

รายงานการวิจัยฉบับสมบูรณ์

การสังเคราะห์วัสดุนาโนจากเถ้าแกลบ

Synthesis of Nanomaterials From Rice Husk Ash

โดย

นายสุภกร ภู่เกิด และคณะ

ธันวาคม 2550

เดือน ปี ที่สำเร็จโครงการ



รายงานการวิจัยฉบับสมบูรณ์

การสังเคราะห์วัสดุนาโนจากเถ้าแกลบ

Synthesis of Nanomaterials From Rice Husk Ash

คณะผู้วิจัย

สังกัด

- | | |
|-------------------------|---------------------------------------|
| 1. นายศุภกร ภู่เกิด | มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี |
| 2. นายพิเชษฐ ลิ้มสุวรรณ | มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี |
| 3. นายอุดม ทิพราช | มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี |
| 4. นายสุพล ตำราญ | มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี |

โครงการวิจัยนี้ได้รับทุนอุดหนุนการวิจัยจากสำนักงานงบประมาณ
ประจำปีงบประมาณ 2550

ISBN 978-974-523-171-9

(ความเห็นในรายงานนี้เป็นของผู้วิจัย ม.อบ. ไม่จำเป็นต้องเห็นด้วยเสมอไป)

กิตติกรรมประกาศ

โครงการวิจัยเรื่อง การสังเคราะห์วัสดุนาโนจากเถ้าแกลบ ได้รับการสนับสนุนงบประมาณแผ่นดินจากสำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ สำนักงานงบประมาณ และมหาวิทยาลัยอุบลราชธานี คณะผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณ สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ สำนักงานงบประมาณ และมหาวิทยาลัยอุบลราชธานี ที่ได้สนับสนุนงบประมาณในการดำเนินงานวิจัยไว้ในโอกาสนี้ และขอขอบคุณภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ ที่ได้ให้การสนับสนุนอุปกรณ์และเครื่องมือซึ่งใช้ในการดำเนินงานวิจัยครั้งนี้

สุภกร ภู่เกิด

พิเชษฐ ลิ้มสุวรรณ

อุดม ทิพรราช

สุพล สำราญ

บทสรุปผู้บริหาร

โครงการวิจัยนี้ มีวัตถุประสงค์เพื่อดำเนินการสังเคราะห์วัสดุโครงสร้างนาโนจากเถ้าแกลบ เนื่องจากองค์ประกอบส่วนใหญ่ของเถ้าแกลบขาว จะประกอบไปด้วยซิลิกอนไดออกไซด์(SiO_2) ประมาณ 20-25% และสารอินทรีย์ประเภทเซลลูโลส 75-80% เมื่อนำเถ้าแกลบขาวไปเผาจะได้เถ้าแกลบซึ่งประกอบด้วยซิลิกอนไดออกไซด์ประมาณ 80-90% และมากกว่านั้นถ้าผ่านกระบวนการทำให้บริสุทธิ์ การวิจัยนี้จะเริ่มจากการเตรียมเถ้าแกลบที่มีความบริสุทธิ์สูง ทำให้เราทราบว่าในเถ้าแกลบที่บริสุทธิ์ยังมีสิ่งเจือปนอะไรอยู่บ้างที่อาจมีผลต่อการสังเคราะห์โครงสร้างนาโน หลังจากนั้นจะดำเนินการเตรียมถ่านกะลามะพร้าว ตรวจสอบองค์ประกอบของถ่านกะลาเนื่องจากข้อจำกัดของเครื่องมือเราไม่สามารถวัดปริมาณคาร์บอนรูปอสัณฐานได้ ทำให้ผลการตรวจสอบมีความคลาดเคลื่อนไปจากงานวิจัยที่เคยมีผู้รายงานไปแล้ว เมื่อได้เถ้าแกลบ และถ่านกะลาแล้วจึงเริ่มดำเนินการทดลองสังเคราะห์วัสดุโครงสร้างนาโน โดยการผสมกันแล้วเจือปนด้วยสารเคมีบางชนิดซึ่งอาจเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา ด้วยอัตราส่วนต่างๆกัน นำไปเผาในเตาที่อุณหภูมิ ที่อุณหภูมิ เวลาและบรรยากาศต่างๆกัน ผลการทดลองพบว่าเกิดการสังเคราะห์วัสดุโครงสร้างนาโนหลายรูปแบบเมื่อเปรียบเทียบกับรายงานการวิจัยที่ได้อ้างอิงในท้ายเอกสาร รูปแบบของวัสดุโครงสร้างนาโนที่สังเคราะห์ได้มีลักษณะรูปร่างเชิงกายภาพ(morphology) คล้ายคลึงกัน โดยเฉพาะจากการเตรียมวัสดุตัวอย่างโดยการผสมเถ้าแกลบ ถ่านกะลา และ GeO_2 เผาในบรรยากาศของก๊าซไนโตรเจน จะมีการสังเคราะห์วัสดุโครงสร้างนาโน เช่น nanofibers, nanowires, nanonecklace, และ nanoparticles เกิดขึ้น และจากการเตรียมวัสดุตัวอย่างโดยการผสมเถ้าแกลบ แกรไฟท์ และ GeO_2 เผาในบรรยากาศของก๊าซออกซิเจน จะมีการสังเคราะห์วัสดุโครงสร้างนาโน เช่น nanosphere-chain, nanocoral, และ nanoparticles เกิดขึ้น จากผลการทดลองดังกล่าวเราสามารถสรุปได้ว่า การสังเคราะห์วัสดุโครงสร้างนาโนสามารถเตรียมได้จากเถ้าแกลบ

การดำเนินงานวิจัยทางด้านโครงสร้างนาโนและการประยุกต์ใช้ ยังเป็นศาสตร์การวิจัยที่ค่อนข้างใหม่สำหรับนักวิจัยในประเทศไทย ทฤษฎีที่นำมาใช้อธิบายปรากฏการณ์ต่างๆ ค่อนข้างซับซ้อน ยุ่งยากและลึกซึ้งมาก จึงเป็นการยากมากที่ผู้วิจัยจะสามารถนำทฤษฎีมาใช้อธิบายผลการวิจัยที่ปรากฏในระยะเวลาอันจำกัด แต่อย่างไรก็ตามการสังเคราะห์วัสดุโครงสร้างนาโนที่ได้จากการดำเนินการวิจัยในครั้งนี้ มีคุณค่าอย่างยิ่งต่อผู้วิจัย ทั้งนี้เนื่องจาก จากการศึกษารายงานบทความการวิจัยที่มีการนำเสนอในวารสารวิชาการ ยังไม่พบว่ามี การสังเคราะห์โครงสร้าง nanofibers nanowires หรือ nanonecklace จากเถ้าแกลบและใช้ถ่านกะลามะพร้าวเป็นตัวกระตุ้น ดังนั้นการดำเนินงานในครั้งนี้จะใช้เป็นแนวทางในการศึกษาและพัฒนางานที่เกี่ยวข้อง เพื่อให้เกิดคุณค่าทางวิชาการและงานวิจัยต่อไป

บทคัดย่อ

ในงานวิจัยนี้ เราทำการสังเคราะห์วัสดุโครงสร้างนาโนจากเถ้าแกลบโดยกระบวนการทางความร้อน ด้วยการเตรียมเถ้าบริสุทธิ์ผสมถ่านกะลามะพร้าวหรือแกรไฟท์ และ GeO_2 ในอัตราส่วนต่างๆ วางไว้ในถ้ำยอลูมินา(alumina boat) และนำฐานรองแผ่นซิลิกอน(silicon wafer) วางไว้ที่บริเวณต่างๆภายในถ้ำยอลูมินา จากนั้นนำถ้ำยอลูมินาไปใส่ในท่อควอทซ์ของเตาเผาในบรรยากาศอุณหภูมิและเวลาต่างๆ กัน หลังจากอุณหภูมิถึงกำหนดที่ต้องการ ปิดสวิตช์ปล่อยให้เตาเย็นลงตามธรรมชาติจนถึงอุณหภูมิห้อง นำวัสดุตัวอย่างและฐานรองแผ่นซิลิกอนไปวิเคราะห์ตรวจสอบด้วยเครื่อง stereo microscope, scanning electron microscope (SEM), transmission electron microscope (TEM), X-rays fluorescence (XRF), และ X-rays diffraction (XRD) ตามความเหมาะสม ผลการวิเคราะห์ แสดงให้เห็นว่าเกิดการสังเคราะห์ของวัสดุโครงสร้างนาโน โดยเฉพาะวัสดุตัวอย่างที่เตรียมจากเถ้าแกลบผสมกะลามะพร้าวหรือแกรไฟท์ และ GeO_2 ที่เผาในบรรยากาศของก๊าซไนโตรเจน ที่อุณหภูมิ 1,200 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 ชั่วโมง จะพบโครงสร้าง nanofibers, nanowires, nanosphere-chain และ nanocoral เกิดขึ้น

Abstract

In this research, we synthesized nanostructures materials from rice husk ash by thermal process. The materials source will be prepared by mixture rice husk ash, coconut shell charcoal or graphite and GeO_2 with various ratio. The materials source and silicon substrates will be put in quartz tube of furnace tube, heated at various temperature and time. When the temperature cooled down to natural room temperature. The materials sources and silicon substrate will be checked by stereo microscope, scanning electron microscope (SEM), transmission electron microscope (TEM), X-rays fluorescence (XRF), and X-rays diffraction (XRD) on demand. From the results showed that nanostructures materials will be growth. Especially, the materials source which prepared by mixture rice husk ash, coconut shell charcoal and GeO_2 heated at temperature of 1,200 Celsius for 3 hours. Nanofibers, nanowires, nanosphere-chain and nanocoral structured will be observed.

สารบัญเรื่อง

หน้า

บทสรุปผู้บริหาร	ก
กิตติกรรมประกาศ	ข
บทคัดย่อภาษาไทย	ค
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	ง
1. บทนำ	1
1.1 ความสำคัญและที่มาของปัญหา	1
1.2 ทฤษฎีและกรอบคิดของโครงการวิจัย	2
1.3 วัตถุประสงค์และประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	4
1.4 ขอบเขตของโครงการวิจัย	5
2. วิธีดำเนินการวิจัย	6
3. ผลการวิจัย	8
4. อภิปรายผลการวิจัย	121
5. สรุปผลการวิจัย	131
บรรณานุกรม	132
ภาคผนวก	135
ประวัตินักวิจัย	148

สารบัญภาพ

	หน้า
รูปที่ 3.1 ภาพ SEM ของตัวอย่าง 1 หลังเผาที่อุณหภูมิ 1,100 องศาเซลเซียส	11
รูปที่ 3.2 ภาพ SEM ของฐานรองซิลิกอนที่วางด้านล่างได้จากตัวอย่าง 1	11
รูปที่ 3.3 ภาพ SEM ของฐานรองซิลิกอนที่วางด้านล่างได้จากตัวอย่างที่ 1	12
รูปที่ 3.4(a-b) ภาพ SEM ของตัวอย่าง 2 หลังเผาที่อุณหภูมิ 1,200 องศาเซลเซียสในบรรยากาศของก๊าซออกซิเจน	13
รูปที่ 3.5(a-b) ภาพ SEM ของฐานรองซิลิกอนเคลือบทองที่วางตรงข้ามจากตัวอย่าง 2	14
รูปที่ 3.6 ภาพ SEM ของตัวอย่าง 3 หลังเผาที่อุณหภูมิ 1,100 องศาเซลเซียส ในบรรยากาศของอากาศที่ไหลผ่านน้ำกลั่น	14
รูปที่ 3.7 ภาพ SEM ของฐานรองซิลิกอนด้านล่างส่วนผสมตัวอย่าง 3	15
รูปที่ 3.8 ภาพ SEM ของตัวอย่าง 4 หลังเผาที่อุณหภูมิ 1,100 องศาเซลเซียส ในบรรยากาศของอากาศที่ไหลผ่านน้ำกลั่น	15
รูปที่ 3.9 ภาพ SEM ของฐานรองซิลิกอนด้านล่างส่วนผสมตัวอย่าง 4	16
รูปที่ 3.10 ภาพ SEM ตัวอย่าง 5 หลังเผาที่อุณหภูมิ 1,100 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง ในบรรยากาศของอากาศที่ไหลผ่านน้ำกลั่น	16
รูปที่ 3.11 ภาพ SEM ตัวอย่าง 6 เผาที่อุณหภูมิ 1,100 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 ชั่วโมงในบรรยากาศของก๊าซไนโตรเจน	17
รูปที่ 3.12 ภาพ SEM ของฐานรองแผ่นซิลิกอนด้านล่างของตัวอย่าง 6	17
รูปที่ 3.13 ภาพ SEM ของฐานรองแผ่นซิลิกอนที่วางถัดจากตัวอย่าง 7	18
รูปที่ 3.14 ภาพ SEM ของตัวอย่าง 8 เผาที่อุณหภูมิ 1,100 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 ชั่วโมง ในบรรยากาศของอากาศที่ไหลผ่านน้ำกลั่น	18
รูปที่ 3.15 ภาพ SEM ของฐานรองซิลิกอนที่วางด้านล่างของตัวอย่าง 8	19
รูปที่ 3.16 ภาพ SEM ของฐานรองซิลิกอนที่วางถัดจากตัวอย่าง 8	19
รูปที่ 3.17 ภาพ SEM ของตัวอย่าง 9 เผาที่อุณหภูมิ 1,100 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 ชั่วโมง ในบรรยากาศของก๊าซไนโตรเจน	20
รูปที่ 3.18 ภาพ SEM ของฐานรองแผ่นซิลิกอนที่วางด้านล่างตัวอย่าง 9	20
รูปที่ 3.19 ภาพ SEM ของฐานรองซิลิกอนที่วางตรงข้ามกับตัวอย่าง 9	20
รูปที่ 3.20 ภาพ SEM ฐานรองแผ่นซิลิกอน ที่วางถัดจากตัวอย่าง 9	21
รูปที่ 3.21 ภาพ SEM ของตัวอย่าง 10 เผาที่อุณหภูมิ 1,100 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 ชั่วโมง ในบรรยากาศของก๊าซไนโตรเจน	21

รูปที่ 3.22 ภาพ SEM ของฐานรองแผ่นซิลิกอนที่วางด้านล่างตัวอย่าง 10	22
รูปที่ 3.23 ภาพ SEM ฐานรองแผ่นซิลิกอน ที่วางตรงข้ามตัวอย่าง 10	23
รูปที่ 3.24 ภาพ SEM ของตัวอย่าง 11 เพาที่อุณหภูมิ 1,100 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 ชั่วโมง ในบรรยากาศของอากาศที่ไหลผ่านน้ำกลั่น	23
รูปที่ 3.25 ภาพ SEM ของตัวอย่าง 12 เพาที่อุณหภูมิ 1,200 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 ชั่วโมง ในบรรยากาศของก๊าซออกซิเจน	24
รูปที่ 3.26 ภาพ SEM ของตัวอย่าง 13 เพาที่อุณหภูมิ 1,200 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 ชั่วโมง ในบรรยากาศของอากาศที่ไหลผ่านน้ำกลั่น	24
รูปที่ 3.27 ภาพ SEM ของตัวอย่าง 14 เพาที่อุณหภูมิ 1,200 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 ชั่วโมง ในบรรยากาศของก๊าซออกซิเจน	25
รูปที่ 3.28 ภาพ SEM ของฐานรองแผ่นซิลิกอนที่วางถัดจากตัวอย่าง 14	25
รูปที่ 3.29 ภาพ SEM ของฐานรองแผ่นซิลิกอนที่วางตรงข้ามตัวอย่าง 14	26
รูปที่ 3.30 ภาพ SEM ของตัวอย่าง 15 เพาที่อุณหภูมิ 1,100 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 ชั่วโมง ในบรรยากาศของอากาศที่ไหลผ่านน้ำกลั่น	26
รูปที่ 3.31 ภาพ SEM ของตัวอย่าง 16 เพาที่อุณหภูมิ 1,100 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 ชั่วโมง ในบรรยากาศของอากาศที่ไหลผ่านน้ำกลั่น	27
รูปที่ 3.32 ภาพ SEM ของฐานรองแผ่นซิลิกอนที่วางด้านล่างตัวอย่าง 16	27
รูปที่ 3.33 ภาพ SEM ของตัวอย่าง 17 เพาที่อุณหภูมิ 1,100 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 ชั่วโมง ในบรรยากาศของอากาศที่ไหลผ่านน้ำกลั่น	28
รูปที่ 3.34 ภาพ SEM ของตัวอย่าง 18 เพาที่อุณหภูมิ 1,100 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง ในบรรยากาศของอากาศที่ไหลผ่านน้ำกลั่น	28
รูปที่ 3.35 ภาพ SEM ของฐานรองซิลิกอนที่วางถัดจากตัวอย่าง 18	29
รูปที่ 3.36 ภาพ SEM ของตัวอย่าง 19 เพาที่อุณหภูมิ 1,000 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง ในบรรยากาศของอากาศที่ไหลผ่านน้ำกลั่น	29
รูปที่ 3.37 (a-k) ภาพ SEM ของตัวอย่าง 20 เพาที่อุณหภูมิ 1200 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 ชั่วโมง ในบรรยากาศของก๊าซไนโตรเจน	35
รูปที่ 3.38 (a-e) ภาพ SEM ของฐานรองแผ่นซิลิกอนที่วางถัดจากตัวอย่างที่ 20	37
รูปที่ 3.39(a-b) ภาพ SEM ของฐานรองซิลิกอนที่วางท้ายสุดถัดจากตัวอย่าง 20	38
รูปที่ 3.40 ภาพ SEM ของตัวอย่าง 21 เพาที่อุณหภูมิ 1,200 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 ชั่วโมง ในบรรยากาศของอากาศที่ไหลผ่านน้ำกลั่น	39
รูปที่ 3.41 ภาพ SEM ของฐานรองซิลิกอนที่วางตรงข้ามกับตัวอย่าง 21	39
รูปที่ 3.42 (a-b) ภาพ SEM ของตัวอย่าง 22 เพาที่อุณหภูมิ 1,200 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3	40

รูปที่ 3.61 ภาพ TEM ของแผ่นฐานรองซิลิกอนที่วางถัดตัวอย่าง 20 เฟาที่อุณหภูมิ 1,200 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 ชั่วโมงในบรรยากาศของก๊าซไนโตรเจนกำลังขยาย 250k	57
รูปที่ 3.62 ภาพ TEM ของแผ่นฐานรองซิลิกอนที่วางถัดตัวอย่าง 20 เฟาที่อุณหภูมิ 1,200 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 ชั่วโมงในบรรยากาศของก๊าซไนโตรเจนกำลังขยาย 400k	58
รูปที่ 3.63(a-b) ภาพ TEM ของแผ่นฐานรองซิลิกอนที่วางถัดตัวอย่าง 20 เฟาที่อุณหภูมิ 1,200 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 ชั่วโมงในบรรยากาศของก๊าซไนโตรเจนกำลังขยาย 600k	59
รูปที่ 3.64(a-b) ภาพ TEM ของตัวอย่าง 22 เฟาที่อุณหภูมิ 1,200 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 ชั่วโมงในบรรยากาศของก๊าซไนโตรเจนกำลังขยาย 1k	60
รูปที่ 3.65(a-c) ภาพ TEM ของตัวอย่าง 22 เฟาที่อุณหภูมิ 1,200 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 ชั่วโมงในบรรยากาศของก๊าซไนโตรเจนกำลังขยาย 10k	62
รูปที่ 3.66(a-b) ภาพ TEM ของตัวอย่าง 22 เฟาที่อุณหภูมิ 1,200 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 ชั่วโมงในบรรยากาศของก๊าซไนโตรเจนกำลังขยาย 50k	63
รูปที่ 3.67 ภาพ TEM ของตัวอย่าง 22 เฟาที่อุณหภูมิ 1,200 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 ชั่วโมงในบรรยากาศของก๊าซไนโตรเจนกำลังขยาย 250k	63
รูปที่ 3.68 ภาพ TEM ของตัวอย่าง 22 เฟาที่อุณหภูมิ 1,200 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 ชั่วโมงในบรรยากาศของก๊าซไนโตรเจนกำลังขยาย 300k	64
รูปที่ 3.69 ภาพ TEM ของตัวอย่าง 22 เฟาที่อุณหภูมิ 1,200 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 ชั่วโมงในบรรยากาศของก๊าซไนโตรเจนกำลังขยาย 400k	64
รูปที่ 3.70(a-c) ภาพ TEM ของตัวอย่าง 22 เฟาที่อุณหภูมิ 1,200 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 ชั่วโมงในบรรยากาศของก๊าซไนโตรเจนกำลังขยาย 400k	66
รูปที่ 3.71(a-b) ภาพ TEM ของตัวอย่าง 25 เฟาที่อุณหภูมิ 1,050 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 ชั่วโมง กำลังขยาย 25k	67
รูปที่ 3.72 ภาพ TEM ของตัวอย่าง 25 เฟาที่อุณหภูมิ 1,050 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 ชั่วโมง	67
รูปที่ 3.73 ภาพ TEM ของตัวอย่าง 25 เฟาที่อุณหภูมิ 1,050 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 ชั่วโมง กำลังขยาย 100k	68
รูปที่ 3.74(a-d) ภาพ TEM เฟาที่อุณหภูมิ 1,050 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 ชั่วโมง กำลังขยาย 250k	70
รูปที่ 3.75(a-b) ภาพ TEM เฟาที่อุณหภูมิ 1,050 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 ชั่วโมง กำลังขยาย 400k	71
รูปที่ 3.76(a-b) ภาพ stereo microscope ของฐานรองแผ่นซิลิกอนที่วางอยู่ด้านบนตัวอย่าง 20	72
รูปที่ 3.77(a-e) ภาพจากกล้อง stereo microscope ของแผ่นฐานรองซิลิกอนที่เคลือบและไม่ได้เคลือบด้วยทอง	75

รูปที่ 3.78(a-b) ภาพถ่ายจากกล้อง stereo microscope ของฐานรองแผ่นซิลิกอนที่วางถัดจาก ตัวอย่าง 21	76
รูปที่ 3.79(a-e) ภาพถ่ายจากกล้อง stereo microscope ของฐานรองแผ่นซิลิกอนที่วาง ด้านบน ตัวอย่าง 21	78
รูปที่ 3.80(a-d) แสดงกราฟ XRF ในแต่ละช่วงพลังงาน(keV) ของตัวอย่าง 1	79
รูปที่ 3.81(a-f) แสดงกราฟ XRF ในแต่ละช่วงพลังงาน(keV) ของตัวอย่าง 2	81
รูปที่ 3.82(a-f) แสดงกราฟ XRF ในแต่ละช่วงพลังงาน(keV) ของตัวอย่าง 3	82
รูปที่ 3.83(a-f) แสดงกราฟ XRF ในแต่ละช่วงพลังงาน(keV) ของตัวอย่าง 4	84
รูปที่ 3.84(a-e) แสดงกราฟ XRF ในแต่ละช่วงพลังงาน(keV) ของตัวอย่าง	85
รูปที่ 3.85(a-f) แสดงกราฟ XRF ในแต่ละช่วงพลังงาน(keV) ของตัวอย่าง 6	87
รูปที่ 3.86(a-f) แสดงกราฟ XRF ในแต่ละช่วงพลังงาน(keV) ของตัวอย่าง 7	88
รูปที่ 3.87(a-e) แสดงกราฟ XRF ในแต่ละช่วงพลังงาน(keV) ของตัวอย่าง 8	90
รูปที่ 3.88(a-f) แสดงกราฟ XRF ในแต่ละช่วงพลังงาน(keV) ของตัวอย่าง 9	91
รูปที่ 3.89(a-e) แสดงกราฟ XRF ในแต่ละช่วงพลังงาน(keV) ของตัวอย่าง 10	93
รูปที่ 3.90(a-e) แสดงกราฟ XRF ในแต่ละช่วงพลังงาน(keV) ของตัวอย่าง 11	94
รูปที่ 3.91(a-f) แสดงกราฟ XRF ในแต่ละช่วงพลังงาน(keV) ของตัวอย่าง 12	96
รูปที่ 3.92(a-f) แสดงกราฟ XRF ในแต่ละช่วงพลังงาน(keV) ของตัวอย่าง 13	97
รูปที่ 3.93(a-f) แสดงกราฟ XRF ในแต่ละช่วงพลังงาน(keV) ของตัวอย่าง 14	99
รูปที่ 3.94(a-f) แสดงกราฟ XRF ในแต่ละช่วงพลังงาน(keV) ของตัวอย่าง 15	100
รูปที่ 3.95(a-f) แสดงกราฟ XRF ในแต่ละช่วงพลังงาน(keV) ของตัวอย่าง 16	102
รูปที่ 3.96(a-f) แสดงกราฟ XRF ในแต่ละช่วงพลังงาน(keV) ของตัวอย่าง 17	103
รูปที่ 3.97(a-f) แสดงกราฟ XRF ในแต่ละช่วงพลังงาน(keV) ของตัวอย่าง 18	105
รูปที่ 3.98(a-f) แสดงกราฟ XRF ในแต่ละช่วงพลังงาน(keV) ของตัวอย่าง 19	106
รูปที่ 3.99(a-f) แสดงกราฟ XRF ในแต่ละช่วงพลังงาน(keV) ของตัวอย่าง 20	108
รูปที่ 3.100(a-f) แสดงกราฟ XRF ในแต่ละช่วงพลังงาน(keV) ของตัวอย่าง 21	109
รูปที่ 3.101(a-g) แสดงกราฟ XRF ในแต่ละช่วงพลังงาน(keV) ของตัวอย่าง 22	111
รูปที่ 3.102(a-f) แสดงกราฟ XRF ในแต่ละช่วงพลังงาน(keV) ของเก้าอี้เหล็กบรืสุทธิ์ เฝาท่ อุณหภูมิ 1,200 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 ชั่วโมง ในบรรยากาศของก๊าซไนโตรเจนเข้าสู่เตา ทอ ด้วยอัตราการไหล 1 L/min	112
รูปที่ 3.103 แสดงกราฟ XRD ของเก้าอี้เหล็กบรืสุทธิ์ เฝาท่ในบรรยากาศของอากาศที่ไหลผ่านน้ำ กลั่น	114
รูปที่ 3.104 แสดง กราฟ XRD ของเก้าอี้เหล็กบรืสุทธิ์ เฝาท่ในบรรยากาศต่างๆกัน	115

รูปที่ 3.105 แสดงกราฟ XRD ของเส้นแถบผสมถ่านกะลาอัตราส่วน 2:1 ที่เผาในบรรยากาศของอากาศที่ไหลผ่านน้ำกลั่น	115
รูปที่ 3.106 แสดงกราฟ XRD ของเส้นแถบผสมถ่านกะลาอัตราส่วน 3:1 เผาในบรรยากาศของอากาศที่ไหลผ่านน้ำกลั่น	116
รูปที่ 3.107 แสดงกราฟ XRD ของเส้นแถบผสมถ่านกะลาอัตราส่วน 4:1 เผาในบรรยากาศของอากาศที่ไหลผ่านน้ำกลั่น	116
รูปที่ 3.108 แสดงกราฟ XRD ของเส้นแถบผสมถ่านกะลาอัตราส่วน 5:1 เผาในบรรยากาศของอากาศที่ไหลผ่านน้ำกลั่น	117
รูปที่ 3.109 แสดงกราฟ XRD ของเส้นแถบผสมถ่านกะลาอัตราส่วน 5:1 เผาในบรรยากาศของก๊าซไนโตรเจน	117
รูปที่ 3.110 แสดงกราฟ XRD ของเส้นแถบผสมแกรไฟท์ อัตราส่วน 2:1 เผาในบรรยากาศของอากาศที่ไหลผ่านน้ำกลั่น	118
รูปที่ 3.111 แสดงกราฟ XRD ของเส้นแถบผสมแกรไฟท์ อัตราส่วน 4:1 เผาในบรรยากาศของไนโตรเจนและอากาศที่ไหลผ่านน้ำกลั่น	118
รูปที่ 3.112 แสดงกราฟ XRD ของเส้นแถบผสม GeO_2 อัตราส่วน 5:1 เผาในบรรยากาศของไนโตรเจนและอากาศที่ไหลผ่านน้ำกลั่น	119
รูปที่ 3.113 แสดงกราฟ XRD ของเส้นแถบผสมถ่านกะลาและ ZnO อัตราส่วน 2:1:1 เผาในบรรยากาศของอากาศที่ไหลผ่านน้ำกลั่น	119
รูปที่ 3.114 แสดงกราฟ XRD ของเส้นแถบผสมถ่านกะลาและ GeO_2 อัตราส่วน 5:1:1 เผาในบรรยากาศต่าง ๆ	120
รูปที่ 3.115 แสดงกราฟ XRD ของเส้นแถบผสมแกรไฟท์และ GeO_2 อัตราส่วน 5:1:1 เผาในบรรยากาศของก๊าซไนโตรเจน ก๊าซออกซิเจน และอากาศที่ไหลผ่านน้ำกลั่น	120

1. บทนำ

1.1 ความสำคัญและที่มาของปัญหา

ประเทศไทยเป็นประเทศเกษตรกรรม มีผลผลิตที่เหลือทิ้งทางการเกษตร อย่างมากมาย ผลผลิตที่เหลือทิ้งดังกล่าวหากไม่สามารถนำมาใช้ประโยชน์ได้อีกจะเป็นการสูญเสียไปอย่างสิ้นเชิง ตัวอย่างเช่น แกลบข้าวเป็นวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตร ประโยชน์ส่วนใหญ่จะนำมาเผาแล้วนำไปผสมดินเพื่อใช้สำหรับเตรียมดินในแปลงเพาะชำพืชต่างๆ องค์ประกอบส่วนใหญ่ของแกลบข้าวจะประกอบไปด้วยซิลิกอนไดออกไซด์ (SiO_2) หรือซิลิกาประมาณ 20-25% และสารอินทรีย์ประเภทเซลลูโลส 75-80 % เมื่อนำแกลบข้าวไปเผาจะได้เถ้าแกลบซึ่งประกอบด้วยซิลิกอนไดออกไซด์ ประมาณ 80-90% หรือมากกว่านั้นหากผ่านกระบวนการทำให้บริสุทธิ์สูง ซิลิกอนไดออกไซด์ที่ได้จากเถ้าแกลบที่มีความบริสุทธิ์สูง จะเป็นสารตั้งต้นสำหรับการเตรียมซิลิกอนที่ใช้ในการทำเซลล์แสงอาทิตย์ เมื่อนำซิลิกอนมารวมกับสารกึ่งตัวนำบางชนิดจะทำให้เกิดเป็นวัสดุเทอร์โมอิเล็กทริก สามารถใช้เป็นแหล่งผลิตพลังงานไฟฟ้าได้ การเปลี่ยนแปลงพลังงานความร้อนเป็นพลังงานไฟฟ้าเกิดจากปรากฏการณ์ซีเบค (Seebeck effect) และปรากฏการณ์เพลเทียร์ (Peltier effect) ซึ่งผันกลับจากไฟฟ้าเป็นความร้อนโดยกระแสอิเล็กตรอน นอกจากนี้เถ้าซิลิกา (rice husk ash silica) ที่ได้จากแกลบข้าวจะมีองค์ประกอบแตกต่างกันไปตามแหล่งเพาะปลูกข้าว องค์ประกอบที่แตกต่างกันซึ่งเป็นส่วนผสมในเถ้าซิลิกาดังกล่าว อาจเป็นสาเหตุสำคัญที่ทำให้สมบัติหลายอย่างของเถ้าซิลิกาเกิดขึ้นหรือเปลี่ยนแปลงไปเช่นสมบัติทางฟิสิกส์ ทางเคมี หรือโครงสร้าง วัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรที่สำคัญอีกประเภทก็คือ กะลามะพร้าวเมื่อนำมาเผาที่อุณหภูมิประมาณ 400-500 องศาเซลเซียสในบรรยากาศของก๊าซเฉื่อย จะได้ปริมาณคาร์บอนคงตัวมากกว่า 70% ถ่านคาร์บอนจากกะลามะพร้าวในขณะที่เผาเมื่อผ่านไอน้ำอุณหภูมิสูงจะทำให้มีสภาพเป็นถ่านกัมมันต์ (activated carbon) ซึ่งมีประโยชน์สำหรับเป็นตัวดูดซับ หรือกรองสาร การสังเคราะห์วัสดุนาโนบางชนิดสามารถนำคาร์บอนมาใช้เป็นตัวกระตุ้นปฏิกิริยา

SiO_2 เป็นสารที่มีอยู่เป็นจำนวนมากบนโลก นำมาใช้ทำประโยชน์อย่างมากมาย เช่น อุตสาหกรรมแก้ว หรือกระจก หรือใช้เป็นส่วนผสมในโครงสร้างของวัสดุต่างๆ สมบัติที่สำคัญอีกประการหนึ่งก็คือ สมบัติทางแสง ซึ่งมีความสำคัญมากต่องานด้านการสื่อสารคมนาคม เทคโนโลยีสารสนเทศ อิเล็กทรอนิกส์ หรือคอมพิวเตอร์ เป็นต้น ในปัจจุบันนี้ศาสตร์ทางด้านนาโนกำลังก้าวเข้ามามีบทบาทต่อวิทยาการสมัยใหม่ นาโนเทคโนโลยีกำลังเข้ามาสู่ชีวิตประจำวันของมนุษย์ การ

พัฒนางานทางด้านนี้ ถือเป็นส่วนสำคัญต่อการพัฒนาประเทศที่จะสามารถแข่งขันและทันต่อการเปลี่ยนแปลงของโลกได้

SiO_x nanomaterials เช่น nanoparticle, nanowires, หรือ nanorods มีความเป็นไปได้ในการสังเคราะห์ขึ้นจากแกลบข้าว ประโยชน์ที่ได้จาก SiO_x nanomaterials อาจนำไปประยุกต์ใช้ทางด้าน optical electronics และ electronics quantum device หรือ electronics computer หรือวัสดุจำพวก nano-smart materials ซึ่งเป็นการเพิ่มประสิทธิภาพและคุณค่าต่องานทางวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีอย่างมหาศาล จากประโยชน์ดังกล่าวการศึกษาการสังเคราะห์วัสดุนาโนจากเถ้าแกลบโดยใช้ถ่านคาร์บอนจากกระละมะพร้าวเป็นตัวกระตุ้นปฏิกิริยา จะเป็นประโยชน์และเป็นการเพิ่มมูลค่าให้กับวัสดุเหลือทิ้งในประเทศได้อย่างมากมาย นอกจากนี้ยังใช้เป็นแนวทางการพัฒนาวัสดุเหลือทิ้งชนิดอื่นได้อีกด้วย และสิ่งสำคัญยิ่งอีกประการก็คือเป็นการรักษาสมดุลของสภาพแวดล้อม เพราะวัสดุที่นำมาใช้สังเคราะห์เป็นวัสดุที่ได้มาจากผลผลิตที่เกิดตามธรรมชาติอยู่แล้วนั่นเอง

1.2 ทฤษฎีและกรอบคิดของโครงการวิจัย

แกลบข้าวหรือเปลือกข้าวซึ่งได้จากการสีข้าวในสมัยก่อน ถือเป็นวัสดุที่เหลือทิ้งทางการเกษตร ในแต่ละปีจะมีแกลบข้าวหลังการสีข้าวประมาณมากกว่า 4.5 ล้านตัน คิดเป็นเงินมากกว่า 1,000 ล้านบาท แกลบข้าวบางส่วนถูกนำมาใช้ประโยชน์ในการเตรียมดินสำหรับเพาะข้าพืช ทำเชื้อเพลิง ผสมดินทำเป็นอิฐก่อสร้าง หรือส่วนผสมของซีเมนต์บางชนิด บางส่วนนำไปใช้ในอุตสาหกรรมบางประเภท และมีบางส่วนที่ถูกทิ้งไปโดยเปล่าประโยชน์เป็นจำนวนมาก โดยทั่วไปแล้วแกลบข้าวหรือเปลือกข้าวจะประกอบด้วยซิลิกอนไดออกไซด์ (SiO_2) หรือซิลิกา ประมาณ 15-20% โดยน้ำหนัก เมื่อนำไปเผาจะได้เถ้าแกลบที่ประกอบด้วยซิลิกอนไดออกไซด์มากกว่า 95% ของน้ำหนัก [Lee and Cultler 1975] นอกจากนี้แกลบข้าว ยังประกอบไปด้วยสารอินทรีย์และสิ่งเจือปนโลหะหรือออกไซด์โลหะจำพวก Ca, Mg, Mn, Fe และ Al, Cu, Na, B และอื่นๆ อีกในปริมาณน้อยมาก องค์ประกอบเหล่านี้ของแกลบข้าวอาจขึ้นอยู่กับสภาพท้องถิ่น และการเพาะปลูกแบบต่างๆ การลดปริมาณสิ่งเจือปนโลหะสามารถกระทำได้หลายวิธี เช่น ล้าง แช่ว หรือ ต้มแกลบข้าวด้วยกรดไฮโดรคลิก แล้วล้างด้วยน้ำกลั่น เมื่อนำแกลบที่ผ่านกระบวนการดังกล่าวไปเผาจะได้ เถ้าซิลิกาที่มีความบริสุทธิ์สูง [Amick 1982] ซึ่งมีประโยชน์อย่างมากในอุตสาหกรรมเซมิคอนดักเตอร์โดยเฉพาะถ้าทำให้ซิลิกอนไดออกไซด์เปลี่ยนแปลงให้อยู่ในรูปของ ธาตุซิลิกอน (Si) บริสุทธิ์ เช่น ที่ใช้สำหรับผลิตเซลล์สุริยะ (solar-grade silicon) [Hunt et al. 1984] การผลิตธาตุซิลิกอนเชิงซ้อนที่มีความบริสุทธิ์สามารถทำได้โดยกระบวนการที่เรียกว่า metallothermic process เช่น ใช้เผาพร้อมกับโลหะแมกนีเซียม หรือแคลเซียม [Mishra et al. 1985] แกลบที่เผาด้วยกระบวนการ pyrolysis ในบรรยากาศที่ปราศจากก๊าซออกซิเจนจะทำให้ได้วัสดุที่มีคุณค่าอย่างมากมาย เช่น Si_3N_4 , SiCl_4 , หรือ

