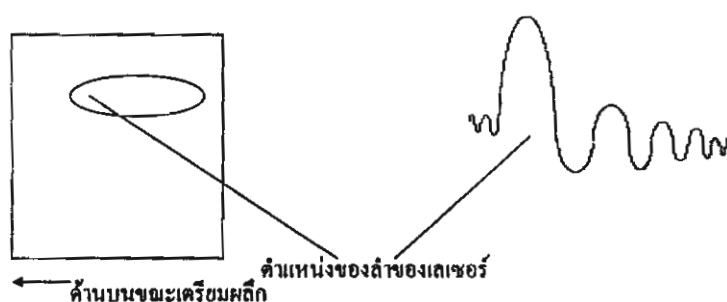


3.2 การศึกษาผลของความร้อนจากเลเซอร์แก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ต่อการเกิดผลึกเมื่อใช้กระแสของเลเซอร์ในการปลูกผลึกต่างกัน

การเพิ่มอุณหภูมิให้แก่วัสดุฐานรองซิลิกอนด้วยเลเซอร์แก๊สคาร์บอนไดออกไซด์โดยการเพิ่มกระแสที่ให้แก่อหลอดเลเซอร์ 6, 7 และ 8 mA ใช้เวลาในการเตรียมผลึก 5 ชั่วโมงที่ความดัน 21-25 mbar เนื่องจากทดลองในตอนนี้อาจไม่ได้ให้เลเซอร์ผ่านเลนส์จึงทำให้ลำของเลเซอร์มีขนาดใหญ่และวัสดุฐานรองวางทำมุม 45° จึงทำให้อายุของลำของเลเซอร์เป็นวงรี (เส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 2 mm) และทำให้เกิดฟิล์มเป็นรูปวงรีด้วย การกระจายของความร้อนเริ่มจากจุดศูนย์กลางของวงรีด้านหนึ่ง (ตรงลำของเลเซอร์) และกระจายไปตามแกนหลักของวงรีแสดงได้ดังรูปที่ 2.9



รูปที่ 3.9 แสดงการกระจายความร้อนของเลเซอร์บนวัสดุฐานรองเมื่อวัสดุฐานรองทำมุม 45° กับลำของเลเซอร์

เงื่อนไขการเตรียมผลึกสำหรับศึกษาผลของความร้อนจากเลเซอร์แก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ต่อการเกิดผลึกเมื่อใช้กระแสของเลเซอร์ในการปลูกผลึกต่างกันของตัวอย่าง DIL30 – DIL32 ดังแสดงในตารางที่ 3.9

ตารางที่ 3.9 แสดงเงื่อนไขในการเตรียมผลึกสำหรับการศึกษาผลของความร้อนจากเลเซอร์แก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ต่อการเกิดผลึกเมื่อใช้กระแสของเลเซอร์ในการปลูกผลึกต่างกัน

ตัวอย่าง	ความดัน(mbar)	อุณหภูมิของไส้ทั้งสแตน (°C)	อุณหภูมิของวัสดุฐานรอง (°C)	อัตราส่วนการไหล CH_4/H_2 (sccm)	กระแสของเลเซอร์ (mA)	เวลาที่ใช้ในการเตรียมผลึก (hr)
DIL30	24	1950	500	0.17	6	5
DIL31	25	1880	450	0.22	7	5
DIL32	21	1820	450	0.17	8	5

การปลูกผลึกด้วยวิธีนี้ได้ฟิล์มเป็นรูปวงรีดังรูปที่ 5-25 ซึ่งเมื่อตรวจสอบด้วยการเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์พบ SiO_2 , $\alpha\text{-SiC}$ และแกรไฟต์เป็นองค์ประกอบของฟิล์มดังแสดงได้ในรูปที่ 3.11 ซึ่งเป็นการวางแผนตั้งฉากกับรังสีเอกซ์ตามลำดับและตารางที่ 3.10 แสดงค่าระยะห่างระหว่างระนาบที่ได้จากการเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ ส่วนตารางที่ 3.11 แสดงความเค้นระหว่างฟิล์มกับวัสดุฐานรองซิลิกอนทั้งในการวางแผนตั้งฉากและขนานกับรังสีเอกซ์



DIL30

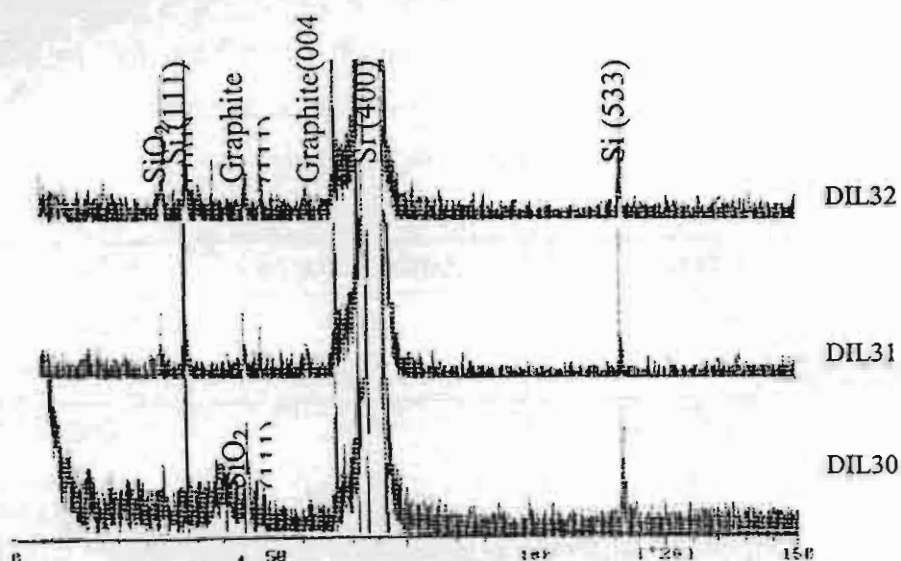


DIL31



DIL32

รูปที่ 3. 10 แสดงภาพตัวอย่าง DIL30-DIL32 ที่ใช้สำหรับการศึกษากการให้ความร้อนด้วยเลเซอร์แก๊สคาร์บอนไดออกไซด์เมื่อใช้กระแสของเลเซอร์ในการปลูกผลึกต่างกัน



รูปที่ 3. 11 แสดงการเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ในการวางแผนตั้งฉากกับรังสีเอกซ์ของฟิล์มบนตัวอย่าง DIL30-DIL32 ที่ใช้สำหรับการศึกษามลของความร้อนจากเลเซอร์แก๊สคาร์บอนไดออกไซด์เมื่อใช้กระแสของเลเซอร์ในการปลูกผลึกต่างกัน

ตารางที่ 3. 10 แสดงค่าระยะห่างระหว่างระนาบที่เกิดจากการเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ของตัวอย่าง DIL30- DIL32 ที่ใช้สำหรับการศึกษาผลของความร้อนจากเลเซอร์แก๊สคาร์บอนไดออกไซด์เมื่อใช้กระแสเลเซอร์ในการปลูกผลึกต่างกัน

Material (hkl)	ASTM standard ($\text{\AA}$)	DIL30 ($\text{\AA}$)	DIL31 ($\text{\AA}$)	DIL32 ($\text{\AA}$)
SiO ₂ (101)	3.343	3.1309	3.1309	3.1401
α -SiC(10 27)	2.340	2.3562		2.3562
Graphite(101)	2.027	2.0029	2.0366	2.0376
α -SiC(10 43)	1.980	1.9118	1.9150	1.9214
Graphite(004)	1.674	-	-	1.6383
Graphite(110)	1.228	1.2204	-	-

ตารางที่ 3. 11 ค่าความเค้นระหว่างฟิล์มและวัสดุฐานรองซิลิกอนของ DIL30- DIL32 ที่ใช้สำหรับการศึกษาผลของความร้อนจากเลเซอร์แก๊สคาร์บอนไดออกไซด์เมื่อใช้กระแสของเลเซอร์ในการปลูกผลึกต่างกันทั้งในการวางแบบตั้งฉากและขนานกับรังสีเอกซ์

ตัวอย่าง	ความเค้น (GPa)	การวางตัวอย่าง
DIL30	3333	การวางแบบตั้งฉากกับรังสีเอกซ์
	3422	การวางแบบขนานกับรังสีเอกซ์
DIL31	3407	การวางแบบตั้งฉากกับรังสีเอกซ์
	3386	การวางแบบขนานกับรังสีเอกซ์
DIL32	3363	การวางแบบตั้งฉากกับรังสีเอกซ์
	3385	การวางแบบขนานกับรังสีเอกซ์

การตรวจสอบด้วยสเปกตรัมของรามานและ SEM ดังตารางที่ 3.12 ถึงตารางที่ 3.14 ทำใน 3 ตำแหน่งดังรูปที่ 3.12 แสดงผลรามานดังรูปที่ 3.14 ถึงรูปที่ 3.16 ซึ่งพบพีคกว้างที่ 1500-1700 cm^{-1} ซึ่งเป็นของคาร์บอนที่จับกันแบบ sp^2 ส่วนพีคกว้างที่ 1250-1500 cm^{-1} เป็นของคาร์บอนที่จับพันธะกันแบบ sp^3 [32-43] สเปกตรัมของรามานลำดับที่สองของซิลิกอนแสดงให้เห็นเนื่องจากมีซิลิกอนเป็นวัสดุฐานรอง นอกจากนี้ยังแสดง SiC ที่อยู่ระหว่างฟิล์มกับวัสดุฐานรองอีกด้วย รูปที่ 3.13 แสดงตำแหน่งของการตัดตัวอย่างเพื่อดูความหนาของฟิล์มและการเปลี่ยนแปลงของซิลิกอนในบริเวณที่ได้รับความร้อนจากเลเซอร์

จากสมการการนำความร้อน (heat conduction equation) [29] สามารถพิจารณาการเพิ่มของอุณหภูมิจากเลเซอร์ตามสมการ

$$\Delta T_{\max} = \frac{8I_0}{3\sqrt{3}\kappa} \sqrt{\frac{Dr_0}{\pi}} \quad (5-2)$$

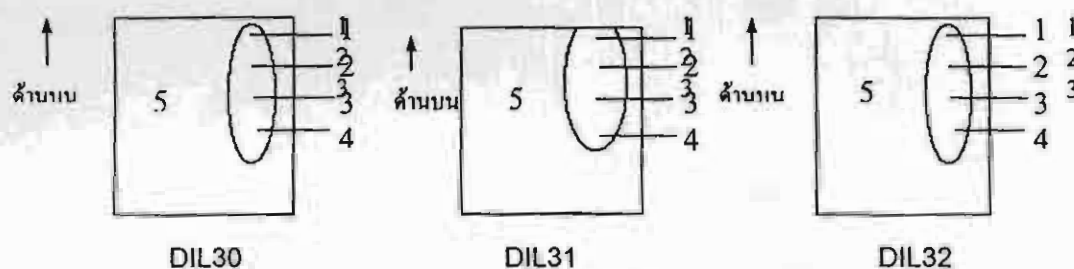
เมื่อ I_0 ความเข้มของการดูดกลืนเลเซอร์ต้นกำเนิด (absorbed intensity)

κ สภาพนำความร้อน (thermal conductivity)

D การกระจายความร้อน (thermal diffusivity)

t_0 FWHM ของความกว้างของพัลส์ของเลเซอร์ (pulse width)

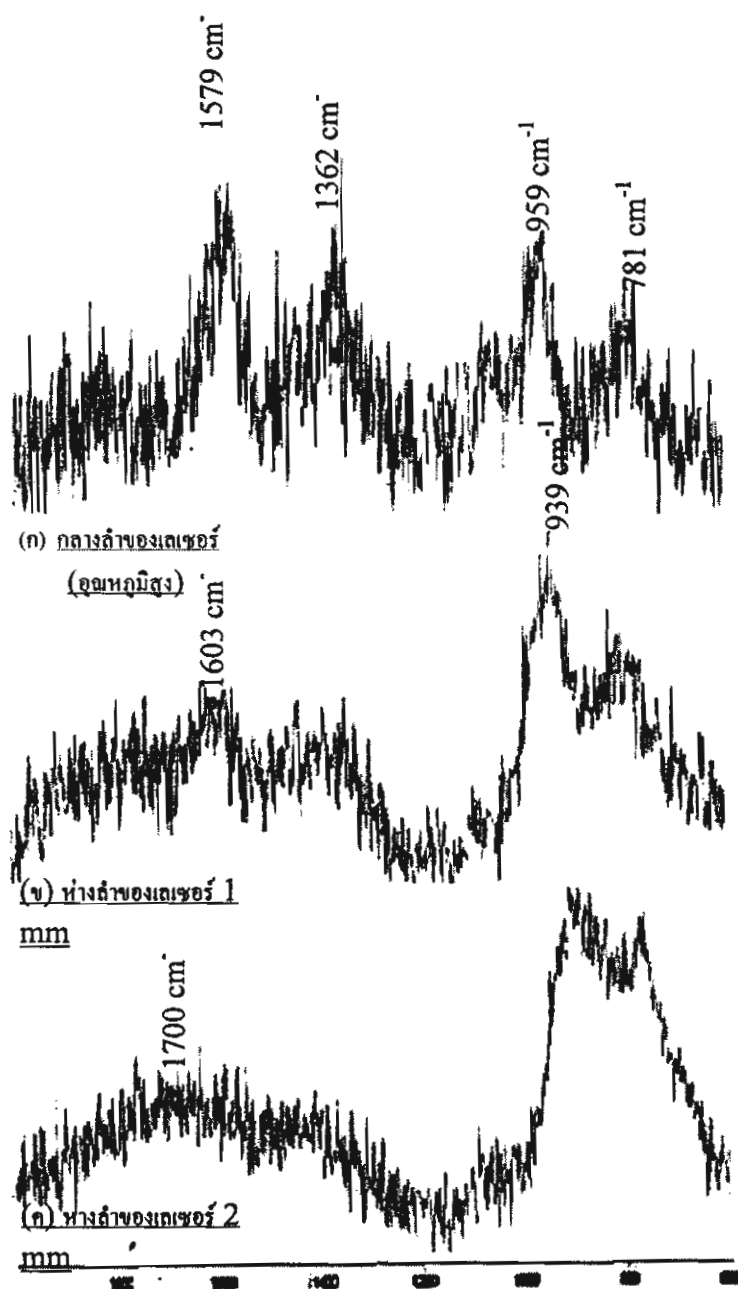
ซึ่งจากสมการแสดงให้เห็นการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้นจากเลเซอร์, $\Delta T_{\max}$ เปลี่ยนแปลงกับค่าความร้อนเริ่มต้นจากแหล่งกำเนิดเลเซอร์ดังนั้นเมื่อมีการเพิ่มกระแสให้แก่หลอดเลเซอร์ซึ่งเป็นการเพิ่มความเข้มของเลเซอร์ต้นกำเนิดจึงทำให้ $\Delta T_{\max}$ มีค่ามากขึ้นด้วย การเพิ่มของอุณหภูมิของวัสดุฐานรองจากเลเซอร์ในการทดลองจึงเป็น 25, 45 และ 55 °C สำหรับกระแสของเลเซอร์ 6, 7 และ 8 mA ตามลำดับ



รูปที่ 3. 12 แสดงตำแหน่งในการตรวจสอบด้วยสเปกตรัมของรามานและ SEM ของตัวอย่าง DIL30-DIL32

