รูปที่ 5.9 ผลการทดสอบการวัด C-V ของตัวเก็บประจุไฟฟ้าที่ทำจากฟิล์มเพชรที่ความถี่ 1 MHz

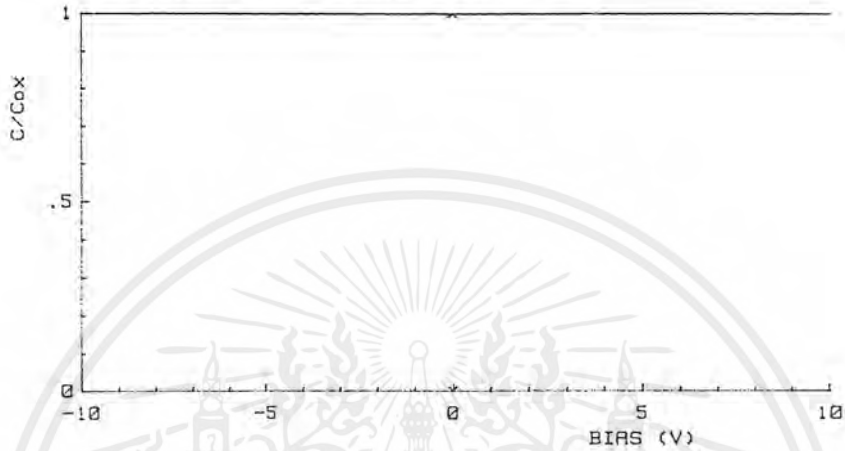
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

C-V CHARACTERISTICS

HP 4061A

SAMPLE= sample

FREQ= 4MHz T= 300K
 AREA= 0.00E+00cm² Dox= 0A
 Cox= 9.05pF Vth= 0V
 Cfb= 0.00pF Vfb= 0V
 Nsub= 0.0E+00/cm³ Qss/q= 0.0E+00/cm²



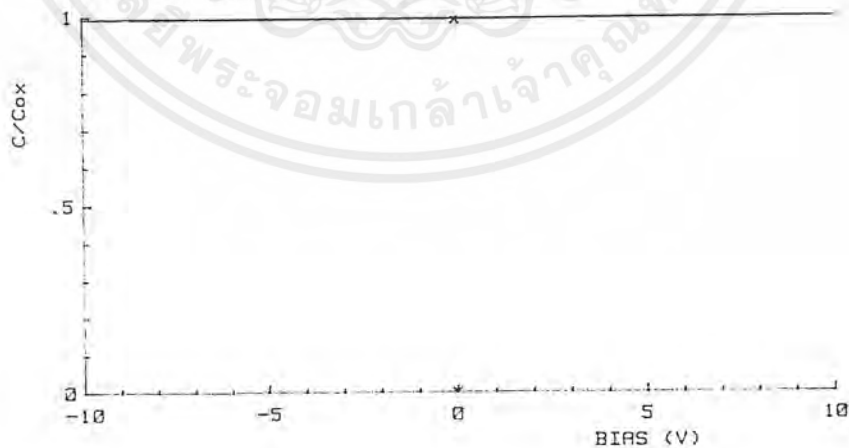
(ก) อุณหภูมิ 27 องศาเซลเซียส

C-V CHARACTERISTICS

HP 4061A

SAMPLE=

FREQ= 4MHz T= 473K
 AREA= 0.00E+00cm² Dox= 0A
 Cox= 9.86pF Vth= 0V
 Cfb= 0.00pF Vfb= 0V
 Nsub= 0.0E+00/cm³ Qss/q= 0.0E+00/cm²



(ข) อุณหภูมิ 200 องศาเซลเซียส

รูปที่ 5.10 ผลการทดลองการวัด C-V ของตัวเก็บประจุไฟฟ้าที่ทำจากฟิล์มเพชรที่ความถี่ 4 MHz

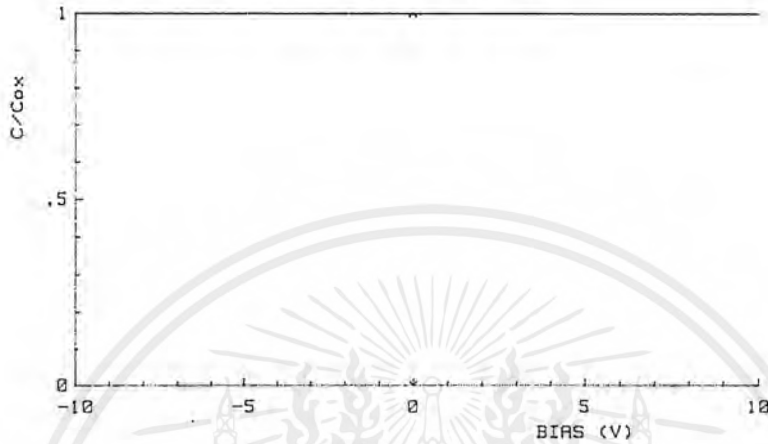
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