SiC เป็นต้น [Liou et al. 1996] แก้วเคลือบที่ถูกนำมาต้มในสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ ความเข้มข้น 1N นาน 1 ชั่วโมง สารละลายที่ได้จะเป็นสารละลายของโซเดียมซิลิเกต [Kalapathy et al. 2000] แก้วซิลิกาที่อุณหภูมิ 573 K จะถูกนำมาใช้เป็นตัวดูดซับสารละลายเกลือกำมะถันยูเรียที่มีแร่ทองคำเป็นองค์ประกอบ [Chandrasekhar et al. 2003] แก้วที่ผ่านการต้มด้วยกรดไฮโดรคลอริกความเข้มข้น 4-12 N อุณหภูมิประมาณ 100 องศาเซลเซียส เวลา 1-12 ชั่วโมง เมื่อนำไปเผาที่อุณหภูมิต่ำกว่า 700 องศาเซลเซียสเพื่อหลีกเลี่ยงจากการเปลี่ยนโครงสร้างจากออสเทนไนต์เป็นเฟลิก จะได้แก้วเคลือบที่มีปริมาณซิลิกอนไดออกไซด์ประมาณมากกว่า 99% [Patel et al. 1987] การเผาที่อุณหภูมิต่ำกว่า 700 องศาเซลเซียสแสดงให้เห็นว่ากรดไม่มีผลกระทบต่อโครงสร้างของซิลิกอนไดออกไซด์ที่ได้จากแก้วเคลือบ [Chakraverty et al. 1988] แก้วที่ผ่านการแช่ด้วยสารละลายกรดไฮโดรคลอริก 12% นาน 2 ชั่วโมง แล้วล้างออกด้วยน้ำกลั่น อบให้แห้งที่อุณหภูมิประมาณ 110 องศาเซลเซียสในเตาอบ จากนั้นนำไปเผาที่อุณหภูมิ 600 องศาเซลเซียส ภายใต้บรรยากาศของก๊าซเฉื่อย หลังจากนั้นทำการเผาในบรรยากาศของก๊าซออกซิเจน เพื่อกำจัดคาร์บอนที่ยังเหลืออยู่ด้วยอุณหภูมิเดียวกัน ขนาดของอนุภาคซิลิกอนไดออกไซด์ที่ได้จากแก้วเคลือบ จะมีลักษณะเป็นอนุภาคนาโนที่มีการกระจายตัวอย่างต่อเนื่องสม่ำเสมอและโมเลกุลมีโครงสร้างแบบออสเทนไนต์ [Real et al. 1996] แก้วที่ผ่านการต้มด้วยกรดไฮโดรคลอริก 2.4M หรือ กรดซัลฟูริก นาน 3 ชั่วโมง หรือแช่ในสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ 1M นาน 24 ชั่วโมง แล้วนำไปเผาเป็นแก้วเคลือบ โครงสร้างของแก้วซิลิกาจะมีลักษณะเป็นชั้นซับซ้อนแต่ละหน่วย มีขนาดน้อยกว่า 100 nm [Conradt et al. 1992]

SiO_x nanowires 1 มิติ ในปัจจุบันกำลังมีศักยภาพเป็นที่น่าดึงดูดใจของนักวิทยาศาสตร์ ทั้งนี้ก็เนื่องมาจากสมบัติทางแสงที่โดดเด่นมาก การปลดปล่อยแสงสีน้ำเงินที่มีความสว่างและคงที่ของ SiO_x nanowires ถูกนำมาใช้เป็นแหล่งกำเนิดแสงที่มีความเข้มสูง ใช้เป็นหัววัดทางแสง (near-field optical microscope probes) หรือใช้เป็นคลื่นนำ (waveguides) เป็นต้น [Li et al. 2004] ซิลิกอนไดออกไซด์ที่มีขนาดโครงสร้างนาโน เมื่อเจือด้วย ดิสโพรเซียมไอออน (Dy³⁺) และ อลูมิเนียมไอออน (Al³⁺) จะกลายเป็นวัสดุเรืองแสง (photoluminescence) ที่ปลดปล่อยแสงสีเขียวเหลือง [Li et al. 1999] มิติและขนาดของโครงสร้างนาโนจะมีบทบาทสำคัญมากต่อสมบัติทางแสงทางไฟฟ้า และทางกล ซึ่งสมบัติดังกล่าวของวัสดุนาโนจะถูกนำไปใช้ในงานทางด้านนาโนอิเล็กทรอนิกส์ หรืออุปกรณ์ควอนตัม (quantum devices) [Meng et al. 1998, 1999]

การพัฒนาโครงสร้างนาโนของวัสดุก่อให้เกิดคำถามที่เพิ่มขึ้นอย่างมากมาว่าทำไม สมบัติต่างๆ ของวัสดุจึงเปลี่ยนแปลงไปเมื่อลดขนาดโครงสร้างจากระดับไมโครสเกล (10⁶ เมตร) ลงสู่ระดับนาโนสเกล (10⁹ เมตร) เช่น มีค่าความเครียดเชิงกลสูงขึ้น (mechanical strength) การกระจายแสงเพิ่มขึ้น ค่าความร้อนจำเพาะสูงขึ้น และสภาพทางไฟฟ้าหรือแม่เหล็กเปลี่ยนไป เมื่อเปรียบเทียบกับวัสดุเดิมของตัวเอง การศึกษาค้นคว้าวิจัยทางด้านวัสดุนาโนต้องใช้ความพยายามสูง มีความเกี่ยวข้องกันในหลายๆ สาขาวิชา รวมทั้งปฏิสัมพันธ์ของนักวิจัยในสาขาต่างๆ เช่น ฟิสิกส์

เคมี วิศวกรรมศาสตร์ และวัสดุศาสตร์ หรือแม้กระทั่งชีววิทยา และการแพทย์ งานวิจัยวิทยาศาสตร์พื้นฐานของวัสดุนาโน เป็นสิ่งสำคัญที่นักวิทยาศาสตร์ให้ความสนใจอย่างมาก ทั้งนี้เนื่องจากศักยภาพของวัสดุนาโนที่มีประโยชน์อย่างมากมาในทางอุตสาหกรรมหลายประเภท การสังเคราะห์วัสดุที่มีความบริสุทธิ์สูง หรือการเพิ่มคุณค่าทางเศรษฐกิจและสภาพแวดล้อม เทคโนโลยีสำหรับเตรียมอนุภาคหรือวัสดุนาโนมีหลากหลายแนวทาง เช่น เตรียมจากกระบวนการไอระเหย เตรียมจากของเหลวหรือของแข็ง การสังเคราะห์อนุภาคนาโนโดยเทคนิคไอระเหยสามารถเตรียมได้หลายวิธี อาจเตรียมจากการเคลือบ หรือตกตะกอนไอระเหยทางฟิสิกส์(physical vapor deposition, PVD) การเคลือบหรือตกตะกอนไอระเหยทางเคมี(chemical vapor deposition, CVD) กระบวนการเตรียมอนุภาคนาโนจากของเหลวจะเกี่ยวข้องกับวิธีการโซลเจล(sol-gel) และสารละลายเคมี กระบวนการเตรียมอนุภาคนาโนจากของแข็งสามารถเตรียมจากการบด การขัดสี หรือการสังเคราะห์ทางเคมีเชิงกล(mechanochemical) แต่ละวิธีที่กล่าวถึงจะมีประโยชน์และข้อบกพร่องเป็นลักษณะเฉพาะที่แตกต่างกันไป[Tjong and Chen. 2004]

การเตรียม SiO_x nanowires โดยทั่วไปแล้วสามารถดำเนินการได้ 2 แบบ คือ ใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา(catalyst-based) และไม่ใช่ตัวเร่งปฏิกิริยา(non-catalyst-based) การเตรียมโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยามีวัสดุหลายชนิดที่สามารถนำมาใช้ได้ เช่น ทองคำ เหล็ก โคบอลต์ นิกเกิล เจอร์มาเนียม และธาตุอัลลอยชนิดอื่น แต่ SiO_2 nanoflowers สามารถเตรียมได้จากการนำส่วนผสมระหว่าง ซิลิกอนคาร์ไบด์และโคบอลต์ ไปเผาที่อุณหภูมิประมาณ 1,500 องศาเซลเซียส ในบรรยากาศของก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ และในรายงานของ Li และคณะ[Li et al. 2004] เมื่อเผาส่วนผสมระหว่างผงซิงค์ออกไซด์กับผงแกรไฟท์ซึ่งใส่อยู่ในถ้วยควอทซ์ในบรรยากาศของก๊าซอาร์กอน ที่อุณหภูมิระหว่าง 900-1,100 องศาเซลเซียส จะสามารถสังเคราะห์ SiO_x nanowires บนฐานรองซึ่งเป็นแผ่นซิลิกอนที่เคลือบด้วยฟิล์มทองคำ ที่วางอยู่ใกล้เคียงกันในหลอดแก้วควอทซ์ของเตาแบบท่อได้ สำหรับการเตรียม Silicon-Based nanostructured บนฐานรองแผ่นซิลิกอนกระทำโดยกระบวนการระเหยไอของผง SiO และ SiO_2 ที่อุณหภูมิ 1,350 องศาเซลเซียส ในบรรยากาศของก๊าซไฮโดรเจนผสมกับอาร์กอน [Pan et al. 2001] SiO_2 nanospring ยังสามารถสังเคราะห์ได้โดยกระบวนการตกตะกอนไอเคมี(chemical vapor deposition)[Zhang et al. 2003] นอกจากนี้ SiO_x nanowires และ SiO_x nanorods สามารถสังเคราะห์ขึ้นจากกระบวนการระเหยส่วนผสมระหว่างผงซิงค์ออกไซด์และแกรไฟท์ อัตราส่วน 1: 4 บนฐานรองแผ่นซิลิกอน ด้วยความร้อนอุณหภูมิ 1000 องศาเซลเซียส ในบรรยากาศของก๊าซอาร์กอนและก๊าซออกซิเจน[Pukird et al. 2005]

1.3 วัตถุประสงค์ ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับของโครงการวิจัย

วัตถุประสงค์ของโครงการวิจัย

สังเคราะห์วัสดุนาโนจากถ้ำเกลือ

ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับของโครงการวิจัย

1. ทราบวิธีการสังเคราะห์วัสดุนาโน จากแผ่นเคลือบ
2. สามารถสังเคราะห์วัสดุนาโนจากแผ่นเคลือบเพื่อนำไปใช้ประโยชน์ในงานที่เกี่ยวข้องได้
3. เพิ่มมูลค่าและคุณค่าของวัสดุที่เหลือทิ้งทางการเกษตรได้
4. เป็นแนวทางพัฒนาอุตสาหกรรมและเทคโนโลยีที่เกี่ยวข้อง หรือการผลิตเพื่อการค้า
เช่น optical electronics, electronics quantum device, electronics computer หรือ nano-smart materials

1.4 ขอบเขตของโครงการวิจัย

1. เตรียมแผ่นเคลือบที่มีปริมาณซิลิกอนไดออกไซด์สูงจากเคลือบข้าว
2. เตรียมถ่านที่มีปริมาณคาร์บอนสูงจากกะลามะพร้าวเพื่อใช้เป็นตัวกระตุ้นปฏิกิริยา
3. ทำการสังเคราะห์วัสดุนาโนจากแผ่นเคลือบ ผ่านกระบวนการ thermal evaporation ในบรรยากาศต่างๆ
4. ศึกษารูปแบบการเกิดของวัสดุนาโน ชนิดต่างๆ โดยเครื่อง SEM, TEM หรือ AFM
5. ศึกษาเงื่อนไขที่เหมาะสมในการสังเคราะห์วัสดุนาโน รูปแบบต่างๆ
6. ศึกษาการใช้ประโยชน์จากวัสดุนาโนที่ทำการสังเคราะห์ได้

2. วิธีดำเนินการวิจัย

2.1 วัสดุและสารเคมี

1. แกลบข้าว
2. กะลามะพร้าว
3. สารละลายกรด HCl, H_2SO_4 , HNO_3
4. น้ำกลั่น
5. แกรไฟท์
6. ก๊าซ N_2 , O_2

2.2 อุปกรณ์และเครื่องมือ

1. ถ้วยเผาสาร
2. Alumina crucible
3. Ball mill
4. เตาเผาอุณหภูมิสูง
5. เครื่องวัดอุณหภูมิและความชื้น
6. เครื่องอัด hydraulic press
7. ปืนอากาศ
8. Image analyzer (stereo microscope) เครื่อง OLYMPUS, SZX9
9. X-ray diffraction (XRD) เครื่อง Phillips, X-Pert
10. Wave length Dispersive X-ray fluorescent (WDXRF) เครื่อง Phillips, MagiX
11. Scanning electron microscope (SEM) เครื่อง JEOL 6400
12. Transmission electron microscope (TEM) เครื่อง JEOL JMS-5410LV

2.3 การเตรียมวัสดุและวิธีดำเนินการวิจัย

1. เตรียมแก้วเคลือบที่มีปริมาณ SiO_2 บริสุทธิ์สูงมากกว่า 99% โดยวิธีของ Amick และคณะ [Amick et al. 1982], Hunt และคณะ [Hunt et al. 1984] และ Chakraverty และคณะ [Chakraverty et al. 1988] โดยมีกระบวนการดังนี้ แช่วและต้มเคลือบข้าวในสารละลายกรดไฮโดรคลอริก กรองและล้างด้วยน้ำกลั่น อบให้แห้งแล้วนำไปเผาในบรรยากาศของก๊าซออกซิเจน จะได้แก้วเคลือบที่มีปริมาณของซิลิกอนไดออกไซด์ที่มีความบริสุทธิ์สูง ความบริสุทธิ์ของซิลิกอนไดออกไซด์ในแก้วเคลือบเปลี่ยนแปลงตามความเข้มข้นของสารละลายกรด ระยะเวลาและอุณหภูมิที่ใช้ในกระบวนการ

2. เผาอะลูมิเนียมฟอยล์ในบรรยากาศของก๊าซไนโตรเจน ด้วยอุณหภูมิประมาณ 400-500 องศาเซลเซียส จะได้แผ่นอะลูมิเนียมที่มีปริมาณคาร์บอนคงตัวเป็นองค์ประกอบหลัก นำไปบดให้ละเอียดด้วยลูกบดลูมินาแล้วนำมาแช่ในสารละลายกรดไฮโดรคลอริก ความเข้มข้น 1 โมลาร์ นำไปกรองแล้วล้างด้วยน้ำกลั่นหลาย ๆ ครั้ง อบให้แห้ง นำไปวิเคราะห์หาปริมาณเปอร์เซ็นต์ของคาร์บอนในแผ่นอะลูมิเนียม หากปริมาณเปอร์เซ็นต์ของคาร์บอนที่ได้ค่อนข้างต่ำอาจจัดหาแผ่นคาร์บอนที่มีเปอร์เซ็นต์สูงจากบริษัทที่จัดจำหน่าย

3. นำแก้วซิลิกาและแผ่นคาร์บอนมาบดผสมกันด้วยอัตราต่าง ๆ กัน แล้วนำไปเผาที่อุณหภูมิต่าง ๆ กัน ในบรรยากาศต่าง ๆ เช่น ก๊าซไนโตรเจน ก๊าซออกซิเจน ไอน้ำ อื่นๆ หรือผสมผสานกัน บางครั้งอาจเจือสารอื่นๆ เพื่อเร่งปฏิกิริยา หรือวิธีการอื่นเพื่อหาเงื่อนไขการเกิดขึ้นของโครงสร้างนาโน

4. นำแต่ละตัวอย่างที่ได้ไปตรวจสอบด้วยเครื่อง Image analyzer, SEM, TEM, XRD และ WDXRF เพื่อวิเคราะห์การเกิดขึ้นของวัสดุนาโนจากแก้วเคลือบ

5. วิเคราะห์ผลที่ได้จากการตรวจสอบด้วยเครื่องชนิดต่างๆ จำแนกประเภทของวัสดุนาโนที่เตรียมได้

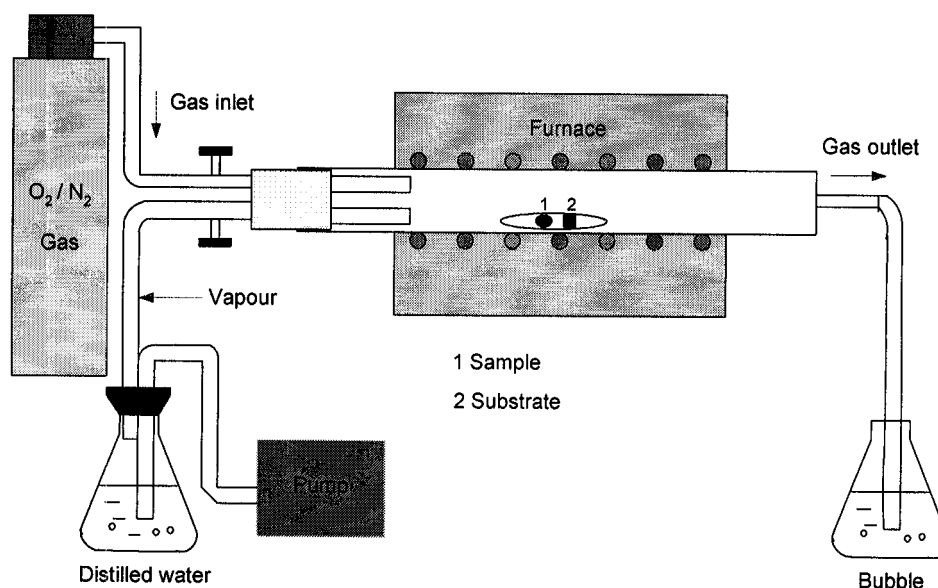
6. ตรวจสอบยืนยันผลการวิเคราะห์ในแต่ละวิธีที่ทำให้เกิดการสังเคราะห์วัสดุนาโนประเภทต่างๆ

7. สรุปวิธีการและเงื่อนไขที่เหมาะสมสำหรับการสังเคราะห์วัสดุนาโนจากแก้วเคลือบ

8. ศึกษาแนวทาง หรือ กระบวนการที่จะนำวัสดุนาโนจากแก้วเคลือบไปประยุกต์ใช้ประโยชน์

3. ผลการวิจัย

การดำเนินการวิจัยได้ดำเนินการติดตั้งชุดเครื่องมือและอุปกรณ์การวิจัย แสดงดังรูปที่ 3.1 หมายเลข 1 และ 2 แสดงตำแหน่งของตัวอย่าง (materials source) และฐานรอง (silicon substrate) ตามลำดับ ก่อนที่ก๊าซ หรืออากาศจะไหลเข้าสู่เตาท่อ จะมีวาล์ว และเกจวัดอัตราการไหล เพื่อควบคุมอัตราการไหลเข้าสู่ท่อควอทซ์ สำหรับด้านปลายท่อที่ก๊าซไหลออก จะมีท่อสายยางต่อและจุ่มลงในน้ำเพื่อตรวจสอบการไหลออก เตาท่อ (furnace tube) จะมีชุดควบคุมอุณหภูมิให้เป็นไปตามที่กำหนด



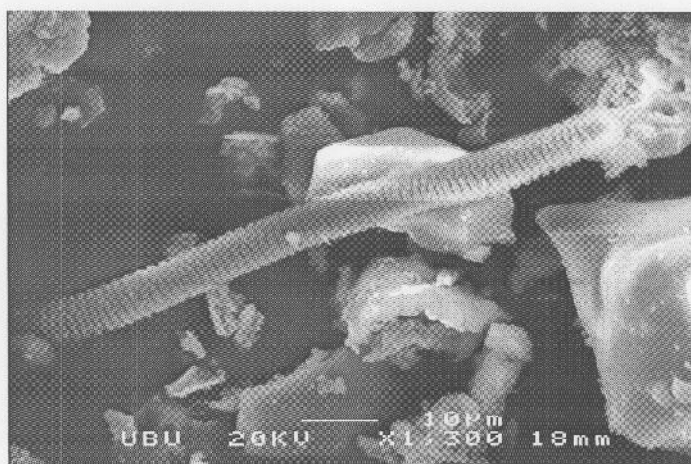
รูปที่ 3.1 แผนภาพแสดงชุดอุปกรณ์ดำเนินการวิจัย

ในการเตรียมตัวอย่างการวิจัยจะเตรียมแก้วเคลือบที่มีความบริสุทธิ์ จากการวิเคราะห์ด้วยเครื่อง XRF แก้วเคลือบจะมีปริมาณของ SiO_2 98.79%, P_2O_5 1.06% และ CaO 0.15% และถ่านกะลามะพร้าว ซึ่งจากการวิเคราะห์ด้วยเครื่อง EDX จะพบปริมาณของธาตุ C 77.62%, O_2 21.28% K 0.74% และ Si 0.36% เป็นสารตั้งต้น โดยตัวอย่างการวิจัยจะเตรียมในสถานะเงื่อนไข ต่างๆ แสดงดังตารางที่ 3.1

	บรรยากาศของก๊าซออกซิเจนที่ไหลเข้าสู่เตาที่ด้วยอัตราการไหล 1 L/min
15	เส้นแถบบริสุทธิ์ผสม GeO_2 อัตราส่วน 5:1 เตาที่อุณหภูมิ 1100 °C เวลา 3 ชม ในบรรยากาศของอากาศที่ไหลผ่านน้ำกลั่นเข้าสู่เตาที่ด้วยอัตราการไหล 5 L/min
16	เส้นแถบบริสุทธิ์ผสม GeO_2 อัตราส่วน 5:1 เตาที่อุณหภูมิ 1200 °C เวลา 3 ชม ในบรรยากาศของก๊าซไนโตรเจนที่ไหลเข้าสู่เตาที่ด้วยอัตราการไหล 1 L/min
17	เส้นแถบบริสุทธิ์ผสมถ่านกะลาและ ZnO อัตราส่วน 2:1:1 เตาที่อุณหภูมิ 1000 °C เวลา 1 ชม ในบรรยากาศของก๊าซไนโตรเจนที่ไหลเข้าสู่เตาที่ด้วยอัตราการไหล 1 L/min
18	เส้นแถบบริสุทธิ์ผสมถ่านกะลาและ ZnO อัตราส่วน 2:1:1 เตาที่อุณหภูมิ 1100 °C เวลา 2 ชม ในบรรยากาศของอากาศที่ไหลผ่านน้ำกลั่นเข้าสู่เตาที่ด้วยอัตราการไหล 5 L/min
19	เส้นแถบบริสุทธิ์ผสมถ่านกะลาและ GeO_2 อัตราส่วน 3:2:2 เตาที่อุณหภูมิ 1000 °C เวลา 2 ชม ในบรรยากาศของอากาศที่ไหลผ่านน้ำกลั่นเข้าสู่เตาที่ด้วยอัตราการไหล 5 L/min
20	เส้นแถบบริสุทธิ์ผสม GeO_2 และถ่านกะลา อัตราส่วน 5:1:1 เตาที่อุณหภูมิ 1200 °C เวลา 3 ชม ในบรรยากาศของก๊าซไนโตรเจนที่ไหลเข้าสู่เตาที่ด้วยอัตราการไหล 1 L/min
21	เส้นแถบบริสุทธิ์ผสม GeO_2 และ แกรไฟท์ อัตราส่วน 5:1:1 เตาที่อุณหภูมิ 1200 °C เวลา 3 ชม ในบรรยากาศของอากาศที่ไหลผ่านน้ำกลั่นเข้าสู่เตาที่ด้วยอัตราการไหล 5 L/min
22	เส้นแถบบริสุทธิ์ผสม GeO_2 และ แกรไฟท์ อัตราส่วน 5:1:1 เตาที่อุณหภูมิ 1200 °C เวลา 3 ชม ในบรรยากาศของก๊าซไนโตรเจนเข้าสู่เตาที่ด้วยอัตราการไหล 1 L/min
23	เส้นแถบบริสุทธิ์ผสม GeO_2 และ แกรไฟท์ อัตราส่วน 5:1:1 เตาที่อุณหภูมิ 1200 °C เวลา 3 ชม ในบรรยากาศของก๊าซออกซิเจนที่ไหลเข้าสู่เตาที่ด้วยอัตราการไหล 5 L/min
24	เส้นแถบบริสุทธิ์ผสมถ่านกะลาและอะลูมิเนียม อัตราส่วน 2:1:1 เตาที่อุณหภูมิ 1050 °C เวลา 3 ชม ในเตาที่ไม่มีกระแสไหลเวียนของก๊าซหรืออากาศ

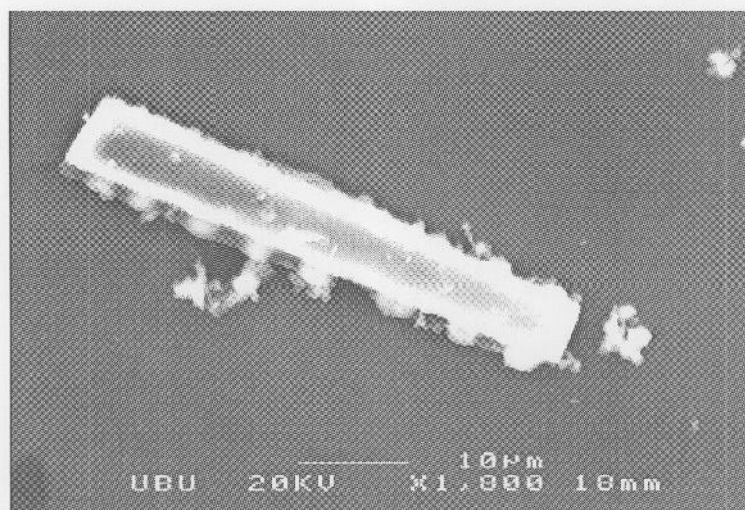
3.1 การถ่ายภาพวัสดุตัวอย่างที่เตรียมได้ โดยเครื่อง Scanning Electron Microscope (SEM)

เมื่อนำวัสดุตัวอย่าง(ตัวอย่าง 1) ที่เตรียมได้จากเส้นใยแก้วที่เคลือบด้วยอนุภาคซิลิกา 1,100 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง ในบรรยากาศของอากาศที่ไหลผ่านน้ำกลั่นเข้าสู่เตาท่อ(เพื่อให้แรงดันอากาศพาโมเลกุลของน้ำเข้าสู่ท่อ อาจเรียกว่าเป็นไอน้ำผสมอากาศ) ด้วยอัตราการไหลของอากาศ 5 L/min หลังจากปล่อยให้เตาเย็นลงสู่อุณหภูมิห้อง พบว่าวัสดุที่ได้มีลักษณะสีขาว เมื่อนำไปถ่ายด้วย SEM จะได้ลักษณะภาพดังรูปที่ 3.1



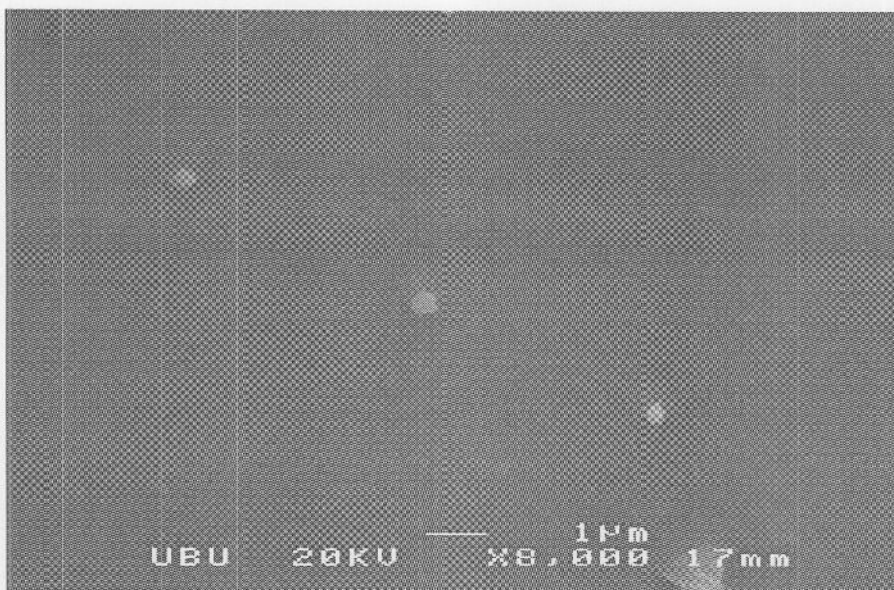
รูปที่ 3.1 ภาพ SEM ของตัวอย่าง 1 หลังเผาที่อุณหภูมิ 1,100 องศาเซลเซียส ในบรรยากาศของอากาศที่ไหลผ่านน้ำ

นำฐานรองรับแผ่นซิลิกอน (Si wafer substrate) ที่วางด้านล่างตัวอย่าง 1 ไปถ่ายด้วย SEM จะได้ลักษณะภาพดังรูปที่ 3.2



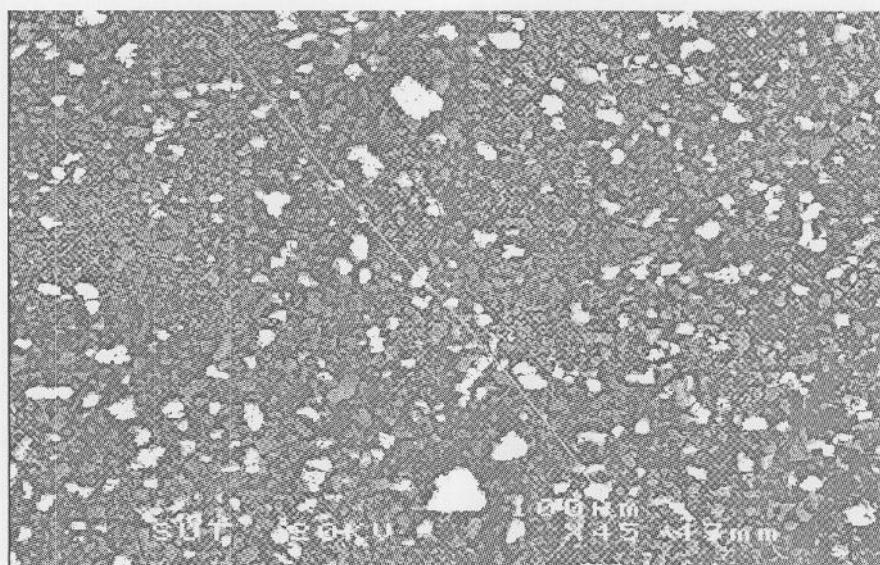
รูปที่ 3.2 ภาพ SEM ของฐานรองรับซิลิกอนที่วางด้านล่างตัวอย่าง 1

นำฐานรองแผ่นซิลิกอน ที่วางถัดจากตัวอย่าง 1 ไปถ่ายด้วย SEM จะได้ลักษณะภาพดังรูปที่ 3.3

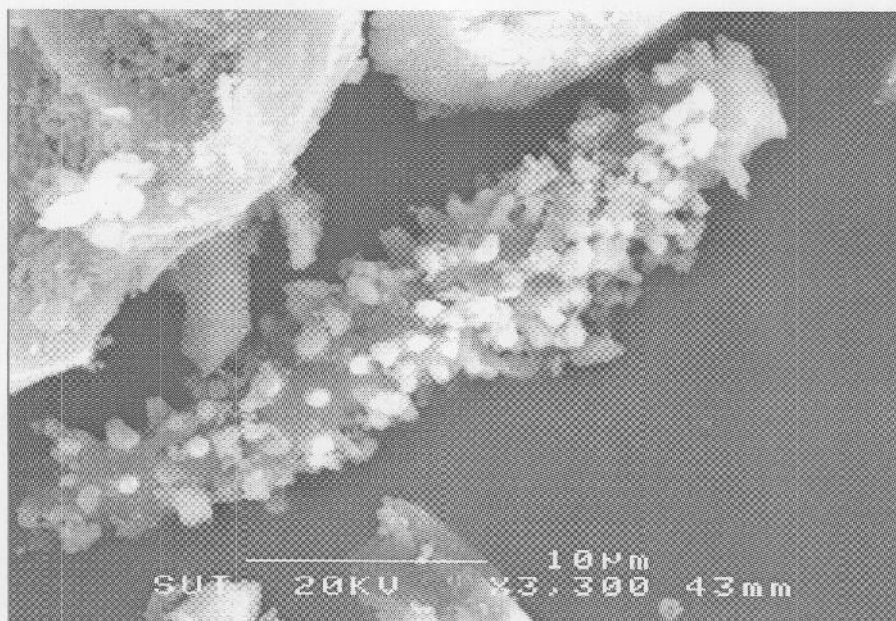


รูปที่ 3.3 ภาพ SEM ของฐานรองซิลิกอนที่วางถัดจากตัวอย่างที่ 1

เมื่อนำวัสดุตัวอย่าง(ตัวอย่าง 2) ที่เตรียมได้จาก แก้วเคลือบบริสุทธิ์ เผาที่อุณหภูมิ 1200 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 ชั่วโมง ในบรรยากาศของก๊าซออกซิเจนที่ไหลเข้าสู่เตาที่ ด้วยอัตราการไหล 1 L/min หลังจากปล่อยให้เตาเย็นลงสู่อุณหภูมิห้อง พบว่าวัสดุที่ได้มีลักษณะสีขาว เมื่อนำไปถ่ายภาพด้วย SEM มีลักษณะดังรูปที่ 3.4 (a-b)



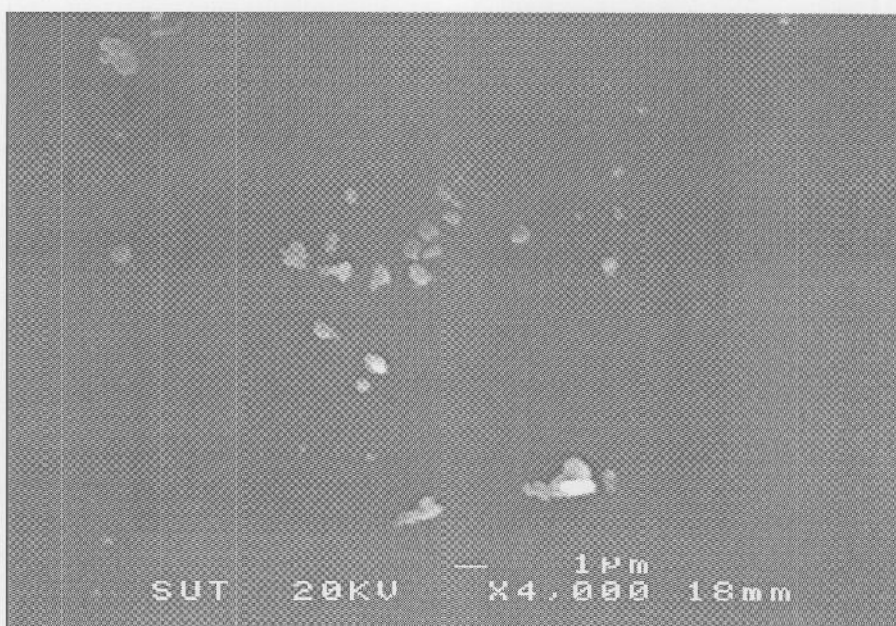
(a)



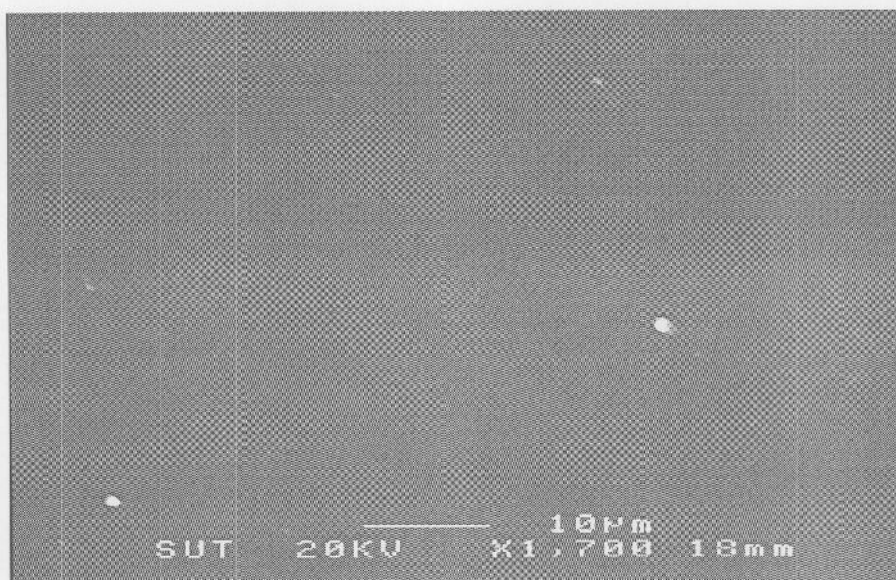
(b)

รูปที่ 3.4(a-b) ภาพ SEM ของตัวอย่าง 2 หลังเผาที่อุณหภูมิ 1,200 องศาเซลเซียส
ในบรรยากาศของก๊าซออกซิเจน

นำฐานรองแผ่นซิลิกอนเคลือบด้วยทองที่วางตรงข้ามสารตัวอย่าง ไปถ่ายภาพด้วย SEM จะมีลักษณะดังรูป 3.5 (a-b)