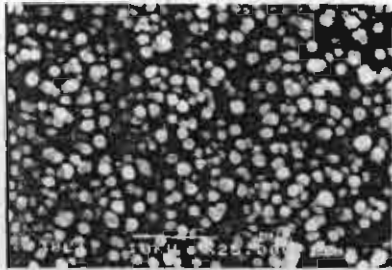
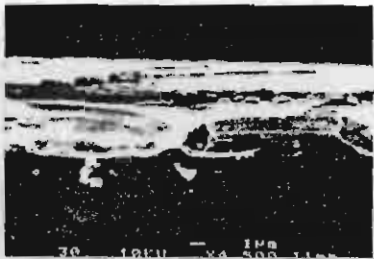
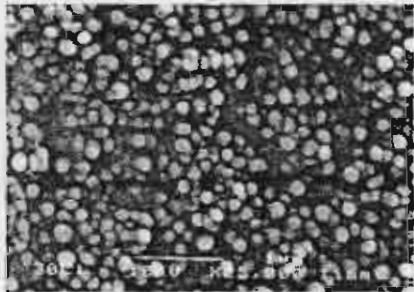
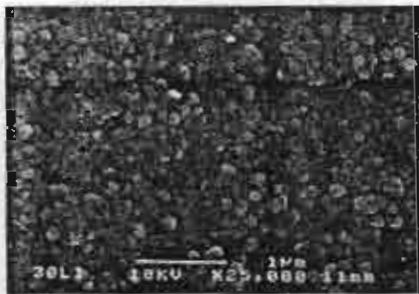
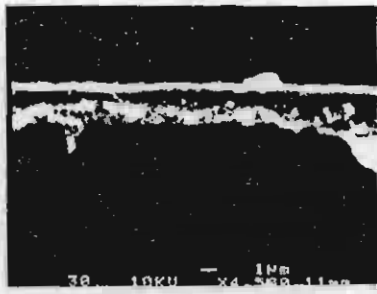


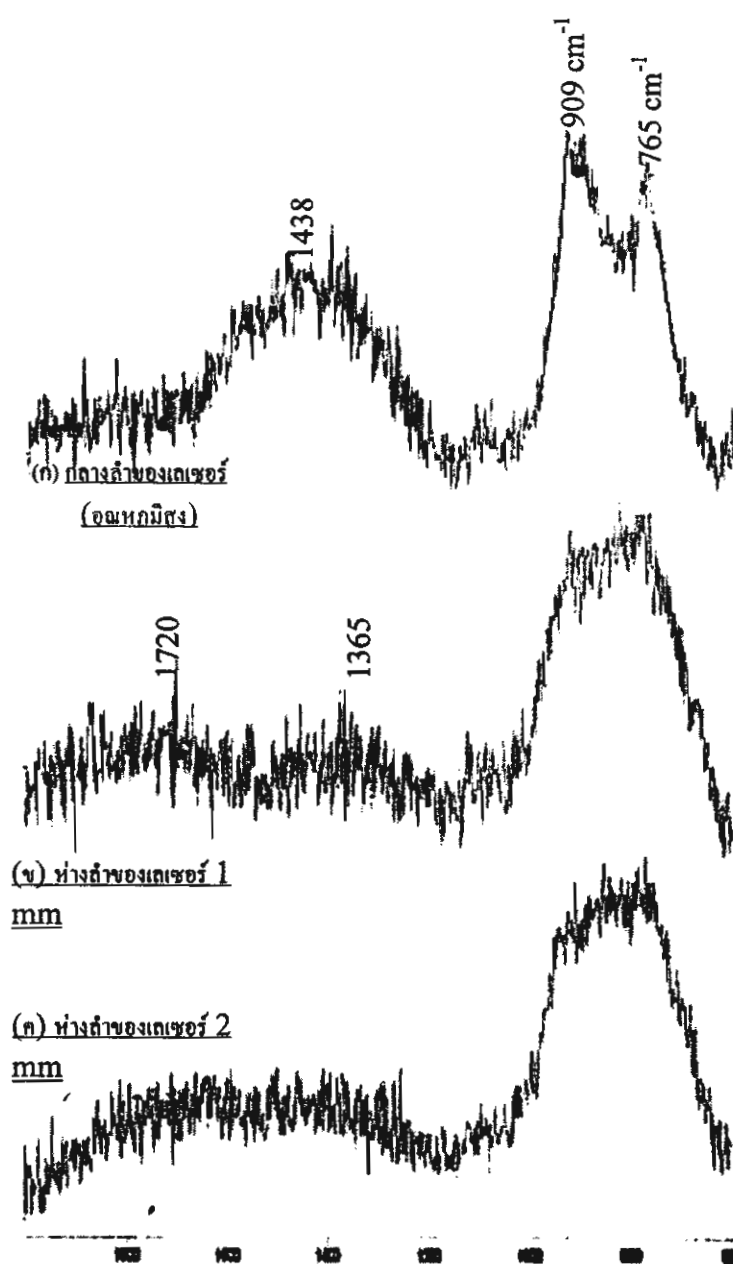
รูปที่ 3. 13 แสดงตำแหน่งในการตัดตัวอย่างเพื่อดูภาพตัดขวางของตัวอย่าง DIL30-DIL32



รูปที่ 3. 14 แสดงสเปกตรัมของรามานของฟิล์มบนวัสดุฐานรองซิลิกอนของตัวอย่าง DIL30

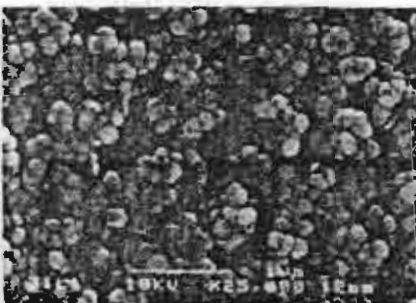
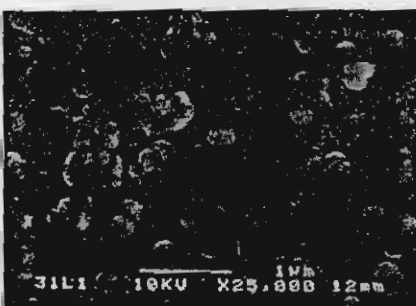
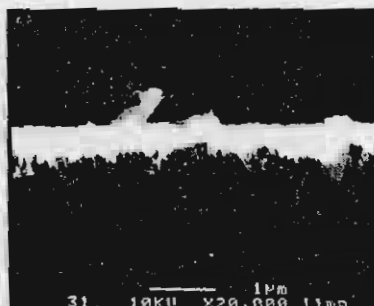
ตารางที่ 3. 12 แสดงภาพ SEM ผิวฟิล์ม ความหนาของฟิล์มและองค์ประกอบของฟิล์มบนวัสดุฐานรองซิลิกอนของตัวอย่าง DIL30 ที่ใช้กระแสของเลเซอร์ 6 mA ในการปลูกผลึก

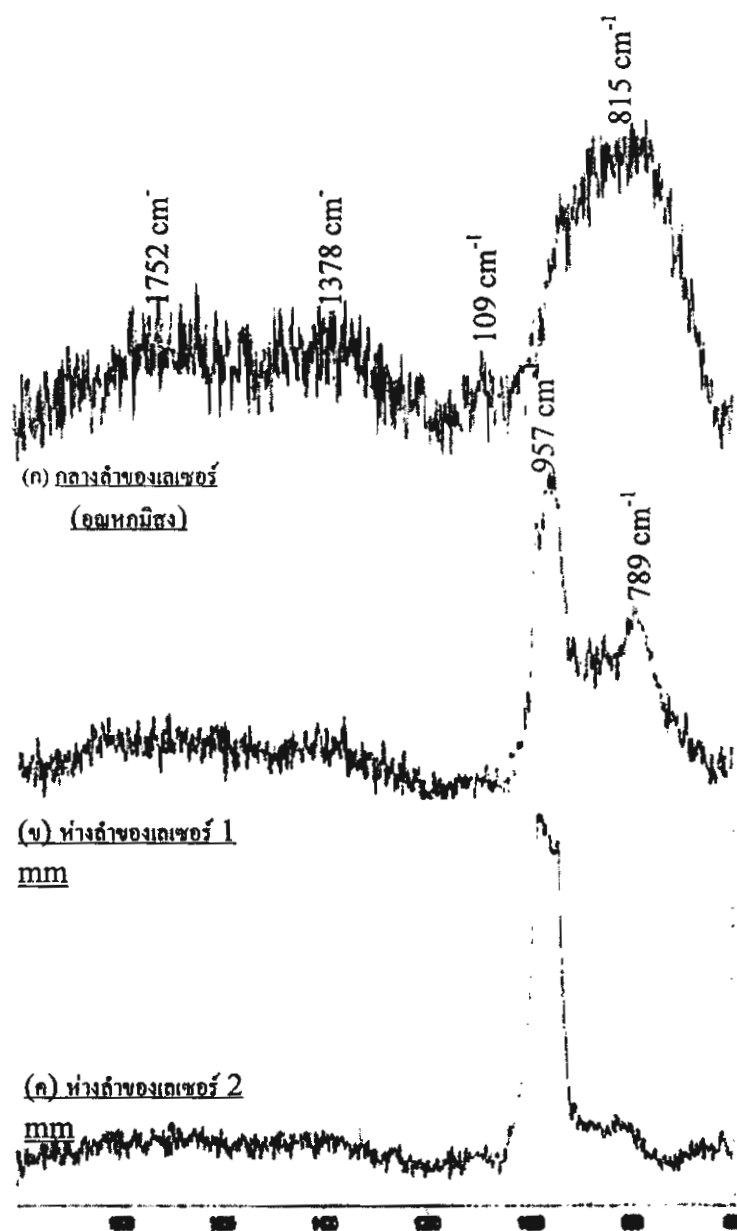
ตัวอย่าง	ภาพผิวฟิล์ม	ภาพตัดขวาง
DIL30 : อะซิโตน, เมทานอล : 5 hr	 (ก) อุณหภูมิสูง	 (ก) อุณหภูมิสูง
	 (ข) อุณหภูมิปานกลาง	 (ข) อุณหภูมิปานกลาง
	 (ค) อุณหภูมิต่ำ	 (ค) อุณหภูมิต่ำ
องค์ประกอบของฟิล์ม	- คาร์บอนที่จับกันแบบ sp^2 ที่เป็นผลึกที่บกพร่อง - คาร์บอนที่จับกันแบบ sp^3 ที่เป็นผลึกอสัณฐาน (คล้ายเพชร) - SiC - ผลึกทรงกลมขนาด $0.12 \mu m$ มีการกระจายตัวกันที่อุณหภูมิสูงและรวมกลุ่มกันที่อุณหภูมิต่ำ - อัตราการเกิดของฟิล์ม 1.56, 1.33 และ $0.40 \mu m/hr$	



รูปที่ 3. 15 แสดงสเปกตรัมของรามานของฟิล์มบนวัสดุฐานรองซิลิกอนของตัวอย่าง DIL31

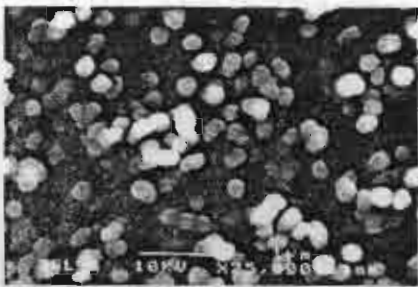
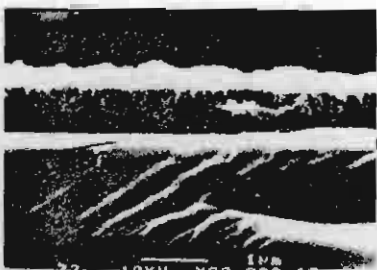
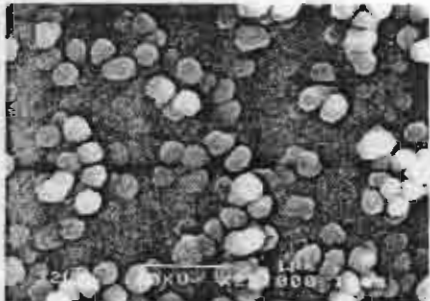
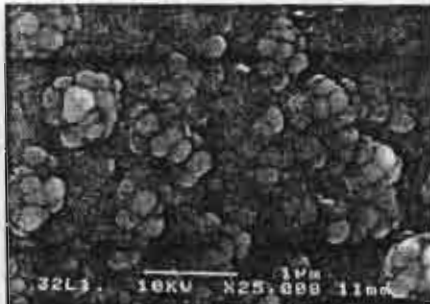
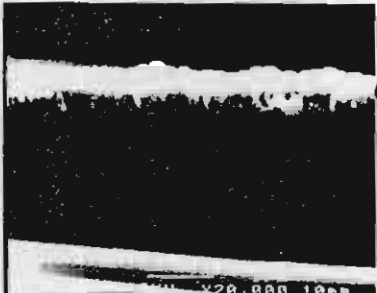
ตารางที่ 3. 13 แสดงภาพ SEM ผิวฟิล์ม ความหนาของฟิล์มและองค์ประกอบของฟิล์มบนวัสดุฐานรองซิลิกอนของตัวอย่าง DIL31 ที่ใช้กระแสของเลเซอร์ 7 mA ในการปลูกผลึก

ตัวอย่าง	ภาพผิวฟิล์ม	ภาพตัดขวาง
DIL31 : อะซิโตน, เมทานอล : 5 hr	 (ก) อุณหภูมิสูง	 (ก) อุณหภูมิสูง
	 (ข) อุณหภูมิปานกลาง	 (ข) อุณหภูมิปานกลาง
	 (ค) อุณหภูมิต่ำ	 (ค) อุณหภูมิต่ำ
องค์ประกอบ ของ ฟิล์ม	- คาร์บอนที่จับกันแบบ sp^2 ที่เป็นผลึกที่บกพร่อง - คาร์บอนที่จับกันแบบ sp^3 ที่เป็นผลึกอสัณฐาน (คล้ายเพชร) - SiC - ผลึกทรงกลมขนาด $0.20 \mu m$ มีการกระจายตัวกันที่อุณหภูมิสูงและรวมกลุ่มกันที่อุณหภูมิต่ำ - อัตราการเกิดของฟิล์ม 0.40, 0.10 และ $0.06 \mu m/hr$	



รูปที่ 3. 16 แสดงสเปกตรัมของรามานของฟิล์มบนวัสดุฐานรองซิลิกอนของตัวอย่าง DIL32

ตารางที่ 3. 14 แสดงภาพ SEM ผิวฟิล์ม ความหนาของฟิล์มและองค์ประกอบของฟิล์มบนวัสดุฐานรองซิลิกอนของตัวอย่าง DIL32 ที่ใช้กระแสของเลเซอร์ 8 mA ในการปลูกผลึก