C-V CHARACTERISTICS

HP 4061A

SAMPLE= @10 MHz -10,10 v

FREQ= 10MHz T= 300K
 AREA= 0.00E+00cm² Dox= 0A
 Cox= 8.95pF Vth= 0V
 Cfb= 0.00pF Vfb= 0V
 Nsub= 0.0E+00/cm³ Gss/q= 0.0E+00/cm²



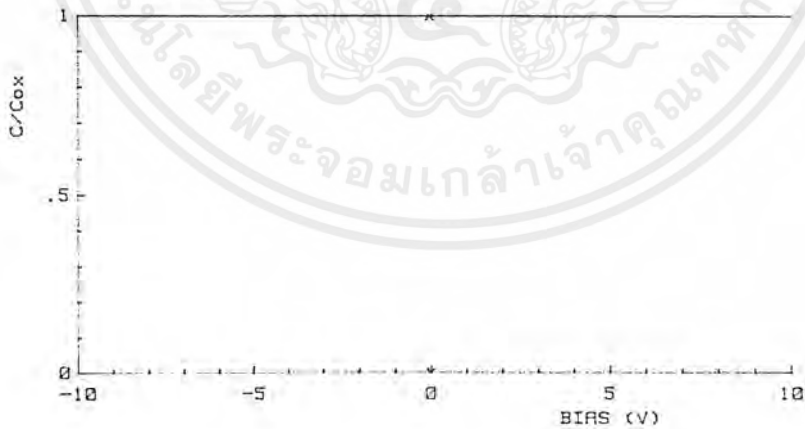
(ก) อุณหภูมิ 27 องศาเซลเซียส

C-V CHARACTERISTICS

HP 4061A

SAMPLE=

FREQ= 10MHz T= 473K
 AREA= 0.00E+00cm² Dox= 0A
 Cox= 8.30pF Vth= 0V
 Cfb= 0.00pF Vfb= 0V
 Nsub= 0.0E+00/cm³ Qss/q= 0.0E+00/cm²



(ข) อุณหภูมิ 200 องศาเซลเซียส

รูปที่ 5.11 ผลการทดลองการวัด C-V ของตัวเก็บประจุไฟฟ้าที่ทำจากฟิล์มเพชรที่ความถี่ 10 MHz

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.5.3 ผลการวัดค่าของตัวเก็บประจุไฟฟ้าโดยการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิอย่างละเอียด

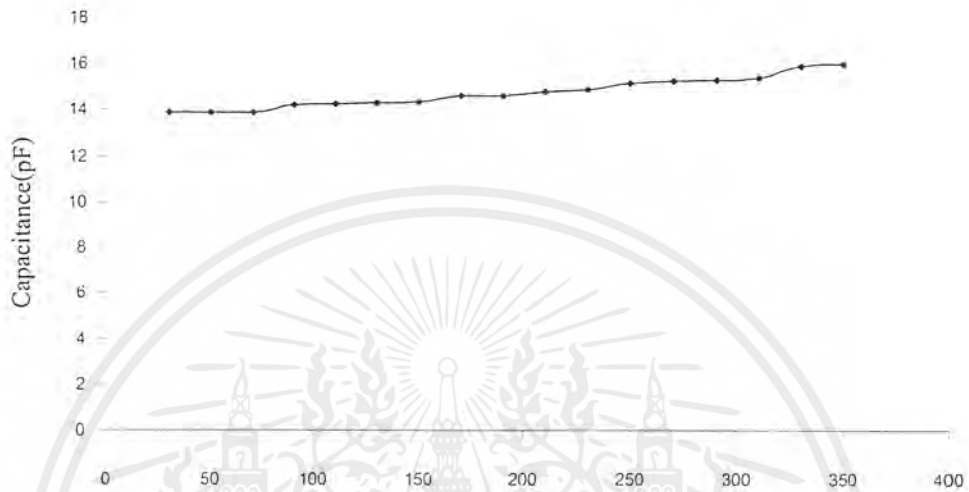
ผลการทดลองหาช่วงของอุณหภูมิแวดล้อมที่ตัวเก็บประจุไฟฟ้าฟิล์มเพชรสามารถนำไปใช้งานได้ เราจึงทำการวัดค่าของตัวเก็บประจุไฟฟ้าโดยการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิต่าง ๆ ด้วย Heater แล้วทำการวัดด้วยเครื่องวัด YHP 4271B ที่แรงดันไฟฟ้า 10 โวลต์ ความถี่ 1 MHz ได้ผลการทดลองดังตารางที่ 1