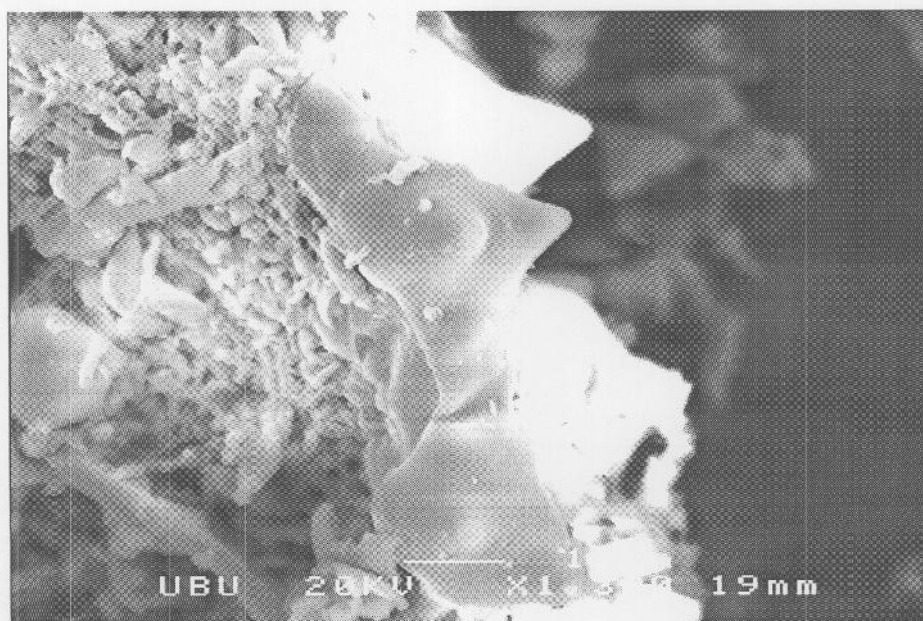
(a)



(b)

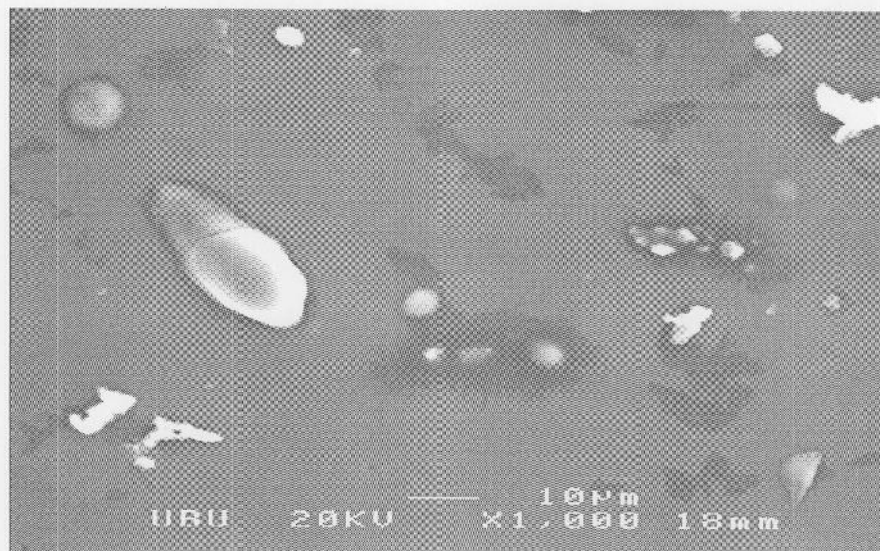
รูปที่ 3.5(a-b) ภาพ SEM ของฐานรองซิลิกอนเคลือบทองที่วางตรงข้ามจากตัวอย่าง 2

เมื่อนำวัสดุตัวอย่าง (ตัวอย่าง 3) ที่เตรียมได้จาก แก้วเคลือบบริสุทธิ์ ผสมผ่านกะลาในอัตราส่วน 2:1 เผาที่อุณหภูมิ 1,100 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 ชั่วโมง ในบรรยากาศของอากาศที่ไหลผ่านน้ำกลั่นเข้าสู่เตาห่อ ด้วยอัตราการไหลของอากาศ 5 L/min หลังจากปล่อยให้เตาเย็นลงสู่อุณหภูมิห้อง พบว่าวัสดุที่ได้มีลักษณะสีขาว เมื่อนำไปถ่ายด้วย SEM จะได้ลักษณะภาพดังรูปที่ 3.6



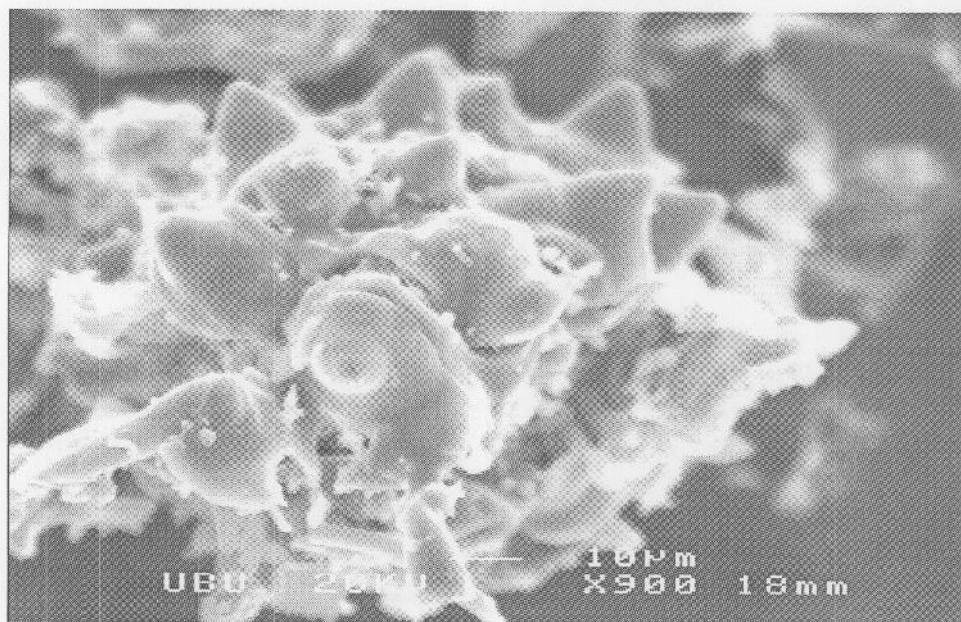
รูปที่ 3.6 ภาพ SEM ของตัวอย่าง 3 หลังเผาที่อุณหภูมิ 1,100 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 ชั่วโมง ในบรรยากาศของอากาศที่ไหลผ่านน้ำกลั่น

นำฐานรองแผ่นซิลิกอนที่วางด้านล่างตัวอย่าง 3 ไปถ่ายด้วย SEM จะได้ลักษณะภาพดังรูปที่ 3.7



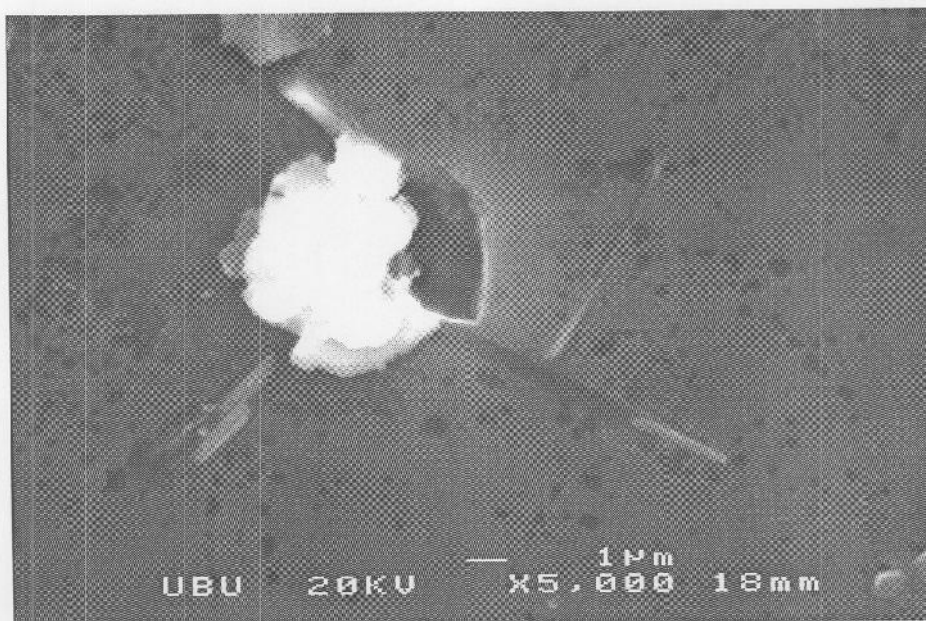
รูปที่ 3.7 ภาพ SEM ของฐานรองซิลิกอนด้านล่างส่วนผสมตัวอย่าง 3

เมื่อนำวัสดุตัวอย่าง (ตัวอย่าง 4) ที่เตรียมได้จาก เถ้าแกลบบริสุทธิ์ ผสมถ่านกะลาในอัตราส่วน 4:1 เผาที่อุณหภูมิ 1,100 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 ชั่วโมง ในบรรยากาศของอากาศที่ไหลผ่านน้ำกลั่นเข้าสู่เตาที่ ด้วยอัตราการไหลของอากาศ 5 L/min หลังจากปล่อยให้เตาเย็นลงสู่อุณหภูมิห้อง พบว่าวัสดุที่ได้มีลักษณะสีขาว เมื่อนำไปถ่ายด้วย SEM จะได้ลักษณะภาพดังรูปที่ 3.8



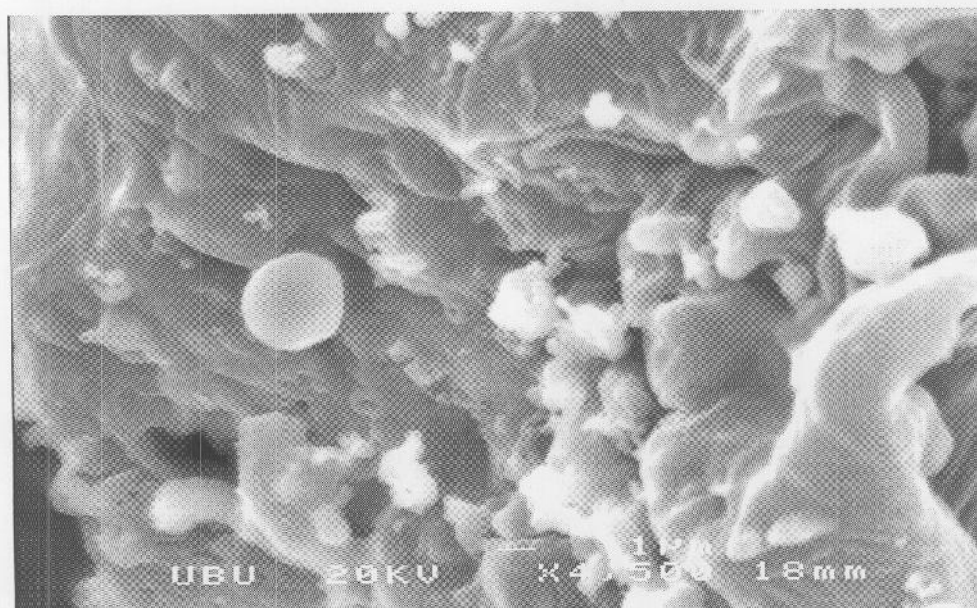
รูปที่ 3.8 ภาพ SEM ของตัวอย่าง 4 หลังเผาที่อุณหภูมิ 1,100 องศาเซลเซียส ในบรรยากาศของอากาศที่ไหลผ่านน้ำกลั่น

นำฐานรองแผ่นซิลิกอนที่วางด้านล่างตัวอย่างไปถ่ายด้วย SEM จะได้ลักษณะภาพดังรูป 3.9



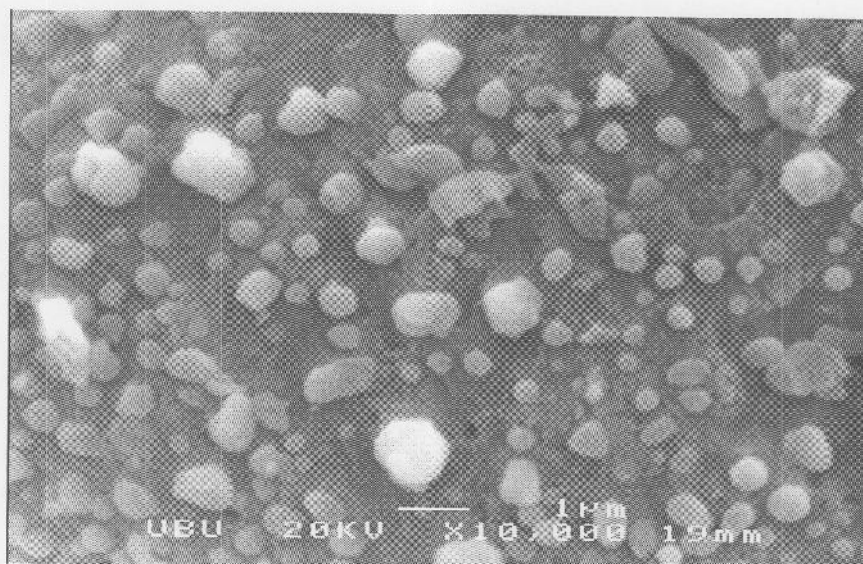
รูปที่ 3.9 ภาพ SEM ของฐานรองซิลิกอนด้านล่างส่วนผสมตัวอย่าง 4

เมื่อนำวัสดุตัวอย่างที่เตรียมได้จาก แก้วเคลือบบริสุทธิ์ ผสมถ่านกะลา ในอัตราส่วน 5:1 (ตัวอย่าง 5) เผาที่อุณหภูมิ 1,100 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง ในบรรยากาศของอากาศที่ไหลผ่านน้ำกลั่นเข้าสู่เตาที่ ด้วยอัตราการไหลของอากาศ 5 L/min หลังจากปล่อยให้เตาเย็นลงสู่ อุณหภูมิห้อง พบว่าวัสดุที่ได้มีลักษณะสีขาว เมื่อนำไปถ่ายด้วย SEM จะได้ลักษณะภาพดังรูป 3.10



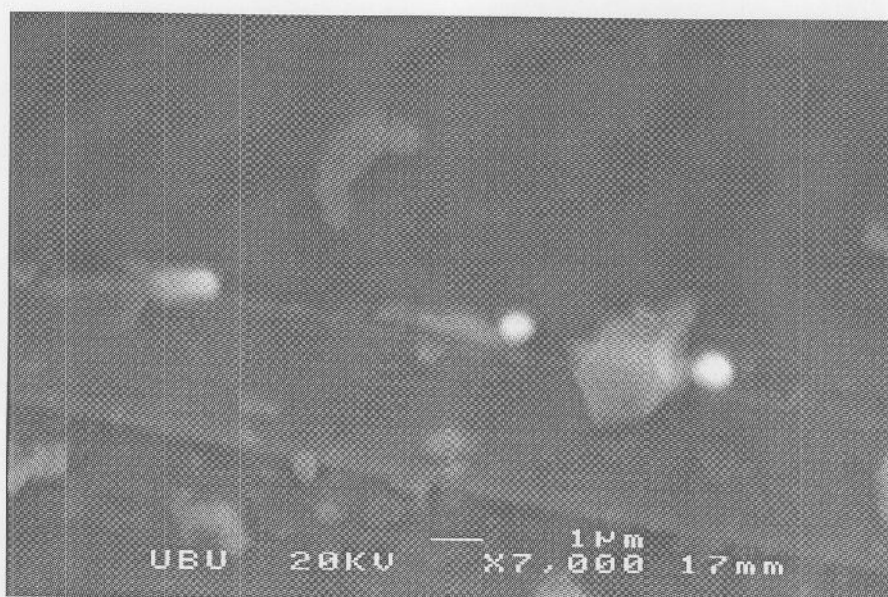
รูปที่ 3.10 ภาพ SEM ตัวอย่าง 5 หลังเผาที่อุณหภูมิ 1,100 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง ในบรรยากาศของอากาศที่ไหลผ่านน้ำกลั่น

เมื่อนำวัสดุตัวอย่างที่เตรียมได้จาก แก้วเคลือบบริสุทธิ์ ผสมถ่านกะลาในอัตราส่วน 1:1 (ตัวอย่าง 6) เผาที่อุณหภูมิ 1,100 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 ชั่วโมง ในบรรยากาศของก๊าซไนโตรเจนที่ไหลเข้าสู่เตาที่ด้วยอัตราการไหล 1 L/min หลังจากปล่อยให้เตาเย็นลงสู่อุณหภูมิห้องพบว่าวัสดุที่ได้มีลักษณะสีขาว เมื่อนำไปถ่ายด้วย SEM จะได้ลักษณะภาพดังรูปที่ 3.11



รูปที่ 3.11 ภาพ SEM ตัวอย่าง 6 เผาที่อุณหภูมิ 1,100 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 ชั่วโมง ในบรรยากาศของก๊าซไนโตรเจน

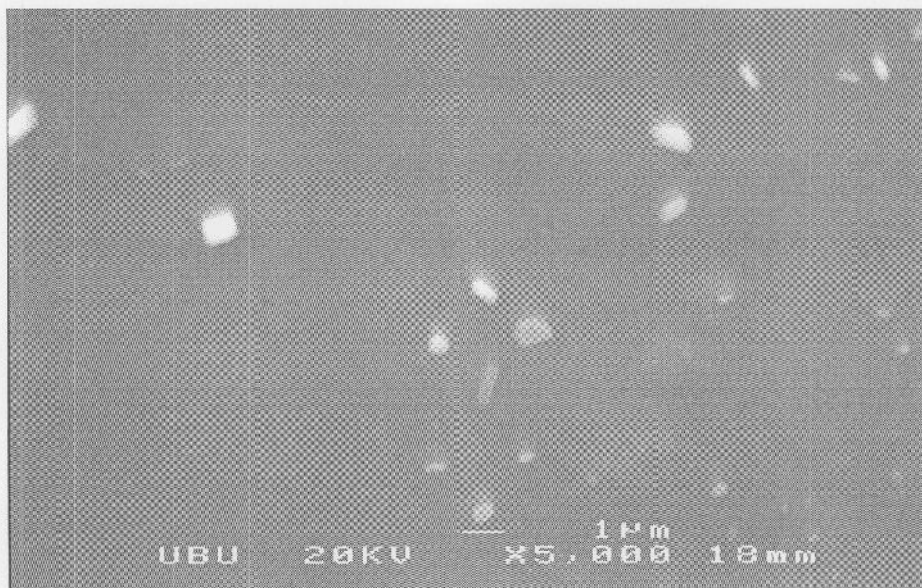
นำฐานรองแผ่นซิลิกอน ที่วางด้านล่างตัวอย่าง 6 ไปถ่ายด้วย SEM จะได้ลักษณะภาพดังรูป 3.12



รูปที่ 3.12 ภาพ SEM ของฐานรองแผ่นซิลิกอนด้านล่างของตัวอย่าง 6

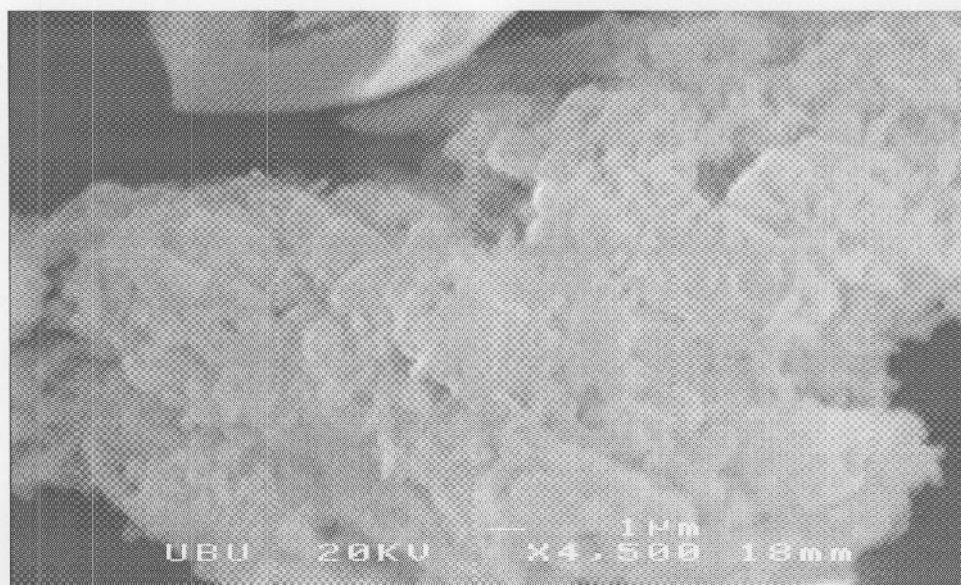
เมื่อนำวัสดุตัวอย่างที่เตรียมได้จาก แก้วเคลือบบริสุทธิ์ ผสมถ่านกะลาในอัตราส่วน 5:1 (ตัวอย่าง 7) เผาที่อุณหภูมิ 1,100 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง ในบรรยากาศของก๊าซ

ไนโตรเจนที่ไหลเข้าสู่เตาห่อ ด้วยอัตราการไหล 1 L/min หลังจากปล่อยให้เตาเย็นลงสู่อุณหภูมิห้อง นำฐานรองแผ่นซิลิกอน ที่วางถัดจากตัวอย่างไปถ่ายภาพด้วย SEM จะได้ลักษณะภาพดังรูป 3.13



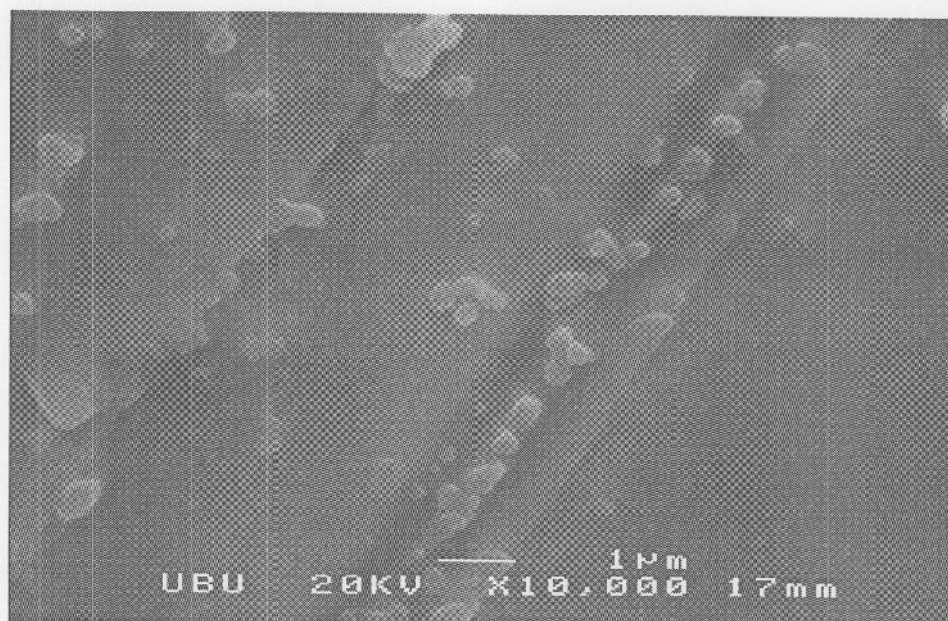
รูปที่ 3.13 ภาพ SEM ของฐานรองแผ่นซิลิกอนที่วางถัดจากตัวอย่าง 7

เมื่อนำวัสดุตัวอย่างที่เตรียมได้จาก แก้วเคลือบบริสุทธิ์ ผสมแกรไฟท์ในอัตราส่วน 2:1 (ตัวอย่าง 8) เผาที่อุณหภูมิ 1,100 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 ชั่วโมง ในบรรยากาศของอากาศที่ไหลผ่านน้ำกลั่นเข้าสู่เตาห่อ ด้วยอัตราการไหลของอากาศ 5 L/min หลังจากปล่อยให้เตาเย็นลงสู่อุณหภูมิห้อง พบว่าวัสดุที่ได้มีลักษณะสีขาว เมื่อนำไปถ่ายภาพด้วย SEM จะได้ลักษณะภาพดังรูป 3.14



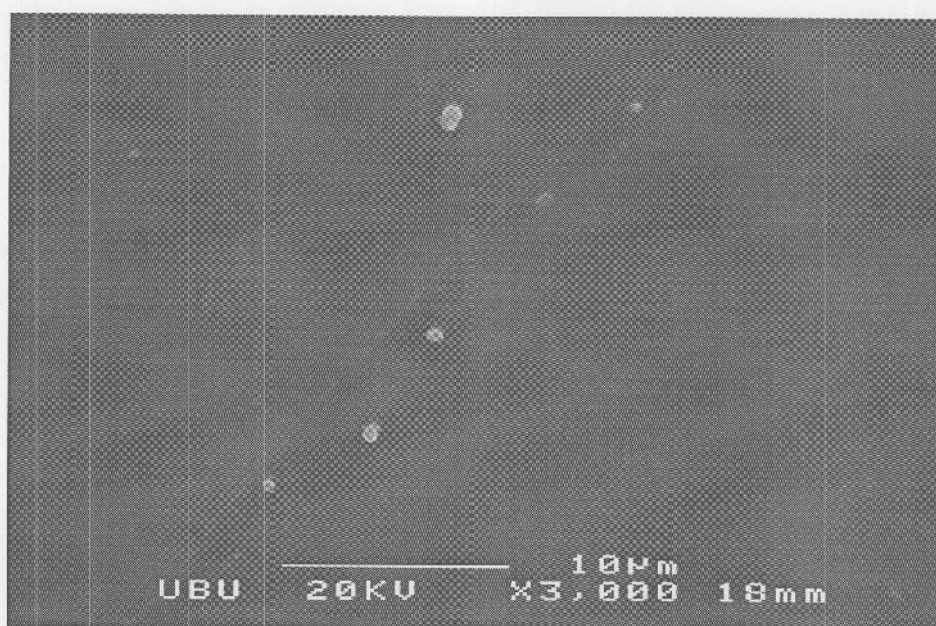
รูปที่ 3.14 ภาพ SEM ของตัวอย่าง 8 เผาที่อุณหภูมิ 1,100 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 ชั่วโมง ในบรรยากาศของอากาศที่ไหลผ่านน้ำกลั่น

นำฐานรองแผ่นซิลิกอนที่วางด้านล่างตัวอย่าง 8 ไปถ่ายด้วย SEM จะได้ลักษณะภาพดังรูป 3.15



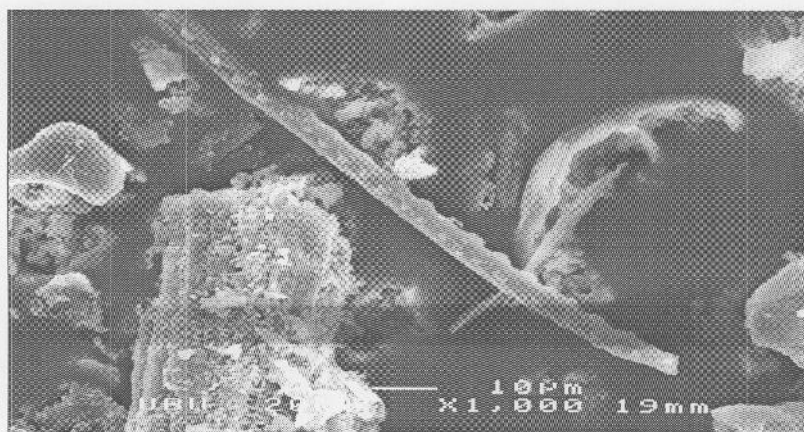
รูปที่ 3.15 ภาพ SEM ของฐานรองซิลิกอนที่วางด้านล่างของตัวอย่าง 8

นำฐานรองแผ่นซิลิกอน ที่วางถัดจากตัวอย่าง 8 ไปถ่ายด้วย SEM จะได้ลักษณะภาพดังรูป 3.16



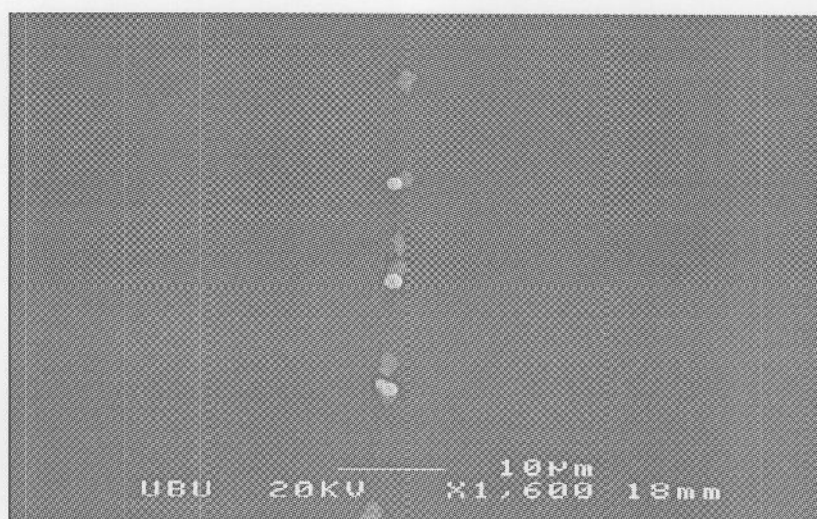
รูปที่ 3.16 ภาพ SEM ของฐานรองซิลิกอนที่วางถัดจากตัวอย่าง 8

เมื่อนำวัสดุตัวอย่างที่เตรียมได้จาก เถ้าแกลบบริสุทธิ์ ผสมแกรไฟท์ในอัตราส่วน 2:1 (ตัวอย่าง 9) เผาที่อุณหภูมิ 1,100 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 ชั่วโมง ในบรรยากาศของก๊าซไนโตรเจนที่ไหลเข้าสู่เตาที่ด้วยอัตราการไหล 1 L/min หลังจากปล่อยให้เตาเย็นลงสู่อุณหภูมิห้องพบว่าวัสดุที่ได้มีลักษณะสีขาว เมื่อนำไปถ่ายด้วย SEM จะได้ลักษณะภาพดังรูป 3.17



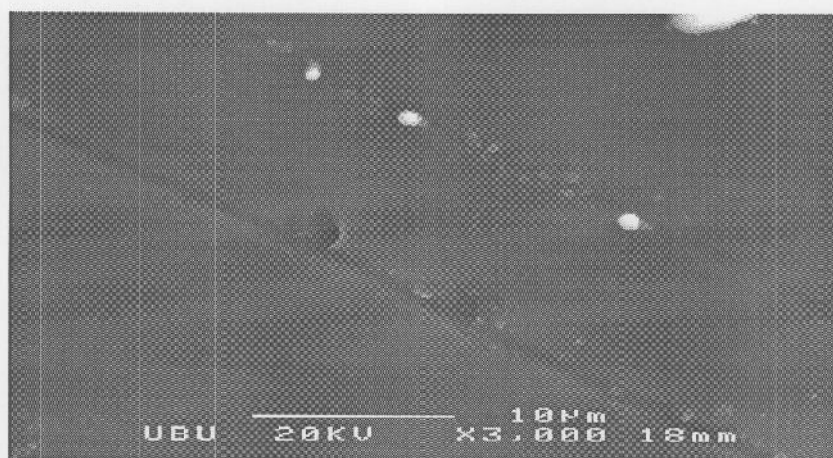
รูปที่ 3.17 ภาพ SEM ของตัวอย่าง 9 เผาที่อุณหภูมิ 1,100 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 ชั่วโมง ในบรรยากาศของก๊าซไนโตรเจน

นำฐานรองแผ่นซิลิกอน ที่วางด้านล่างตัวอย่าง 9 ไปถ่ายด้วย SEM จะได้ลักษณะภาพดังรูป 3.18



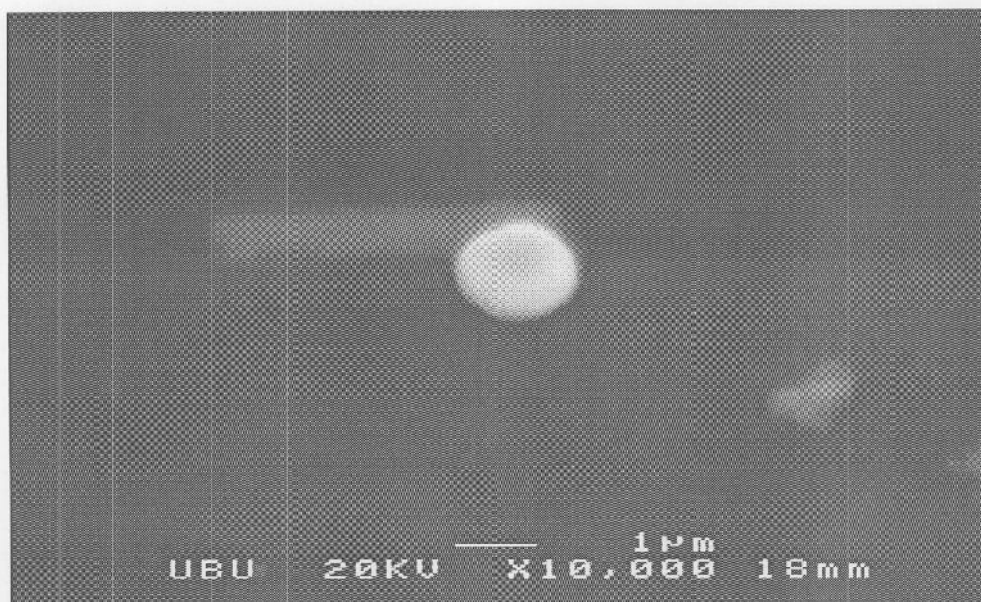
รูปที่ 3.18 ภาพ SEM ของฐานรองแผ่นซิลิกอนที่วางด้านล่างตัวอย่าง 9

นำฐานรองแผ่นซิลิกอน ที่วางถัดจากตัวอย่าง 9 ไปถ่ายด้วย SEM จะได้ลักษณะภาพดังรูป 3.19



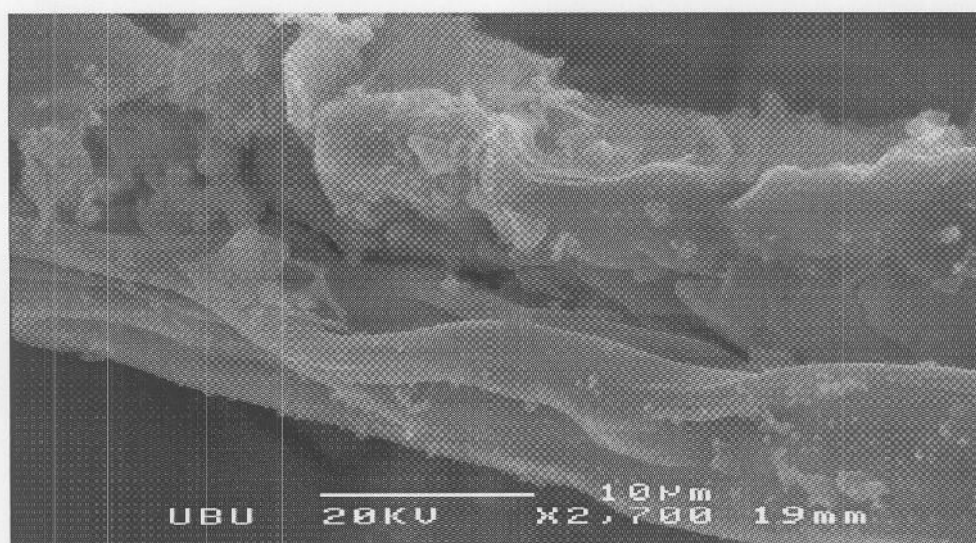
รูปที่ 3.19 ภาพ SEM ของฐานรองซิลิกอนที่วางตรงข้ามกับตัวอย่าง 9

นำฐานรองแผ่นซิลิกอน ที่ถัดจากตัวอย่าง 9 ไปถ่ายด้วย SEM จะได้ลักษณะภาพดังรูป 3.20



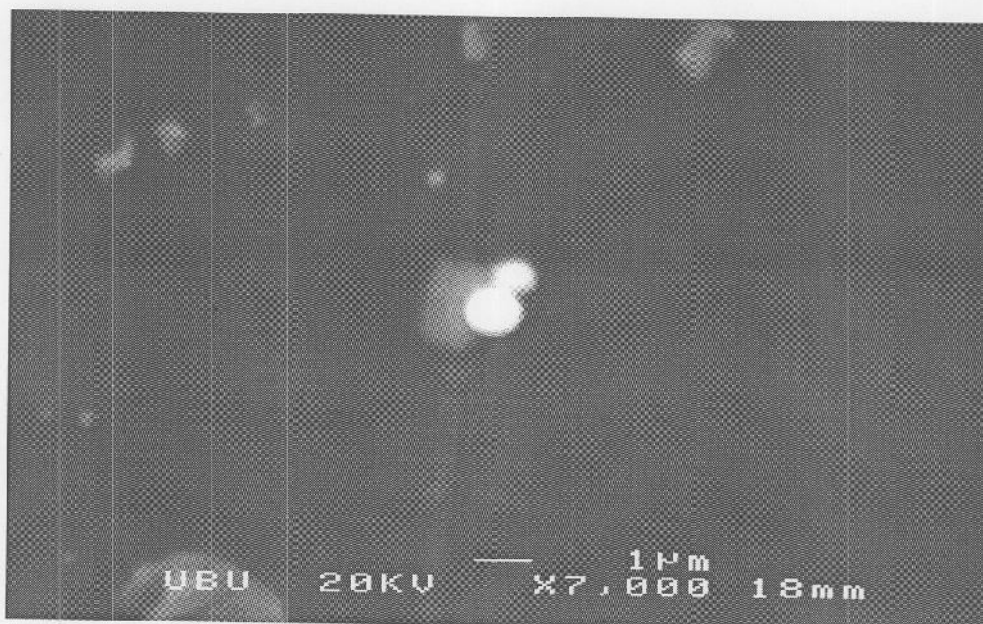
รูปที่ 3.20 ภาพ SEM ฐานรองแผ่นซิลิกอน ที่วางถัดจากตัวอย่าง 9