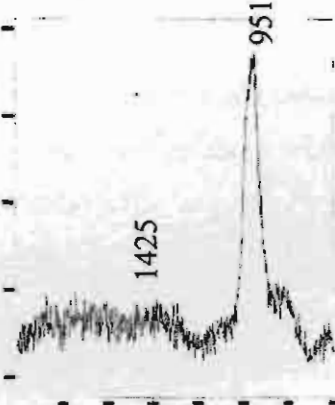
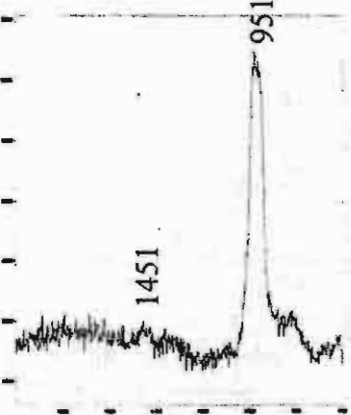
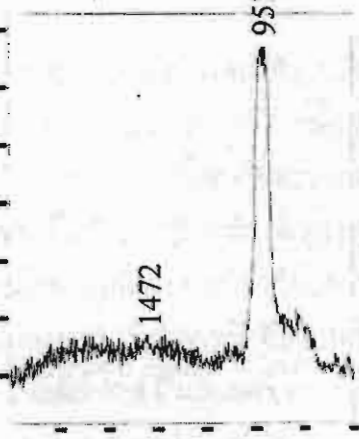
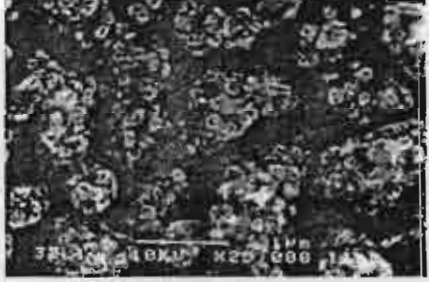
ตัวอย่าง	ภาพผิวฟิล์ม	ภาพตัดขวาง
DIL32 : อะซิโตน, เมทานอล : 5 hr	 (ก) อุณหภูมิสูง	 (ก) อุณหภูมิสูง 0.80 μm
	 (ข) อุณหภูมิปานกลาง	 (ข) อุณหภูมิปานกลาง 0.56 μm
	 (ค) อุณหภูมิต่ำ	 (ค) อุณหภูมิต่ำ 0.31 μm
องค์ประกอบ ของ ฟิล์ม	- คาร์บอนที่จับกันแบบ sp^2 ที่เป็นผลึกที่บกพร่อง - คาร์บอนที่จับกันแบบ sp^3 ที่เป็นผลึกอสัณฐาน (คล้ายเพชร) - SiC - ผลึกทรงกลมขนาด 0.25 μm มีการกระจายตัวกันที่อุณหภูมิสูงและรวมกลุ่มกันที่อุณหภูมิต่ำ - อัตราการเกิดของฟิล์ม 0.16, 0.15 และ 0.06 $\mu\text{m/hr}$	

การที่ได้รับความร้อนสูงจากเลเซอร์นี้เองจึงทำให้ซิลิกอนระเหยออกมาจับกับคาร์บอนเป็นกลุ่มๆดังจะเห็นเป็นรูปทรงคล้ายลูกบอล ซึ่งจากภาพผิวฟิล์มที่เห็นผลึกเป็นรูปทรงคล้ายลูกบอล อาจเกิดจากผลึกรูปเหลี่ยมขนาดเล็กจับตัวกันเป็นทรงกลมที่ผิวค่อนข้างเรียบซึ่งเป็นส่วนบนของ columnar ของซิลิกอนที่เกิดการเปลี่ยนแปลงเนื่องจากความร้อนจากเลเซอร์ซึ่งเห็นได้จาก ภาพตัดขวางของตัวอย่าง

จากภาพตัดขวางนี้จะเห็นซิลิกอนมีการเปลี่ยนแปลงสองแบบคือส่วนที่เป็น columnar (ส่วนที่เป็นสีขาว) และส่วนที่มีโครงสร้างเปลี่ยนไปเพียงเล็กน้อย (ส่วนที่เป็นสีเทา) ซึ่งเกิดเนื่องจากการ ได้รับความร้อนที่ไม่เท่ากันของผิวและเนื้อของซิลิกอนโดยที่ผิวจะมีการสะสมความร้อนมากกว่าแล้ว จึงแพร่เข้าไปในเนื้อของซิลิกอนดังจะเห็นว่าเมื่อใช้กระแสของเลเซอร์ต่างกันความสูงของ columnar ก็ต่างกันด้วย ซึ่งที่กระแส 6 mA แทบจะไม่เห็น columnar แต่กลับจะเห็นชัดเจนเมื่อใช้กระแส 8 mA

สำหรับบริเวณที่ได้รับความร้อนจากไส้ทั้งสแตนร้อนเพียงอย่างเดียวนั้นจะเห็นการ เปลี่ยนแปลงที่ผิวตามอุณหภูมิที่ได้รับ โดยที่อุณหภูมิของวัสดุฐานรองที่สูงกว่า (500 C) จะเห็นการ เปลี่ยนแปลงของซิลิกอนที่มีรูปร่างไม่แน่นอนและที่อุณหภูมิต่ำ (450 C) มีการจับกลุ่มกัน ฟิล์มที่เกิดในส่วนนี้เป็นฟิล์มบางคล้ายเพชรโดยแสดงสเปกตรัมของรามานที่ $1200-1500\text{ cm}^{-1}$ [32-43] ดัง แสดงในตารางที่ 3.15

ตารางที่ 3. 15 แสดงสเปกตรัมของรามานและ SEM ของฟิล์มที่เกิดจากความร้อนของไส้ทั้งสแตนร้อนเพียงอย่างเดียวของตัวอย่าง DIL30-DIL32

ตัวอย่าง	สเปกตรัมของรามาน	ภาพผิวฟิล์ม
DIL30		
DIL31		
DIL32		

3.3 การศึกษาผลของความร้อนจากเลเซอร์แก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ต่อการเกิดผลึกเมื่อมีการเตรียมผิววัสดุฐานรองซิลิกอนที่แตกต่างกัน

ได้มีการเตรียมฟิล์มด้วยเงื่อนไขต่าง ๆ ดังปรากฏในตารางที่ 3.16 ซึ่งศึกษาผลของอุณหภูมิของไส้ทั้งสแตนร้อน ในขณะที่มีการยิงด้วยเลเซอร์แก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ และศึกษาผลของการเตรียมผิวก่อนการตกสะสม

ตารางที่ 3. 16 แสดงเงื่อนไขของการเตรียมฟิล์มเพื่อศึกษาผลของความร้อนจากเลเซอร์แก๊สคาร์บอนไดออกไซด์และจากไส้ทั้งสแตนร้อน ต่อการเกิดผลึกเมื่อเตรียมผิวก่อนการตกสะสมต่างกัน

ตัวอย่าง	อุณหภูมิของ ลวดทั้งสแตน (°C)	H ₂ (sccm)	CH ₄ (sccm)	ความดัน (mbar)	กระแส CO ₂ Laser (mA)	เงื่อนไขของการ เตรียมผิว	อุณหภูมิ แผ่นวัสดุ ฐานรอง (°C)	เวลาใน การ ปลูกผลึก
DIL33	2106	218	0.49	34	6	ขัดด้วยผงเพชร	550	5
DIL34	1950	226	0.57	41	6	ขัดด้วยผงเพชร	500	5
DIL35	1947	229	0.37	25	6	ขัดด้วยผงเพชร+กัด กรด 10 นาที	500	5
DIL36	1909	229	0.58	33	6	ไม่ขัดด้วยผงเพชร+ไม่ กัดด้วยกรด	450	5
DIL37	1912	195	0.48	21	8	ไม่ขัดด้วยผงเพชร+ไม่ กัดด้วยกรด	450	5

เมื่อตรวจสอบด้วยการเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์สามารถสรุปได้ในตารางที่ 3.17 ซึ่งได้มีการเปรียบเทียบกับค่ามาตรฐาน ASTM นอกจากนั้นยังได้ตรวจสอบความเค้นระหว่างฟิล์มกับแผ่นวัสดุฐานรองซิลิกอนทั้งในการวางแบบตั้งฉากและขนานกับรังสีเอกซ์ ผลของค่าความเค้นแสดงในตารางที่ 3.18 พบว่าในกรณีที่ไม่มีเตรียมผิวก่อนการตกสะสมโดยการขัดด้วยผงเพชรและไม่กัดด้วยกรดนั้น ค่าความเค้นในแนวตั้งฉากจะมีค่าน้อยกว่าในแนวขนานกับการเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ ส่วนในกรณีที่มีการขัดด้วยผงเพชรหรือมีการกัดด้วยกรดนั้นพบว่าค่าความเค้นในแนวขนานจะมีค่าน้อยกว่าในแนวตั้งฉาก เมื่อมีการขัดด้วยผงเพชรกรณีที่อุณหภูมิของไส้ทั้งสแตนร้อนประมาณ 2100 °C ค่าความเค้นที่วัดได้จะมีค่าน้อยกว่ากรณีที่อุณหภูมิของไส้ทั้งสแตนร้อนต่ำกว่า 2000 °C ทั้งในแนวตั้งฉากและในแนวขนาน เมื่อไม่มีการขัดด้วยผงเพชรและไม่มีการกัดด้วยกรดเมื่อใช้กระแสของเลเซอร์แก๊สคาร์บอนไดออกไซด์สูงขึ้น (8 mA) จะมีค่าความเค้นต่ำกว่ากรณีที่ใช้กระแส (6 mA)

ตารางที่ 3. 17 แสดงผลของการตรวจสอบฟิล์มด้วยการเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์

Name	Material	(hkl)	Observed Normal d-value	Observed Parallel d-value	ASTM d-value	Observed-ASTM	
						Normal	Parallel
DIL33	SiC	(101)	-	2.339		-	-0.021
	Diamond	(111)	2.038	2.038	2.060	-0.022	-0.022
	Graphite	(101)	2.038	2.038	2.027	+0.011	+0.011
	SiC	(104)	1.838	-	1.830	+0.008	-
DIL34	SiO ₂	(102)	2.849	2.848	2.882	-0.035	-0.034
	Beta-SiC	(111)	2.517	2.504	2.510	+0.007	-0.006
	SiC	(101)	-	2.349	2.360	-	-0.011
	Diamond	(111)	-	2.065	2.060	-	+0.005
	Graphite	(101)	2.029	2.031	2.027	+0.002	+0.004
	SiO ₂	(112)	1.884	1.880	1.817	+0.067	+0.063
DIL35	SiO ₂	(102)	2.855	2.844	2.882	-0.027	-0.038
	Beta-SiC	(111)	2.512	2.492	2.510	+0.002	-0.008
	SiC	(101)	-	2.350	2.360	-	-0.010
	Diamond	(111)	2.040	2.034	2.060	-0.020	-0.026
	Graphite	(101)	2.040	2.034	2.027	+0.013	+0.007
	SiO ₂	(112)	1.891	-	1.817	+0.074	-
DIL36	Diamond	(111)	2.033	2.034	2.060	-0.027	-0.022
	Graphite	(101)	2.033	2.034	2.027	+0.006	+0.007
DIL37	Diamond	(111)	2.032	2.038	2.060	-0.028	-0.022
	Graphite	(101)	2.032	2.038	2.027	+0.005	+0.009

ตารางที่ 3. 18 แสดงค่าความเค้นระหว่างฟิล์มกับแผ่นวัสดุฐานรองซิลิกอนทั้งในแนวนอนและตั้งฉากกับแนวรังสีเอกซ์

ตัวอย่าง	แนวตัวอย่าง	ความเค้น (GPa)
dil33	parallel	-3300
	normal	-3471
dil34	parallel	-3392
	normal	-3653
dil35	parallel	-3340
	normal	-3444
dil36	parallel	-3444
	normal	-3405
dil37	parallel	-3418
	normal	-3366

จากนั้นทำการตรวจสอบฟิล์มที่เตรียมได้ด้วยสเปกตรัมของรามาน โดยวัดที่ตำแหน่งต่างๆ ทั้งในบริเวณที่ใกล้ไส้ทั้งสแตนด์และบริเวณที่โดนลำ CO₂ Laser ดังรายละเอียดต่อไปนี้

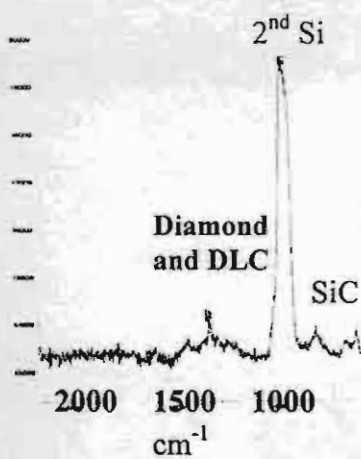
ตัวอย่าง DIL33

ในขณะที่ตกสะสมฟิล์มใช้อุณหภูมิของไส้หลอดร้อนประมาณ 2100 °C มีการขัดผิวด้วยผงเพชร และยิงด้วย CO₂ Laser กระแส 6 mA พบว่าในบริเวณที่มีผลจาก CO₂ Laser ในจุดที่ 4, 5 และ 6 นั้นพบฟิคของเพชรที่คมชัดมาก แต่ยังคงพบกราฟไฟท์อยู่เพียงเล็กน้อยเมื่อเทียบกับบริเวณใกล้ไส้ทั้งสแตนด์ ในบริเวณที่อยู่ใกล้ไส้ทั้งสแตนด์นั้นที่ตำแหน่งที่ 1 ซึ่งอยู่ใกล้ที่สุด ฟิคที่มาจากเพชรจะต่ำมากเมื่อเทียบกับจุดที่ 4 และ 5 ซึ่งอยู่ถัดออกมาและมีอุณหภูมิต่ำกว่านอกจากนั้นยังพบฟิคลักษณะเป็นฟิคฐานกว้างซึ่งมาจากความเป็นคาร์บอนคล้ายเพชร ส่วนจุดที่ 4 และ 5 นั้นก็ยังคงพบฟิคของเพชรอยู่ แต่ว่าฟิคที่มาจากกราฟไฟท์ก็เด่นชัดเช่นกัน และที่ทุกๆ ตำแหน่งที่ทำการตรวจสอบด้วยสเปกตรัมของรามาน จะพบฟิคของ SiC ซึ่งพบที่ตำแหน่ง ประมาณ 820 cm⁻¹ ตำแหน่งของการวัดสเปกตรัมของรามานและสเปกตรัมของรามานที่ได้ของตัวอย่าง DIL33 แสดงในรูปที่ 3.17