ตารางที่ 5.1 ผลการทดลองการวัด Capacitance ของตัวเก็บประจุไฟฟ้าที่ทำจากฟิล์มเพชรที่แรงดันไฟฟ้า 10 โวลต์ ความถี่ 1 MHz

อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)	Capacitance (pF)
30	13.9
50	13.9
70	13.9
90	14.2
110	14.24
130	14.3
150	14.35
170	14.6
190	14.6
210	14.8
230	14.9
250	15.2
270	15.27
290	15.32
310	15.4
330	15.9
350	16.0

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากตารางที่ 5.1 ผลการทดลองการวัด Capacitance ของตัวเก็บประจุไฟฟ้าที่ทำจากฟิล์มเพชรที่แรงดันไฟฟ้า 10 โวลต์ ความถี่ 1 MHz เมื่อนำมาเขียนกราฟจะได้กราฟดังรูปที่ 5.12



รูปที่ 5.12 ผลการทดลองการวัดค่าเก็บประจุที่อุณหภูมิค่าต่าง ๆ ที่แรงดันไฟฟ้า 10 โวลต์ ความถี่ 1 MHz

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 6

สรุปและวิจารณ์

ผลการทดลองการวัดค่า I-V ของตัวเก็บประจุไฟฟ้าที่อุณหภูมิ 27 องศาเซลเซียสและ 200 องศาเซลเซียส จากกราฟรูปที่ 5.6 จะเห็นได้ว่าที่ความต่างศักย์ไฟฟ้าเท่ากัน ที่อุณหภูมิ 200 องศาเซลเซียส จะมีค่ากระแสมากกว่าที่อุณหภูมิ 27 องศาเซลเซียส อาจเนื่องมาจาก สาร ไดอิเล็กตริกที่ทำจากฟิล์มเพชร ได้รับพลังงานความร้อนที่มีค่าพลังงานมากกว่าค่าของแถบพลังงานต้องห้าม (E_g) ของฟิล์มเพชร ทำให้เกิดพันธะแตกออก หรือทำให้เกิดมีอิเล็กตรอนและโฮลเกิดขึ้น โดยการเกิดอิเล็กตรอนอิสระและโฮลอิสระ โดยการกระตุ้นจากพลังงานภายนอกนี้เราเรียกว่า ขบวนการเกิดพาหะ (generation) อิเล็กตรอนที่เกิดขึ้นนี้จะเปลี่ยนที่อยู่จากแถบวาเลนซ์ไปยังแถบความนำกลาย เป็นอิเล็กตรอนอิสระ (conduction electron) พร้อมทั้งจะนำกระแสได้ จึงทำให้ที่อุณหภูมิ 200 องศาเซลเซียส จะมีกระแสไหลมากกว่าที่อุณหภูมิ 27 องศาเซลเซียส

ผลการทดลองการวัดค่า C-V ของตัวเก็บประจุไฟฟ้าที่อุณหภูมิ 27 องศาเซลเซียสและ 200 องศาเซลเซียส จากกราฟ รูปที่ 5.7, รูปที่ 5.8, รูปที่ 5.9, รูปที่ 5.10 และ รูปที่ 5.11 โดยดูที่ความต่างศักย์ไฟฟ้าเท่ากัน และที่ความถี่เท่ากัน จะเห็นได้ว่าที่อุณหภูมิ 200 องศาเซลเซียส ค่าของ Capacitance มีค่ามากกว่าค่า Capacitance อุณหภูมิที่ 27 องศาเซลเซียส ที่เป็นเช่นนี้ อาจเกิดจากปรากฏการณ์ generation เหมือนที่กล่าวมาข้างต้น เป็นผลทำให้ประจุเคลื่อนที่ไปยังฝั่งตรงกันข้าม กล่าวคือ อิเล็กตรอนจะไหลไปในทางขั้วบวกและโฮลจะไหลไปในทางขั้วลบ ทำให้เสมือนมี plate ซึ่งเกิดจากประจุ ทำให้ค่า d มีค่าลดลง ทำให้ค่าของตัวเก็บประจุมีค่ามากขึ้นตามสมการ