เมื่อนำวัสดุตัวอย่างที่เตรียมได้จาก แก้วเคลือบบริสุทธิ์ ผสม แกรไฟท์ ในอัตราส่วน 4:1 (ตัวอย่าง 10) เผาที่อุณหภูมิ 1,100 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 ชั่วโมง ในบรรยากาศของก๊าซไนโตรเจนที่ไหลเข้าสู่เตาที่ด้วยอัตราการไหล 1 L/min หลังจากปล่อยให้เตาเย็นลงสู่อุณหภูมิห้องพบว่าวัสดุที่ได้มีลักษณะสีขาว เมื่อนำไปถ่ายด้วย SEM จะได้ลักษณะภาพดังรูป 3.21



รูปที่ 3.21 ภาพ SEM ของตัวอย่าง 10 เผาที่อุณหภูมิ 1,100 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 ชั่วโมงในบรรยากาศของก๊าซไนโตรเจน

นำฐานรองแผ่นซิลิกอน ที่วางด้านล่างตัวอย่าง ไปถ่ายด้วย SEM จะได้ลักษณะภาพดังรูป 3.22



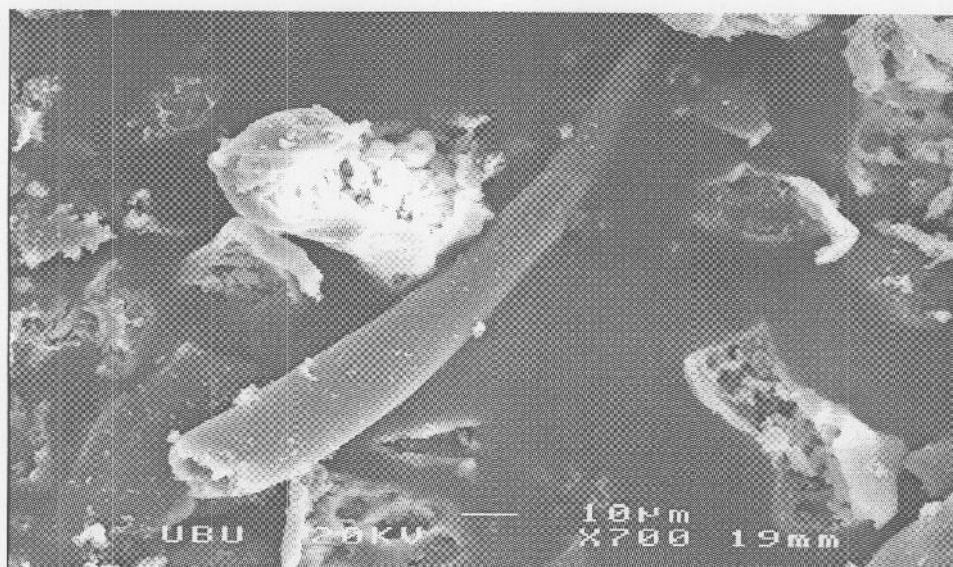
รูปที่ 3.22 ภาพ SEM ของฐานรองแผ่นซิลิกอนที่วางด้านล่างตัวอย่าง 10

นำฐานรองแผ่นซิลิกอน ที่วางถัดจากตัวอย่าง 10 ไปถ่ายด้วย SEM จะได้ลักษณะภาพดังรูป 3.23



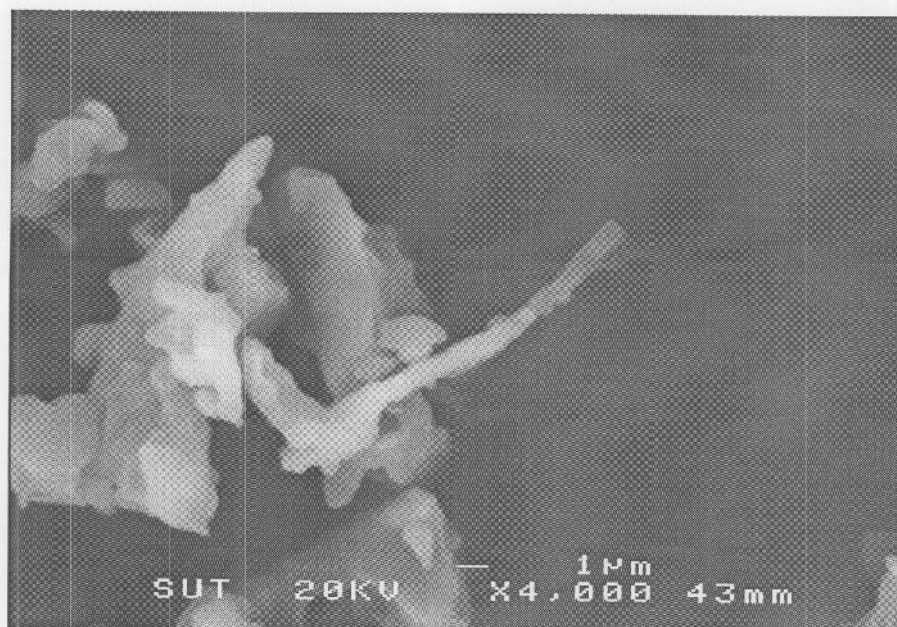
รูปที่ 3.23 ภาพ SEM ฐานรองแผ่นซิลิกอน ที่วางตรงข้ามตัวอย่าง 10

เมื่อนำวัสดุตัวอย่างที่เตรียมได้จาก แก้วเคลือบบริสุทธิ์ ผสม แกรไฟท์ในอัตราส่วน 4:1 (ตัวอย่าง 11) เตาที่อุณหภูมิ 1,100 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 ชั่วโมง ในบรรยากาศอากาศที่ไหลผ่านน้ำกลั่น เข้าสู่เตาที่ด้วยอัตราการไหลของอากาศ 5 L/min หลังจากปล่อยให้เตาเย็นลงสู่อุณหภูมิห้อง พบว่า วัสดุที่ได้มีลักษณะสีขาว เมื่อนำไปถ่ายด้วย SEM จะได้ลักษณะภาพดังรูป 3.24

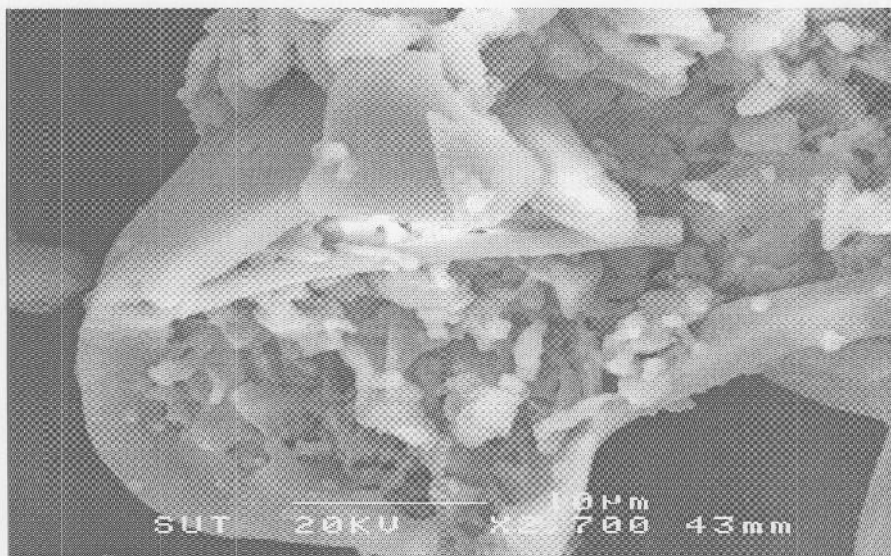


รูปที่ 3.24 ภาพ SEM ของตัวอย่าง 11 เผาที่อุณหภูมิ 1,100 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 ชั่วโมง ในบรรยากาศของอากาศที่ไหลผ่านน้ำกลั่น

เมื่อนำวัสดุตัวอย่าง (ตัวอย่าง 12) ที่เตรียมได้จากเส้นแถบบริสุทธิ์ ผสม GeO_2 ในอัตราส่วน 10:1 เผาที่อุณหภูมิ 1200 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 ชั่วโมง ในบรรยากาศของก๊าซออกซิเจนที่ไหลเข้าสู่เตาที่ด้วยอัตราการไหล 1 L/min หลังจากปล่อยให้เย็นลงสู่อุณหภูมิห้อง เมื่อนำไปถ่ายภาพด้วย SEM จะมีลักษณะดังรูป 3.25(a-b)



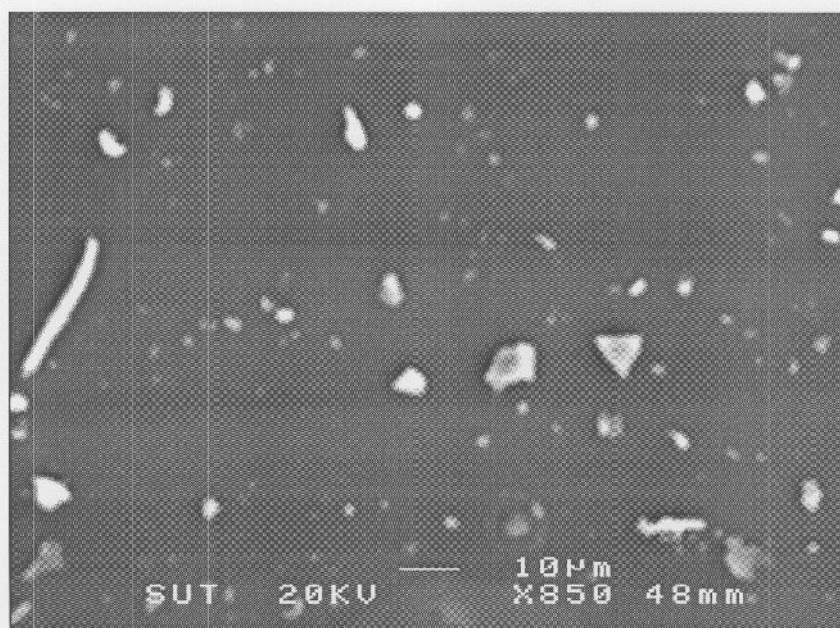
(a)



(b)

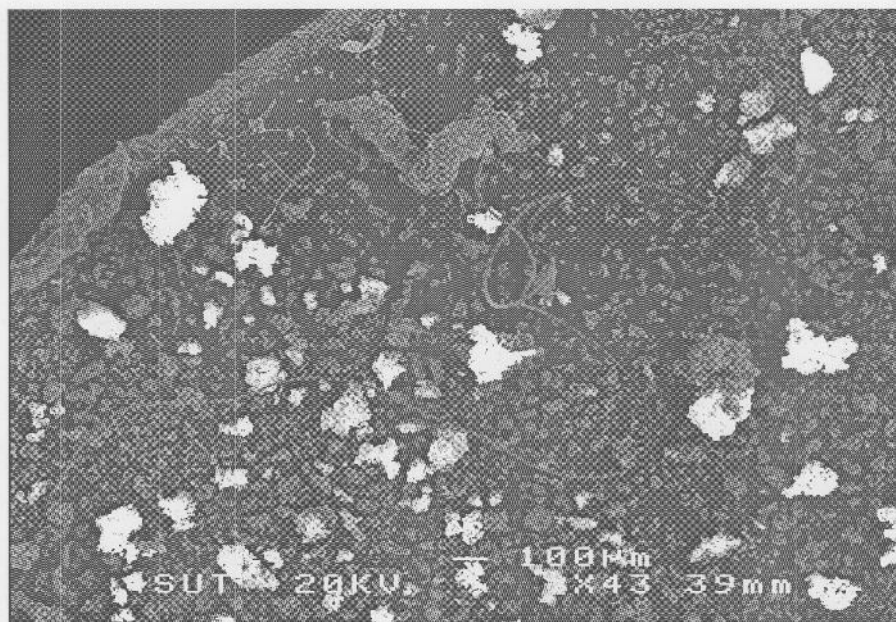
รูปที่ 3.25 ภาพ SEM ของตัวอย่าง 12 เเผที่อุณหภูมิ 1,200 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 ชั่วโมง
ในบรรยากาศของก๊าซออกซิเจน

เมื่อนำวัสดุตัวอย่าง(ตัวอย่าง 13) ที่เตรียมได้จาก เถ้าแกลบบริสุทธิ์ผสม GeO_2 ในอัตราส่วน 10:1 เเผที่อุณหภูมิ 1200 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 ชั่วโมง ในบรรยากาศของอากาศที่ไหลผ่านน้ำ กลั่นเข้าสู่เตาห่อ ด้วยอัตราการไหล 5 L/min หลังจากปล่อยให้เตาเย็นลงสู่อุณหภูมิห้อง เมื่อนำไปถ่ายภาพด้วย SEM จะมีลักษณะดังรูป 3.26



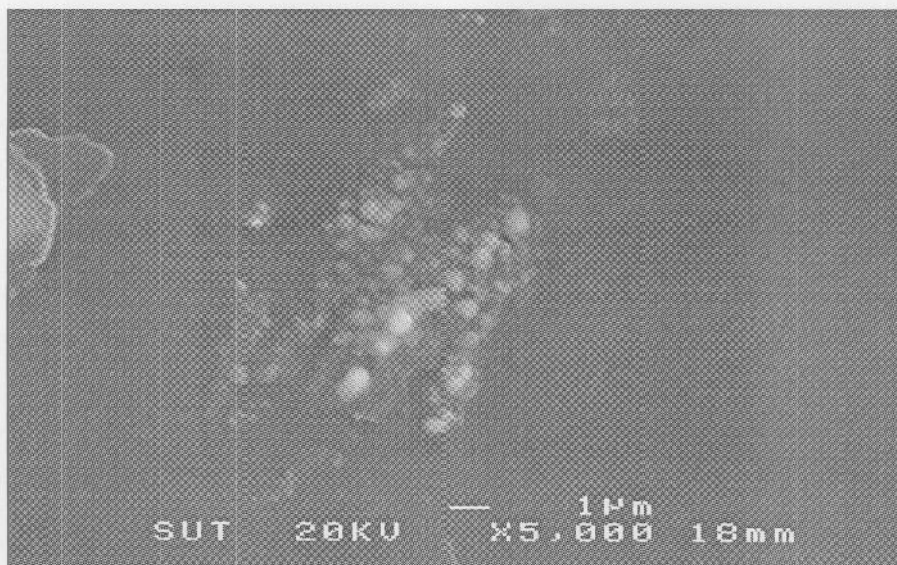
รูปที่ 3.26 ภาพ SEM ของตัวอย่าง 13 เเผที่อุณหภูมิ 1,200 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 ชั่วโมง
ในบรรยากาศของอากาศที่ไหลผ่านน้ำกลั่น

เมื่อนำวัสดุตัวอย่าง (ตัวอย่าง 14) ที่เตรียมได้จากเส้นเกลบบริสุทธิ์ ผสม GeO_2 ในอัตราส่วน 10:1 เผาที่อุณหภูมิ 1200 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 ชั่วโมง ในบรรยากาศของก๊าซออกซิเจนที่ไหลเข้าสู่เตาที่อ ด้วยอัตราการไหล 1 L/min หลังจากปล่อยให้เตาเย็นลงสู่อุณหภูมิห้อง ไปถ่ายภาพด้วย SEM จะมีลักษณะดังรูป 3.27



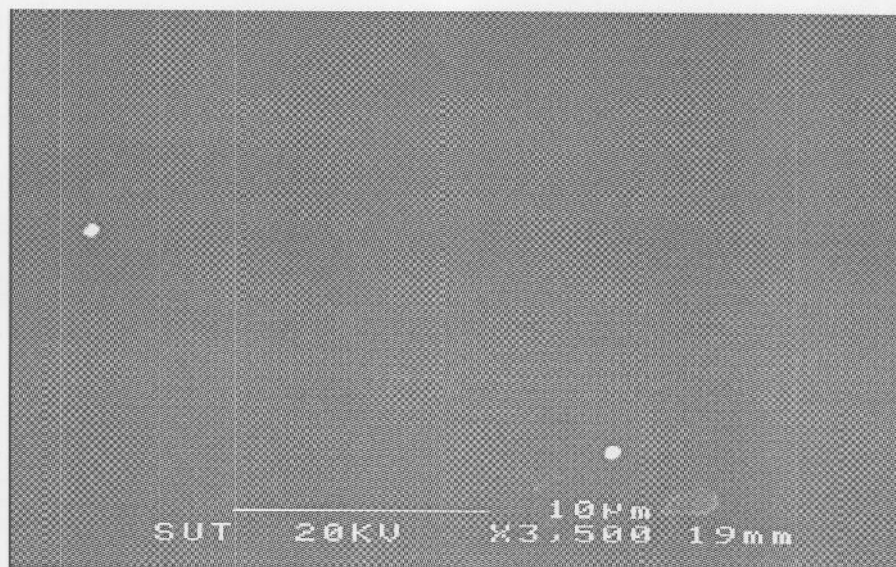
รูปที่ 3.27 ภาพ SEM ของตัวอย่าง 14 เผาที่อุณหภูมิ 1,200 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 ชั่วโมง ในบรรยากาศของก๊าซออกซิเจน

นำฐานรองแผ่นซิลิกอน ที่วางถัดจากตัวอย่าง 14 ไปถ่ายภาพด้วย SEM จะมีลักษณะดังรูป 3.28



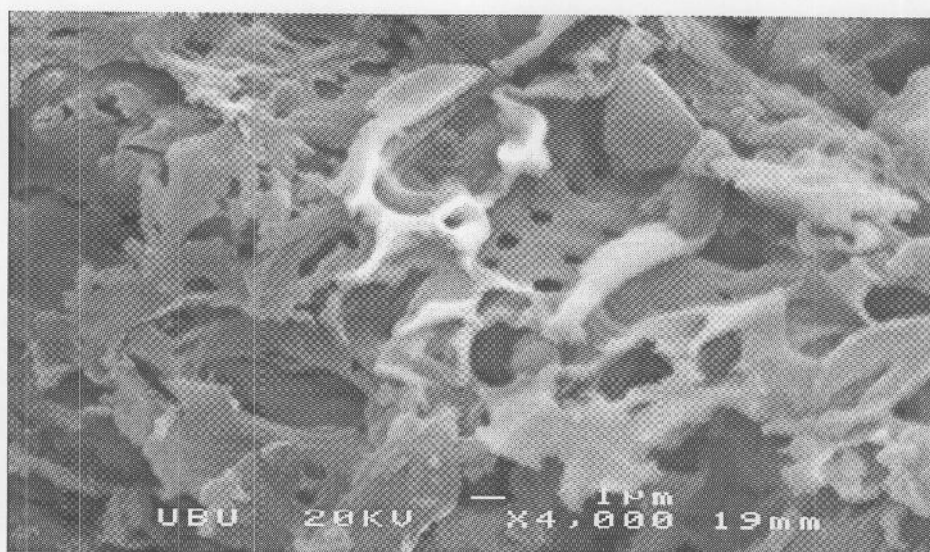
รูปที่ 3.28 ภาพ SEM ของฐานรองแผ่นซิลิกอนที่วางถัดจากตัวอย่าง 14

นำฐานรองแผ่นซิลิกอน ที่วางถัดตัวอย่าง 14 ท้ายสุด ไปถ่ายภาพด้วย SEM จะมีลักษณะดังรูป 3.29



รูปที่ 3.29 ภาพ SEM ของฐานรองแผ่นซิลิกอนที่วางตรงข้ามตัวอย่าง 14

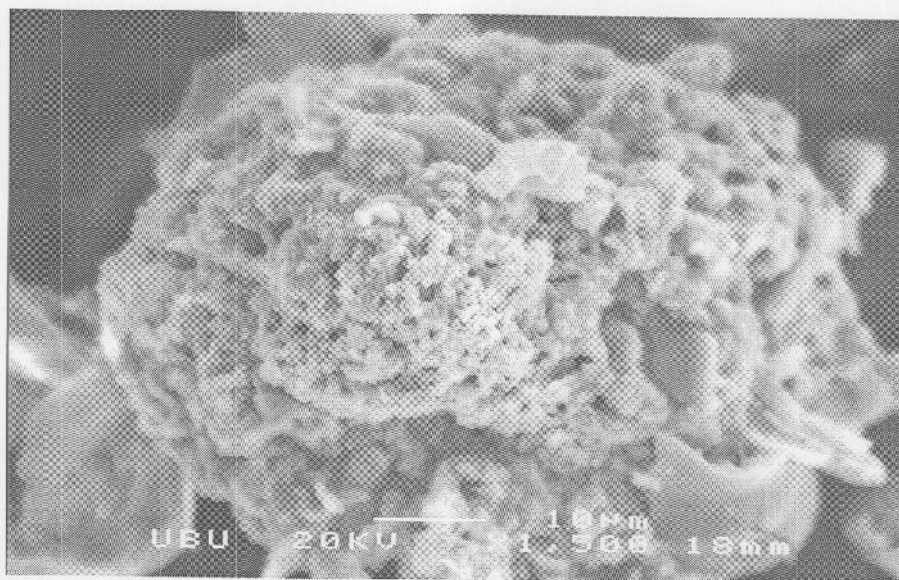
เมื่อนำวัสดุตัวอย่าง (ตัวอย่าง 15) ที่เตรียมได้จาก แก้วเคลือบบริสุทธิ์ ผสม GeO_2 ในอัตราส่วน 5:1 เผาที่อุณหภูมิ 1,100 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 ชั่วโมง ในบรรยากาศของอากาศที่ไหลผ่านน้ำกลั่น เข้าสู่เตาที่อ ด้วยอัตราการไหลของอากาศ 5 L/min หลังจากปล่อยให้เตาเย็นลงสู่อุณหภูมิห้อง พบว่า วัสดุที่ได้มีลักษณะสีขาว เมื่อนำไปถ่ายด้วย SEM จะได้ลักษณะภาพดังรูปที่ 3.30



รูปที่ 3.30 ภาพ SEM ของตัวอย่าง 15 เผาที่อุณหภูมิ 1,100 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 ชั่วโมง ในบรรยากาศของอากาศที่ไหลผ่านน้ำ

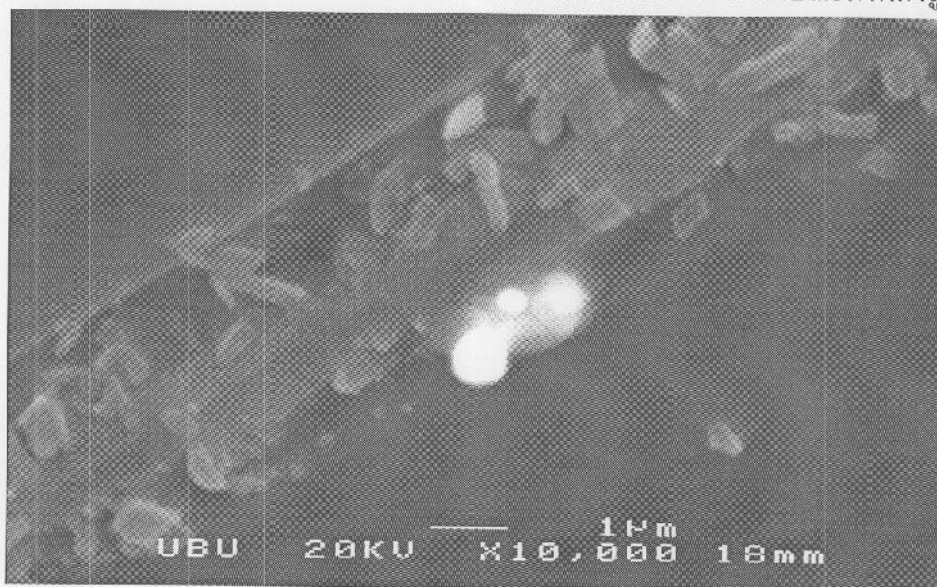
เมื่อนำวัสดุตัวอย่าง (ตัวอย่าง 16) ที่เตรียมได้จาก แก้วเคลือบบริสุทธิ์ ผสม GeO_2 ในอัตราส่วน 5:1 เผาที่อุณหภูมิ 1,100 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 ชั่วโมง ในบรรยากาศของก๊าซไนโตรเจนเข้าสู่

เตาท่อ ด้วยอัตราการไหล 1 L/min หลังจากปล่อยให้เตาเย็นลงสู่อุณหภูมิห้อง พบว่าวัสดุที่ได้มีลักษณะสีขาว เมื่อนำไปถ่ายด้วย SEM จะได้ลักษณะภาพดังรูป 3.31



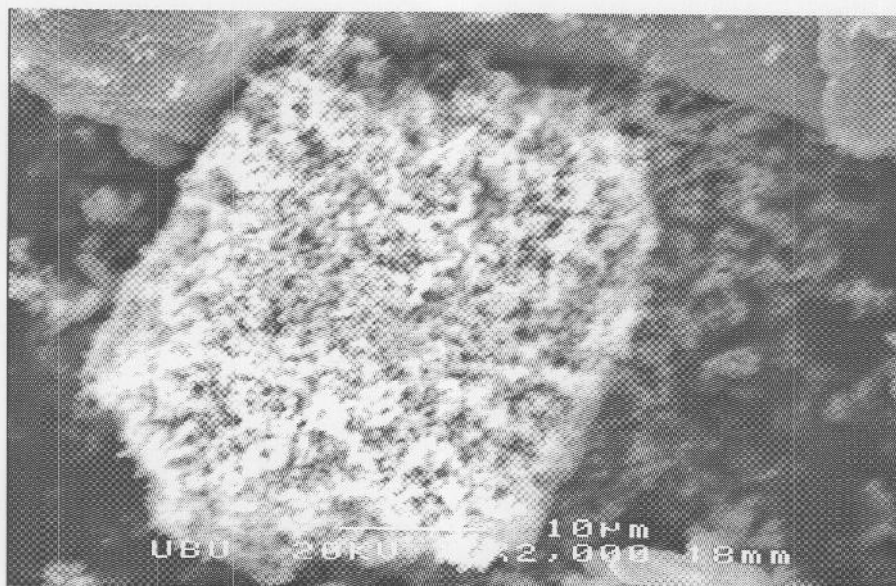
รูปที่ 3.31 ภาพ SEM ของตัวอย่าง 16 เเผาที่อุณหภูมิ 1,100 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 ชั่วโมง ในบรรยากาศของอากาศที่ไหลผ่านน้ำกลั่น

นำฐานรองแผ่นซิลิกอน ที่วางด้านล่างตัวอย่าง 16 ไปถ่ายด้วย SEM จะได้ลักษณะภาพดังรูป 3.32



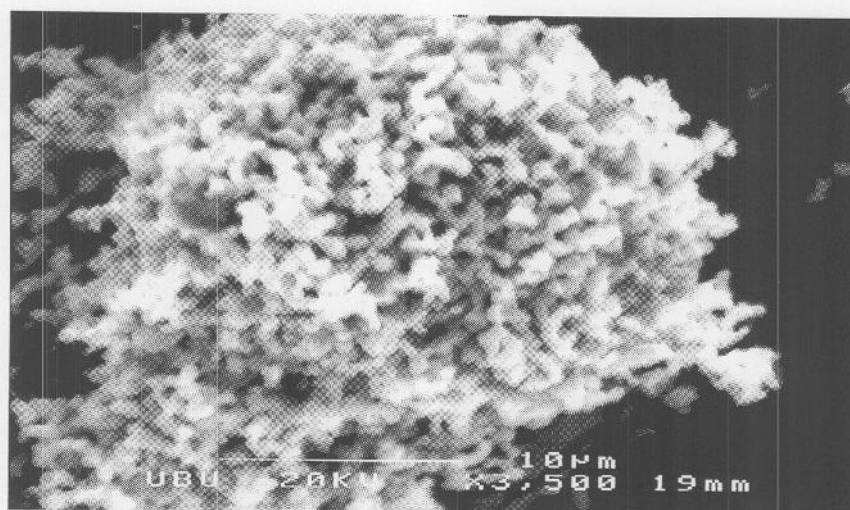
รูปที่ 3.32 ภาพ SEM ของฐานรองแผ่นซิลิกอนที่วางด้านล่างตัวอย่าง 16

เมื่อนำวัสดุตัวอย่างที่เตรียมได้จาก แก้วเคลือบบริสุทธิ์ ผสมถ่านกะลาและ ZnO ในอัตราส่วน 2:1:1(ตัวอย่าง 17) เเผาที่อุณหภูมิ 1,000 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 ชั่วโมง ในบรรยากาศของก๊าซไนโตรเจนที่ไหลเข้าสู่เตาท่อ ด้วยอัตราการไหล 1 L/min หลังจากปล่อยให้เตาเย็นลงสู่อุณหภูมิห้อง พบว่าวัสดุที่ได้มีลักษณะสีขาว เมื่อนำไปถ่ายด้วย SEM จะได้ลักษณะภาพดังรูป 3.33



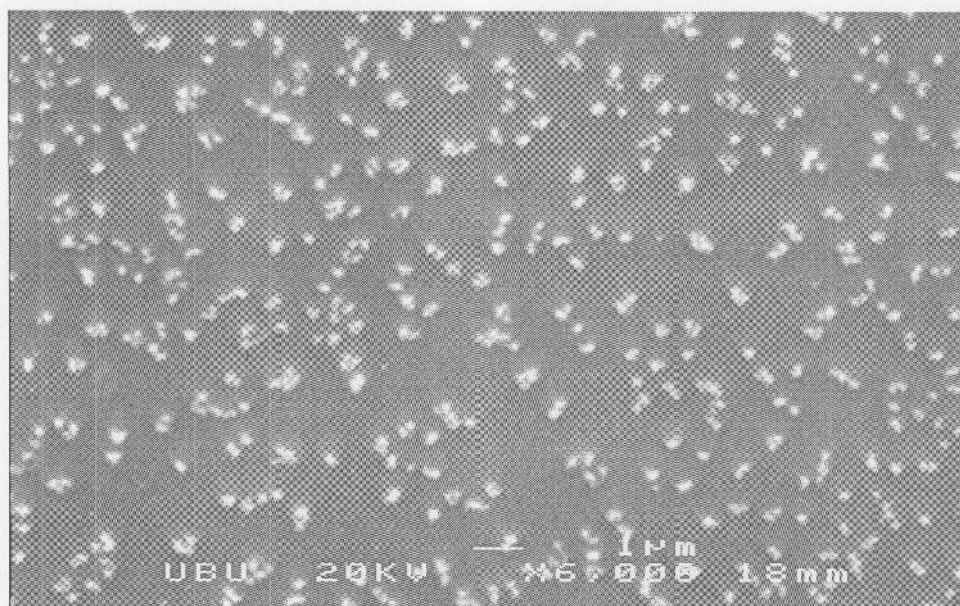
รูปที่ 3.33 ภาพ SEM ของตัวอย่าง 17 เเผที่อุณหภูมิ 1,100 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 ชั่วโมง
ในบรรยากาศของอากาศที่ไหลผ่านน้ำกลั่น

เมื่อนำวัสดุตัวอย่างที่เตรียมได้จาก แก้วเคลือบบริสุทธิ์ ผสมถ่านกะลาและ ZnO ในอัตราส่วน 2:1:1 (ตัวอย่าง 18) เเผที่อุณหภูมิ 1,100 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง ในบรรยากาศของอากาศที่ไหลผ่านน้ำกลั่นเข้าสู่เตาที่อ ด้วยอัตราการไหลของอากาศ 5 L/min หลังจากปล่อยให้เตาเย็นลงสู่อุณหภูมิห้อง พบว่าวัสดุที่ได้มีลักษณะสีขาว เมื่อนำไปถ่ายด้วย SEM จะได้ลักษณะภาพดังรูป 3.34



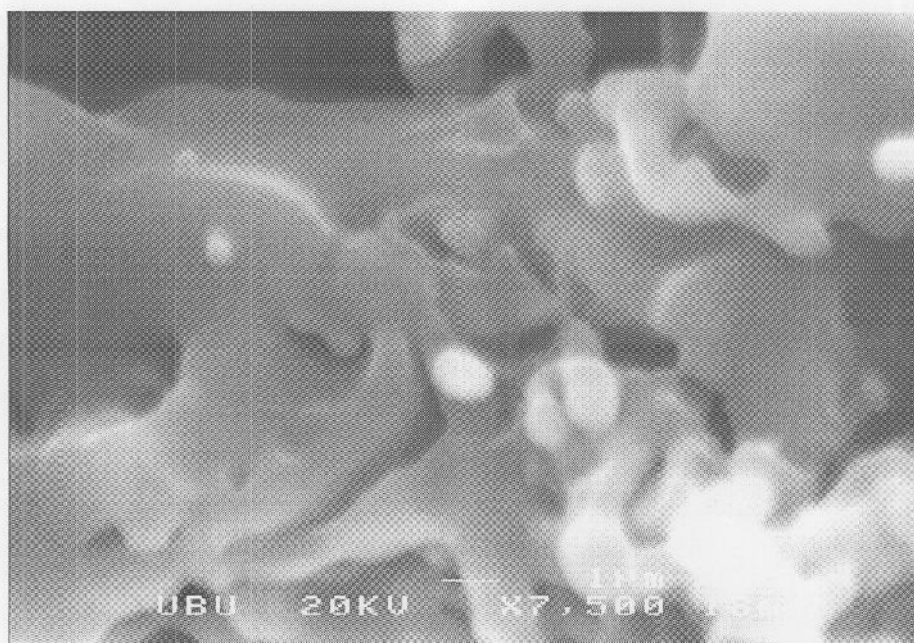
รูปที่ 3.34 ภาพ SEM ของตัวอย่าง 18 เเผที่อุณหภูมิ 1,100 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง
ในบรรยากาศของอากาศที่ไหลผ่านน้ำกลั่น

นำฐานรองแผ่นซิลิกอนที่วางถัดจากตัวอย่าง 18 ไปถ่ายด้วย SEM จะได้ลักษณะภาพดังรูป 3.35



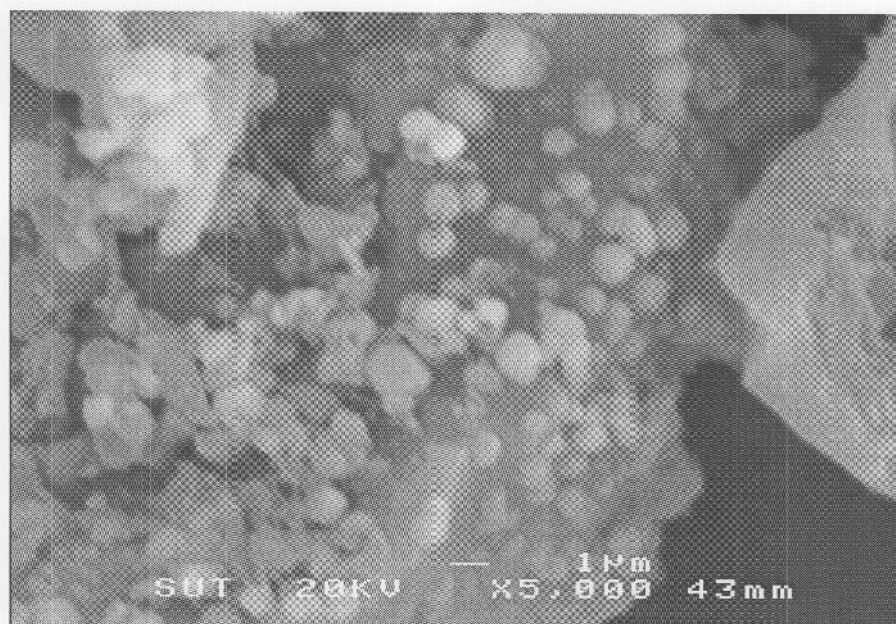
รูปที่ 3.35 ภาพ SEM ของฐานรองซิลิกอนที่วางถัดจากตัวอย่าง 18

เมื่อนำวัสดุตัวอย่างที่เตรียมได้จาก แก้วเคลือบบริสุทธิ์ ผสมถ่านกะลาและ GeO_2 ในอัตราส่วน 3:2:2 (ตัวอย่าง 19) เผาที่อุณหภูมิ 1,000 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง ในบรรยากาศของอากาศ ที่ไหลผ่านน้ำกลั่นเข้าสู่เตาที่ ด้วยอัตราการไหลของอากาศ 5 L/min หลังจากปล่อยให้เตาเย็นลงสู่ อุณหภูมิห้อง พบว่าวัสดุที่ได้มีลักษณะสีขาว เมื่อนำไปถ่ายด้วย SEM จะได้ลักษณะภาพดังรูป 3.36



รูปที่ 3.36 ภาพ SEM ของตัวอย่าง 19 เผาที่อุณหภูมิ 1,000 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง ในบรรยากาศของอากาศที่ไหลผ่านน้ำกลั่น