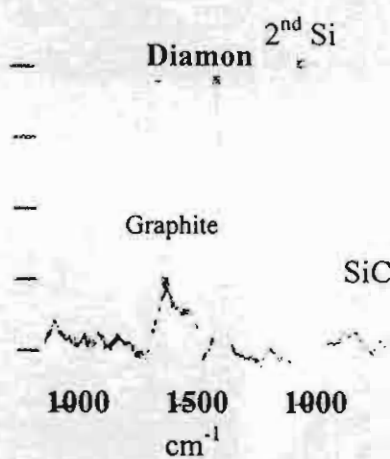
บริเวณใกล้
heater



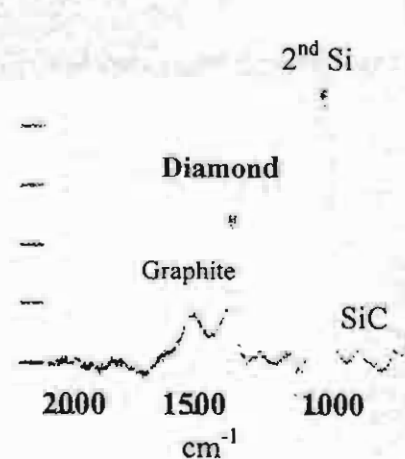
บริเวณลำ
laser



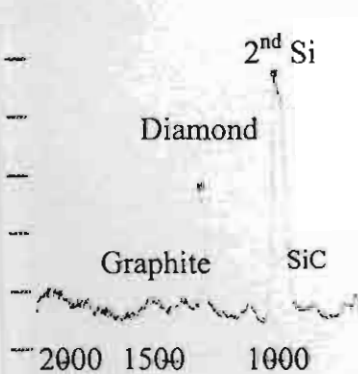
จุดที่ 1



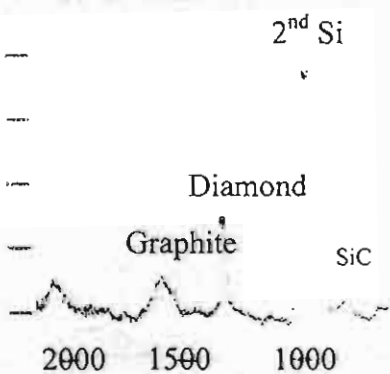
จุดที่ 2



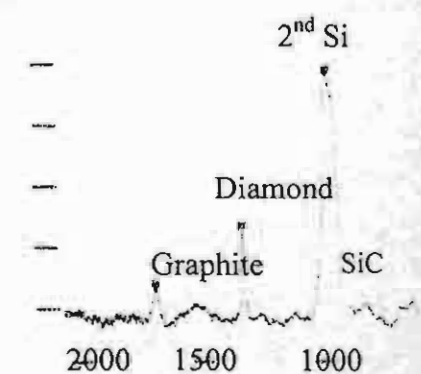
จุดที่ 3



จุดที่ 4



จุดที่ 5



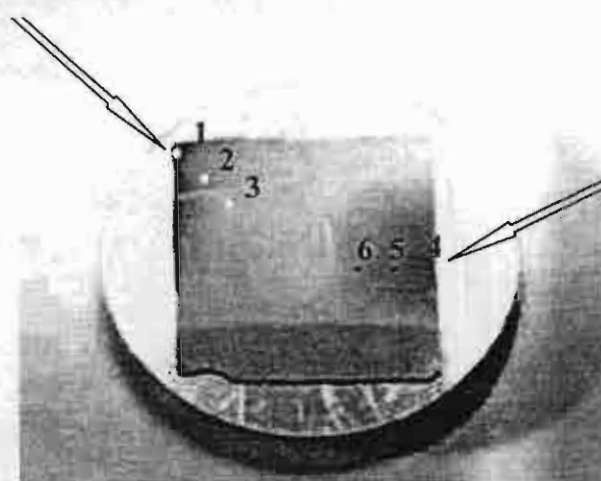
จุดที่ 6

รูปที่ 3. 17 แสดงตำแหน่งของการวัดสเปกตรัมของรามานและสเปกตรัมของรามาน ของตัวอย่าง DIL33 กรณีที่อุณหภูมิของไส้ทั้งสแตนร้อนประมาณ 2100 °C และขัดผิวด้วยผงเพชร โดยที่กระแสของเลเซอร์แก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ 6 mA

ตัวอย่าง DIL34

เตรียมด้วยเงื่อนไขอุณหภูมิของไส้ทั้งสแตนร้อนต่ำกว่า 2000°C พร้อมทั้งมีการขัดผิวด้วยผงเพชร และยิงด้วย CO_2 Laser กระแส 6 mA เมื่อตรวจสอบด้วยสเปกตรัมของรามาน ที่ตำแหน่งต่างๆทั้งบริเวณที่ใกล้กับไส้ทั้งสแตนร้อนและบริเวณที่ใกล้กับลำเลเซอร์แก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ดังแสดงในภาพที่ 3.18 พบว่าทั้งสองบริเวณนั้นให้สเปกตรัมของรามานที่มีลักษณะเป็น D-peak และ G-peak แยกจากกันอย่างชัดเจน ซึ่งทั้งสองพิกัดนี้มาจาก disorder ของ เพชรและของกราไฟท์ตามลำดับ และที่ทุกตำแหน่งที่ทำการวัดจะยังคงพบพิกัดของ SiC เช่นเดียวกับ DIL33 ที่ใช้อุณหภูมิของไส้ทั้งสแตนสูงกว่า และสเปกตรัมของรามานที่ตำแหน่งต่างๆ แสดงดังรูปที่ 3.19

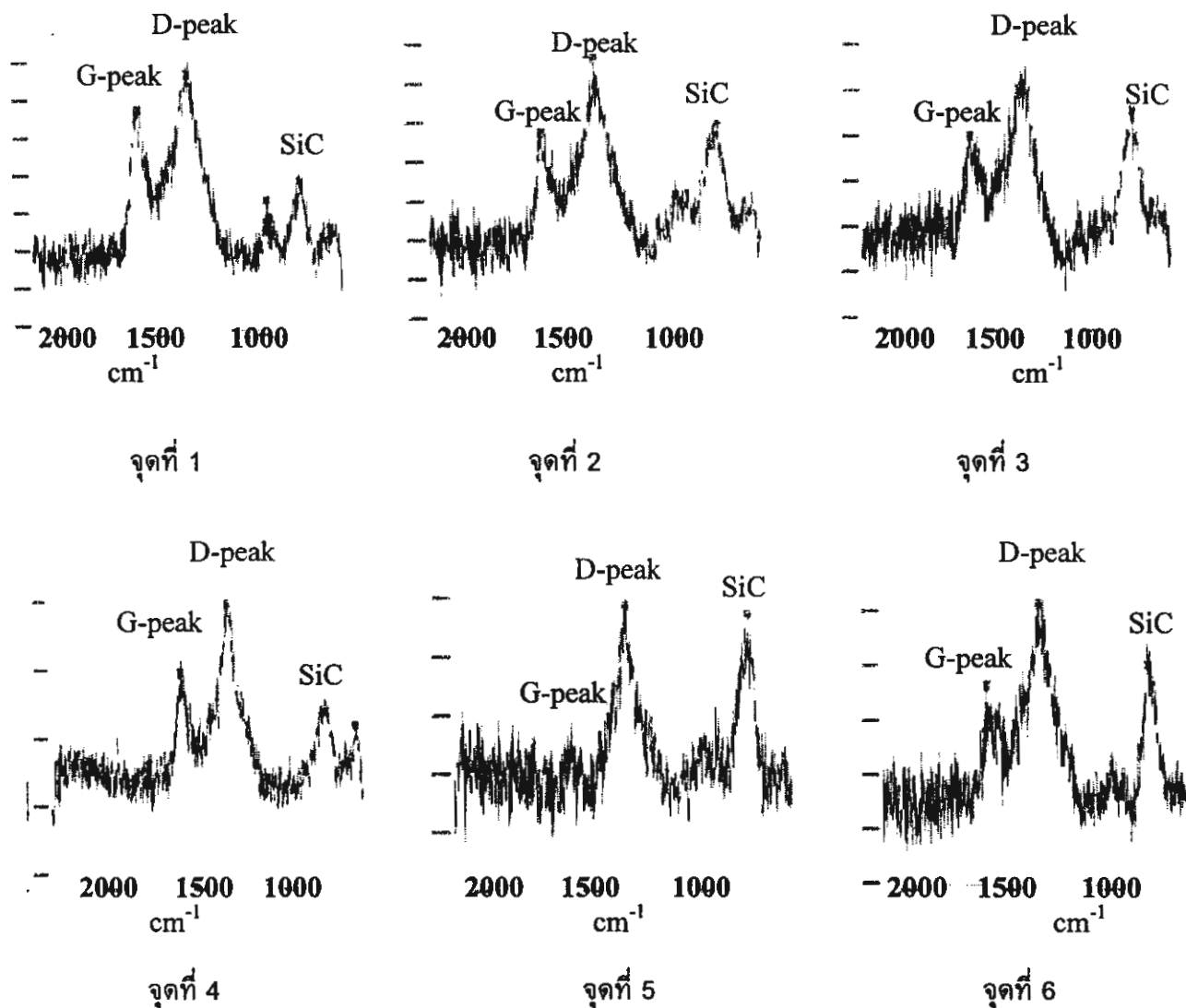
ใกล้ heater



บริเวณลำ

Laser

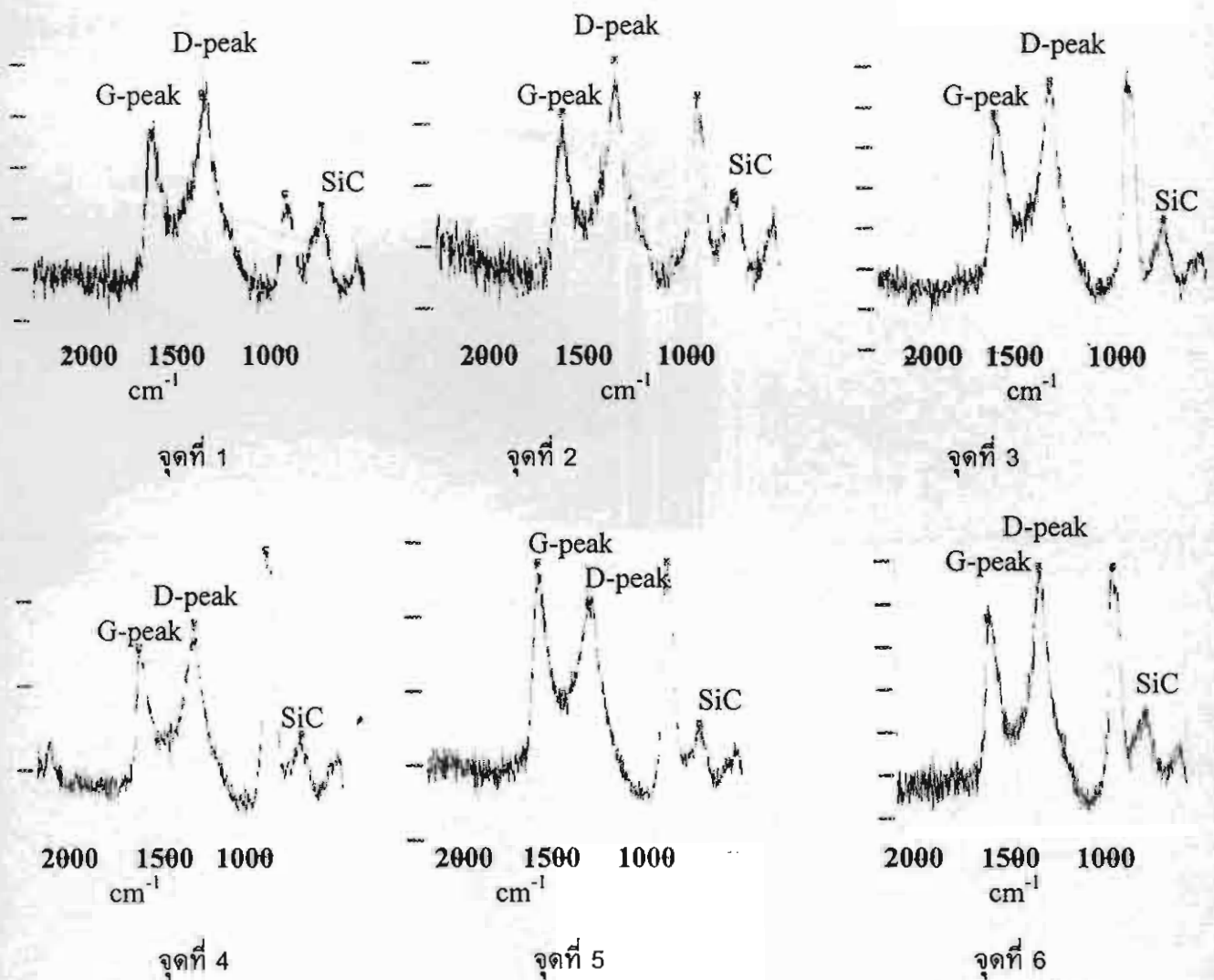
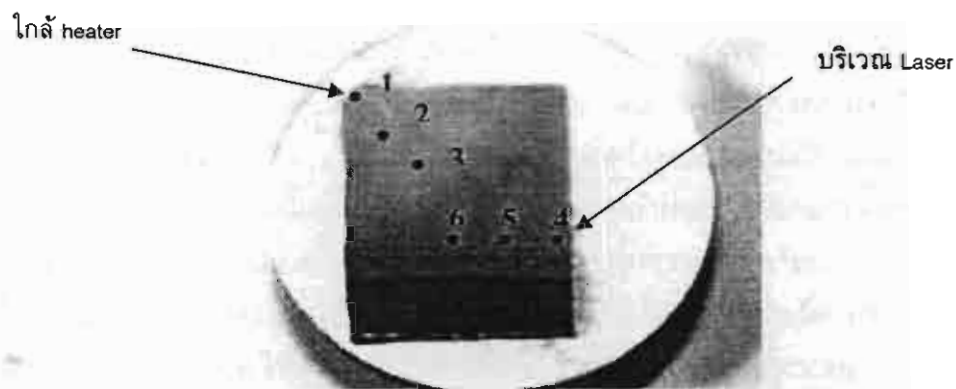
รูปที่ 3. 18 แสดงตำแหน่งของการวัดสเปกตรัมของรามาน



รูปที่ 3. 19 แสดงสเปกตรัมของรามาน ของตัวอย่าง DIL34 กรณีที่อุณหภูมิของไส้ทั้งสแตนร้อนต่ำกว่า 2000°C และขัดผิวด้วยผงเพชร โดยที่กระแสของเลเซอร์แก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ 6 mA

ตัวอย่าง DIL35

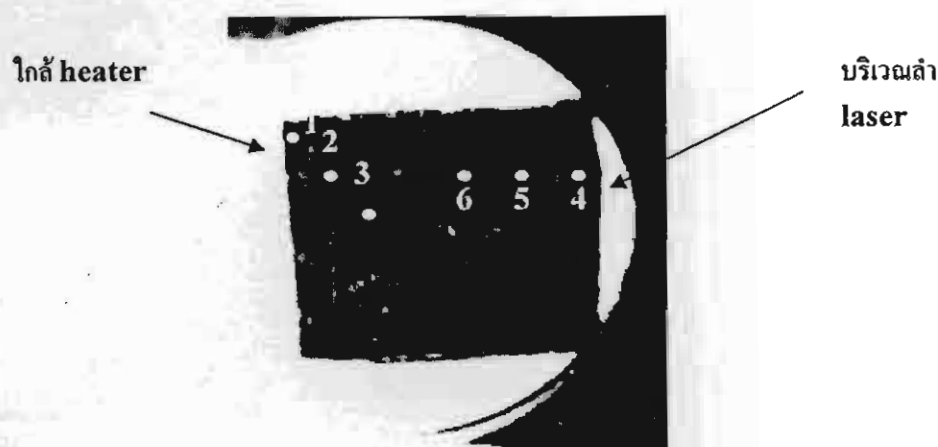
เตรียมด้วยเงื่อนไขอุณหภูมิของไส้ทั้งสแตนร้อนต่ำกว่า 2000°C พร้อมทั้งมีการขัดผิวด้วยผงเพชร มีการกัดด้วยกรด 10 นาทีและยิงด้วย CO_2 Laser กระแส 6 mA ทั้งบริเวณที่อยู่ใกล้ไส้ทั้งสแตนร้อนและไกลบริเวณ CO_2 Laser จะพบสเปกตรัมของรามานที่มีทั้ง D-peak และ G-peak แยกกันอย่างชัดเจนและพบ SiC ที่ทุกตำแหน่งของการวัด ดังแสดงตำแหน่งของการวัดและสเปกตรัมของรามานที่ได้ในแต่ละตำแหน่งดังรูปที่ 3.20 ระบุว่าถ้าอุณหภูมิของไส้ทั้งสแตนร้อนต่ำกว่า 2000°C ถึงแม้จะมีการกัดด้วยกรดและยิงเลเซอร์แก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ร่วมด้วยก็ไม่ทำให้เกิดเพชรได้