$$C = \epsilon_0 \epsilon_r A/d$$

ผลการทดลองการวัดค่า C-V ของตัวเก็บประจุไฟฟ้าที่อุณหภูมิ 27 องศาเซลเซียสและ 200 องศาเซลเซียส โดยดูที่ความต่างศักย์ไฟฟ้าเท่ากัน และดูที่อุณหภูมิ 27 องศาเซลเซียส และที่อุณหภูมิ 200 องศาเซลเซียส จากกราฟ รูปที่ 5.7, รูปที่ 5.8, รูปที่ 5.9, รูปที่ 5.10 และ รูปที่ 5.11 จะเห็นได้ว่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ค่า Capacitance จะมีค่าลดลง เมื่อมีความถี่เพิ่มขึ้น อาจวิเคราะห์ได้จากกรณีที่เมื่อความถี่เพิ่มมากขึ้นจะทำให้เกิดพลัง นมมากขึ้นตามสมการ

$$E = hf$$

พลังงานที่เกิดขึ้นส่วนนี้ จะไปกระตุ้นทำให้พันธะของเพชรแตกได้ ทำให้เกิดอิเล็กตรอนและโฮลขึ้น แล้วจะทำให้เกิดกระแสไหลได้มากขึ้น เพราะฉะนั้นถ้าพิจารณากระแสไหลผ่านตัวเก็บประจุได้มากขึ้น จะทำให้ค่าของอิมพีแดนซ์ (X_C) มีค่าน้อยลงตามสมการดังนี้

$$X_C = 1/(2\pi fC) \quad (\text{โอห์ม})$$

ถ้าดูที่ค่าความต่างศักย์คงที่ และมีความถี่เพิ่มขึ้นที่ความถี่เพิ่มขึ้น จะทำให้กระแสไหลมากขึ้น เนื่องจากมีค่าของ X_C ลดลง ตัวเก็บประจุไฟฟ้าจะเก็บประจุได้น้อยลง คือค่า Capacitance ของประจุไฟฟ้าจะมีค่าลดลง

ค่า Capacitance คำนวณได้จากสูตร

$$C = \epsilon A / d$$

โดยที่

$$\epsilon = \epsilon_r \times \epsilon_0$$

และ

$$\epsilon_0 = 8.85 \times 10^{-12} \quad \text{F/cm}$$

$$C = (\epsilon_r \times 8.85 \times 10^{-12} \times A) / d \quad \text{F}$$

- โดย
- A คือพื้นที่ผิวหน้าของพอยล์ มีหน่วยเป็นตารางเมตร
 - d คือระยะห่างระหว่างพอยล์ มีหน่วยเป็นเมตร
 - ϵ_r ค่าของเพชรมีค่า 5.7

$$\begin{aligned} \text{ค่า Capacitance ของตัวเก็บประจุฟิล์มเพชรที่ทดลอง} &= (5.7 \times 8.85 \times 10^{-12} \times 2.47 \times 10^{-6}) \div 13 \times 10^{-6} \\ &= 9.58 \quad \text{pF} \end{aligned}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ค่า Capacitance ของตัวเก็บประจุที่ทำจากฟิล์มเพชรที่คำนวณมีค่าอยู่ในช่วงของค่าการวัด Capacitance จากเครื่องวัด HP 4061A ในการทดลองที่ 5.5.2 ที่อุณหภูมิ 27 องศาเซลเซียสในการวัด C-V CHARACTERISTICS ในการทดลองที่ 5.5.2 กราฟที่ได้จะมีค่า Capacitance คงที่เมื่อเปลี่ยนค่าของแรงดันไฟฟ้าที่ป้อนให้กับอุปกรณ์ส่วนในการวัดค่า Capacitance ของไดโอด 1N 4008 ดังกราฟในภาคผนวก ข โดยในการทดลองวัดค่า Capacitance ของไดโอด 1N4008 จะใส่อุปกรณ์แบบกลับขั้วไว้แล้ว โดยที่ค่าแรงดันไบอัสย้อนกลับยิ่งมากค่า Capacitance ก็จะมีค่าลดลง ส่วนในการวัดค่า Capacitance ของตัวเก็บประจุไฟฟ้าแบบเซรามิก ที่มีค่า 47 pF จะมีค่า Capacitance คงที่ เมื่อแรงดันเปลี่ยนแปลง