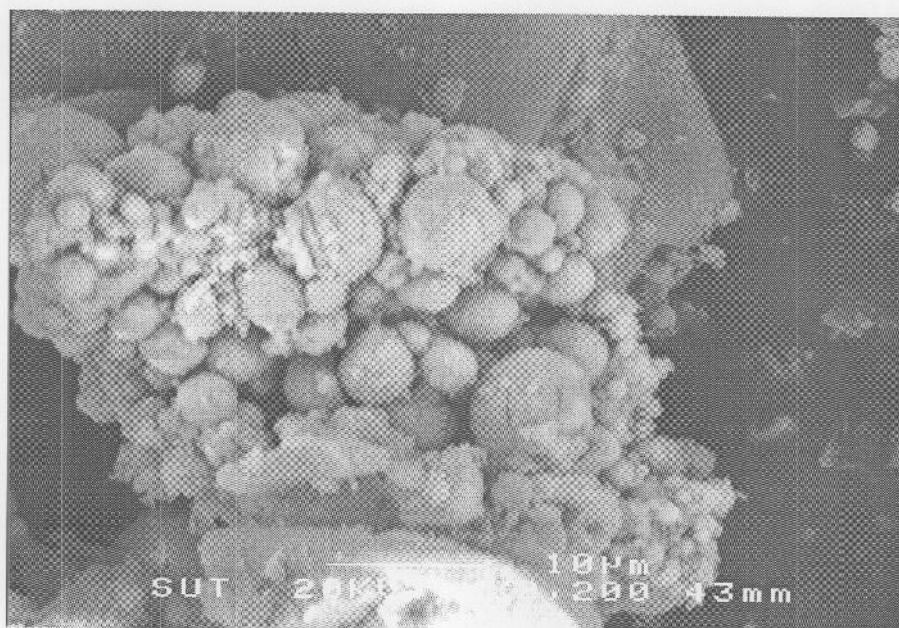
เมื่อนำวัสดุตัวอย่าง(ตัวอย่าง 20) ที่เตรียมได้จาก เถ้าแกลบบริสุทธิ์ ผสม GeO_2 และ ถ่าน
กะลา ในอัตราส่วน 5:1:1 เผาที่อุณหภูมิ 1200 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 ชั่วโมง ในบรรยากาศของ
ก๊าซไนโตรเจนที่ไหลเข้าสู่เตาที่อัตราการไหล 1 L/min หลังจากปล่อยให้เตาเย็นลงสู่
อุณหภูมิห้อง นำผงตัวอย่างไปถ่ายภาพด้วย SEM จะมีลักษณะดังรูป 3.37(a-k)



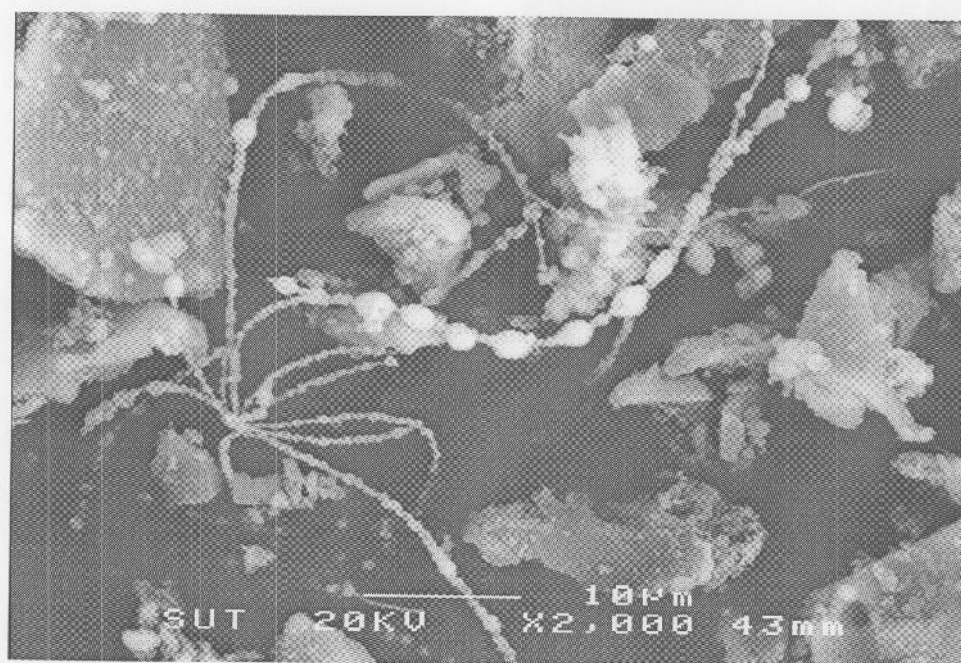
(a)



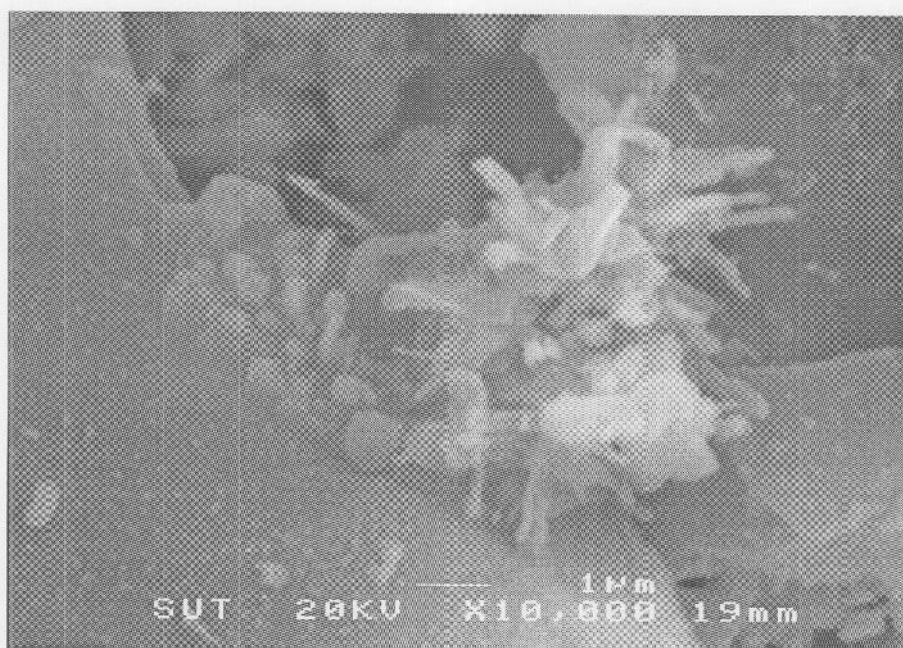
(b)



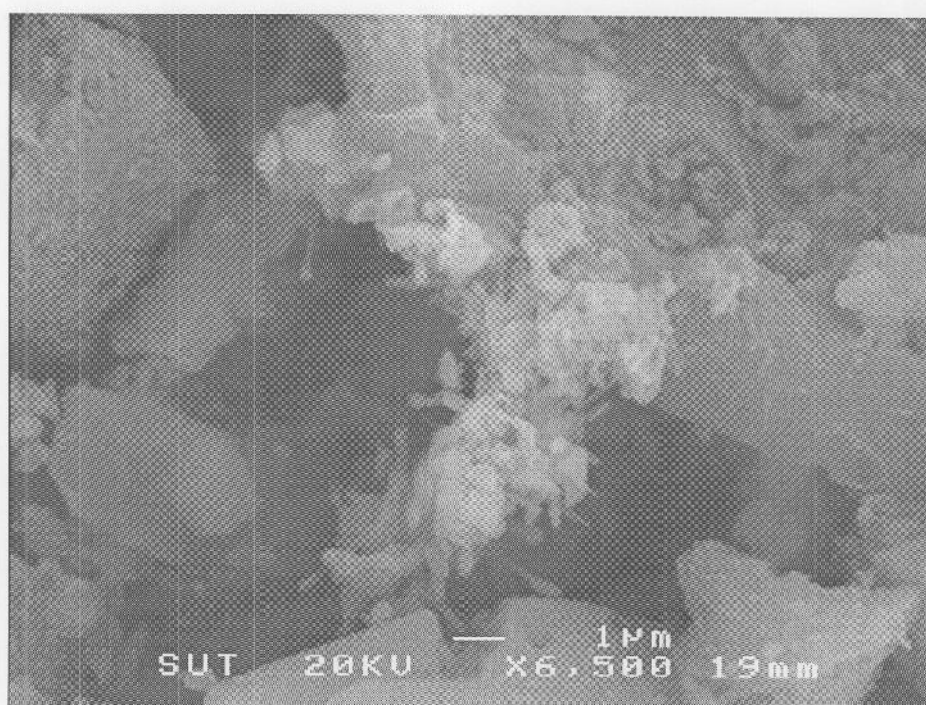
(c)



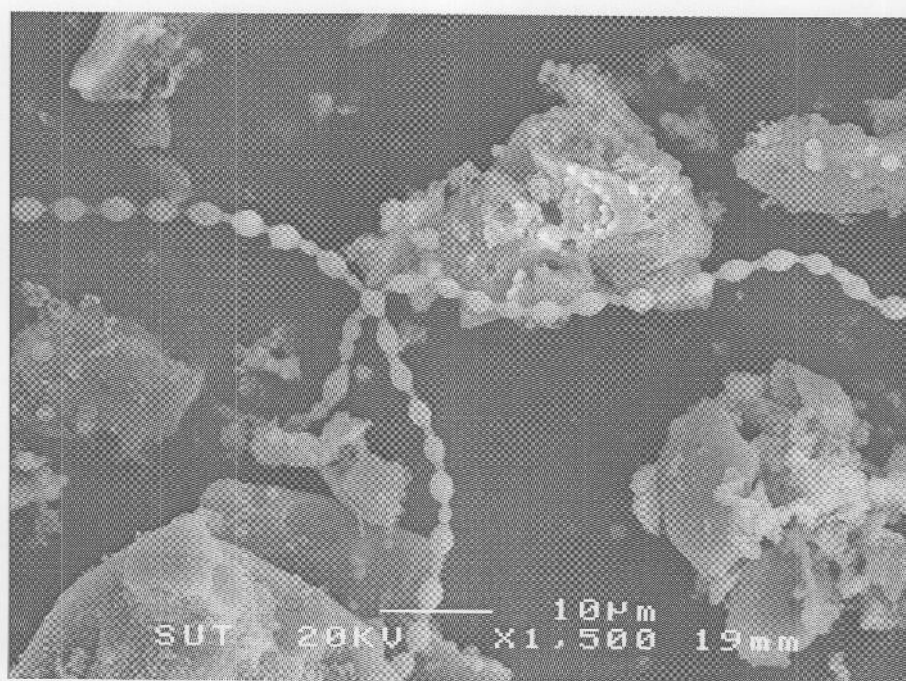
(d)



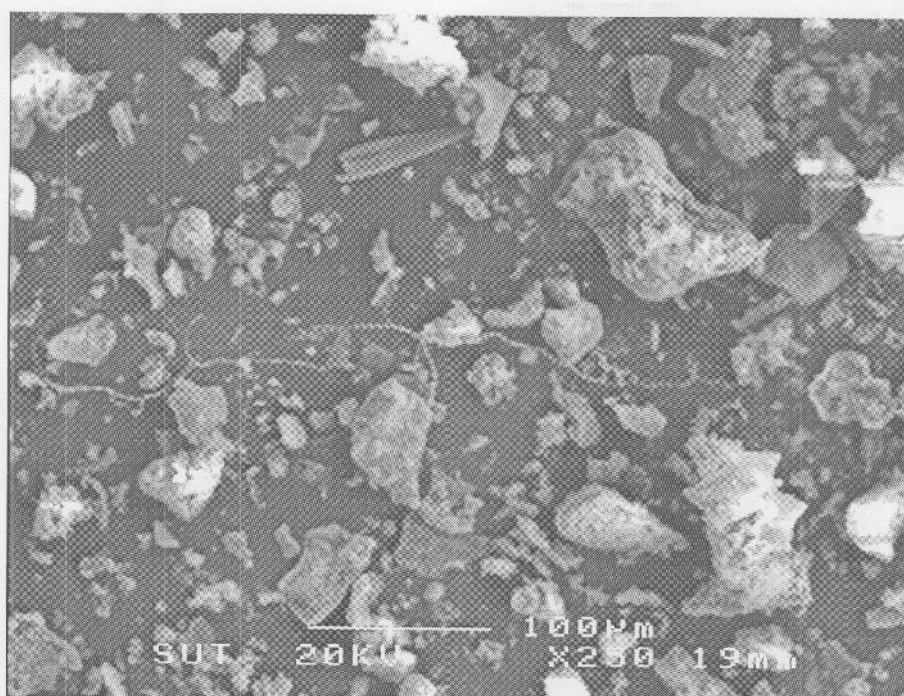
(c)



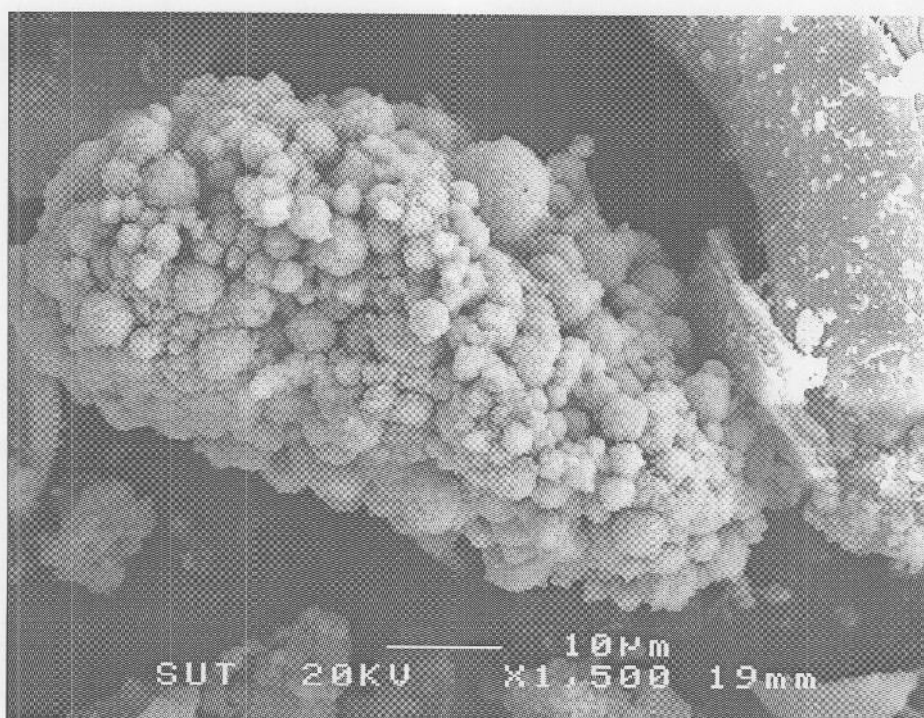
(d)



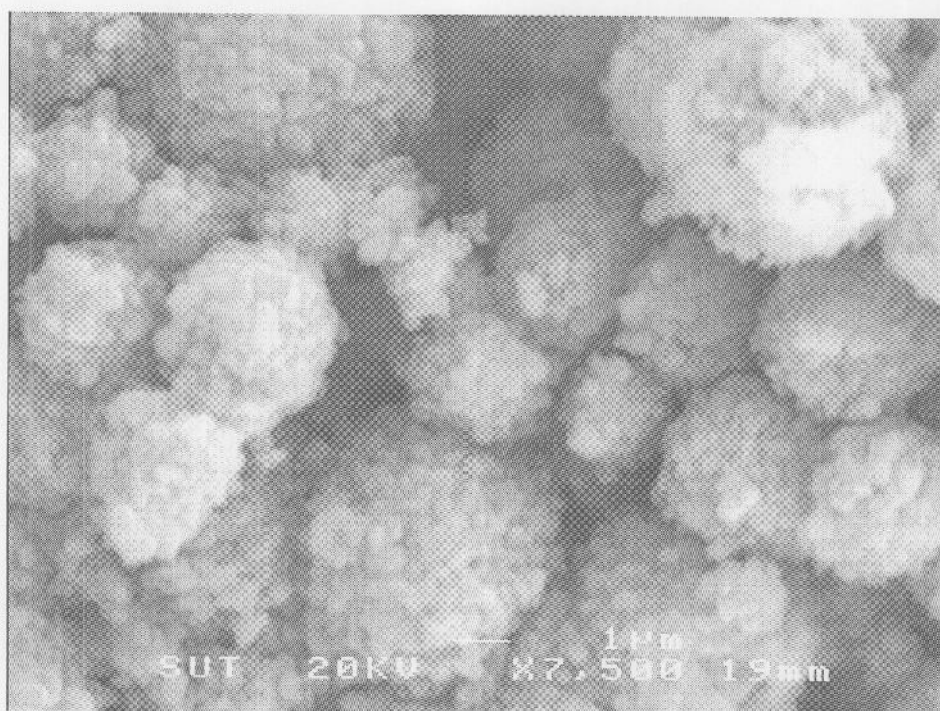
(g)



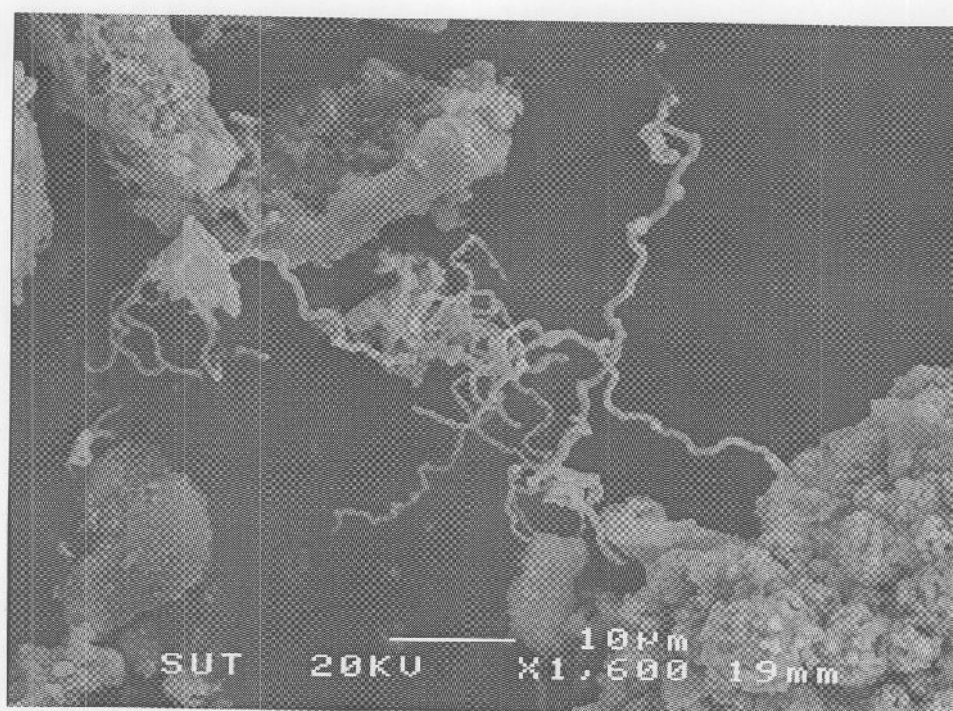
(h)



(i)



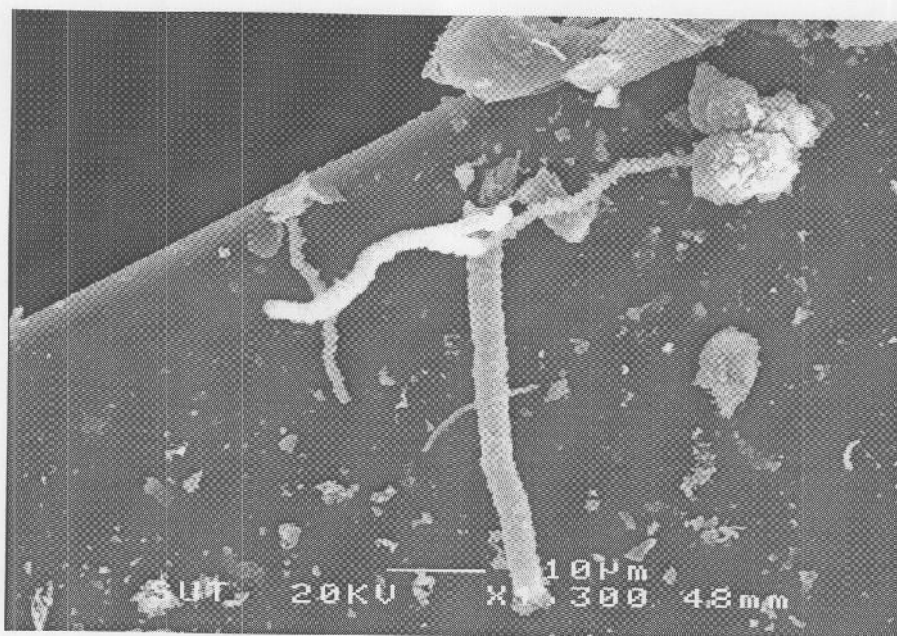
(j)



(k)

รูปที่ 3.37 (a-k) ภาพ SEM ของตัวอย่าง 20 เสาที่อุณหภูมิ 1200 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 ชั่วโมง ในบรรยากาศของก๊าซไนโตรเจน

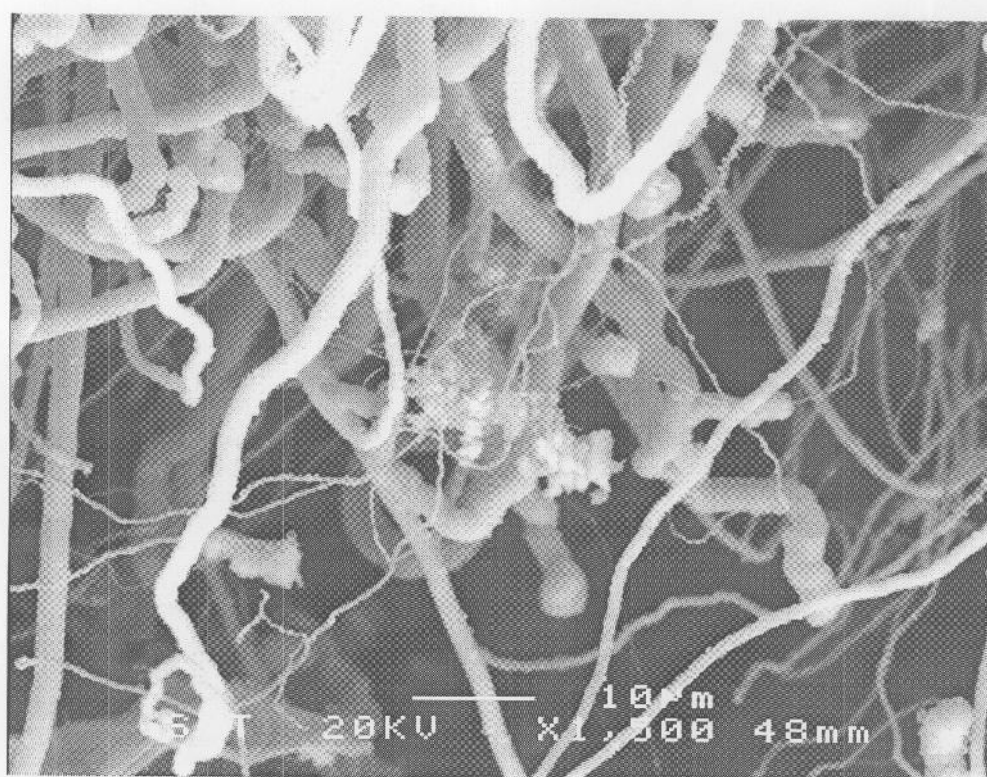
นำฐานรองแผ่นซิลิกอนที่วางถัดจากตัวอย่าง 20 ไปถ่ายภาพด้วย SEM จะมีลักษณะดังรูป 3.38(a-e)



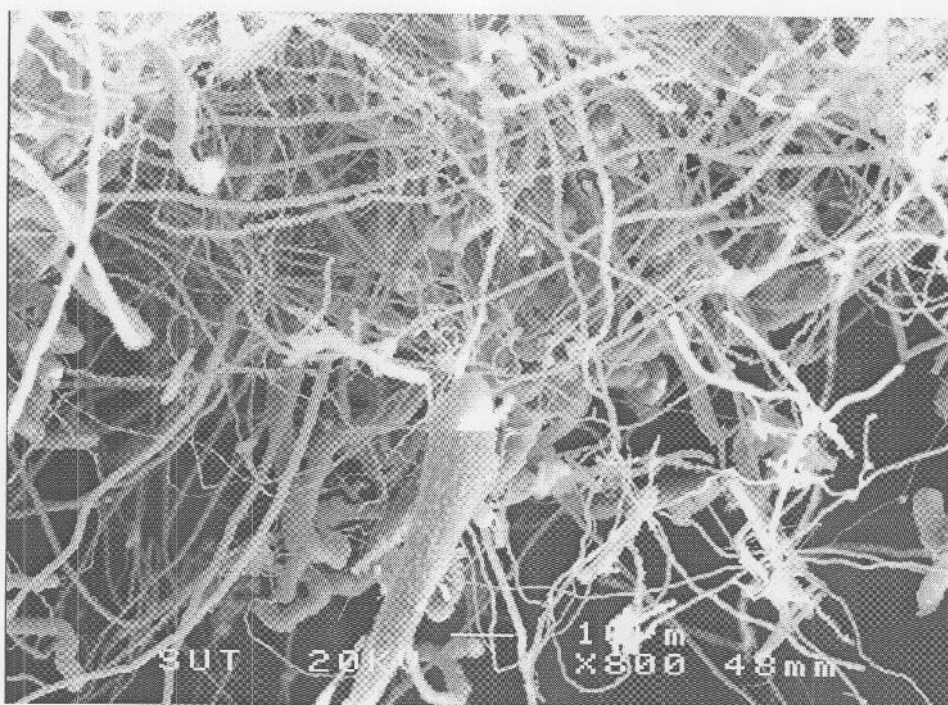
(a)



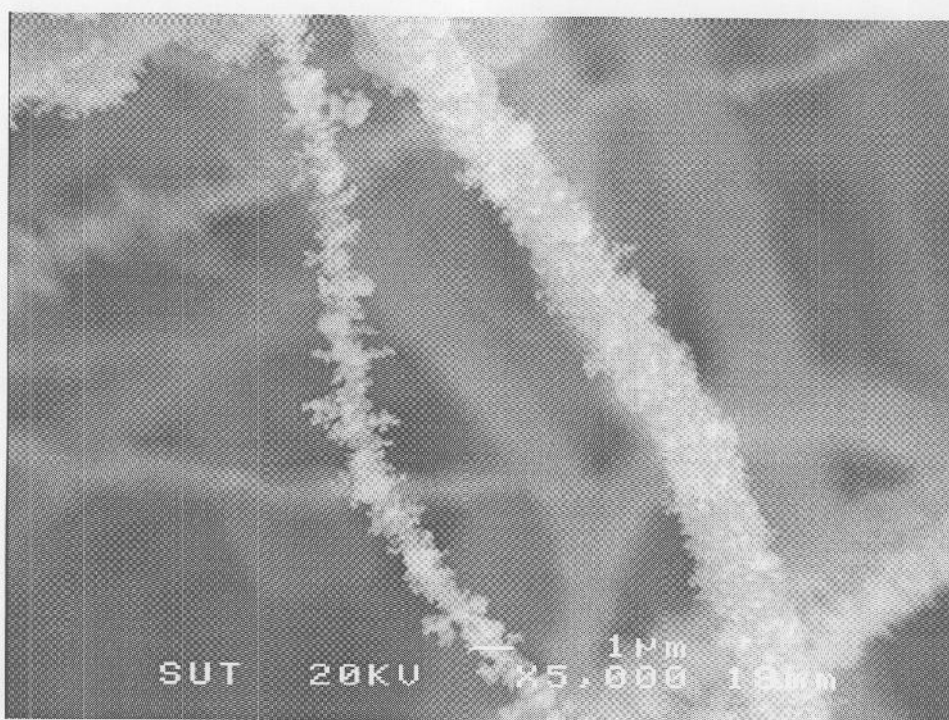
(b)



(c)



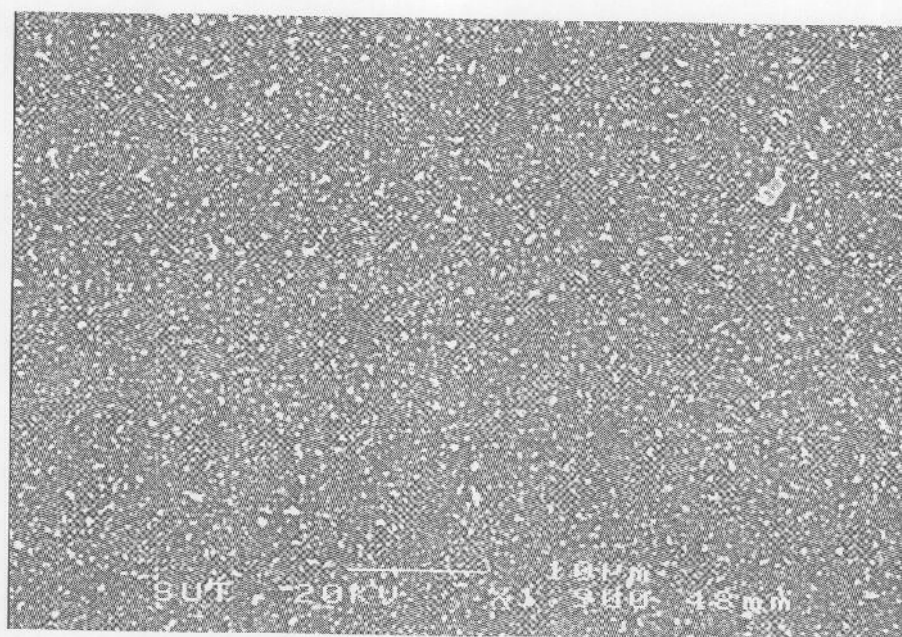
(d)



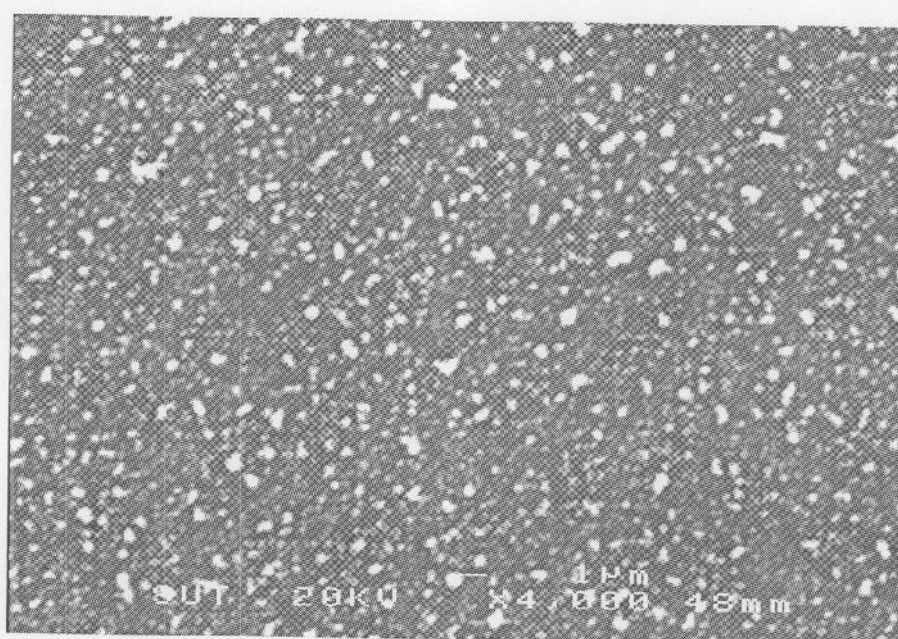
(e)

รูปที่ 3.38 (a-e)ภาพ SEM ของฐานรองแผ่นซิลิกอนที่วางถัดจากตัวอย่างที่ 20

นำฐานรองแผ่นซิลิกอนที่วางท้ายสุดจากตัวอย่างไปถ่ายภาพด้วย SEM จะมีลักษณะดังรูป 3.39(a-b)



(a)

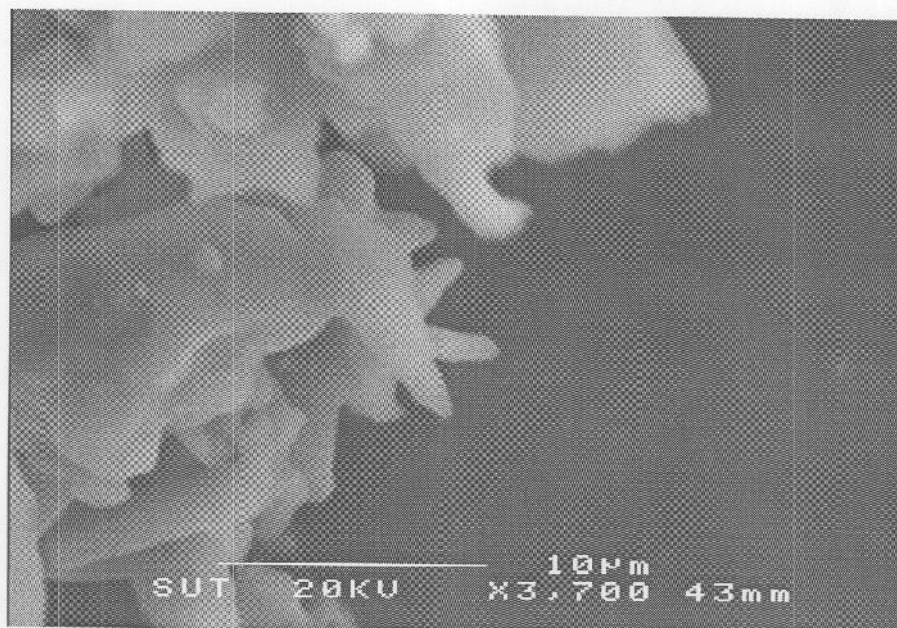


(b)

รูปที่ 3.39(a-b) ภาพ SEM ของฐานรองซิลิกอนที่วางท้ายสุดถัดจากตัวอย่าง 20

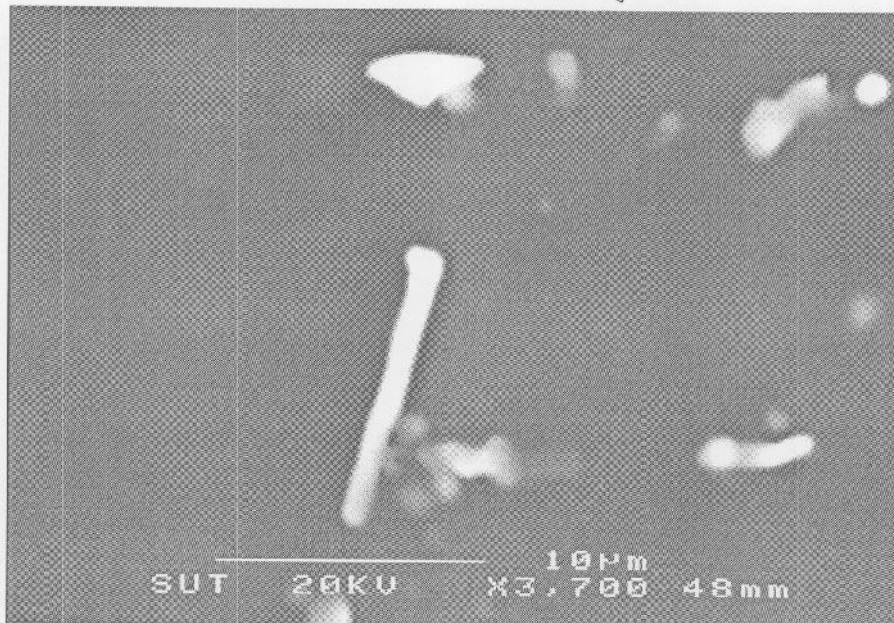
เมื่อนำวัสดุตัวอย่าง(ตัวอย่าง 21) ที่เตรียมได้จาก แก้วเคลือบบริสุทธิ์ ผสม GeO_2 และ
แกรไฟต์ ในอัตราส่วน 5:1:1 เผาที่อุณหภูมิ 1200 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 ชั่วโมง ในบรรยากาศ

ของอากาศที่ไหลผ่านน้ำกลั่นเข้าสู่เตาท่อ ด้วยอัตราการไหล 5 L/min หลังจากปล่อยให้เตาเย็นลงสู่อุณหภูมิห้อง ไปถ่ายภาพด้วย SEM จะมีลักษณะดังรูป 3.40



รูปที่ 3.40 ภาพ SEM ของตัวอย่าง 21 เเผาที่อุณหภูมิ 1,200 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 ชั่วโมง ในบรรยากาศของอากาศที่ไหลผ่านน้ำกลั่น

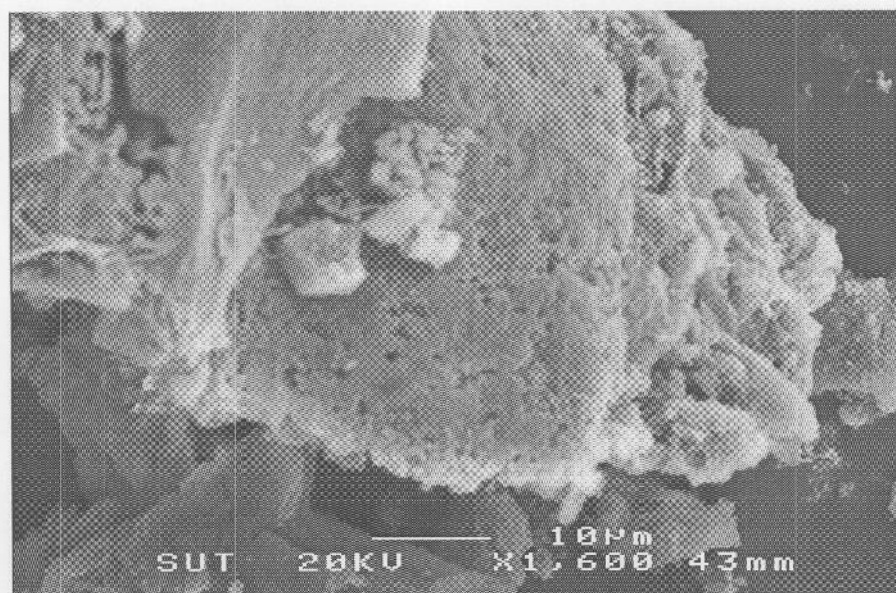
ที่วางค้ำบนตัวอย่าง ไปถ่ายภาพด้วย SEM จะมีลักษณะดังรูป 3.41