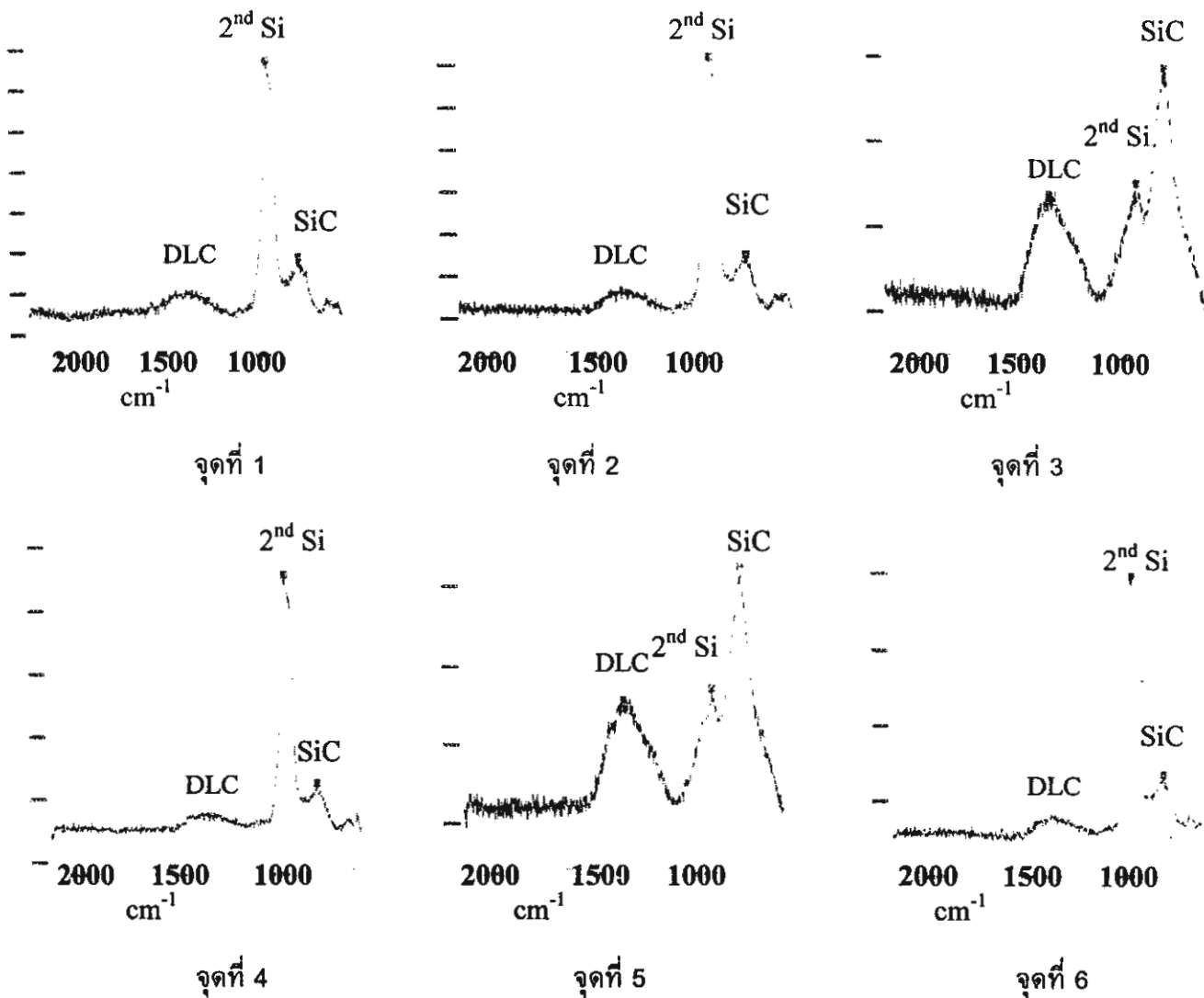
รูปที่ 3. 20 แสดงตำแหน่งของการวัดสเปกตรัมของรามานและสเปกตรัมของรามาน ของตัวอย่าง DIL35 กรณีที่อุณหภูมิของไส้ทั้งสแตนร้อนต่ำกว่า 2000°C และมีการกัดด้วยกรด โดยที่ กระแสของเลเซอร์แก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ 6 mA

ตัวอย่าง DIL36

เตรียมด้วยเงื่อนไขอุณหภูมิของไส้ทั้งสแตนร้อนต่ำกว่า 2000°C พร้อมทั้งไม่มีการขัดผิวด้วยผงเพชร ไม่มีการกัดด้วยกรด และยิงด้วย CO_2 Laser กระแส 6 mA ทั้งบริเวณที่อยู่ใกล้ไส้ทั้งสแตนร้อนและใกล้บริเวณ CO_2 Laser จะพบสเปกตรัมของรามานมีลักษณะเป็นพีคฐานกว้างจาก $1300\text{--}1500\text{ cm}^{-1}$ ซึ่งพีคนี้แสดงถึงความเป็นคาร์บอนคล้ายเพชร นอกจากนั้นที่ทุกตำแหน่งก็ยังคงพบพีคของ SiC ที่ 820 cm^{-1} ภาพถ่ายบริเวณที่ทำการตรวจสอบสเปกตรัมของรามานและสเปกตรัมที่ได้ในแต่ละตำแหน่งแสดงในรูปที่ 3.21 และ รูปที่ 3.22 เราสังเกตพบว่าเมื่อไม่มีการขัดผิวด้วยผงเพชร และไม่กัดด้วยกรดแต่ ใช้ เลเซอร์แก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ในการปลูกผลึก โดยที่อุณหภูมิของไส้ทั้งสแตนร้อนต่ำกว่า 2000°C จะทำให้ฟิล์มที่ได้มีคุณสมบัติเป็นฟิล์มคาร์บอนคล้ายเพชร และมี SiC ร่วมด้วย



รูปที่ 3. 21 แสดงตำแหน่งของการวัดสเปกตรัมของรามานและ

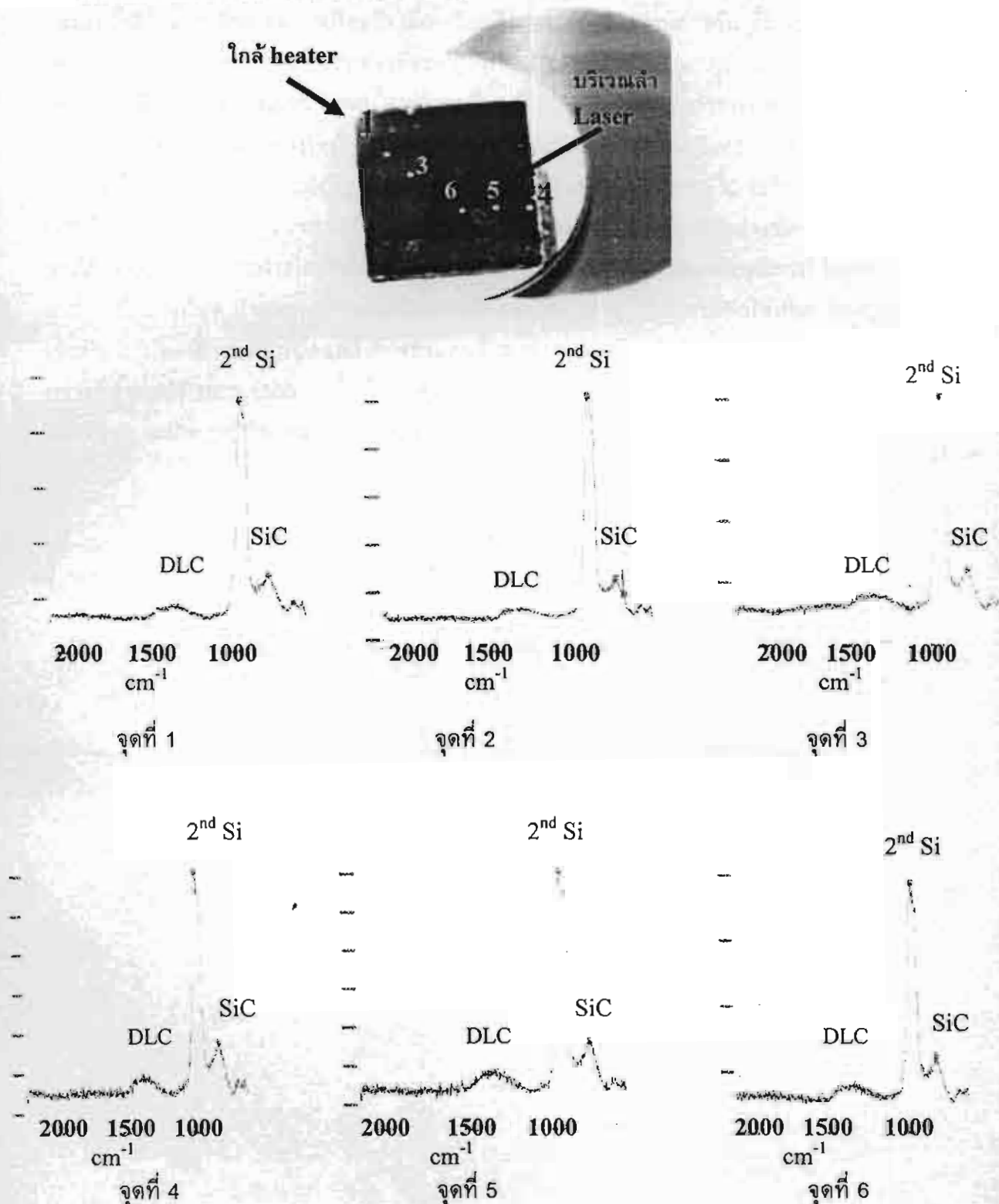


รูปที่ 3. 22 แสดงสเปกตรัมของรามาน ของตัวอย่าง DIL36 กรณีที่อุณหภูมิของไส้ทั้งสแตนร้อนต่ำกว่า 2000°C และไม่มีการกัดด้วยกรดและไม่ขัดผิวด้วยผงเพชรและใช้กระแสของ CO_2 Laser 6 mA

ตัวอย่าง DIL37

เตรียมด้วยเงื่อนไขอุณหภูมิของไส้ทั้งสแตนร้อนต่ำกว่า 2000°C พร้อมทั้งไม่มีการขัดผิวด้วยผงเพชร ไม่มีการกัดด้วยกรด และยิงด้วย CO_2 Laser กระแส 8 mA เมื่อตรวจสอบด้วยสเปกตรัมของรามานที่ตำแหน่งต่างๆในบริเวณที่ใกล้กับไส้ทั้งสแตนร้อนและบริเวณที่ยิงด้วยเลเซอร์แก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ สเปกตรัมที่ได้ในแต่ละบริเวณแสดงในรูปที่ 3.23 จากสเปกตรัมของรามานที่ได้ทั้งสองบริเวณที่ทำการวัดนั้นจะมีลักษณะที่คล้ายกัน คือพบว่าทุกบริเวณที่ทำการวัดสเปกตรัม จะพบพีคที่มีลักษณะฐานกว้างที่ตำแหน่ง $1300 - 1500\text{ cm}^{-1}$ ซึ่งแสดงถึงความเป็นคาร์บอนคล้ายเพชร และ

พบ SiC ที่ 820 cm^{-1} นั้นแสดงว่าที่อุณหภูมิของไส้ทั้งสแตนร้อนต่ำกว่า 2000°C และมีการยิงด้วยเลเซอร์แก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ จะทำให้ได้ฟิล์มที่เป็น คาร์บอนคล้ายเพชรและได้ SiC รวมด้วย



รูปที่ 3. 23 แสดงตำแหน่งของการวัดสเปกตรัมของรามานและสเปกตรัมของรามาน ของตัวอย่าง DIL37 กรณีที่อุณหภูมิของไส้ทั้งสแตนร้อนต่ำกว่า 2000°C และไม่มีการกักด้วยกรด และไม่ขัดผิวด้วยผงเพชรและใช้กระแสของ CO_2 Laser 8 mA

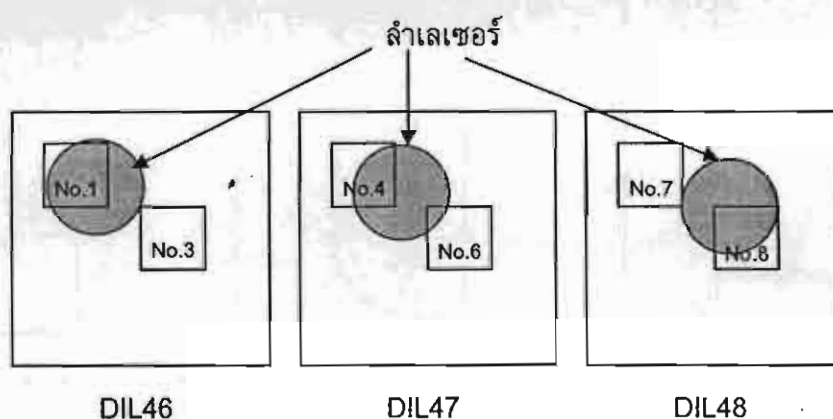
จากเงื่อนไขที่ได้ทำการทดลองศึกษาผลของความร้อนจากเลเซอร์แก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ และจากไส้ทั้งสแตนร้อน ต่อการเกิดผลึกเมื่อเตรียมผิวก่อนการตกสะสมต่างกัน ตั้งแต่ตัวอย่าง DIL33 – DIL37 สามารถสรุปได้ว่า การที่จะทำให้เกิดผลึกเพชรได้นั้นอุณหภูมิของไส้ทั้งสแตนร้อน จะต้องสูงเพียงพอคือประมาณ 2100°C และจะต้องเตรียมผิวด้วยการขัดด้วยผงเพชรร่วมด้วย แม้ว่าเราจะเตรียมผิวตัวอย่างโดยการขัดด้วยผงเพชรและกัดด้วยกรดและยิงด้วยเลเซอร์แก๊ส คาร์บอนไดออกไซด์ร่วมกัน แต่ถ้าอุณหภูมิของไส้ทั้งสแตนร้อนต่ำกว่า 2000°C จะไม่ทำให้เกิดผลึก เพชรได้ ลักษณะสเปกตรัมรามานที่ได้จะมีทั้ง G-peak และ D-peak แยกกันอย่างชัดเจน แต่ใน กรณีที่เราเตรียมผิวตัวอย่างโดยไม่มีการขัดด้วยผงเพชร ไม่มีการกัดด้วยกรดแต่มีการใช้เลเซอร์แก๊ส คาร์บอนไดออกไซด์ ถ้าอุณหภูมิของไส้ทั้งสแตนร้อนต่ำกว่า 2000°C ก็จะไม่ทำให้เกิดผลึกเพชร เช่นกัน แต่เกิดผลึกของคาร์บอนคล้ายเพชรแทนซึ่งแสดงสเปกตรัมของรามานเป็นลักษณะพีคฐาน กว้างที่ตำแหน่ง $1300\text{-}1500\text{ cm}^{-1}$ ในทุกๆตัวอย่างตั้งแต่ DIL33-DIL37 สิ่งที่พบเหมือนกันอย่าง หนึ่งคือว่า จะเกิด SiC ในทุกเงื่อนไขซึ่งแสดงสเปกตรัมของรามานที่ตำแหน่งประมาณ 820 cm^{-1}