สรุปได้ว่าในการทดลองนำฟิล์มเพชรมาใช้ทำอุปกรณ์ตัวเก็บประจุไฟฟ้า เราสามารถจะนำฟิล์มเพชรมาใช้ทำอุปกรณ์ตัวเก็บประจุไฟฟ้าได้ โดยกราฟที่ได้จากการทดลอง วัดด้วยเครื่อง YHP 4271B โดยปรับแรงดันไฟฟ้าคงที่ 10 โวลต์ และความถี่คงที่ 1 MHz เมื่อดูการเปลี่ยนแปลงของความจุไฟฟ้าต่ออุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส แล้วจะมีค่าประมาณ 0.66 pF ต่ออุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส ซึ่งมีค่าเปลี่ยนแปลงน้อยมาก เพราะฉะนั้นทำให้เรานำตัวเก็บประจุไฟฟ้าจากฟิล์มเพชรใช้งานที่อุณหภูมิสูงได้

ปริญญาโท ปีการศึกษา 2542

ภาควิชา อิเล็กทรอนิกส์

คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เรื่อง การประยุกต์ใช้งานอุปกรณ์ตัวเก็บประจุจากฟิล์มเพชรที่อุณหภูมิสูง

ผู้จัดทำ

1. นาย ชีระพงษ์ คล่องการพานิช 40013173
2. นาย สามารถ ศรีอิม 40013233



.....อาจารย์ที่ปรึกษา

(.....)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ก

ตาราง ก-1 แสดงการเปรียบเทียบค่า Thermal conductivities [5]

Material	Conductivity (Watts/cm.°C)
Diamond (Type II)	20.00
Boron nitride (theory)	13.00
Beryllium oxide	3.70-5.90
Water	5.61
Silicon carbide	4.90
Silver	4.18
Copper	3.80
Aluminum nitride	3.70
Gold	3.11
Aluminum	2.38
Tungsten	1.70
Silicon	1.50
Oil, Transformer	1.36
Iron	0.82
Graphite	0.80-2.50
Palladium	0.70
Platinum	0.69
Tin	0.65
Gallium arsenide	0.46
Germanium	0.28
Titanium	0.20
Quartz	0.07-0.14
Indium arsenide	0.07

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตาราง ก-2 แสดงการเปรียบเทียบค่า Thermal expansion Coefficients [5]

Material	Coefficient ($\times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$)
Silicon dioxide	0.5
INVAR (18-100/ $^{\circ}\text{C}$)	0.64
Diamond (300K)	0.8
Diamond (193K)	0.4
Diamond (400-1,200K)	1.5
Silicon	2.6
Aluminum nitride	4.5
Tungsten (polycrystal)	4.5
Sapphire	5.5
Germanium	5.7
Gallium arsenide	5.9
Beryllium oxide	5.9
YAG	7.8
Graphite (in plane)	8.8
Platinum (polycrystal)	8.9
Magnesium oxide	11.0
Gold (polycrystal)	14.1
Graphite (along c axis)	27.3

* Gruneisen's law obeyed in this region

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตาราง ก-3 แสดงการเปรียบเทียบค่า Molar heat capacity [5]

Material	Capacity (Joules/moles-°C)
Silver	25.50
Gold	25.41
Copper	24.50
Aluminum	24.37
Silicon	19.85
Graphite	8.54
Diamond	6.19
Water	4.22
BeO 0.74 cal/cc Sapphire 0.69 cal/cc Si 0.42 cal	

ตาราง ก-4 แสดงการเปรียบเทียบค่า Hardness

Material	Knoop Hardness (Kg/mm ²)(298K)
Diamond	5,700-10,400
Cubic BN	4,500
Boron carbide	2,250
Tungsten carbide	2,190
Titanium carbide	2,190
Aluminum oxide	2,000
Silicon carbide	1,875-3,980
Titanium nitride	1,800
Case hardened steel	800
High carbon steel	400
Copper	40

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตาราง ก-5 แสดงการเปรียบเทียบค่า Sound velocities (m/s) [5]

Material	Longitudinal	Shear
Diamond	18,000	*
Boron	15,000	*
Beryllium	12,890	8,880
Silicon carbide	11,400	*
Silicon	7,500	*
Boron nitride	7,000	*
Tungsten carbide	6,900	*
Aluminum	6,420	3,040
Nickel	6,040	3,000
Aluminum nitride	5,500	*
Tungsten	5,220	2,890
Copper	4,760	2,325
Gold	3,240	1,200
Water	1,498	(n/a)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตาราง ก-6 แสดงการเปรียบเทียบค่า Young's modulus [5]