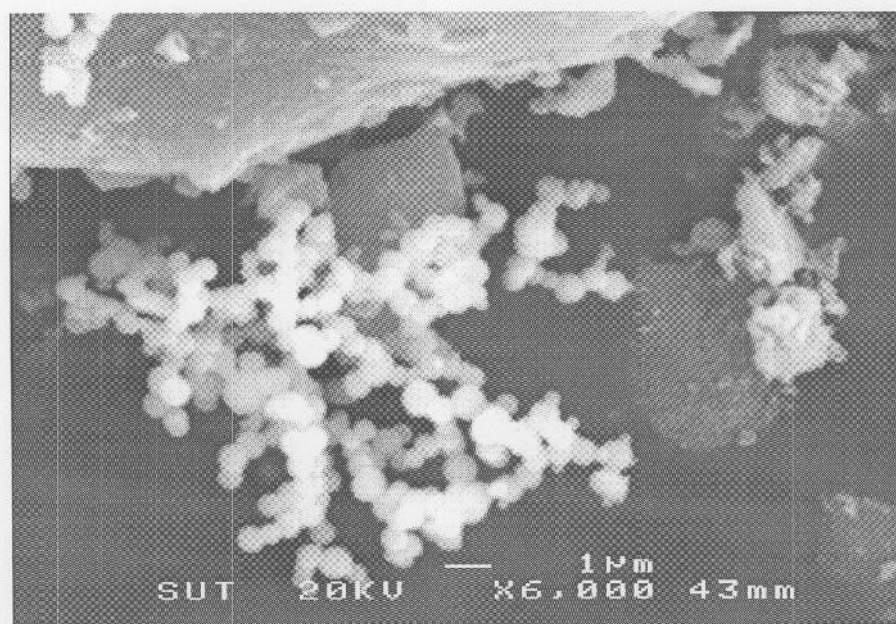
รูปที่ 3.41 ภาพ SEM ของฐานรองซิลิกอนที่วางตรงข้ามกับตัวอย่าง 21

เมื่อนำวัสดุตัวอย่าง (ตัวอย่าง 22) ที่เตรียมได้จาก แก้วเคลือบบริสุทธิ์ ผสม GeO_2 และแกรไฟต์ ในอัตราส่วน 5:1:1 เเผาที่อุณหภูมิ 1200 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 ชั่วโมง ในบรรยากาศ

ของก๊าซไนโตรเจนที่ไหลเข้าสู่เตาที่อุณหภูมิ 1 L/min หลังจากปล่อยให้เตาเย็นลงสู่อุณหภูมิห้องนำผงตัวอย่าง ไปถ่ายภาพด้วย SEM จะมีลักษณะดังรูป 3.42 (A-B)



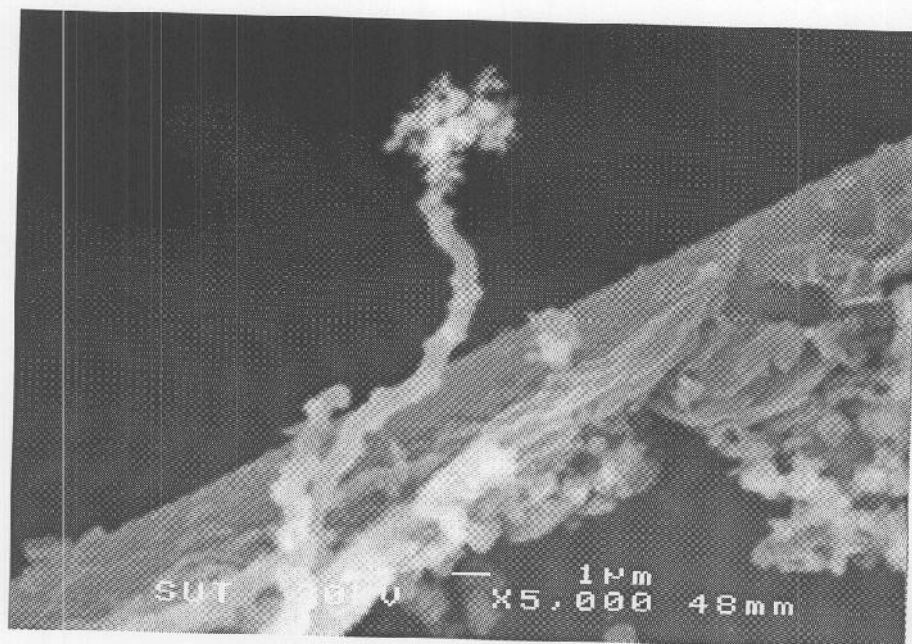
(a)



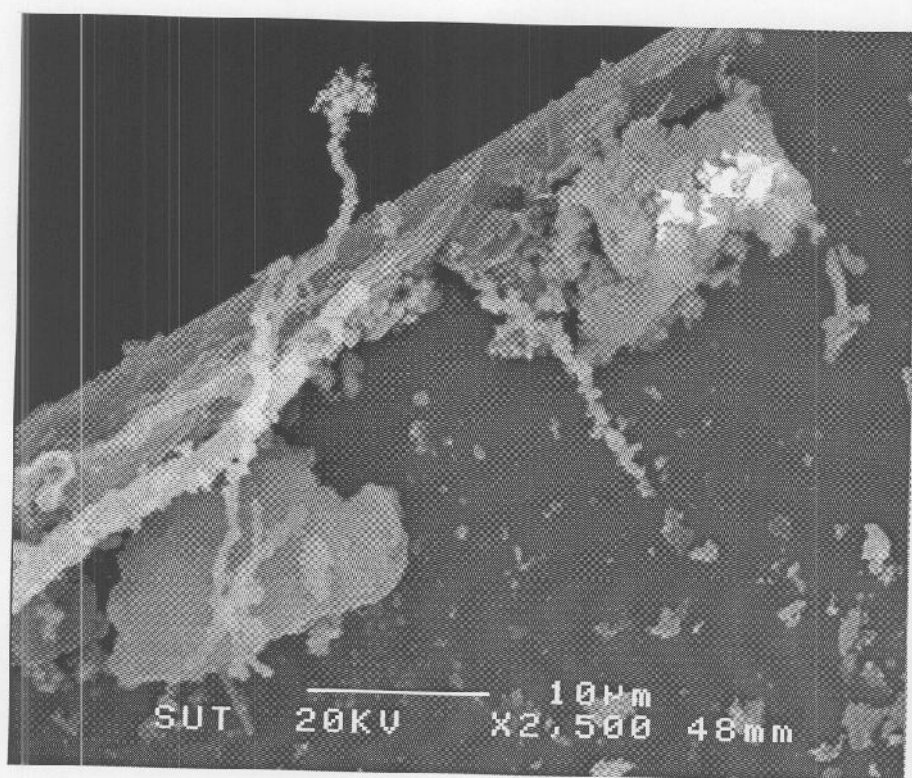
(b)

รูปที่ 3.42 (a-b) ภาพ SEM ของตัวอย่าง 22 เตาที่อุณหภูมิ 1,200 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 ชั่วโมงในบรรยากาศของก๊าซไนโตรเจน

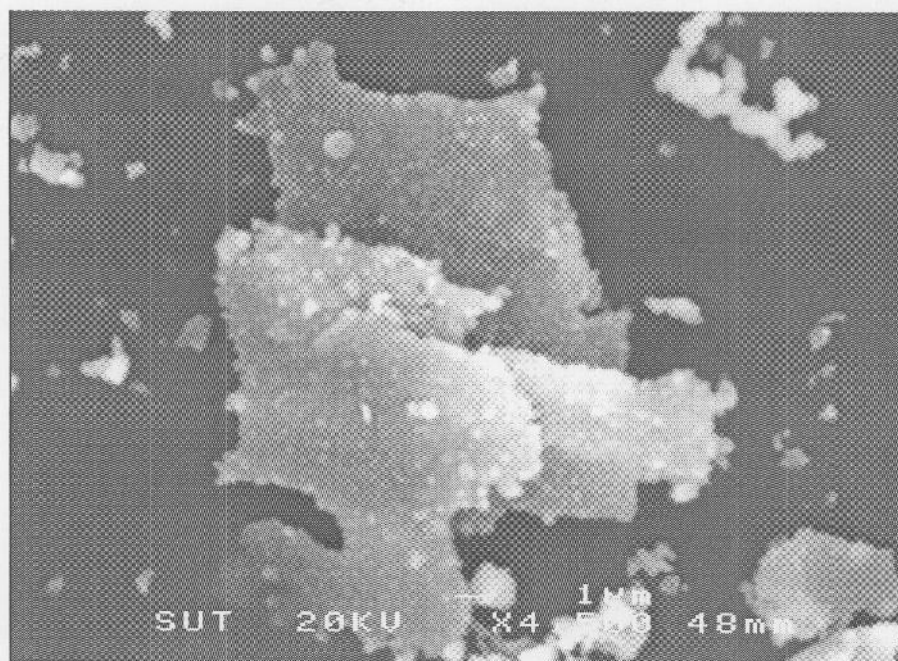
นำฐานรองแผ่นซิลิกอน ที่วางด้านบนตัวอย่าง 22 ไปถ่ายภาพด้วย SEM จะมีลักษณะดังรูป 3.43(a-e)



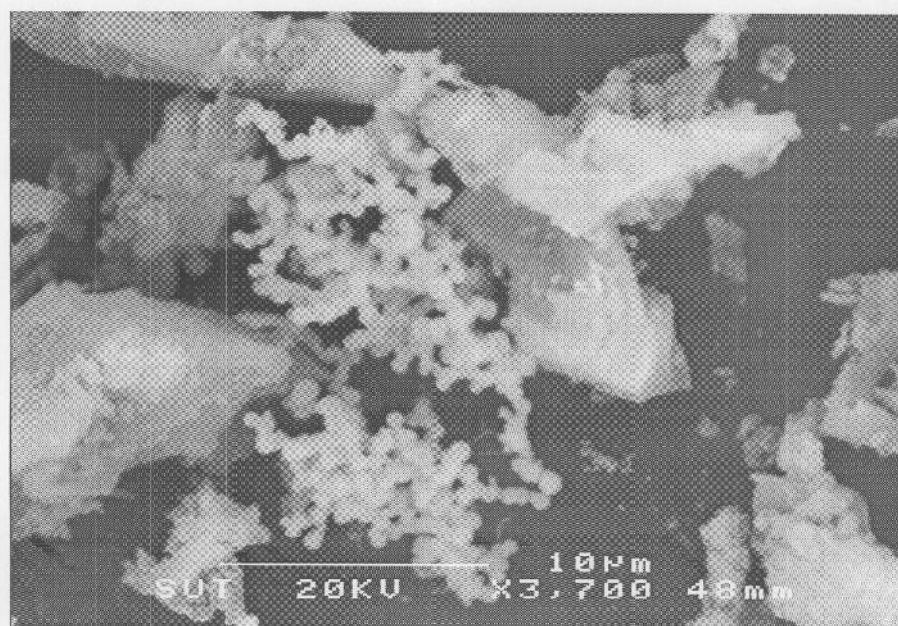
(a)



(b)



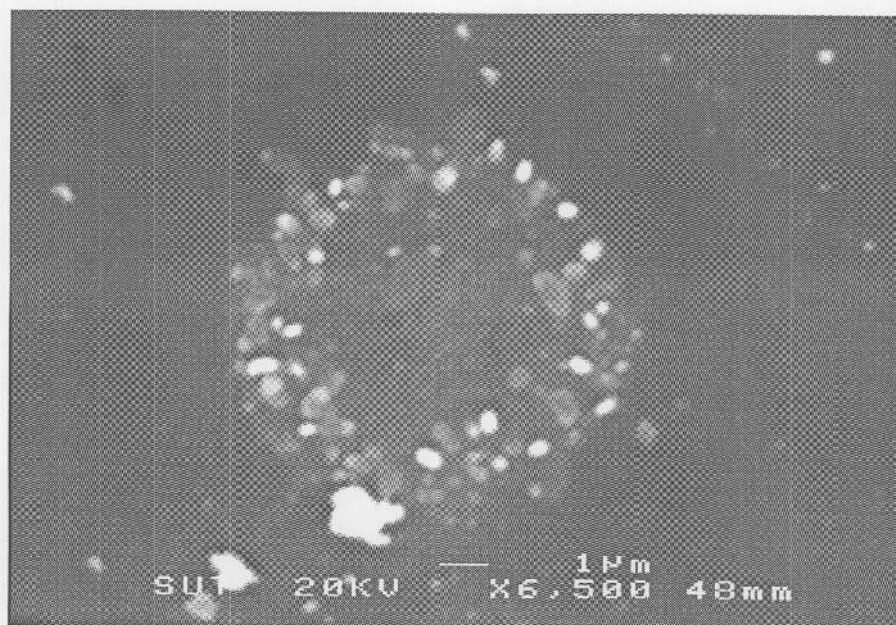
(c)



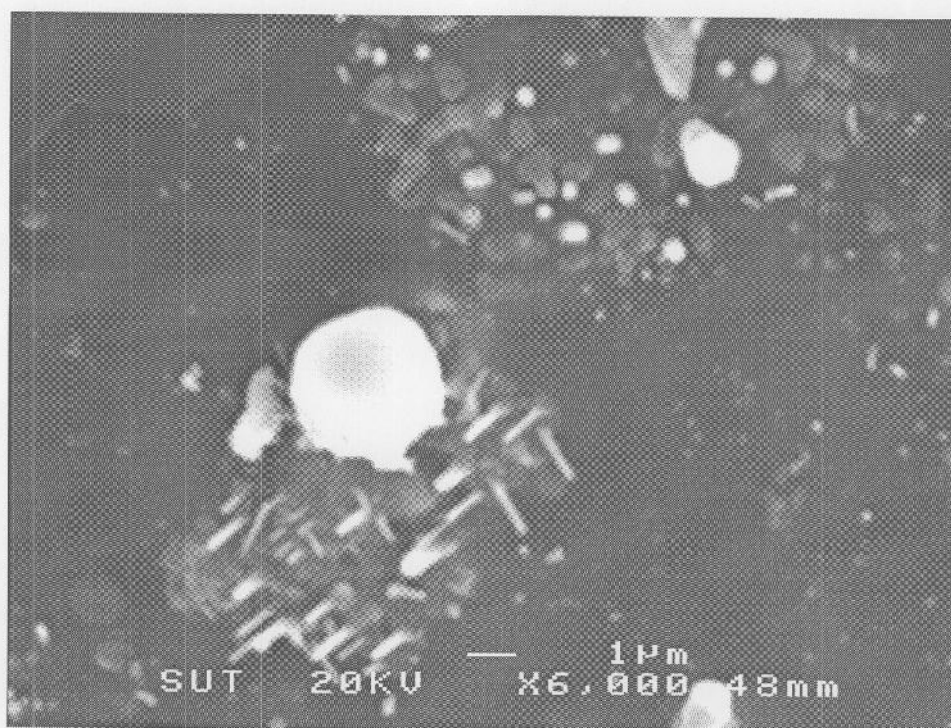
(d)

รูปที่ 3.43(a-d) ภาพ SEM ของฐานรองแผ่นซีลิกอนที่วางด้านบนตัวอย่าง 22

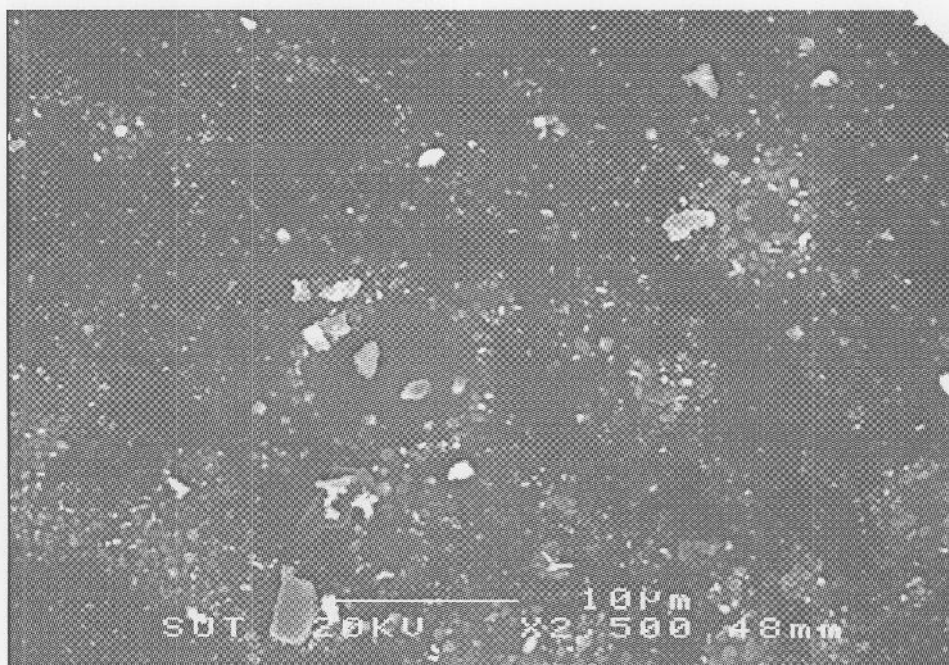
นำฐานรองแผ่นซีลิกอน ที่วางด้านล่างตัวอย่าง 22 ไปถ่ายภาพด้วย SEM จะมีลักษณะดังรูป 3.44 (a-d)



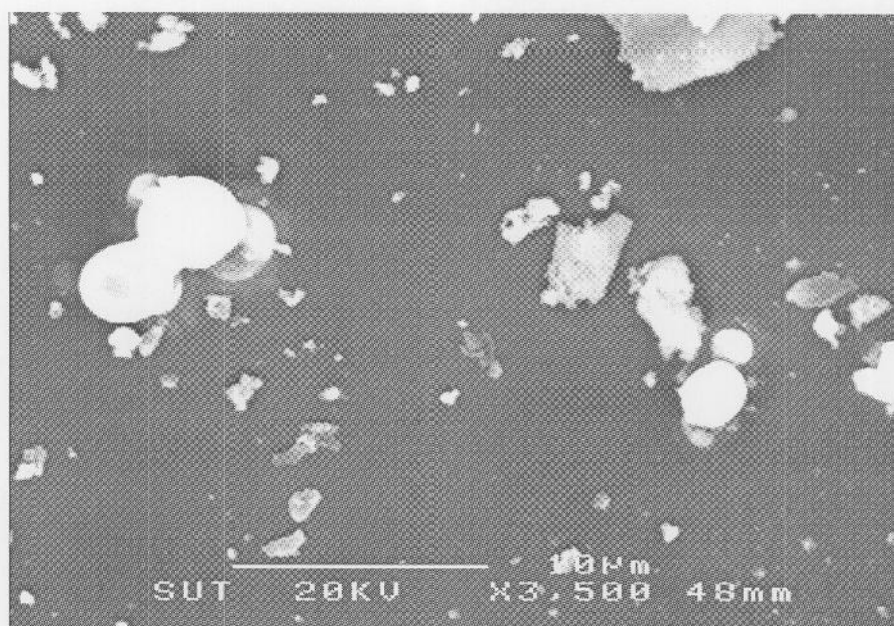
(a)



(b)



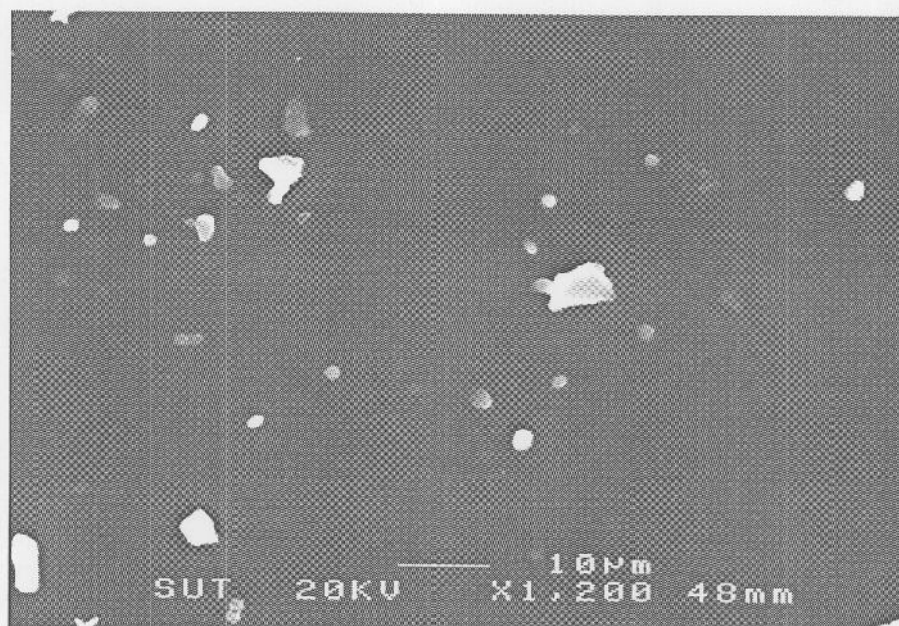
(c)



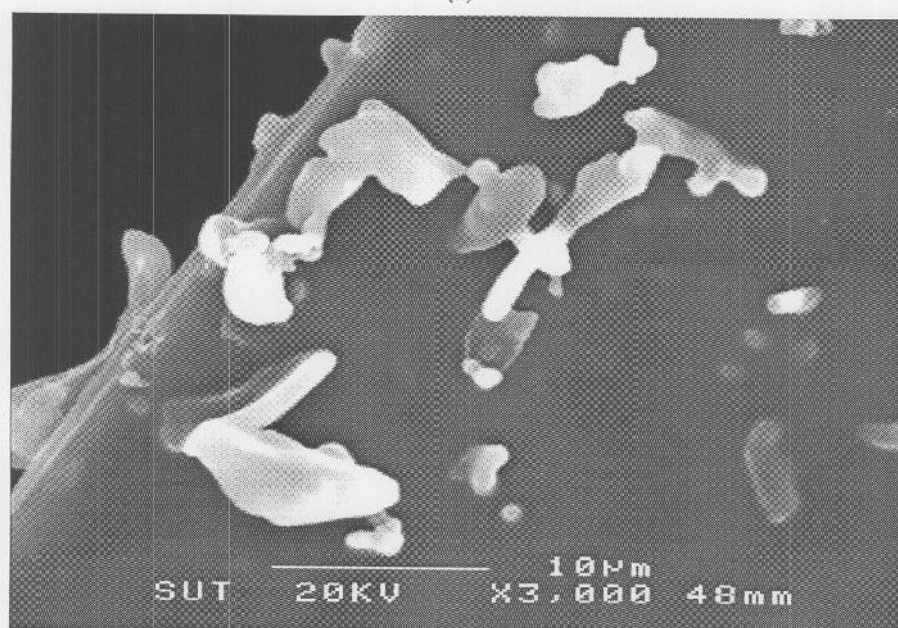
(d)

รูปที่ 3.44(a-d) ภาพ SEM ของฐานรองซีลิกอนที่วางค้ำล่างตัวอย่าง 22

เมื่อนำฐานรองแผ่นซีลิกอน ที่วางถัดจากตัวอย่าง 22 ไปถ่ายภาพด้วย SEM จะมีลักษณะดัง
รูป 3.45(a-b)



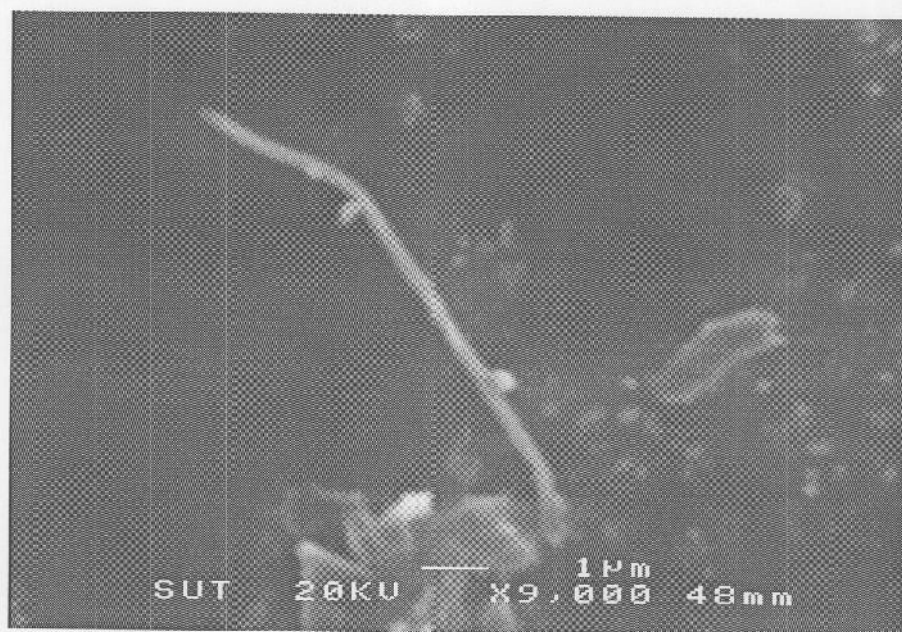
(a)



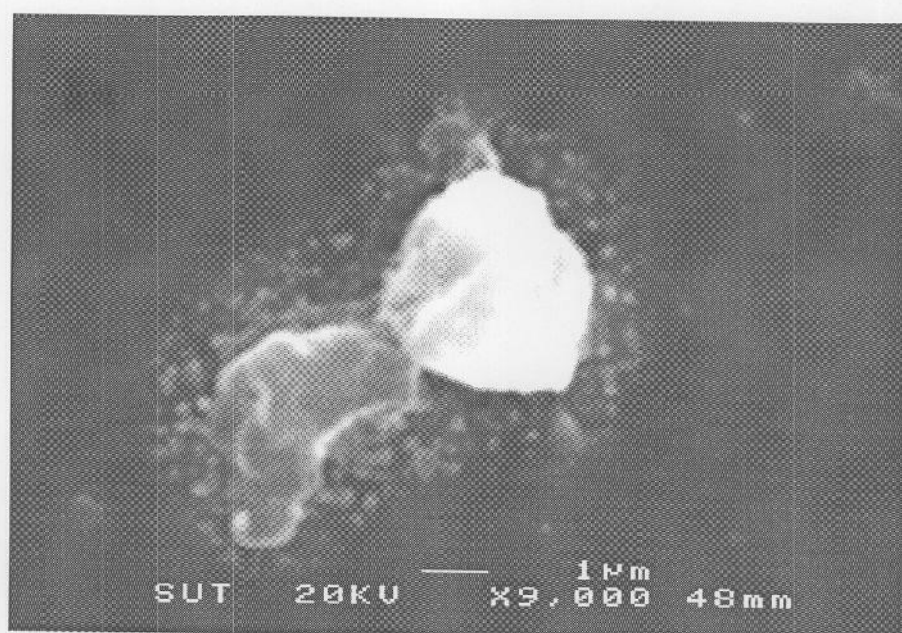
(b)

รูปที่ 3.45(a-b) ภาพ SEM ของฐานรองซิลิกอนที่วางด้านบนตัวอย่าง 23

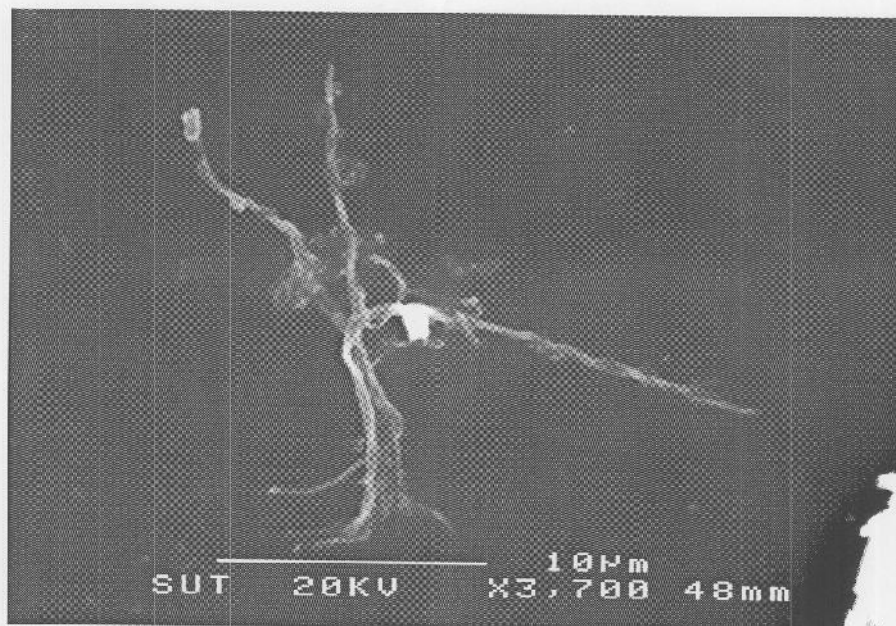
นำฐานรองแผ่นซิลิกอน ที่วางถัดจากตัวอย่าง 22 ไปถ่ายภาพด้วย SEM จะมีลักษณะดังรูป 3.46(a-c)



(a)



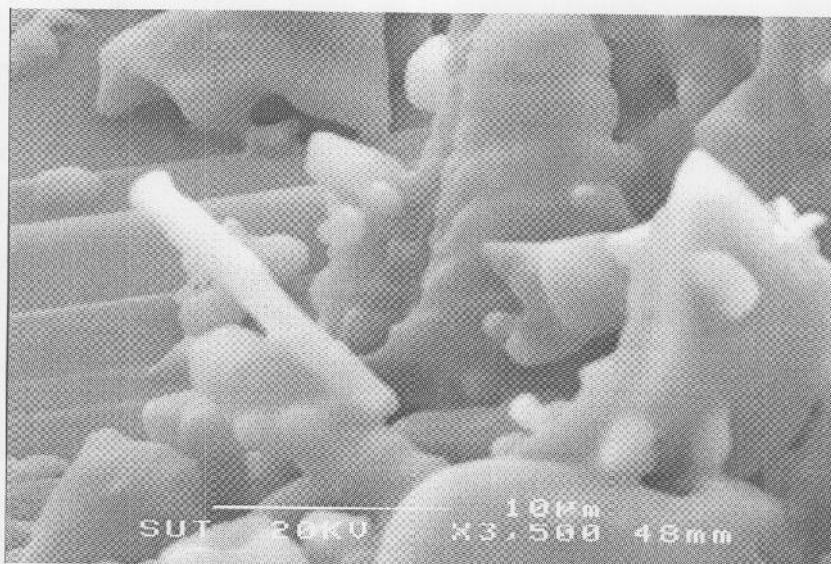
(b)



(c)

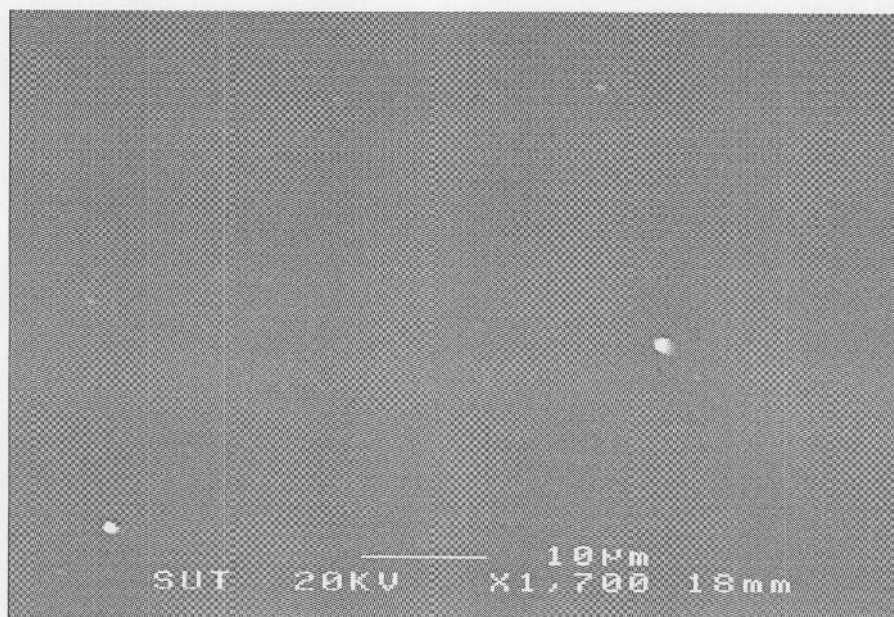
รูปที่ 3.46(a-c) ภาพ SEM ของฐานรองแผ่นซิลิกอนที่วางถัดจากตัวอย่าง 22 ปลายสุด

เมื่อนำวัสดุตัวอย่าง(ตัวอย่าง 23) ที่เตรียมได้จาก แก้วเคลือบบริสุทธิ์ ผสม GeO_2 และแกรไฟต์ ในอัตราส่วน 5:1:1 เผาที่อุณหภูมิ 1200 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 ชั่วโมง ในบรรยากาศของก๊าซออกซิเจนที่ไหลเข้าสู่เตาที่ด้วยอัตราการไหล 5 L/min หลังจากปล่อยให้เตาเย็นลงสู่อุณหภูมิห้อง นำฐานรองแผ่นซิลิกอนที่วางด้านล่างตัวอย่าง ไปถ่ายภาพด้วย SEM จะมีลักษณะดังรูป 3.47



รูปที่ 3.47 ภาพ SEM ของตัวอย่าง 24 เผาที่อุณหภูมิ 1,200 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 ชั่วโมง ในบรรยากาศของก๊าซออกซิเจนที่ไหลด้วยอัตรา 5 L/min

นำฐานรองแผ่นซิลิกอนที่วางถัดจากตัวอย่าง 23 ไปถ่ายภาพด้วย SEM จะมีลักษณะดังรูป 3.48

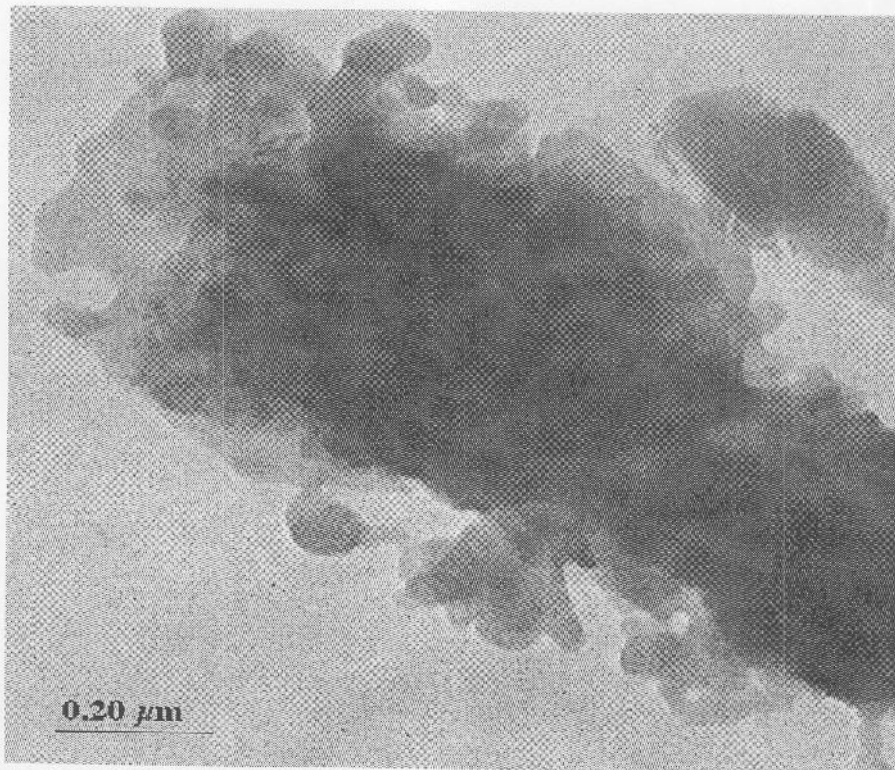


รูปที่ 3.48 ภาพ SEM ของฐานรองซิลิกอนที่วางถัดจากตัวอย่าง 23

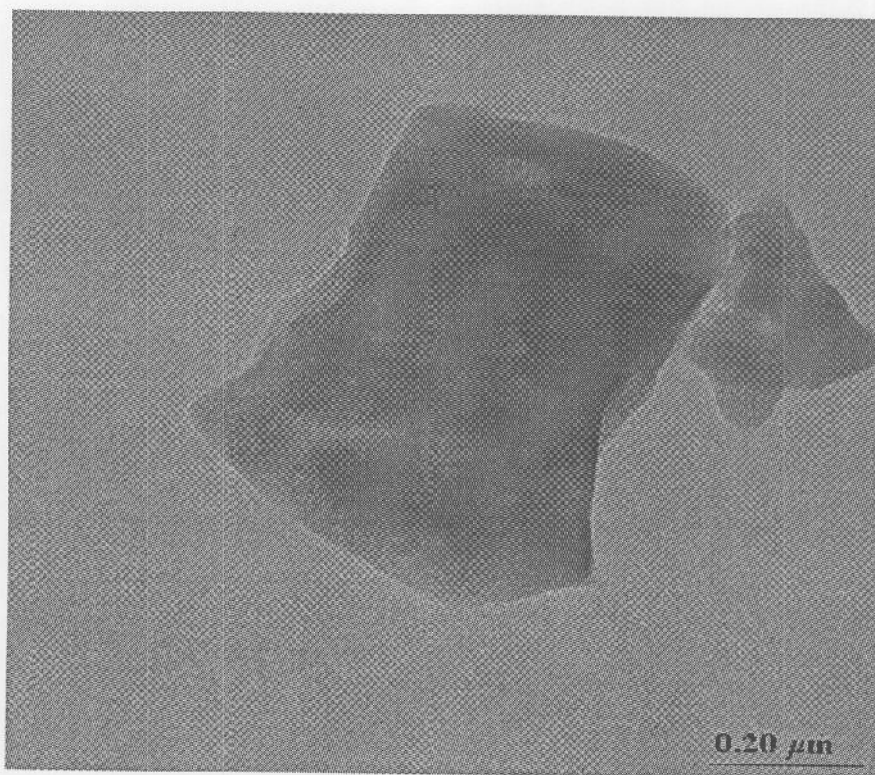
3.2 การศึกษาโครงสร้างของวัสดุตัวอย่างที่เตรียมได้โดยเครื่อง Transmission electron microscope (TEM)