3.4 การศึกษาผลของความร้อนจากเลเซอร์แก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ต่อการเกิดผลึกบนวัสดุฐานรองเพชรเมื่อใช้กระแสของเลเซอร์ในการปลูกผลึกต่างกัน

การเตรียมผลึกบนวัสดุฐานรองเพชรทำบน single crystal diamond ขนาด 2 mm x 2 mm ซึ่งทำความสะอาดด้วยอะซิโตนและเมทานอลเป็นเวลา 1 ชั่วโมงแล้วก็ตัดด้วยกรดเป็นเวลา 1 ชั่วโมง แล้วนำไปติดอยู่บนวัสดุฐานรองซิลิกอนหน้าผลึก (100) ขนาด 10 mm x 10 mm x 0.25 mm ดังรูปที่ 3.24 เพื่อทำการปลูกผลึกในกระบวนการ HFCVD ร่วมกับการใช้เลเซอร์แก๊สคาร์บอนไดออกไซด์เป็นเวลา 5 ชั่วโมงโดยมีเงื่อนไขในการปลูกผลึกดังตารางที่ 3.19 ซึ่งแต่ละตัวอย่างจะโดนความร้อนของเลเซอร์ในตำแหน่งที่แตกต่างกันและให้ผลของสเปกตรัมของรามานแตกต่างกันด้วย ดังแสดงในรูปที่ 3.24

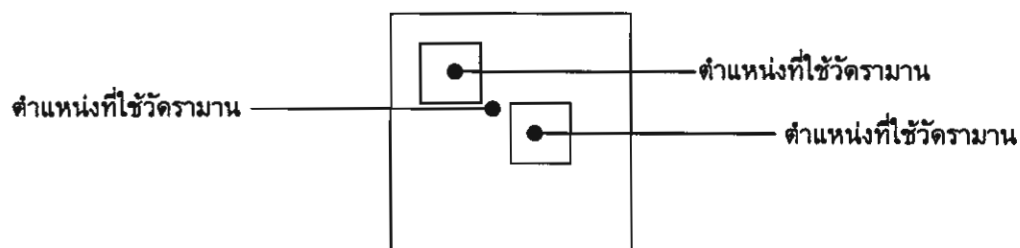
ตารางที่ 3. 19 แสดงเงื่อนไขที่ใช้ในการศึกษาผลของความร้อนจากเลเซอร์แก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ต่อการเกิดผลึกบนวัสดุฐานรองเพชรเมื่อใช้กระแสของเลเซอร์ในการปลูกผลึกต่างกัน

ตัวอย่าง	ความดัน (mbar)	อุณหภูมิของหลอดทั้งสแตน (°C)	อุณหภูมิของวัสดุฐานรอง (°C)	CH ₄ rate (sccm)	H ₂ rate (sccm)
DIL46	77	2150	750 - 800	0.53	211
DIL47	66	2116	860 - 870	0.48	244
DIL48	24	2155	750 - 800	0.38	210

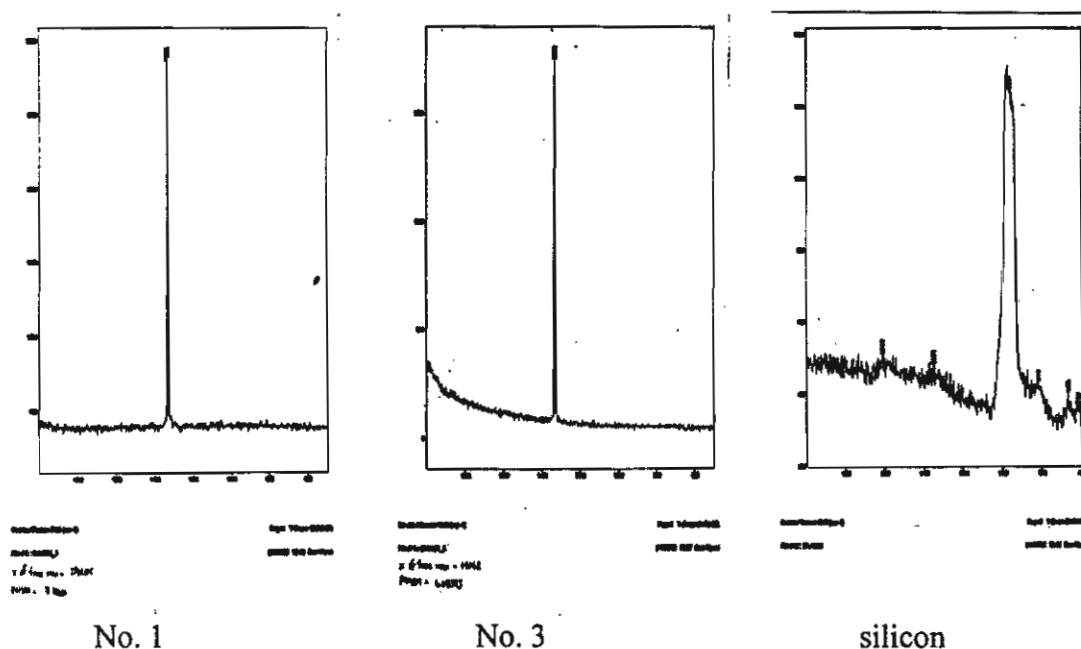


รูปที่ 3. 24 แสดงตำแหน่งของ single crystal diamond บนวัสดุฐานรองซิลิกอนและบริเวณที่โดนความร้อนของเลเซอร์

การตรวจสอบด้วยสเปกตรัมของรามานบนวัสดุฐานรองเพชรให้สเปกตรัมของรามานที่ 1332 cm^{-1} แต่ให้ FWHM ที่แตกต่างกัน โดยตำแหน่งที่ใช้วัดสเปกตรัมของรามานแสดงในรูปที่ 3.25 ตัวอย่าง DIL46 ซึ่งประกอบด้วยเพชร No.1 และ No.3 โดยที่เพชร No.1 โดนความร้อนจากเลเซอร์และให้ FWHM ของรามาน 7.0 cm^{-1} ส่วน No.3 ที่ได้รับความร้อนจากไส้ทั้งสแตนเพียงอย่างเดียวมี FWHM 6.3 cm^{-1} สำหรับบริเวณที่ซิลิกอนได้รับความร้อนจากเลเซอร์ให้ G-peak และ D-peak ที่ 1558 cm^{-1} และ 1328 cm^{-1} ตามลำดับ รวมทั้งให้ peak ของซิลิกอนที่ 962 cm^{-1} สเปกตรัมของรามานแสดงในรูปที่ 3.26 ภาพถ่าย SEM ในรูปที่ 3.27 แสดงให้เห็นถึงผลึกที่เกิดขึ้นบนวัสดุฐานรองที่ได้รับความร้อนต่างๆ กันโดยมีผลึกทั้งแบบที่เป็นผลึกเล็กๆ และก้อนผลึก อีกทั้งยังเกิดเป็นแผ่นอย่างต่อเนื่อง ส่วน Auger spectrum ในรูปที่ 3.28 แสดงให้เห็นถึง kinetic energy ที่เกิดจากการปลดปล่อยอิเล็กตรอนของเพชรที่เป็นวัสดุฐานรองที่ 272.7 eV และฟิล์มเพชรที่ 274.5 eV ซึ่งอาจเป็นผลให้การถ่ายภาพด้วย cathodoluminescence ก่อนและหลัง deposit ต่างกันเนื่องจากการเปลี่ยนไปของพลังงานของอิเล็กตรอนดังรูปที่ 3.28



รูปที่ 3. 25 แสดงตำแหน่งที่ใช้ในการวัดสเปกตรัมของรามาน



รูปที่ 3. 26 แสดงรามานสเปกตรัมของตัวอย่างเพชร No.1 และ NO.3 บนตัวอย่าง DIL46



(ก) ตำแหน่งที่ 1



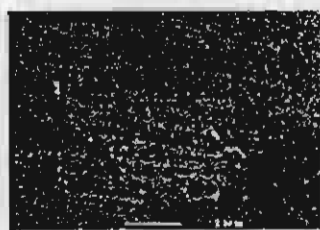
(ข) ตำแหน่งที่ 2



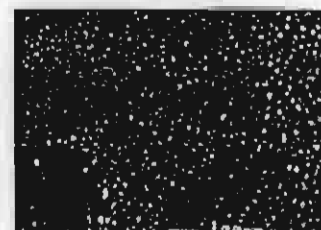
(ค) ตำแหน่งที่ 3



(ง) ตำแหน่งที่ 4

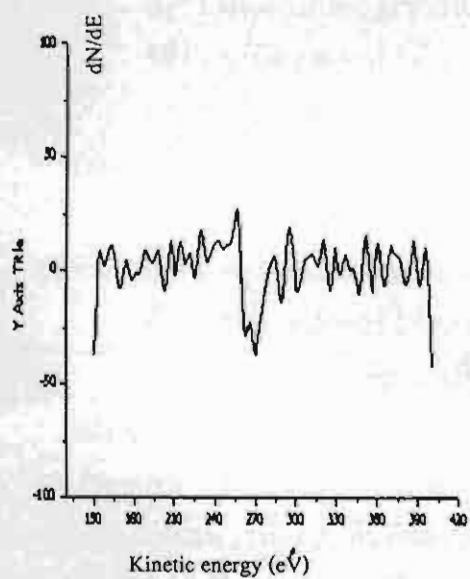


(จ) ตำแหน่งที่ 5

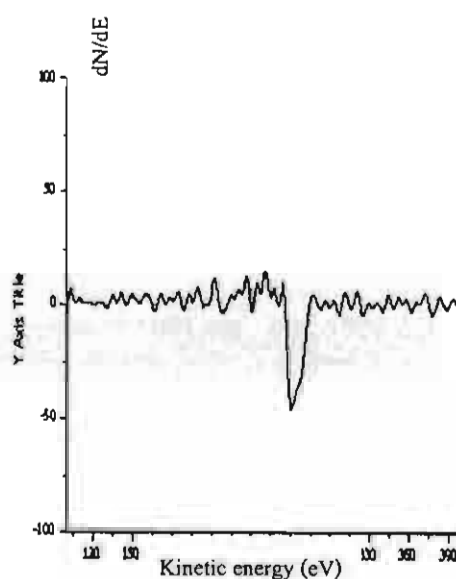


(ฉ) ตำแหน่งที่ 6

รูปที่ 3. 27 แสดงภาพถ่าย SEM ของเพชร No.1 และ No. 3 บนตัวอย่าง DIL46

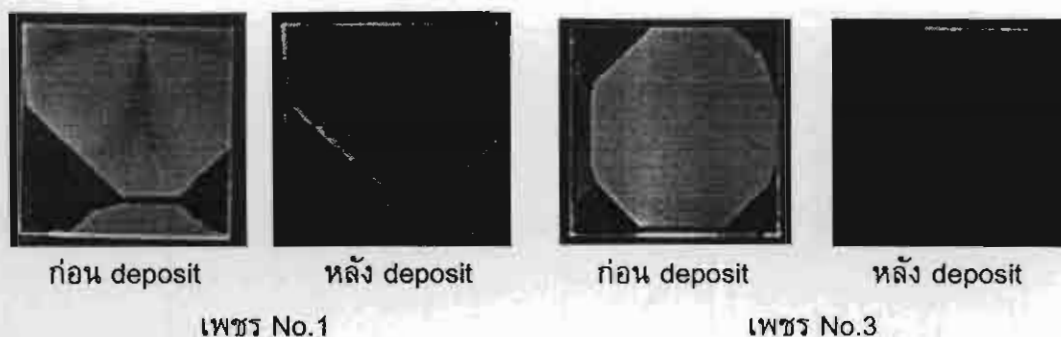


diamond substrate



diamond film

รูปที่ 3. 28 แสดง Auger spectrum ของวัสดุฐานรองเพชรกับฟิล์มเพชรบนวัสดุฐานรองเพชรบนตัวอย่าง DIL46



รูปที่ 3. 29 แสดงภาพถ่าย cathodoluminescence ของเพชร No.1 และ No.3 ก่อนและหลัง deposit

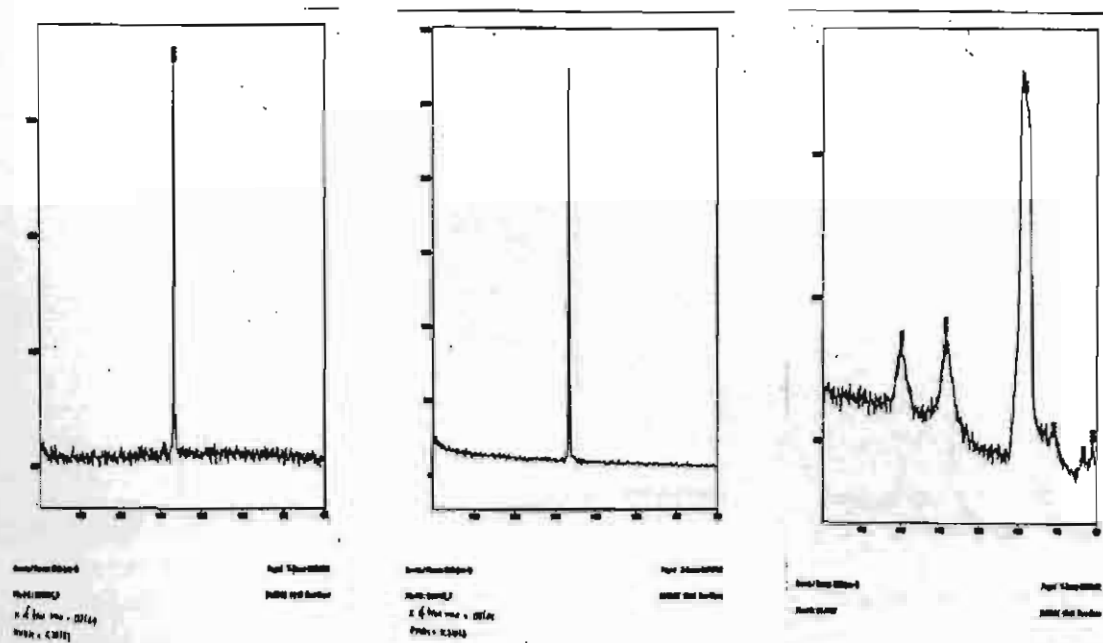
ตัวอย่าง DIL47 และ DIL48 ซึ่งใช้กระแสของเลเซอร์ 7 mA และ 8 mA ให้สเปกตรัมของรามานของฟิล์มเพชรบนวัสดุฐานรองเพชรที่ 1332 cm^{-1} เช่นกันและให้ FWHM แตกต่างกันดังนี้ DIL47 ให้สเปกตรัมของรามานดังแสดงในรูปที่ 3.30

- เพชร No.4 โดเนเลเซอร์ให้ FWHM 5.2 cm^{-1}
- เพชร No.6 ไม่โดเนเลเซอร์ให้ HWFM 5.1 cm^{-1}
- ซิลิกอนที่โดเนเลเซอร์ ให้ G-peak และ D-peak ที่ 1593 cm^{-1} และ 1368 cm^{-1} ตามลำดับ รวมทั้งซิลิกอนที่ 962 cm^{-1}

DIL48 ให้สเปกตรัมของรามานดังแสดงในรูปที่ 3.32

- เพชร No.7 ไม่โดเนเลเซอร์ให้ FWHM 5.6 cm^{-1}
- เพชร No.8 โดเนเลเซอร์ให้ HWFM 6.0 cm^{-1}
- ซิลิกอนที่โดเนเลเซอร์ ให้ G-peak และ D-peak ที่ 1601 cm^{-1} และ 1338 cm^{-1} ตามลำดับ รวมทั้งซิลิกอนที่ 969 cm^{-1}