Material	Value ($\times 10^{11}$ dynes/cm ²)
Diamond	105.0
Tungsten	34.0
Steel	17.2-20.5
Ferrites (most)	15.0
Platinum	14.7
Cast iron	13.8
Copper	12.8
Silicon	11.3
Quartz	7.9-10.7
Gold	7.4-8.0
Silver	7.1-7.8
Aluminum	6.9
Tin	4.1-4.5
Lead	1.4

ตาราง ก-7 แสดงการเปรียบเทียบค่า Coefficient of friction [5]

Material	Coefficient
Diamond	0.05
Teflon	0.05
Metals (lubricated)	0.10
Graphite	0.10
Tungsten carbide	0.20
Sapphire	0.20
Nickel (bare)	0.70
Iron (bare)	1.00
Aluminum	1.30
Lead	1.50

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตาราง ก-8 แสดงการเปรียบเทียบค่า Optical properties [5]

Material	Refractive Index
Germanium	4.00-4.10
Silicon	3.42-3.50
GaAs	3.34-2.12
Diamond	2.41-2.44
Sapphire	1.58-1.83
Fused silica	1.40-1.48
Crystal quartz	1.52-1.69
Water	1.33-1.34
Calcium fluoride	1.31-1.51
Lithium fluoride	1.11-1.45
Magnesium oxide	1.62-1.77

ตาราง ก-9 แสดงการเปรียบเทียบค่า Density [5]

Material	Density (gm/cm ³)
Osmium	22.8
Platinum	21.5
Tungsten	19.3
Uranium	18.7
Copper	8.9
Germanium	5.4
Diamond	3.52
Beryllium oxide	2.86
Aluminum	2.7
Quartz	2.65
Boron	2.54
Silicon	2.42
Graphite	2.25
Hydrogen (solid)	0.076

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตาราง ก-10 ตาราง Work Function ของ Materials [7]

Metal	ϕ_M (Photo)	ϕ_M (MOS)	Vacuum work function
Mg	2.25	2.4	3.70
Al	3.2	3.2	4.20
Ni	3.7	3.6	4.75
Cu	3.8	3.8	4.52
Ag	4.15	4.2	4.31
Au	4.1	4.1	4.70
Si	4.35	-	5.15
Diamond	-	-	3.25

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ข

C-V CHARACTERISTICS

HP 4061A

SAMPLE= C 47 pF
 FREQ= 10kHz T= 300K
 AREA= 0.00E+00cm2 Dox= 0A
 Cox= 48.38pF Vth= 0V
 Cfb= 0.00pF Vfb= 0V
 Nsub= 0.0E+00/cm3 Qss/q= 0.0E+00/cm2

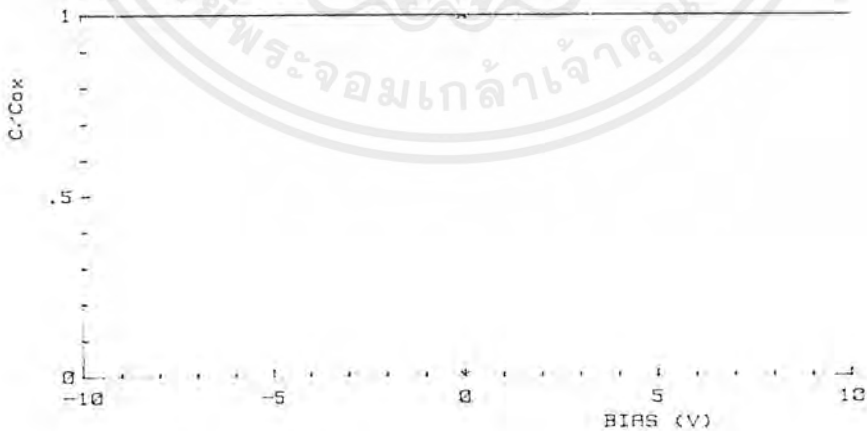


(ก) ความถี่ 10 kHz

C-V CHARACTERISTICS

HP 4061A

SAMPLE= C 47 pF
 FREQ= 10MHz T= 300K
 AREA= 0.00E+00cm2 Dox= 0A
 Cox= 46.90pF Vth= 0V
 Cfb= 0.00pF Vfb= 0V
 Nsub= 0.0E+00/cm3 Qss/q= 0.0E+00/cm2