ในการศึกษาโครงสร้างของวัสดุด้วย TEM จะเลือกทำการศึกษาเฉพาะตัวอย่างที่สนใจและมีแนวโน้มของสังเคราะห์เกิดวัสดุโครงสร้างนาโนโดยดูภาพจากกล้อง Image analyzer (optical stereo microscope) มีผลการศึกษาดังต่อไปนี้

เมื่อนำวัสดุตัวอย่าง(ตัวอย่าง 20) ที่เตรียมได้จาก เถ้าแกลบบริสุทธิ์ ผสม GeO_2 และ ผ่านกะลา ในอัตราส่วน 5:1:1 เตาที่อุณหภูมิ 1200 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 ชั่วโมง ในบรรยากาศของไนโตรเจนที่ไหลเข้าสู่เตาที่อัตราการไหล 1 L/min หลังจากปล่อยให้เตาเย็นลงสู่อุณหภูมิห้อง นำผงตัวอย่างไปถ่ายภาพด้วย TEM จะมีลักษณะดังรูป 3.49 - 3.56 ซึ่งจะมีกำลังขยายต่างกัน

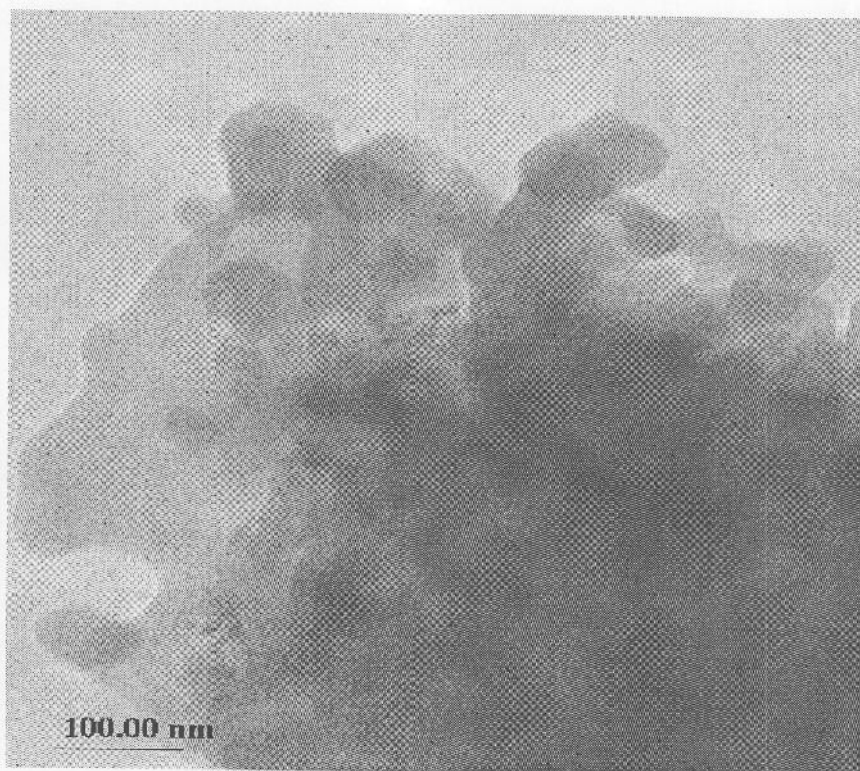


(a)

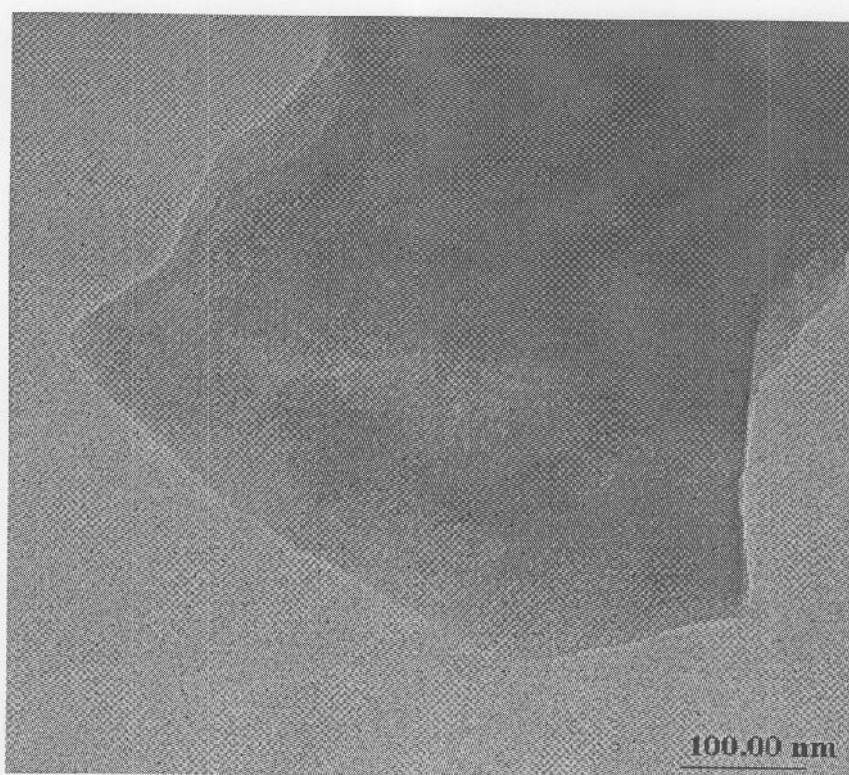


(b)

รูปที่ 3.49(a-b) ภาพ TEM ของตัวอย่าง 20 เฟอร์ที่อุณหภูมิ 1,200 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 ชั่วโมง
ในบรรยากาศของก๊าซไนโตรเจน กำลังขยาย 15k

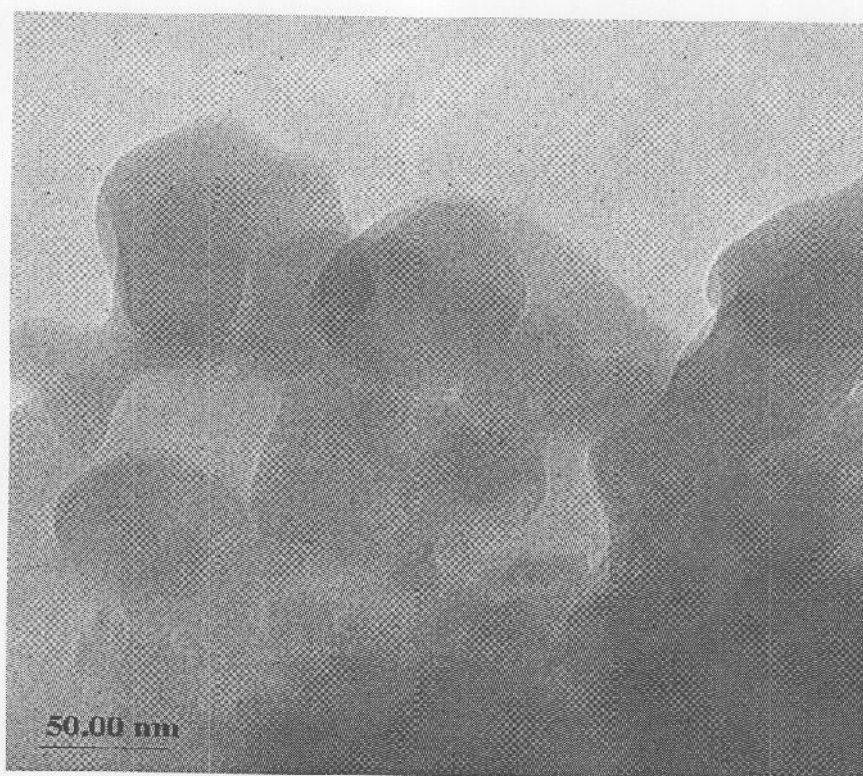


(a)

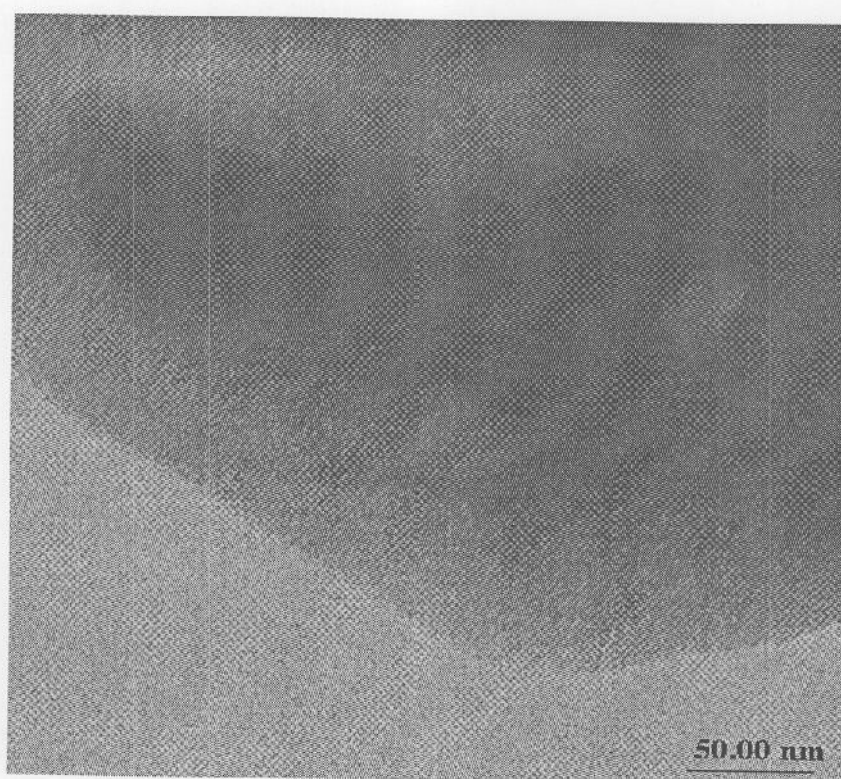


(b)

รูปที่ 3.50(a-b) ภาพ TEM ของตัวอย่าง 20 เฟาที่อุณหภูมิ 1,200 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 ชั่วโมง
ในบรรยากาศของก๊าซไนโตรเจน กำลังขยาย 25k



(a)

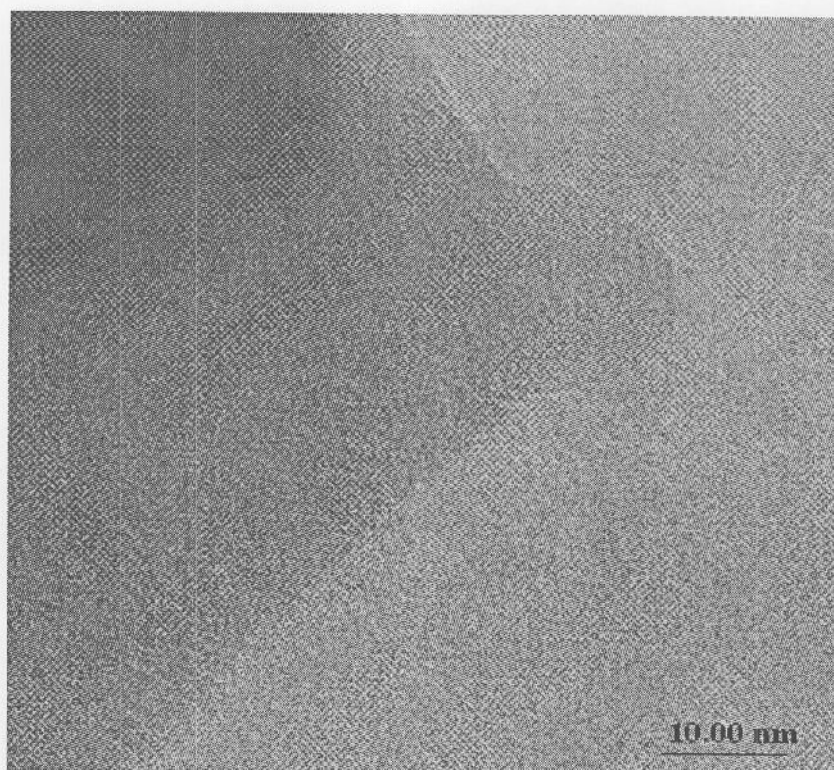


(b)

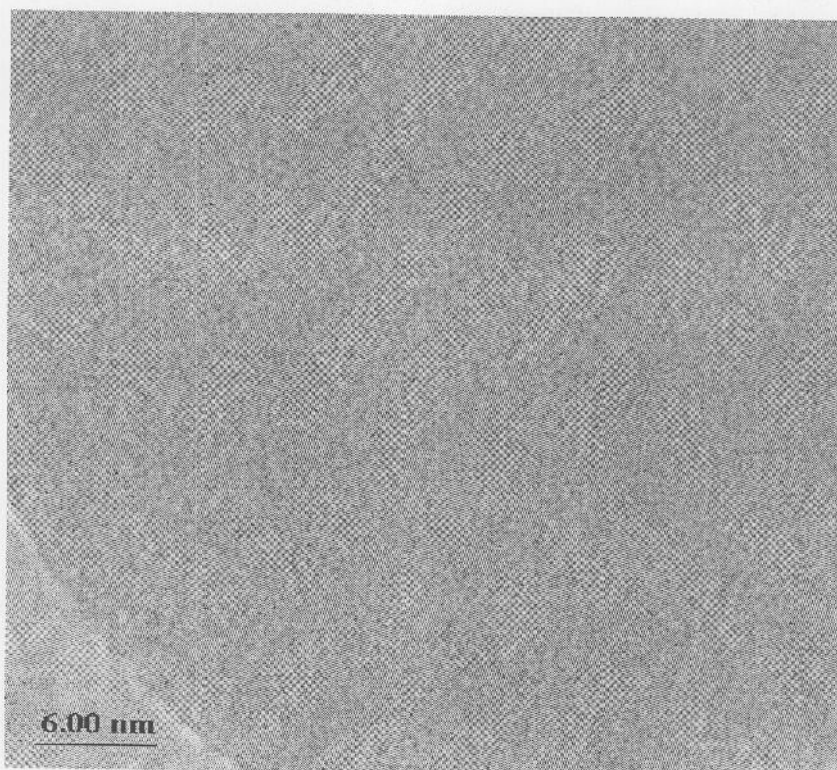
รูปที่ 3.51(a-b) ภาพ TEM ของตัวอย่าง 20 เฟอร์ที่อุณหภูมิ 1,200 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 ชั่วโมง
ในบรรยากาศของก๊าซไนโตรเจน กำลังขยาย 50k



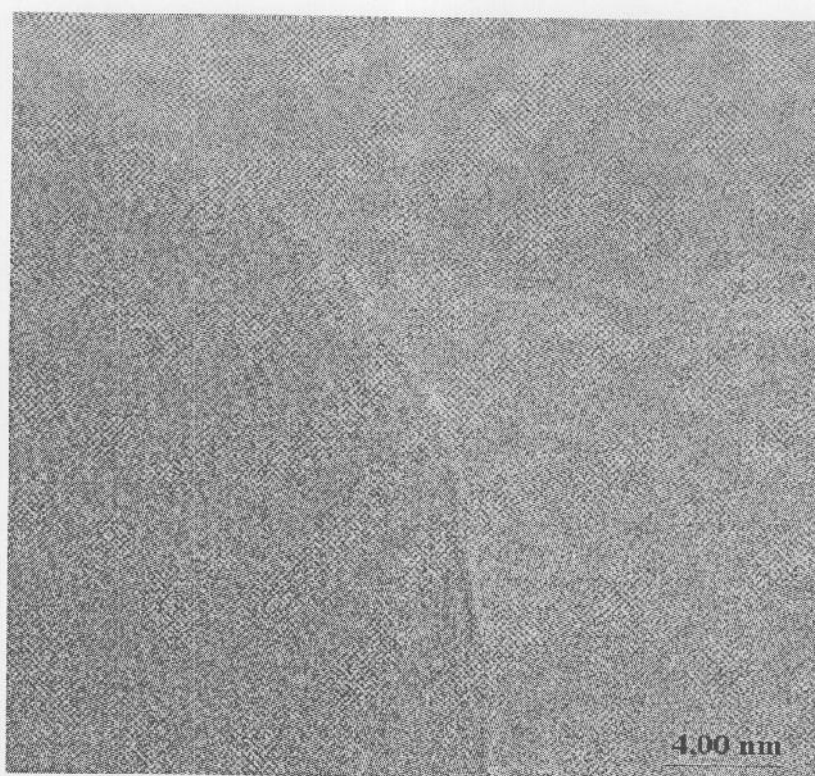
รูปที่ 3.52 ภาพ TEM ของตัวอย่าง 20 เฟาที่อุณหภูมิ 1,200 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 ชั่วโมง
ในบรรยากาศของก๊าซไนโตรเจน กำลังขยาย 120k



รูปที่ 3.53 ภาพ TEM ของตัวอย่าง 20 เฟาที่อุณหภูมิ 1,200 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 ชั่วโมง
ในบรรยากาศของก๊าซไนโตรเจน กำลังขยาย 250k

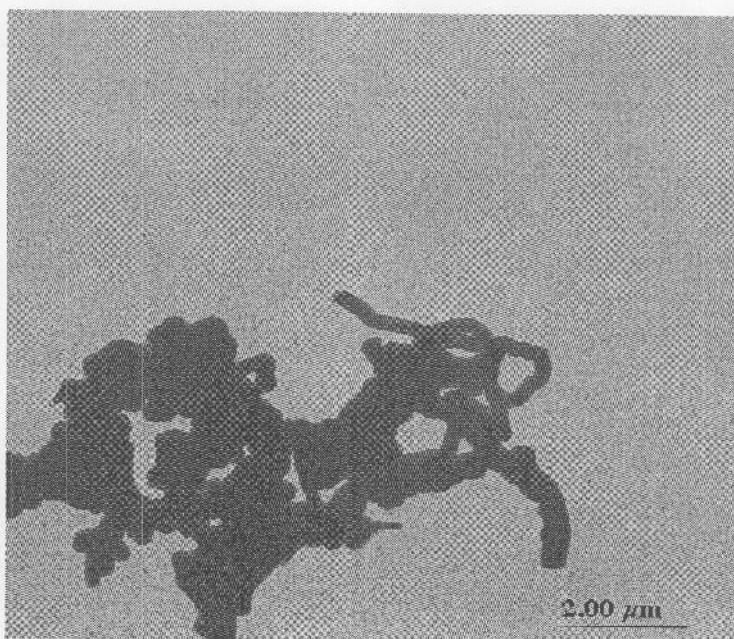


รูปที่ 3.54 ภาพ TEM ของตัวอย่าง 20 นาโนเมตร ที่อุณหภูมิ 1,200 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 ชั่วโมง
ในบรรยากาศของก๊าซไนโตรเจน กำลังขยาย 400k

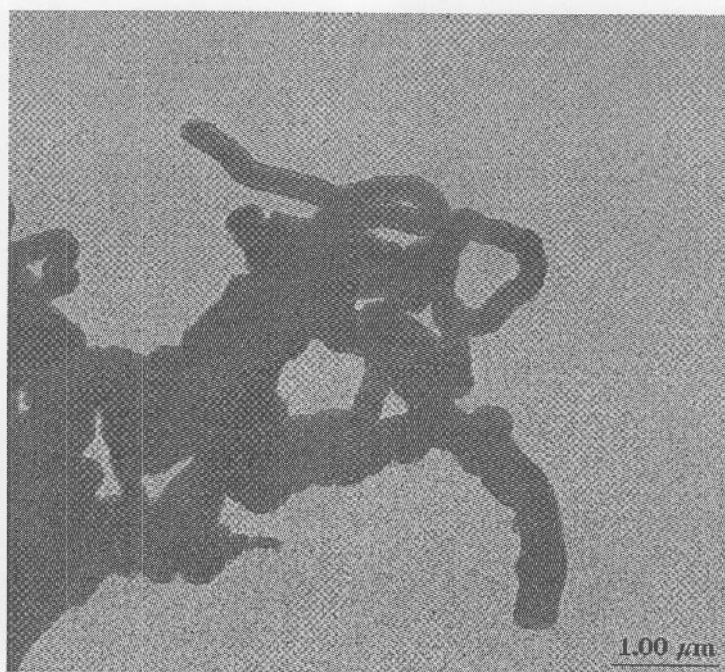


รูปที่ 3.55 ภาพ TEM ของตัวอย่าง 20 นาโนเมตร ที่อุณหภูมิ 1,200 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 ชั่วโมง
ในบรรยากาศของก๊าซไนโตรเจน กำลังขยาย 600k

เมื่อนำผลิตภัณฑ์ที่เกิดการสังเคราะห์ขึ้นบนฐานรองแผ่นซิลิกอน ที่วางถัดจากตัวอย่าง 20 ไปถ่ายภาพด้วย TEM จะมีลักษณะดังรูป 3.56(a-b) โดยภาพลำดับถัดไปจะมีกำลังขยายเพิ่มขึ้น

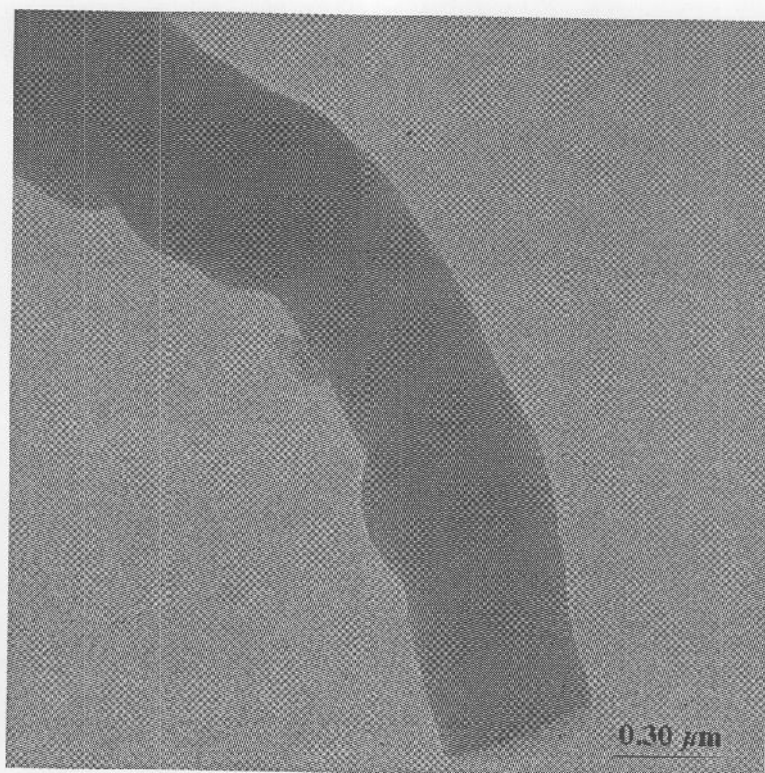


(a)

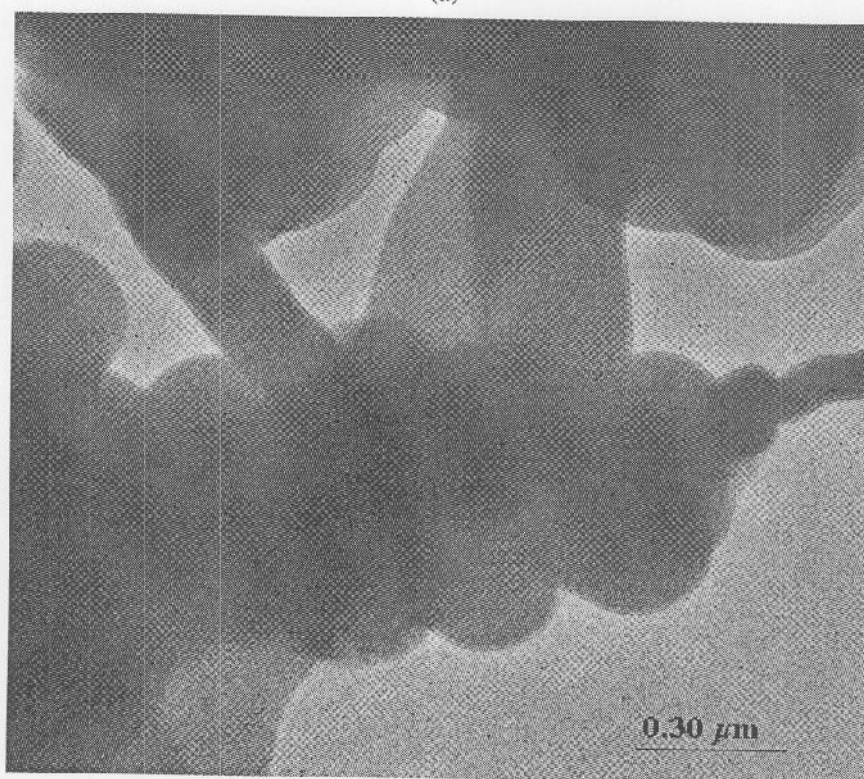


(b)

รูปที่ 3.56(a-b) ภาพ TEM ของแผ่นฐานรองซิลิกอนที่วางถัดตัวอย่าง 20 เฟาที่อุณหภูมิ 1,200 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 ชั่วโมงในบรรยากาศของก๊าซไนโตรเจนกำลังขยาย 5k

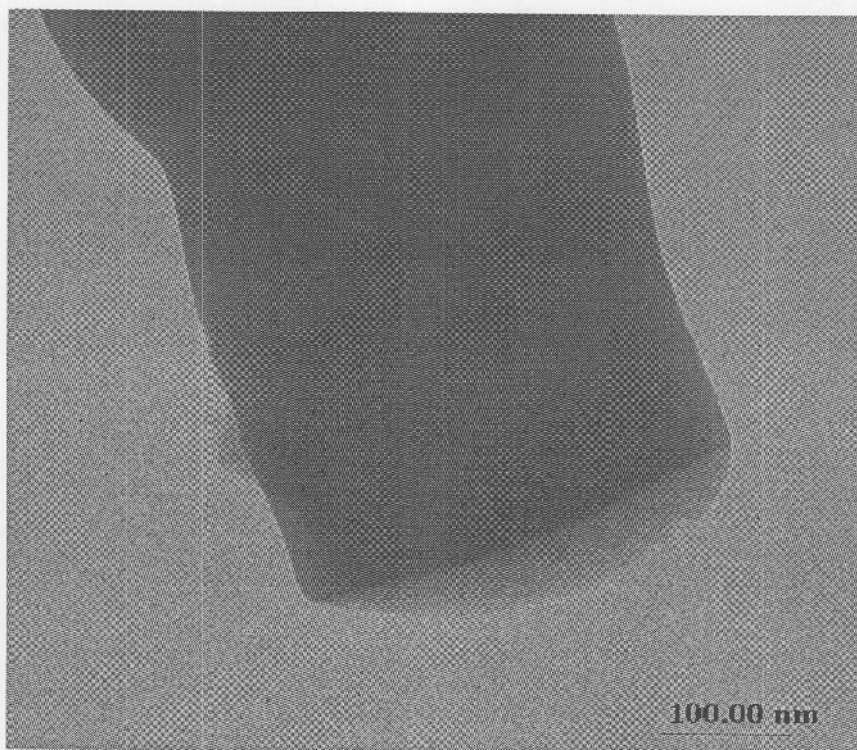


(a)

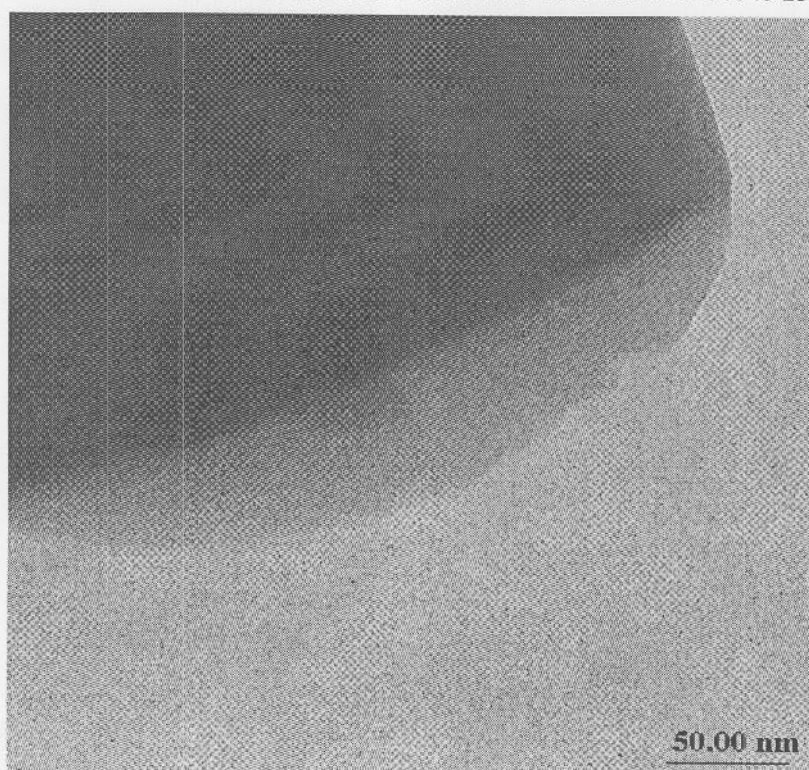


(b)

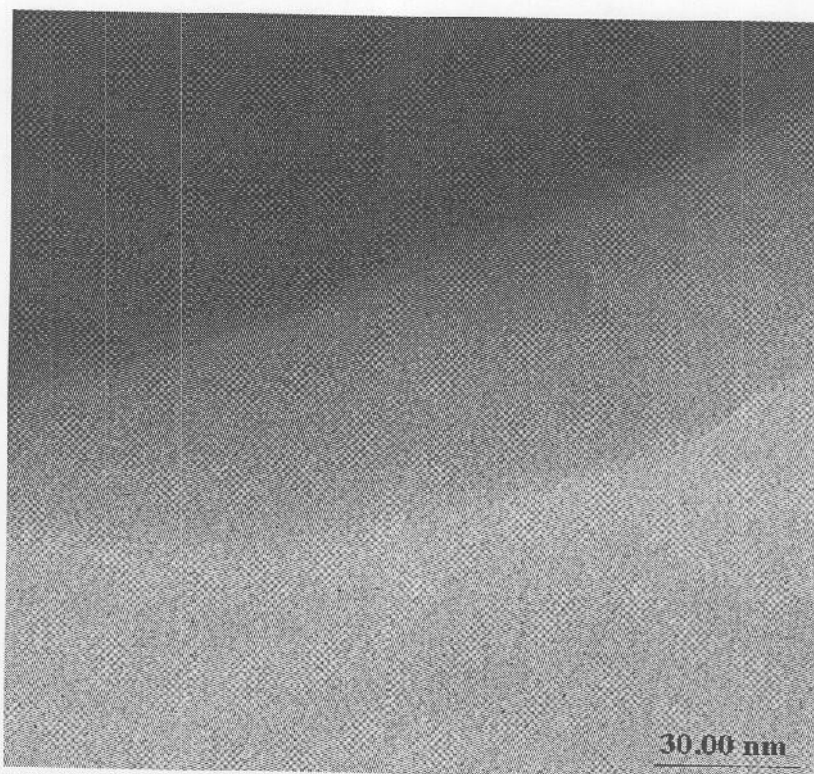
รูปที่ 3.57(a-b) ภาพ TEM ของแผ่นฐานรองซิลิกอนที่วางถัดตัวอย่าง 20 เฟาที่อุณหภูมิ 1,200 องศา เซลเซียส เป็นเวลา 3 ชั่วโมงในบรรยากาศของก๊าซไนโตรเจนกำลังขยาย 10k



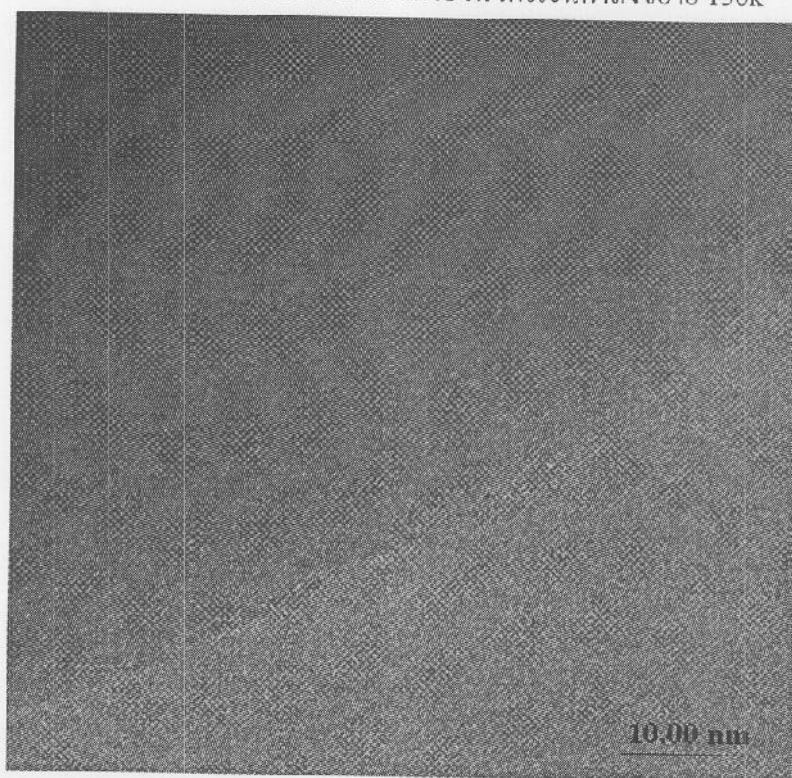
รูปที่ 3.58 ภาพ TEM ของแผ่นฐานรองซิลิกอนที่วางกัด้วยอย่าง 20 เนาที่อุณหภูมิ 1,200 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 ชั่วโมงในบรรยากาศของก๊าซไนโตรเจนกำลังขยาย 25k



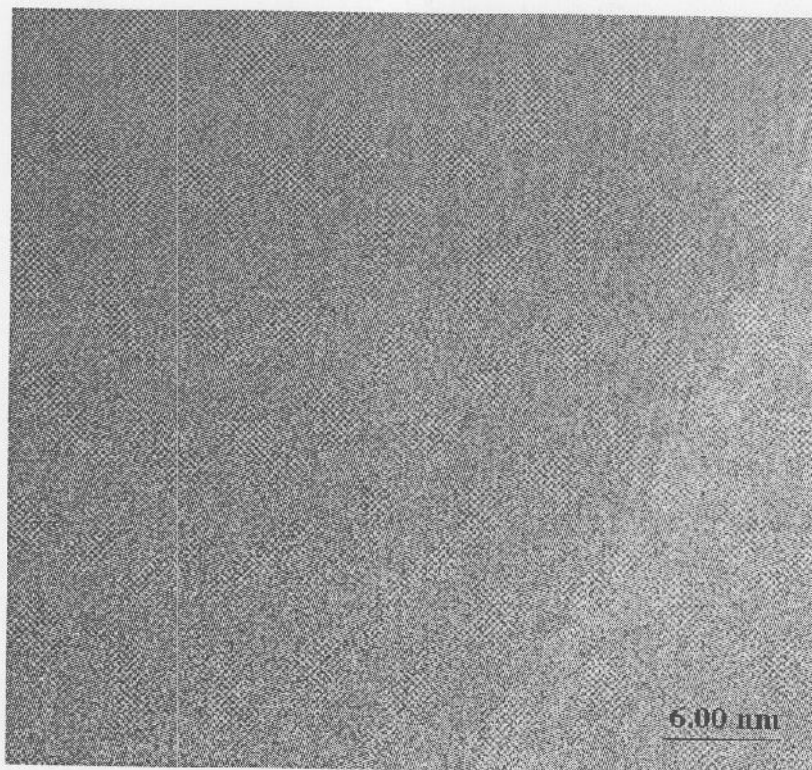
รูปที่ 3.59 ภาพ TEM ของแผ่นฐานรองซิลิกอนที่วางกัด้วยอย่าง 20 เนาที่อุณหภูมิ 1,200 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 ชั่วโมงในบรรยากาศของก๊าซไนโตรเจนกำลังขยาย 50k