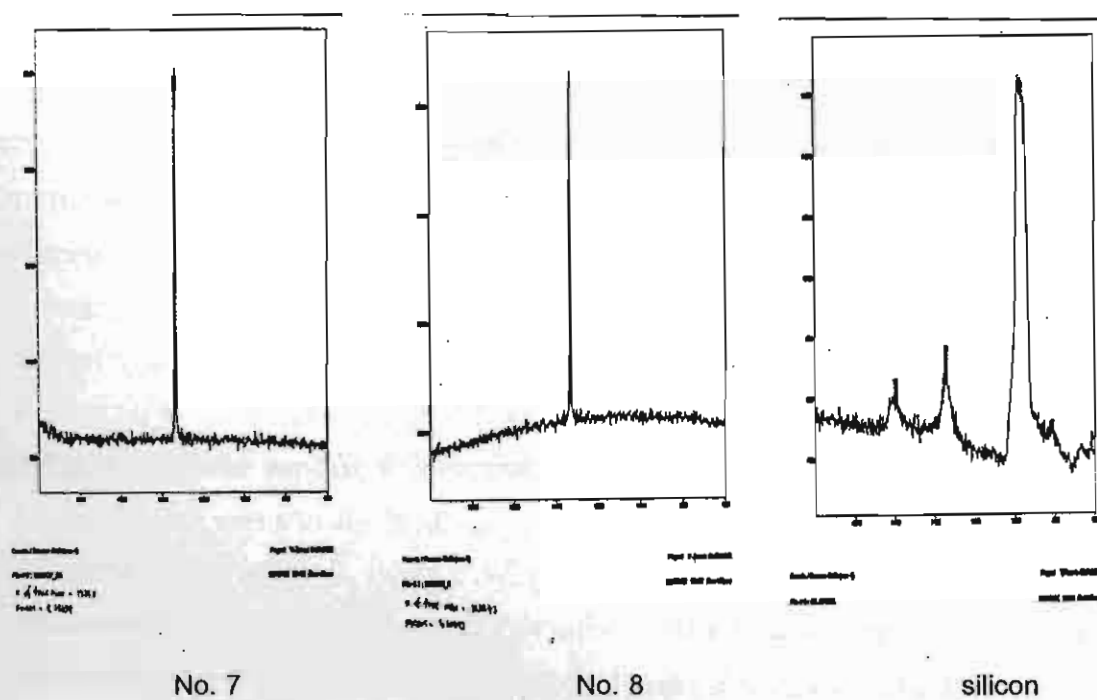
นอกจากสเปกตรัมของรามานแล้วภาพถ่าย cathodoluminescence ยังแสดงให้เห็นถึงการแปร่งแสงของเพชรก่อนและหลัง deposit แตกต่างกันอย่างชัดเจนซึ่งการเปลี่ยนแปลงนี้เกิดขึ้นที่บริเวณผิวของแผ่นเพชรทั้งแบบที่มีฟิล์มเกิดขึ้นและการเปลี่ยนของแผ่นเพชรเดิม ดังแสดงให้เห็นได้อย่างชัดเจนในรูปที่ 3.31 และรูปที่ 3.33



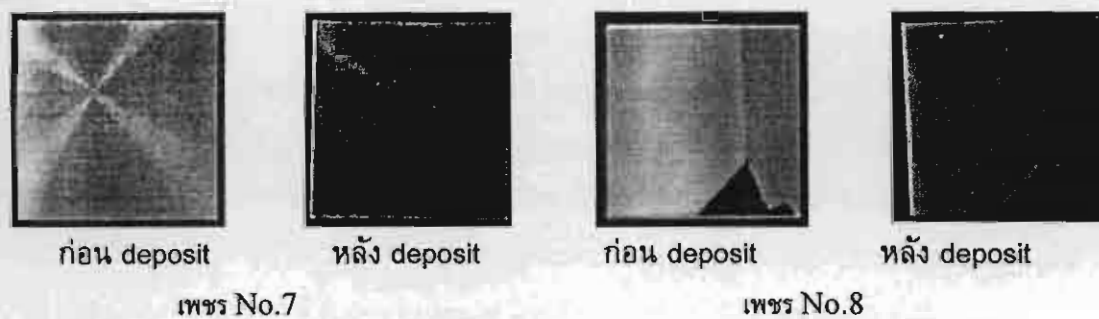
รูปที่ 3. 30 แสดงรามานสเปกตรัมของตัวอย่างเพชร No.4 และ NO.6 บนตัวอย่าง DIL47



รูปที่ 3. 31 แสดงภาพถ่าย cathodoluminescence ของเพชร No.4 และ No.6 ก่อนและหลัง deposit



รูปที่ 3. 32 แสดงรามานสเปกตรัมของตัวอย่างเพชร No.7 และ NO.8 บนตัวอย่าง DIL48



รูปที่ 3. 33 แสดงภาพถ่าย cathodoluminescence ของเพชร No.7 และ No.8 ก่อนและหลัง deposit

บทที่ 4

สรุปและวิจารณ์

การเตรียมฟิล์มเพชรบนแผ่นรองรับซิลิกอนหน้าผลึก (100) ประสบความสำเร็จก็ต่อเมื่อมีการทำ surface treatment ด้วยการใช้ผงเพชรขัดผิวแผ่นรองรับซิลิกอนและอุณหภูมิ tungsten filament สูงกว่า 1700°C อุณหภูมิของแผ่นรองรับ 400°C ผลการวิเคราะห์ด้วยรามานพบ Raman peak ประมาณ 1332 cm^{-1} แสดงว่าฟิล์มเพชรไม่มี stress แต่ถ้าใช้อุณหภูมิ tungsten filament ประมาณ $1900\text{--}2000^{\circ}\text{C}$ อุณหภูมิของแผ่นรองรับประมาณ $500\text{--}600^{\circ}\text{C}$ ผลการวิเคราะห์ด้วยรามานพบ Raman peak ประมาณ 1344 cm^{-1} แสดงถึงการมี stress แบบ compressive เพราะ Raman peak สูงกว่าปกติ คือประมาณ 2 GPa (คิดจาก residual stress ประมาณ $1.9\text{ GPa} / 1\text{ cm}^{-1}$ Raman shift จาก standard) เป็น stress ที่อยู่นานเป็นเดือนหลังจากเตรียมเสร็จซึ่งเป็นครั้งแรกที่พบเหตุการณ์เช่นนี้ เหตุผลอาจเป็นเพราะมี compressive stress สูงมากที่แผ่นรองรับซิลิกอนระดับประมาณ 3000 GPa จากผลการวัดด้วย XRD จากซิลิกอนระนาบ (311) และ (31 $\bar{1}$) หลังจากนั้นพบว่า compressive stress ได้ลดลงคือ Raman peak ประมาณ 1332 cm^{-1} ซึ่งเป็นค่า standard (ในการวัดครั้งที่ 2 ห่างจากครั้งแรกประมาณ 50 วัน) อีกเหตุผลหนึ่งอาจเกิดเนื่องจาก stress distribution บนแผ่นรองรับเป็นรูปวงรีแต่เมื่อ stress บนฟิล์มเพชรหายไป stress distribution บนแผ่นรองรับจะเป็นแบบวงกลมหรือเป็นวงรีเหมือนเดิมแต่แกนหลักมุมไป 90°

ผลของการพยายามกำจัด oxide layer บนแผ่นซิลิกอนด้วยการกัดด้วยกรด ขัดผงเพชร ก่อนเข้าสู่ growth chamber และกำจัด oxide layer ขณะอยู่ใน growth chamber ด้วย hot filament และ CO_2 laser ปรากฏว่าเรายังตรวจพบปริมาณ SiO_2 จากผลของ XRD ซึ่งมีกระจายอยู่ทั่วไปแม้จะน้อยมากก็ตาม ดังนั้นการกำจัด oxide layer ตามวิธีดังกล่าวยังไม่ประสบผลสำเร็จ 100% แต่อย่างไรก็ตามการมี SiO_2 , $\alpha\text{-SiC}$, $\beta\text{-SiC}$ และพบ stress ทั้งฟิล์มบางเพชรและแผ่นรองรับซิลิกอนแสดงให้เห็นการมี heteroepitaxial เกิดขึ้นและ $\text{SiO}_2 + \alpha\text{-SiC} + \beta\text{-SiC} + \text{graphite} + \text{DLC}$ composites อาจเป็นส่วนประกอบที่ทำให้เพชรมีความเสถียรสูง (high stability) แม้อยู่ภายใต้ high compressive stress

การใช้ CO_2 laser ช่วยทำ heat treatment บนซิลิกอนขณะทำ HFCVD นั้นไม่ทำให้เกิดฟิล์มเพชรถ้าไม่ทำการขัดผิวด้วยผงเพชรก่อน แต่การใช้ CO_2 laser ระดับที่ทำให้อุณหภูมิเฉพาะที่สูงขึ้น ประมาณ 45°C จากบริเวณอื่นที่อุณหภูมิประมาณ 450°C เราพบ amorphous diamond หรือ DLC ที่มีความเป็นระเบียบของอะตอมสูงมาก คือ พบ Raman peak ประมาณ 1438 cm^{-1} ที่มี FWHM ประมาณ 300 cm^{-1} ซึ่งพบได้เฉพาะกรณีการทดลองที่ใช้ single crystal diamond แล้วทำให้เกิด amorphous diamond ด้วย ion-implantation

งานในส่วนของฟิล์มเพชรบนแผ่นรองรับเพชรนั้น พบว่า ธรรมชาติของผิวเพชรนั้นมี oxide layer หนาประมาณ 5-6 อังสตรอม จากผลของ XPS ไม่ว่าจะกัดกรดหรือไม่ก่อนนำเข้าสู่ XPS chamber การใช้ CO_2 laser ช่วย heat ผิวแผ่นรองรับเพชรพบว่าการติดของผลึกเพชรขนาดต่างๆ

กัน ในระดับ micron จนกระทั่งเล็ก ๆ ระดับ nanometer การตรวจวิเคราะห์ผิวเพชรหลังจากทำ HFCVD ด้วยเทคนิค Auger spectroscopy พบ carbon peak ที่มีสัญญาณความเข้มสูง แสดงถึงว่า มีการเกิดฟิล์มบางคาร์บอนบนผิวแผ่นรองรับเพชร ส่วนเป็นลักษณะ homoepitaxial หรือไม่ จะต้องมีการวิเคราะห์ด้วยเทคนิค TEM (Transmission Electron Microscopy) ต่อไป

เอกสารอ้างอิง

1. B.V. Spitsyn, L.L. Bouilov and B.V. Derjaguin, **Prog. Crystal Growth and Charact.** 17 (1988) pp. 79-170.
2. B.B. Pate, **Surface Science** 165 (1986) pp. 83-142.
3. Naoji Fujimori, Takahiro Imai, Hideki Nakahata, Hiromu Shiomi, and Yoshiki Nishibayashi, **Material Research Society Symposium Proceeding**, Vol. 162, copyright 1990, pp.23-33.
4. R.C. McCune, R.E. Chase and E.L. Cartwright, **Surface and Coatings Technology**; 53 (1992) pp.189-197.
5. L.F. Sutcu, C.J. Chu, M.S. Thompson, R.H. Hauge, J.L. Margrave, and M.P. D Evelyn; **J. Appl. Phys.** 71 (12), 15 June 1992, pp. 5930-5940.
6. Takashi Tsuno, Tadashi Tomikawa, and Shin-ichi Shikata; **J. Appl. Phys.** 75 (3), 1 February 1994, pp. 1526-1529.
7. Y. Mori, N. Eimori, H. Kozuka, Y. Yokota, J. Moon, J.S. Ma, T. Ito, and A. Hiraki; **Appl. Phys. Lett.** 60 (1), 6 January 1992, pp. 47-49
8. Mike Marchyka, Pehr E. Pehrsson, Daniel J. Vestyck, Jr., and Daniel Moses; **Appl. Phys. Lett.** 63(25), 20 December 1993, pp. 3521-3523.
9. Masaaki Komoli, Tetsuro Maki, Taigen Kim, Gen Liang Hou, Yoshiyuki Sakaguchi, Ken Sakuta, and Takeshi Kobayashi; **Appl. Phys. Lett.** 62(6), 8 February 1993, pp. 582- 584.
10. T. Ando, H. Haneda, M. Akaishi, Y. Sato and M. Kamo; **Diamond Relat. Mater.;** 5 (1996) pp. 34-37.
11. May Paul W. CVD diamond - a new technology for the future. [cited 1999 July 30]. Available from : URL : <http://www.chem.bris.ac.uk/pt/diamond/end.htm>.
12. Griesser M, Grasserbauer M, Kellner R, Bohr S, Haubner R, Lux B. NIR- and VIS-Raman spectroscopy of CVD diamond films. [cited 2000 July 25]. Available from : URL : <http://www.athene.em/springer.de>.
13. Sharda T, Misra DS, Avathi DK. Hydrogen in chemical vapour deposited diamond films. **Pergamon** 1995; 47: 1259-1264.
14. Mehta Menon P, Edwards A, Feigerle CS, Shaw RW, Coffey DW, Heatherly L, Clausing RE, Robinson L, Glasgrow DC. Filament methal contamination and

Raman spectra of hot filament chemical vapor deposition diamond films.

Diamond and Related Materials 1999; 8: 101-109.

15. Lindstam Mikael, Boman Mats, Carlsson Jan-Otto. Area selective laser chemical vapor deposition of diamond and graphite. *Applied Surface Science* 1997; 109/110: 462-466.
16. Smith Donald L. (1995). **Thin-film deposition : Principles and practice.** United state of America. McGraw-Hill.
17. Bachmann Peter K, Lydtin Hans. Diamond forming discharges. **Materials Rasearch Society Symposium Proceeding** 1990; 165 : 181-197.
18. Fujimori Susumu, Kasai Toshio, Inamura Takahiro. Carbon film formation by laser evaporation and ion beam sputtering. **Thin Solid Films** 1982; : 71-80.
19. Tyndall George W, Hacker Nigel P. KrF laser induced chemical vapor deposition of diamond. Diamond, Silicon Carbide and Related Wide Bandgap Semiconductors, Symposium held November 27 - December 1, 1989, Boston, Massachusetts, U.S.A.. **Materials Research Society Symposium Proceeding** 1989; 162: 173-178.
20. Pehrson Pehr E, Nelson HH, Celii FG. Investigations of excimer laser effect on CVD diamond growth. Diamond, Silicon Carbide and Related Wide Bandgap Semiconductors, Symposium held November 27 - December 1, 1989, Boston, Massachusetts, U.S.A.. **Materials Research Society Symposium Proceeding** 1989; 162: 179-184.
21. Regan A, Biunno N, Narayan J. Laser assisted techniques for diamond and diamond-like thin films. Diamond, Silicon Carbide and Related Wide Bandgap Semiconductors, Symposium held November 27 - December 1, 1989, Boston, Massachusetts, U.S.A.. **Materials Research Society Symposium Proceeding** 1989; 162: 185-188.
22. Metev SM, Ozegowski M, Meteva K, Sepold G, Kononenko TV, Konov VI, Obratzsova ED, Pimenov SM, Ralchenko VG, Smolin AA. Laser-assisted ECR-plasma-CVD of a-C:H films. **Diamond and Related Materials** 1996; 5: 5420-424.
23. Johnson SE, Ashflod MNR, Knapper MP, Lade RJ, Rosser KN, Fox NA, Wang WN. Production and charecterisation of amorphic diamond films produced by pulse laser ablation of graphite. **Diamond and Related Materials** 1997; 6: 569-573.