(ข) ความถี่ 10 MHz

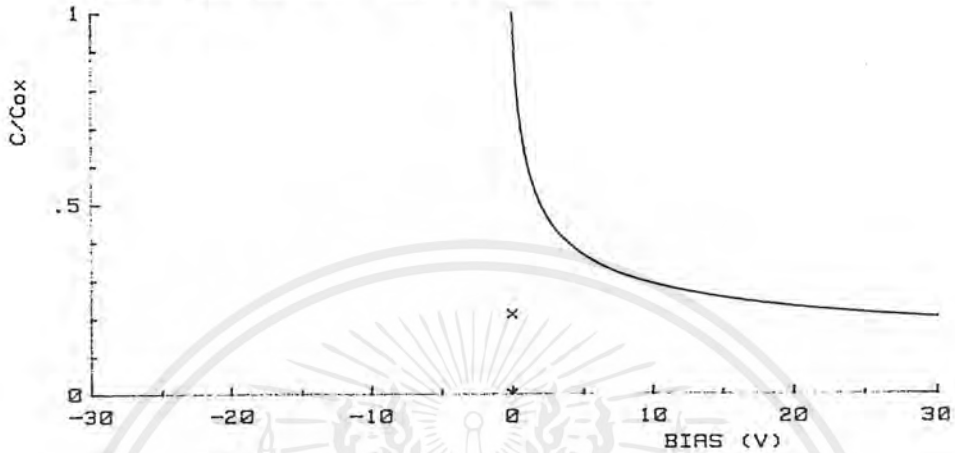
รูปที่ ข-1 ผลการทดลองการวัด C-V ของตัวเก็บประจุไฟฟ้าชนิดเซรามิกค่า 47 pF ที่ 27 °C

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

C-V CHARACTERISTICS

SAMPLE= D1N4008

FREQ= 100kHz T= 300K
 AREA= 0.00E+00cm² Dox= 0A
 Cox= 33.31pF Vth= 0V
 Cfb= 0.00pF Vfb= 0V
 Nsub= 0.0E+00/cm³ Qss/q= 0.0E+00/cm²

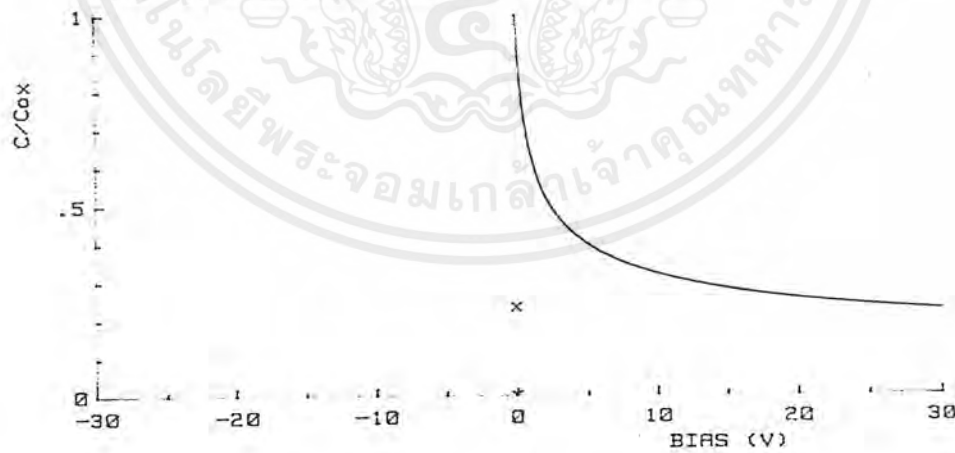


(ก) ความถี่ 100 kHz

C-V CHARACTERISTICS

SAMPLE= D1N4008

FREQ= 400kHz T= 300K
 AREA= 0.00E+00cm² Dox= 0A
 Cox= 29.89pF Vth= 0V
 Cfb= 0.00pF Vfb= 0V
 Nsub= 0.0E+00/cm³ Qss/q= 0.0E-00/cm²