24. Badzian A, Weiss BL, Roy R, Badzian T, Drawl W, Mistry P, Turchan MC.
Characterization and electron field emission from diamond coatings deposited by multiple laser process. **Diamond and Related Materials** 1998; 7: 64-69.
25. Konov VI, Prokhorov AM, Uglov SA, Bolshakov AP, Leontiev IA, Dausinger F, Hugel H, Angstenberger B, Sepold G, Metev S. CO₂ laser-induced plasma CVD synthesis of diamond. **Applied physics A** 1998; 66: 575-578.
26. Lade RJ, Claeysen F, Rosser KN, Ashfold MNR. 193-nm laser ablation of CVD diamond and graphite in vacuum : plume analysis and film properties. **Applied Physics A** 1999; 69: s935-s939.
27. Lu YF, Huang SM, Huan CHA, Luo XF. Amorphous hydrogenated carbon synthesized by pulsed laser deposition from cyclohexane. **Applied Physics A** 1999; 68: 647-651.
28. Wang Q, Schliesing R, Zacharias H, Buck V. Enhancement of diamond nucleation on silicon substrates in pulse laser assisted hot filament CVD. **Applied Surface Science** 1999; 138-139: 429-433.
29. Rode AV, Gamaly EG, Luther-Davies B. Formation of cluster-assembled carbon nano-foam by high-repetition-rate laser ablation. **Applied Physics A** 2000; 70: 135-144.
30. Rey S, Antoni F, Prevot B, Fogarassy E, Arnault JC, Hommet J, Le Normand F, Boher P. Thermal stability of amorphous carbon films deposition by pulsed laser ablation. **Applied Physics A** 2000; 71: 433-439.
31. Ager III Joel W, Kirk Veirs D, Rosenblatt Gerd M. Spatially resolved Raman studies of diamond films grown by chemical vapor deposition. **Physical Review B** 1991; 43(8): 6491-6499.
32. Chiu Chin-Chen, Liou Yung, Juang Yung-Der. Elastic modulus of and Residual stress in diamond films. **Thin Solid Films** 1995; 260:118-123.
33. Hollman P, Alahelsten A, Olsson M, Hogmark S. Residual stress, Young's modulus and fracture stress of hot flame deposition diamond. **Thin Solid Films** 1995; 270: 137-142.
34. Windischmann H, Gray KJ. Stress measurement of CVD diamond films. **Diamond and Related Materials** 1995; 4: 837-842.
35. Burton NC, Steeds JW, Meaden GM, Shreter YG, Butler JE. Strain and microstructure variation in grain of CVD diamond film. **Diamond and Related Materials** 1995; 4: 1222-1234.

36. Anthony TR. Stress generated by impurities in diamond. **Diamond and Related Materials** 1995; 4: 1346-1356.
37. Amornkitbamrung Vittaya. Stress and strain in heteroepitaxial diamond thin film on Si(100) observed by X-ray diffraction and X-ray diffraction topography. **Diamond Films and Technology** 1998; 8(3): 131-141.
38. Knight Diane S, White William B. Characterization of diamond films by Raman spectroscopy. **Journal of Materials Research** 1989; 4(2): 385-393.
39. Prawer S, Nugent KW, Lifshitz, Lempert GD, Grossman E, Kulik J, Avigal I, Kalish R. Systematic variation of Raman spectra of DLC films as a function of $sp^2 : sp^3$ composition. **Diamond and Related Materials** 1996; 5: 433-438.
40. Nugent KW, Prawer S. Confocal Raman strain mapping of isolated single CVD diamond crystals. **Diamond and Related Materials** 1998; 7 : 215-221.
41. Prawer S, Nugent KW, Jamieson DN. The Raman spectrum of amorphous diamond [letter]. **Diamond and Related Materials** 1998; 7: 106-110.
42. Rujakorakarn R, Hsu LS. Raman scattering in amorphous thin films. Department of Physics, Faculty of Science, Khon Kaen University, Khon Kaen, Thailand.
43. Impact of Raman spectroscopy on technologically important forms of elemental carbon [Technical notes]. Instrument SA, Incorporation.
44. de Maupassant Guy. Chapter 2 - Film Characterisation Techniques. **The Horiba** [serial online] 1887. [cited 1999 may 4]. Available from : URL : <http://www.chm.bris.ac.uk/pt/diamond/stuthesis/chapter2.htm>.
45. —. **Semiconductor Measurements and Instrumentation**. (book)
46. Chokesuwattanasakul Pipat. Lasers. Department of Physics, Faculty of Science, Khon Kaen University, Khon Kaen, Thailand.
47. Kohzaki Masao, Uchida Kiyo Shi, Higuchi Kazuo, Noda Shoji. Large-area high-speed diamond deposition by Rf induction thermal plasma chemical vapor deposition method. **Japan Journal Applied Physics** 1993; 32: L438-L440.
48. Raichenko VG, Smolin AA, Pereverzev VG, Obraztsova ED, Korotoushenko KG, Konov VI, Loubnin EN. Diamond deposition on steel with CVD tungsten intermediate layer. **Diamond and Related Materials** 1995; 4: 754-758.
49. Chalker PR, Johnston C, Romani S, Ayres CF, Buckley-Golder IM, Krotz G, Angerer H, Muller G, Veprek S, Kunstmann T, Legner W, Smith LM, Leese AB,

- Jones AC, Rushworth SA. Formation of epitaxial diamond-silicon carbide heterojunction. **Diamond and Related Materials** 1995; 4: 632-636.
50. Tallant DR, Parmeter JE, Siegal MP, Simpson RL. The Thermal stability of diamond-like carbon. **Diamond and Related Materials** 1995; 4: 191-199.
51. Weiser PS, Prawer S, Nugent KW, Bettiol AA, Kostidis LI, Jamieson DN. Homo-epitaxial diamond film growth on ion implanted diamond substrates. **Diamond and Related Materials** 1996; 5 :272-275.
52. Gonon P, Prawer S, Jamieson DN, Nugent KW, Radiation hardness of polycrystalline diamond. **Diamond and Related Materials** 1997; 6: 314-319.
53. Pereira L, Pereira E, Gomes H, Rodrigues A, Rees A, Cremades A, Piqueras J. Microelectrical characterisation of diamond films: an attempt to understand the structural influence on electrical transport phenomena. **Diamond and Related Materials** 2000 ; 9 : 1061 - 1065.

Output จากโครงการวิจัย

เสนอผลงานวิจัยในการประชุมวิชาการระดับนานาชาติ

1. Vittaya Amornkitbamrung, Microgrid–Shaped Diamond Crystals from Alternating Current 50 Hz Sputtering–Assisted Chemical Vapour Deposition, Proceeding of the 7th Asia–Pacific Electron Microscopy Conference, June 26–30, 2000 ; Singapore International Convention & Exhibition Center, Suntec City, Singapore. pp. 51–52 (Oral Presentation)
2. Vittaya Amornkitbamrung. Hot Filament Chemical Vapour Deposition and Alternating Current Assisted Chemical Vapour Deposition for Diamond Thin Film Production, have been presented in the 7th International Conference on New Diamond Science and Technology, July 24-28, 2000: City University of Hong Kong, Kowloon Tong, Hong Kong. Abstract 15a.11 (Poster Presentation)
3. Vittaya Amornkitbamrung and Ong-On Topon. Surface and quality Modification of Diamond-like Carbon Films by CO₂ Laser Heating Assisted Hot Filament Chemical Vapour, have been presented in the 8th International Conference on New Diamond Science and Technology, July 21-26, 2002: The University of Melbourne, Australia. Abstract P2.05.1(Poster Presentation)

เสนอผลงานวิจัยในการประชุมวิชาการระดับชาติ

1. Initial Diamond Growth Study of the Chemical Vapour Deposition Process by CO₂ Laser Heating. Vittaya Amornkitbamrung, Ong-On Topon and Wirat Jarernboon. การประชุม "ฟิสิกส์ไทยในศตวรรษใหม่" ระหว่างวันที่ 22-23 ธันวาคม 2543 ณ หอประชุมใหญ่ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย จัดโดยสมาคมฟิสิกส์ไทย
2. การเคลือบวัสดุด้วยคาร์บอนคล้ายเพชรด้วยวิธีสปัตเตอร์จากไฟฟ้ากระแสสลับ (Diamond-like Carbon Coating on Materials by Alternating Current Sputtering). วิทยา อมรกิจบำรุง, องค์กร ดอพล, วิรัตน์ เจริญบุญ, สุมินทร์ญา ทิศา และ รวิพร บุญศิริ. การประชุมวิชาการทางด้านวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 2 ระหว่างวันที่ 6-7 สิงหาคม 2545 ณ อาคารสารนิเทศ 50 ปี มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ จัดโดยศูนย์เทคโนโลยีโลหะและวัสดุแห่งชาติ สำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ และ กระทรวงวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยีและสิ่งแวดล้อม
3. ความเค้นของฟิล์มเพชรจากการเตรียมผิวของวัสดุฐานรองด้วยวิธีขัดด้วยผงเพชร (Stress of Diamond Film by Diamond Powder Presurface Treatment) วิทยา อมรกิจบำรุง และ องค์กร ดอพล. การประชุมวิชาการวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 28 ระหว่างวันที่ 24-26 ตุลาคม 2545 ณ ศูนย์การประชุมแห่งชาติสิริกิติ์ กรุงเทพฯ จัดโดย

สมาคมวิทยาศาสตร์แห่งประเทศไทยในพระบรมราชูปถัมภ์ และ คณะวิทยาศาสตร์ประยุกต์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ

การตีพิมพ์ผลงานวิจัยในวารสารวิชาการระดับนานาชาติ

Surface and quality modification of diamond-like carbon films by CO₂ laser heating assisted hot filament chemical vapor deposition. V. Amornkitbamrung and Ong-On Topon. อยู่ในการพิจารณาเพื่อตีพิมพ์ในวารสาร Diamond and Related Materials

การสร้างงานวิจัยด้าน Diamond Thin Film and DLC ที่ภาควิชาฟิสิกส์ คณะ

วิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น

มีการสร้างนักวิจัยระดับปริญญาตรี-โท-เอก ดังนี้

- | | |
|----------------------------------|------------------------------------|
| 1. น.ส.องค์อร ดอพล | (กำลังศึกษาในระดับปริญญาเอก) |
| 2. น.ส.เบญจมาศ ศรีสองเมือง | (กำลังศึกษาในระดับปริญญาโท) |
| 3. นายวิรัตน์ เจริญบุญ | (กำลังศึกษาในระดับปริญญาโท) |
| 4. นายรัชชัย ทรงศาศรี | (กำลังศึกษาในระดับปริญญาตรี) |
| 5. น.ส.รัชฎาภรณ์ ทรัพย์เรืองเนตร | (กำลังศึกษาในระดับปริญญาตรี) |
| 6. นายประสิทธิ์ ทองใบ | (สำเร็จการศึกษาระดับปริญญาตรีแล้ว) |
| 7. น.ส.สุมินทร์ญา ทิทา | (สำเร็จการศึกษาระดับปริญญาตรีแล้ว) |
| 8. น.ส.รวีพร บุญศิริ | (สำเร็จการศึกษาระดับปริญญาตรีแล้ว) |
| 9. น.ส.โชติรัตน์ พนากุลพิพัฒน์ | (สำเร็จการศึกษาระดับปริญญาตรีแล้ว) |
| 10. นายพิเชฐพงษ์ ธินาเครือ | (สำเร็จการศึกษาระดับปริญญาตรีแล้ว) |
| 11. น.ส.นงคันช อาจฤทธิ | (สำเร็จการศึกษาระดับปริญญาตรีแล้ว) |

ภาคผนวก

PROCEEDINGS

Physical Sciences

7th Asia-Pacific Electron Microscopy Conference

7APEM

**Singapore
2000**

26 - 30 June 2000

Singapore International Convention Centre

EELS/EBSD**High Energy Resolution EELS**

<i>M.H.F. Overwijk and P.C. Tiemeijer</i>	34
Images Of Single Ca Atoms In High Tc-superconductors Formed By Core Loss Electrons	
<i>H. Hashimoto</i>	35

Thin Films I

Dynamic Studies Of Strained Layer Semiconductor Epitaxy Using <i>In Situ</i> Microscopy	
<i>Frances M. Ross</i>	37
Ordering And Domain Structures In Te-doped GaInP Grown By Organometallic Vapour Phase Epitaxy	
<i>Tae-Yeon Seong, Chel-Jong Choi, S.H. Lee and G.B. Stringfellow</i>	39
Reflection Electron Microscope Study On Surface Dynamics	
<i>Hiroki Minoda, Katsumichi Yagi and Yasumasa Tanishiro</i>	41
C-54 TiSi ₂ Formation Mechanism Under Pulsed Laser Processing	
<i>K. Li, S.Y. Chen and Z.X. Shen</i>	43
Advances In Dielectric Device Materials Through TEM	
<i>D J Barber</i>	45

Thin Films II

In-situ LEEM Studies Of Thin Film Growth Kinetics And Structure	
<i>M.S. Altman</i>	47
The Effect Of Growth Temperature On Surface Structure And Atomic Ordering In GaInP Epilayers Grown On GaAs (001) By GS-MBE	
<i>C. Meenakarn, A.E. Staton-Bevan, S. P. Najda, G. Duggan and A. H. Kean</i>	49
<u>Microgrid-Shaped Diamond Crystals From Alternating Current 50 Hz Sputtering-Assisted Chemical Vapour Deposition</u>	
<i>Vittaya Amornkitbamrung</i>	51
AFM And XPS Investigations Of The O ²⁺ -Induced Surface Topography Of InP	
<i>J. S. Pan, S. T. Tay, C. H. A. Huan and A. T. S. Wee</i>	53
Two-dimensional Dopant Profiling In n+/p Junctions Using TEM Coupled With Selective Chemical Etching	
<i>Chel-Jong Choi and Tae-Yeon Seong</i>	55

ERNST ABBE Lecture

Ernst Abbe And The Developments In Modern Light Microscopy	
<i>Heinz Gundlach</i>	57
Confocal Microscopy, A Bridge Between Optical And Electron Microscopy	
<i>M L Ng</i>	58
New Developments In Environmental Scanning Electron Microscopy	
<i>Brendan J. Griffin and James R. Browne</i>	60

SEM Application

A Study Of Chitosan Coating On Different Types Of Natural Fiber By Scanning Electron Microscopy (SEM)	
<i>Krisana Siraleartmukul, and Suwalee Chandkrachang</i>	62
Microscopic Techniques For Potential ASR Of Rocks	
<i>George Samuel, V P Chatterjee and Chatar Singh</i>	63
Scanning Electron Microscope, Optical Microscope And Visual Inspection; A Practical Tool For Correlating The Features And Caused Of Failure	
<i>Jamaliah Idris and Ir. Agus Suprpto</i>	65
Focused Ion Milling Of Semiconducting Materials Following Nanoindentation	
<i>R.H. Lovett and P.R. Munroe</i>	67
Surface Analysis And Application In IC Bond Pad Reliability	
<i>R. Gopal Krishnan</i>	69
A Study Of Effect Of Different Chemical Treatments On Tensile Properties Of WRHA Filled PP/EPDM Blends Using Scanning Electron Microscopy	
<i>S. Siriwardena, Hanafi Ismail and U.S. Ishiaku</i>	71