(ข) ความถี่ 400 kHz

รูปที่ ข-2 ผลการทดลองการวัด C-V ของไดโอดเบอร์ 1N 4008 ที่ 27 องศาเซลเซียส

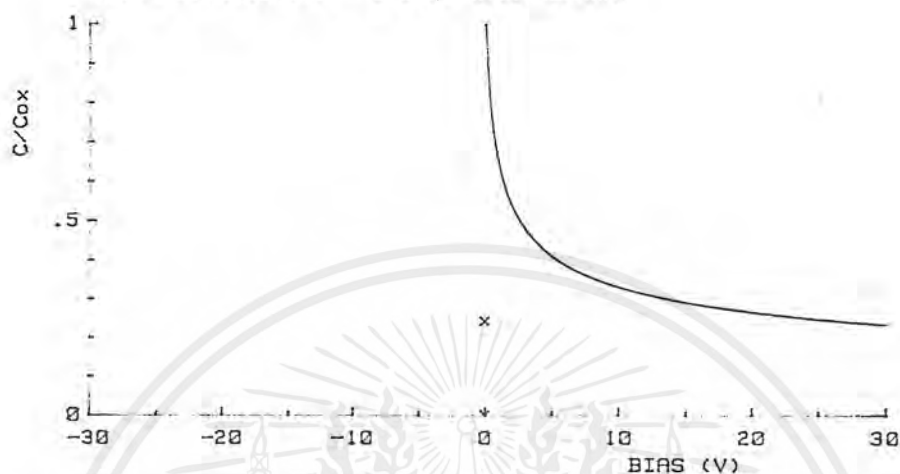
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

C-V CHARACTERISTICS

HP 4061A

SAMPLE= D1N4008

FREQ= 1MHz T= 300K
 AREA= 0.00E+00cm² Dox= 0A
 Cox= 28.82pF Vth= 0V
 Cfb= 0.00pF Vfb= 0V
 Nsub= 0.0E+00/cm³ Qss/q= 0.0E+00/cm²

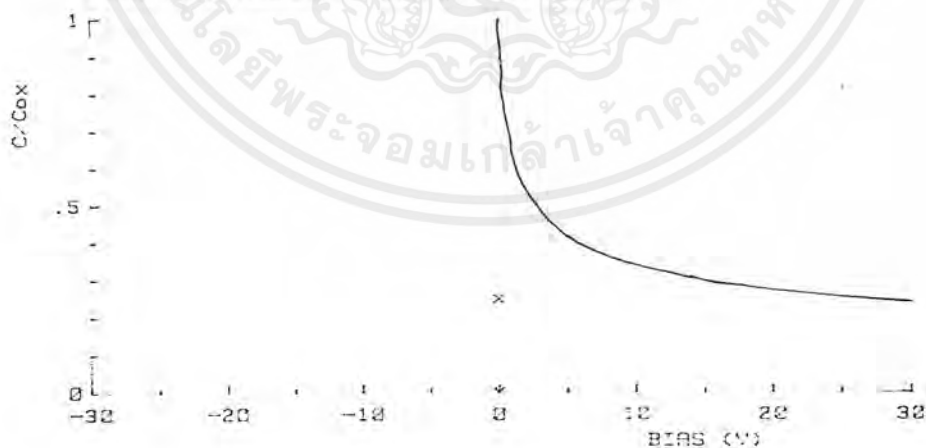


C-V CHARACTERISTICS

HP 4061A

SAMPLE= D1N4008

FREQ= 10MHz T= 300K
 AREA= 0.00E+00cm² Dox= 0A
 Cox= 26.82pF Vth= 0V
 Cfb= 2.20pF Vfb= 0V
 Nsub= 0.0E+00/cm³ Qss/q= 0.0E+00/cm²



รูปที่ ข-2 (ต่อ) ผลการทดลองการวัด C-V ของไดโอดเบอร์ 1N 4008 ที่ 27 องศาเซลเซียส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

รายงานนี้เสร็จสมบูรณ์ โดยได้รับความกรุณาจาก รศ.ดร.วิสุทธิ ฐิติรุ่งเรือง ในการให้การสนับสนุนงานทดลองนี้ด้วยดี โดยการให้ความรู้ แนวความคิด การแก้ปัญหา ขอบพระคุณ รศ.ดร.สมเกียรติ สุขเกษ ที่ให้ความรู้ในเรื่อง วงจรรวม (Integrated Circuits) และขอขอบพระคุณ อาจารย์สุรศักดิ์ เนียมเจริญ หัวหน้าศูนย์วิจัยอิเล็กทรอนิกส์ที่อำนวยความสะดวกในการทำงานทดลองนี้ด้วยดี ขอขอบคุณเจ้าหน้าที่ศูนย์วิจัยอิเล็กทรอนิกส์ ขอขอบคุณพี่ๆ ทุกคนในห้องจุฬารัตนศาสตร์ที่ช่วยทำให้รายงานนี้เสร็จสมบูรณ์ลงไปด้วยดี

ธีระพงษ์ ค่่องการพานิช
สามารถ ศรีอิม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