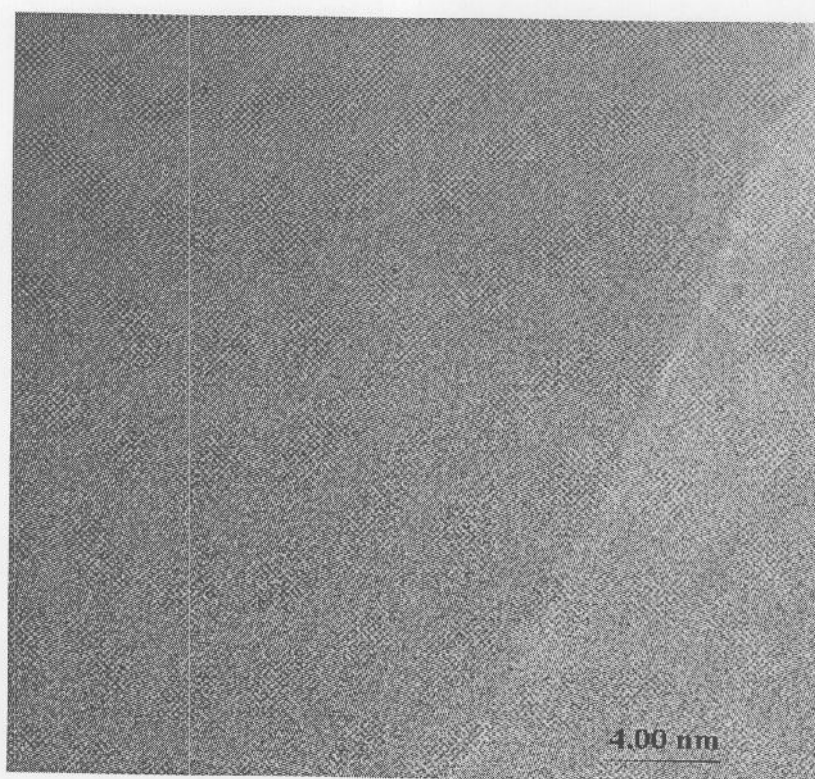
รูปที่ 3.60 ภาพ TEM ของแผ่นฐานรองซิลิกอนที่วางถัดตัวอย่าง 20 เฟาที่อุณหภูมิ 1,200 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 ชั่วโมงในบรรยากาศของก๊าซไนโตรเจนกำลังขยาย 150k



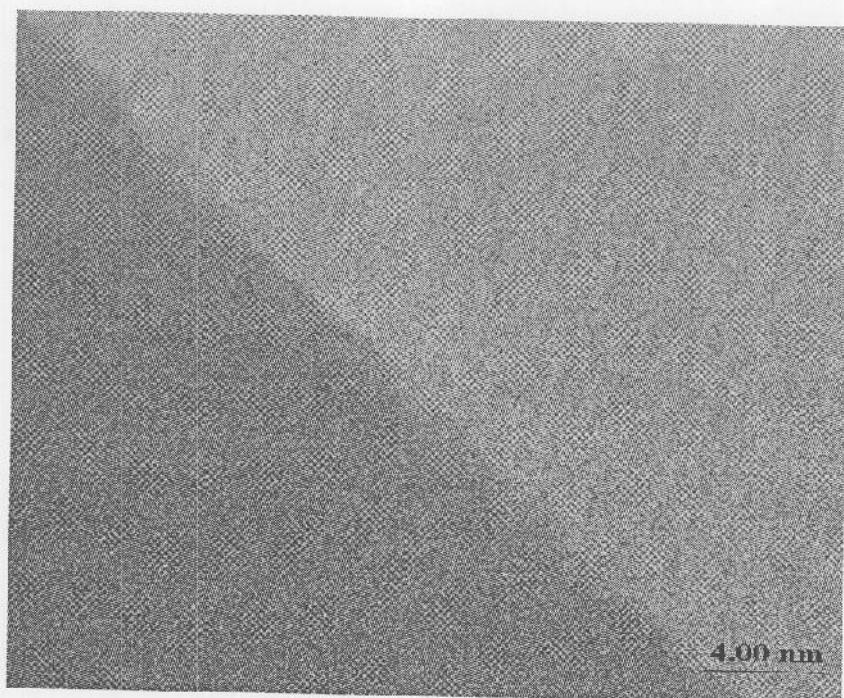
รูปที่ 3.61 ภาพ TEM ของแผ่นฐานรองซิลิกอนที่วางถัดตัวอย่าง 20 เฟาที่อุณหภูมิ 1,200 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 ชั่วโมงในบรรยากาศของก๊าซไนโตรเจนกำลังขยาย 250k



รูปที่ 3.62 ภาพ TEM ของแผ่นฐานรองซิลิกอนที่วางกัด้วยอย่าง 20 เฟาที่อุณหภูมิ 1,200 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 ชั่วโมงในบรรยากาศของก๊าซไนโตรเจนกำลังขยาย 400k



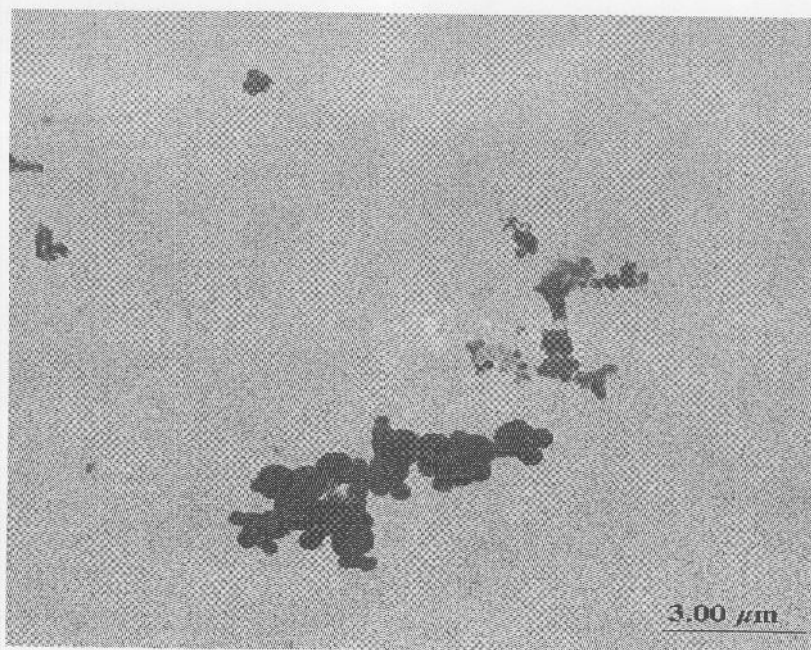
(a)



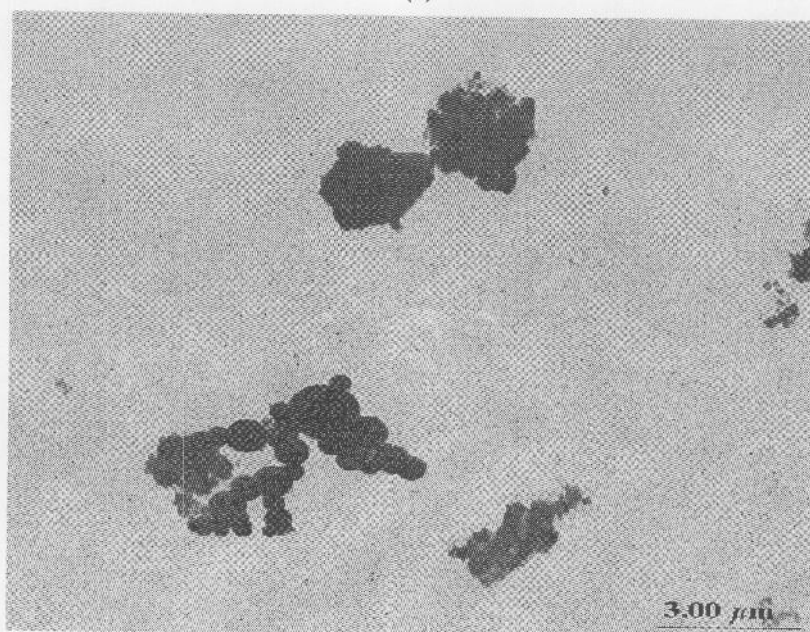
(b)

รูปที่ 3.63(a-b) ภาพ TEM ของแผ่นฐานรองซิลิกอนที่วางติดตัวอย่าง 20 เคาที่อุณหภูมิ 1,200 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 ชั่วโมงในบรรยากาศของก๊าซไนโตรเจนกำลังขยาย 600k

เมื่อนำวัสดุตัวอย่าง(ตัวอย่าง 22) ที่เตรียมได้จาก แก้วเคลือบบริสุทธิ์ ผสม GeO_2 และแกรไฟต์ ในอัตราส่วน 5:1:1 เคาที่อุณหภูมิ 1200 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 ชั่วโมง ในบรรยากาศของก๊าซไนโตรเจนที่ไหลเข้าสู่เตาท่อ ด้วยอัตราการไหล 1 L/min หลังจากปล่อยให้เตาเย็นลงสู่อุณหภูมิห้อง ไปถ่ายภาพด้วย TEM จะมีลักษณะดังรูป 3.64(a-b) - 3.70(a-c)

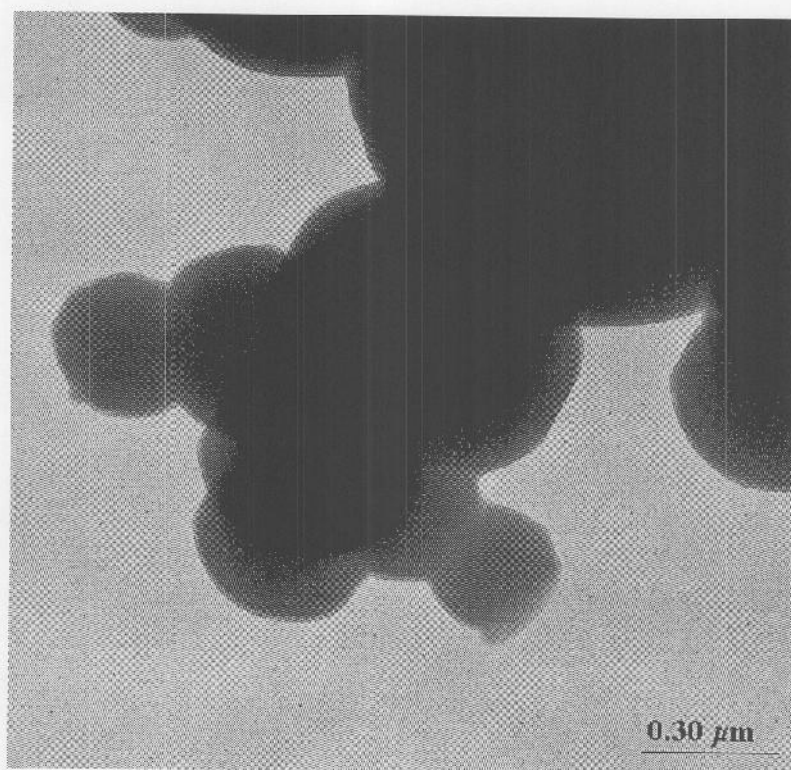


(a)

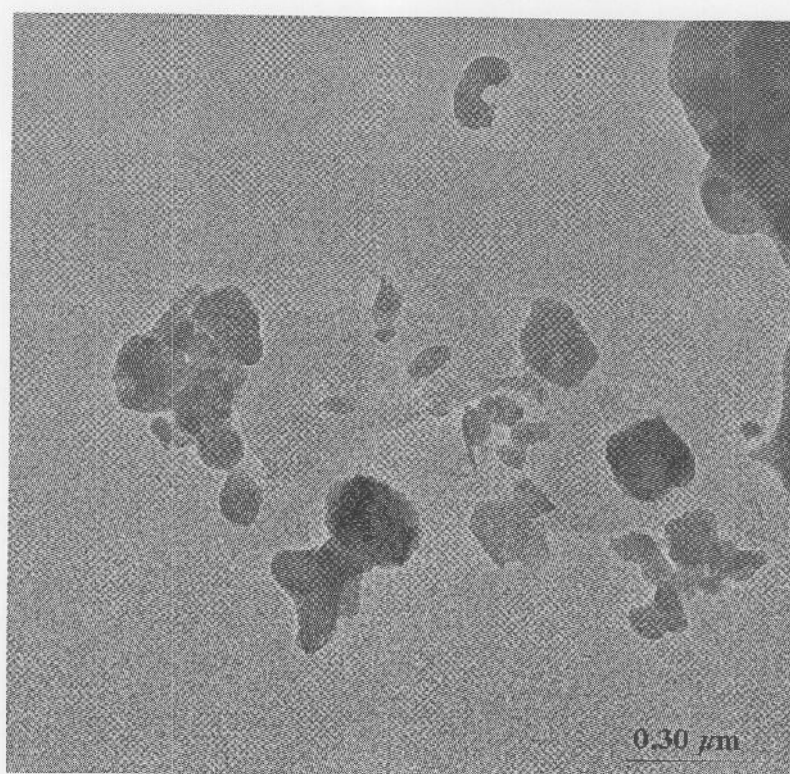


(b)

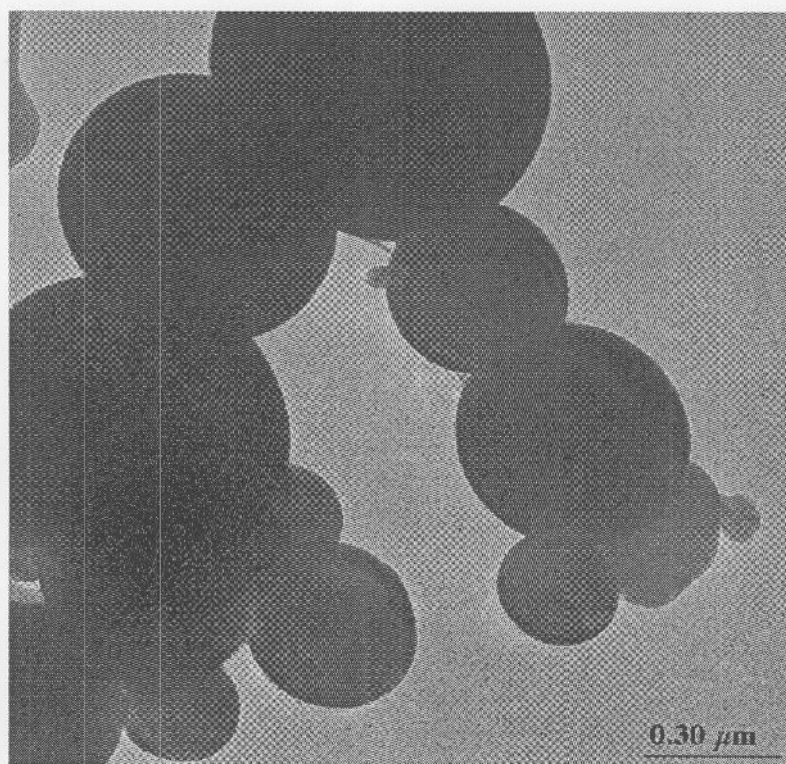
รูปที่ 3.64(a-b) ภาพ TEM ของตัวอย่าง 22 เเผที่อุณหภูมิ 1,200 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 ชั่วโมง
ในบรรยากาศของก๊าซไนโตรเจนกำลังขยาย 1k



(a)

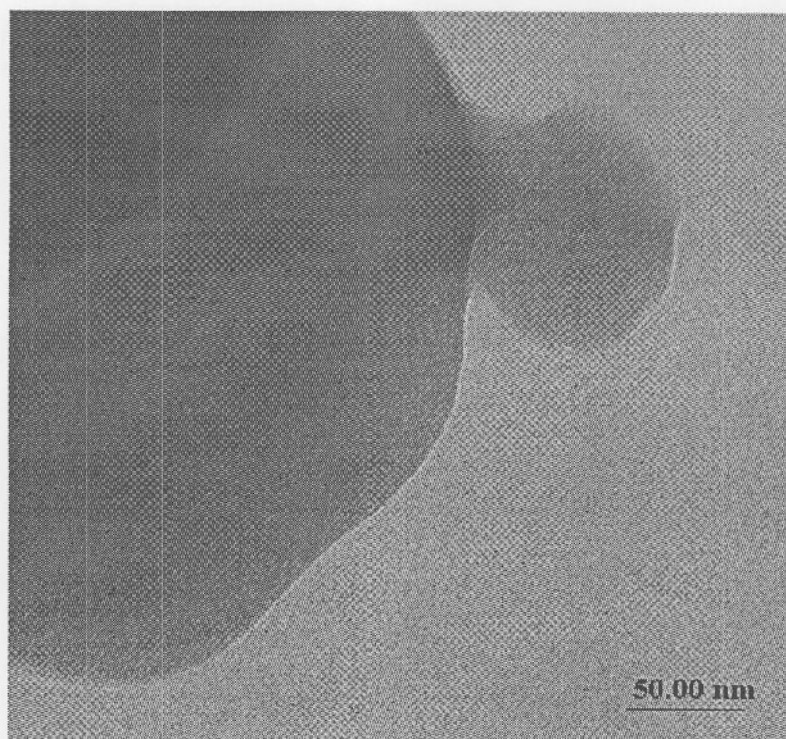


(b)

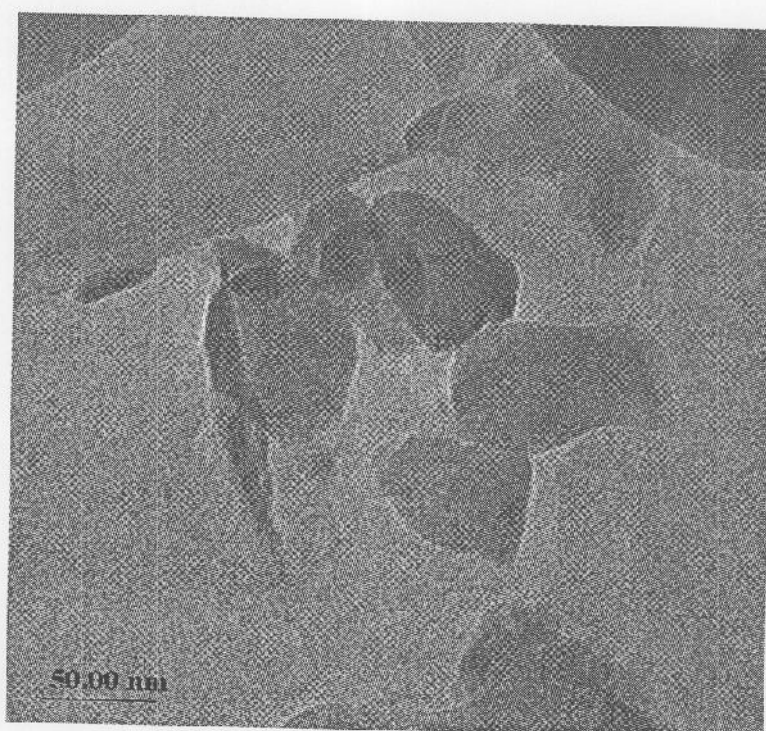


(c)

รูปที่ 3.65(a-c) ภาพ TEM ของตัวอย่าง 22 เหนือที่อุณหภูมิ 1,200 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 ชั่วโมงในบรรยากาศของก๊าซไนโตรเจนกำลังขยาย 10k

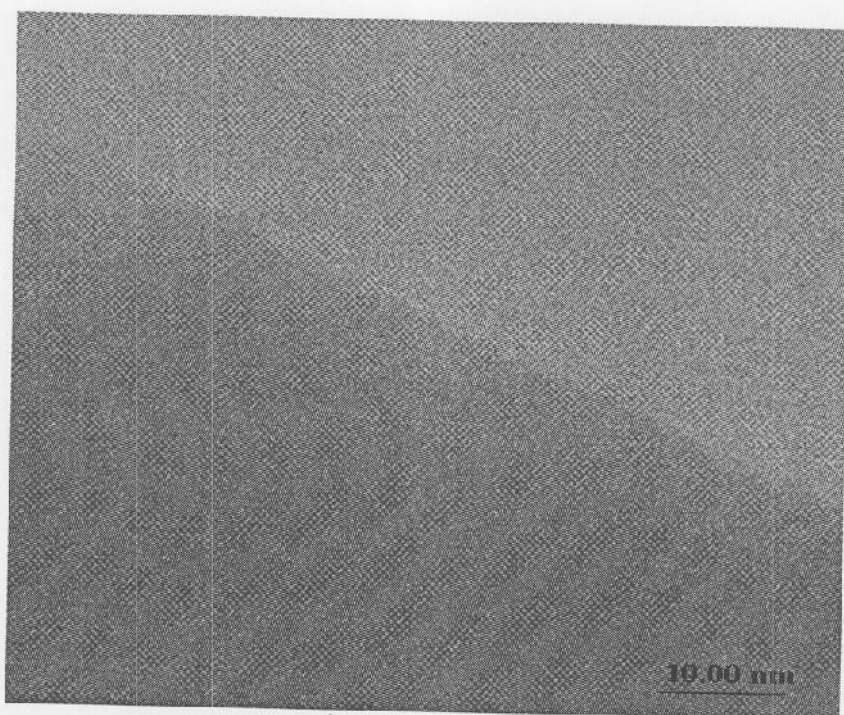


(a)

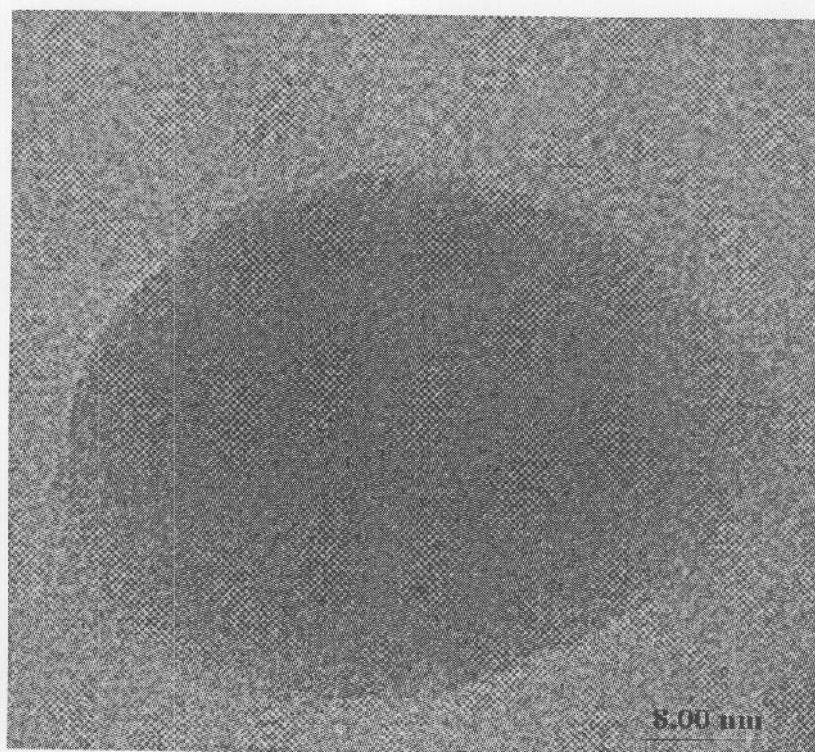


(b)

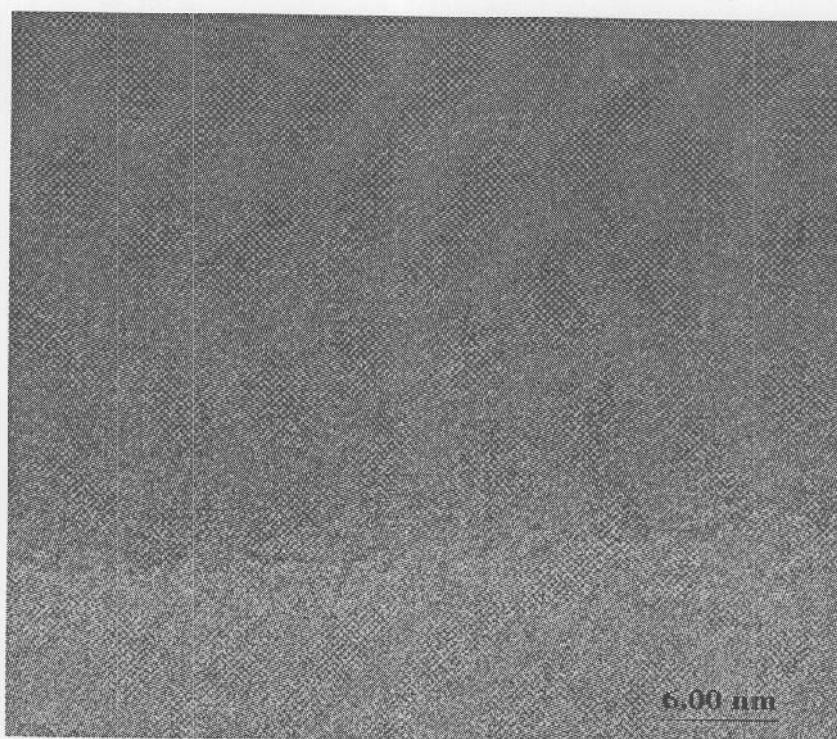
รูปที่ 3.66(a-b) ภาพ TEM ของตัวอย่าง 22 เมาที่อุณหภูมิ 1,200 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 ชั่วโมง ในบรรยากาศของก๊าซไนโตรเจนกำลังขยาย 50k



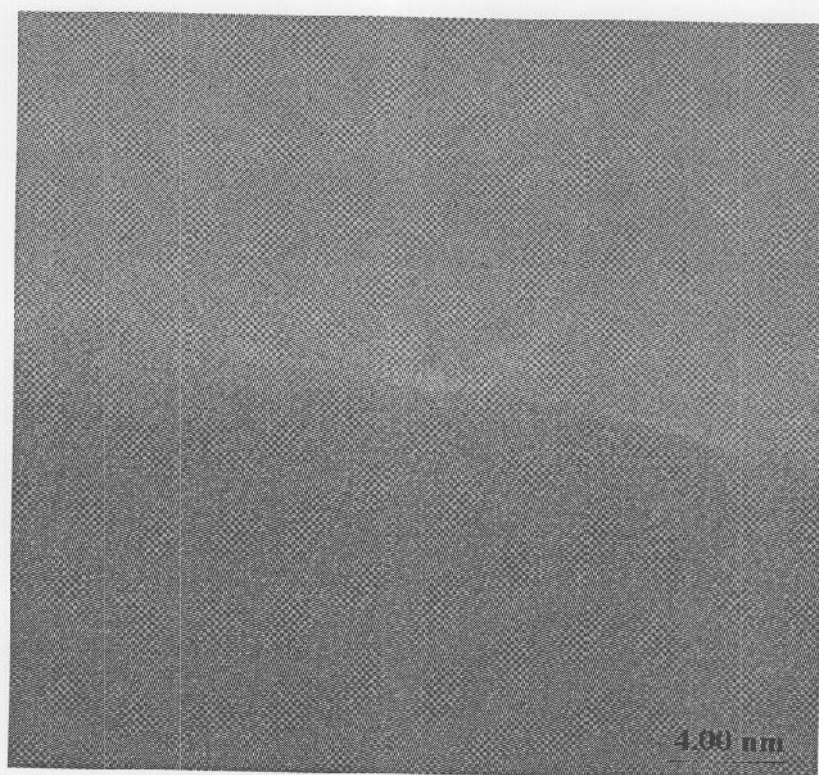
รูปที่ 3.67 ภาพ TEM ของตัวอย่าง 22 เมาที่อุณหภูมิ 1,200 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 ชั่วโมง ในบรรยากาศของก๊าซไนโตรเจนกำลังขยาย 250k



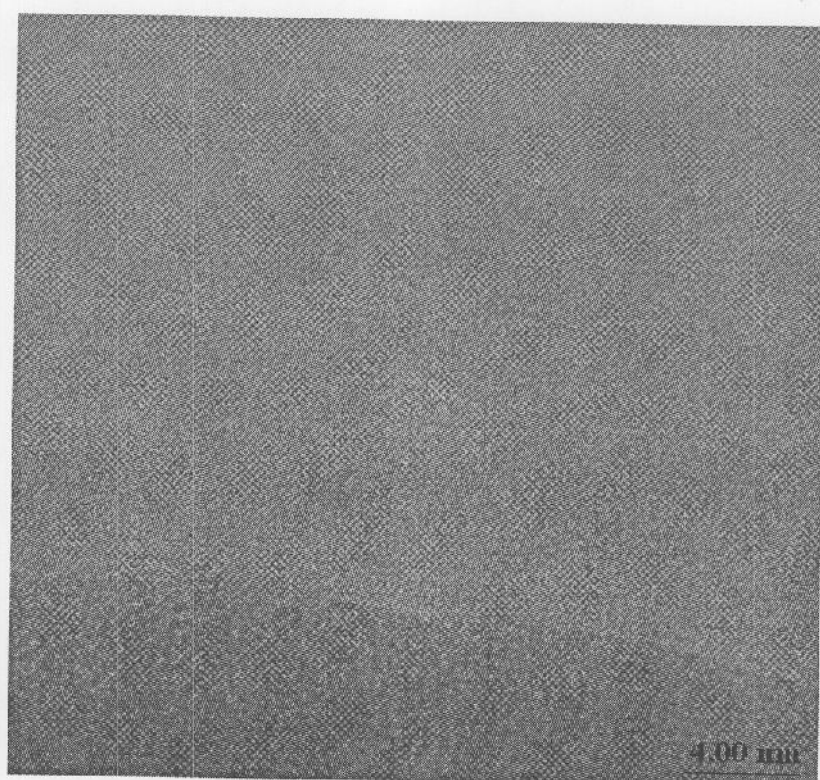
รูปที่ 3.68 ภาพ TEM ของตัวอย่าง 22 เหนือที่อุณหภูมิ 1,200 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 ชั่วโมง
ในบรรยากาศของก๊าซไนโตรเจนกำลังขยาย 300k



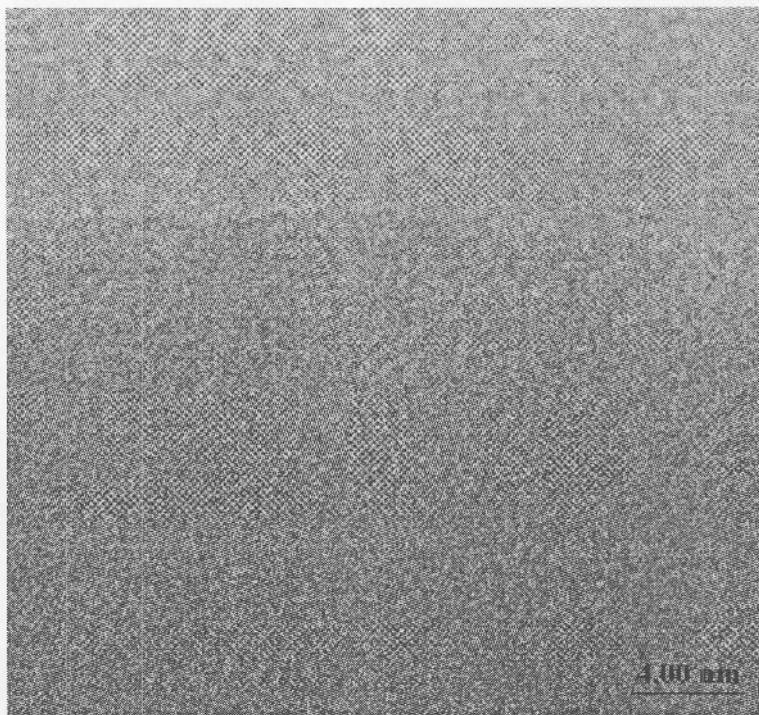
รูปที่ 3.69 ภาพ TEM ของตัวอย่าง 22 เหนือที่อุณหภูมิ 1,200 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 ชั่วโมง
ในบรรยากาศของก๊าซไนโตรเจนกำลังขยาย 400k



(a)



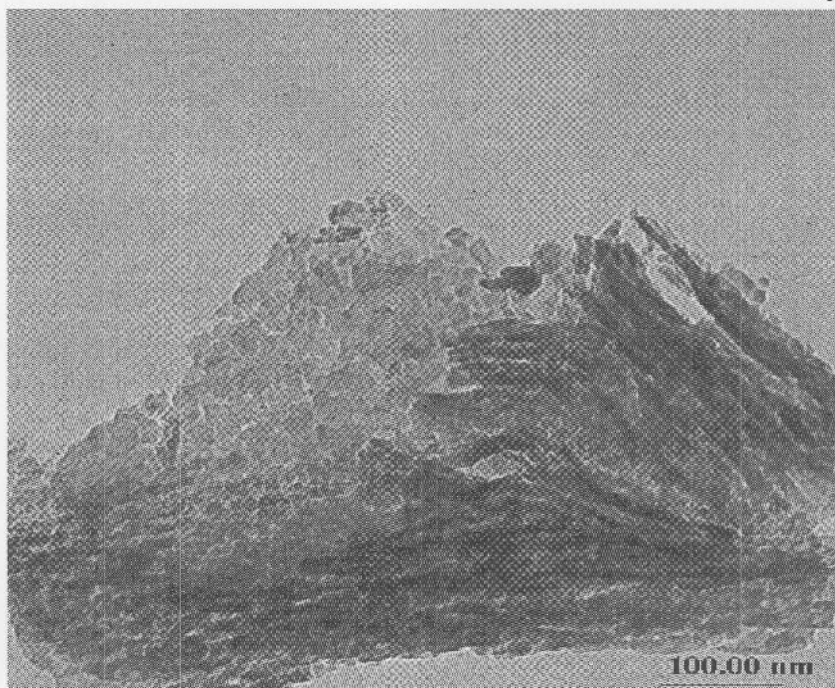
(b)



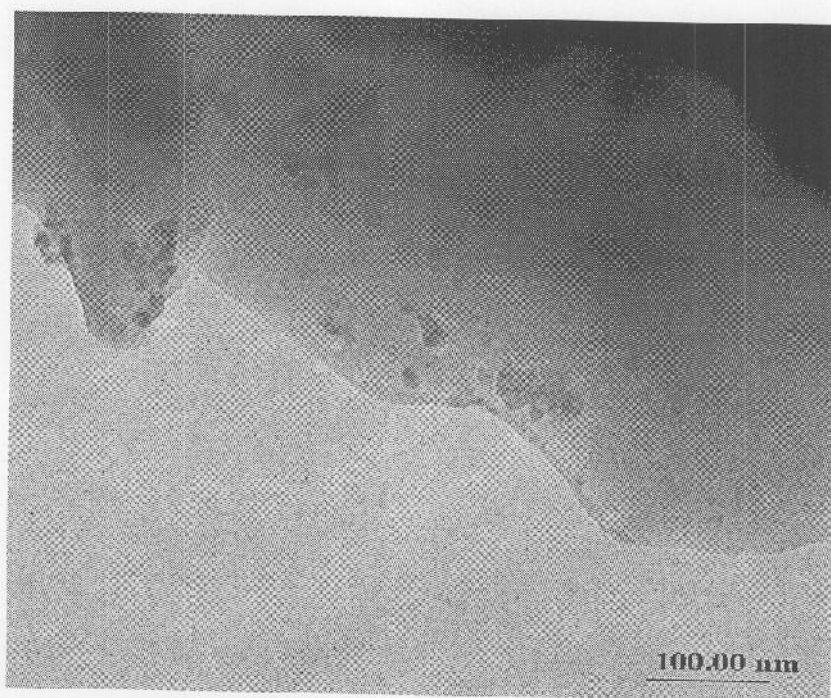
(c)

รูปที่ 3.70(a-c) ภาพ TEM ของตัวอย่าง 22 เคาที่อุณหภูมิ 1,200 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 ชั่วโมง ในบรรยากาศของก๊าซไนโตรเจนกำลังขยาย 400k

เมื่อนำวัสดุตัวอย่าง(ตัวอย่างที่ 24) ที่เตรียมได้จาก เคาเคลือบบริสุทธิ์ ผสม ถ่านกะลา และ อะลูมิเนียม ในอัตราส่วน 2:1:1 เคาที่อุณหภูมิ 1050 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 ชั่วโมงในเตาซึ่งไม่มี การไหลเวียนของก๊าซหรืออากาศ นำผงตัวอย่างไปถ่ายภาพด้วย TEM จะมีลักษณะดังรูป 3.71-3.75

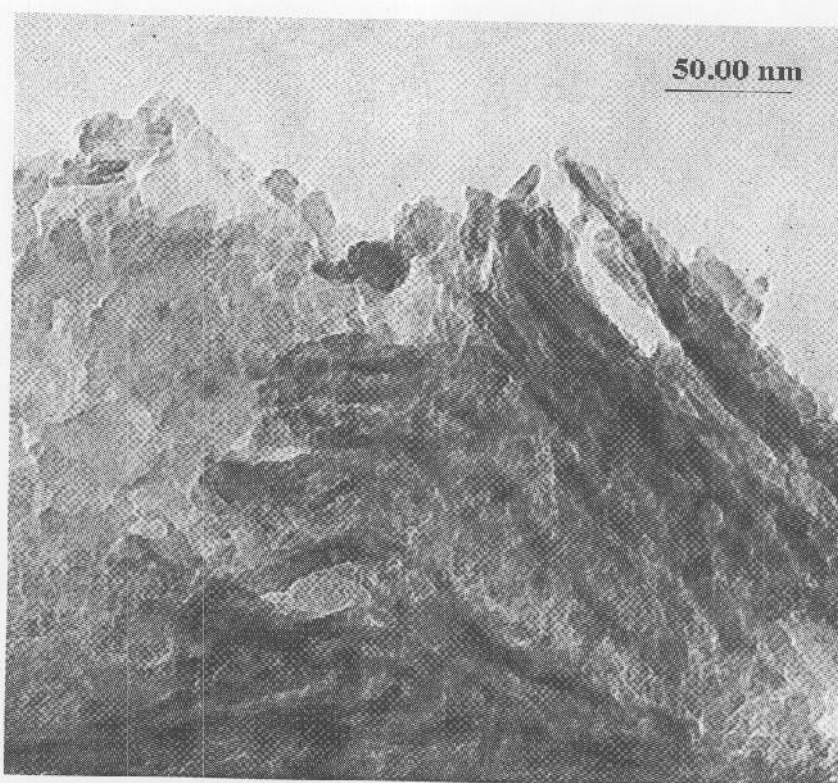


(a)

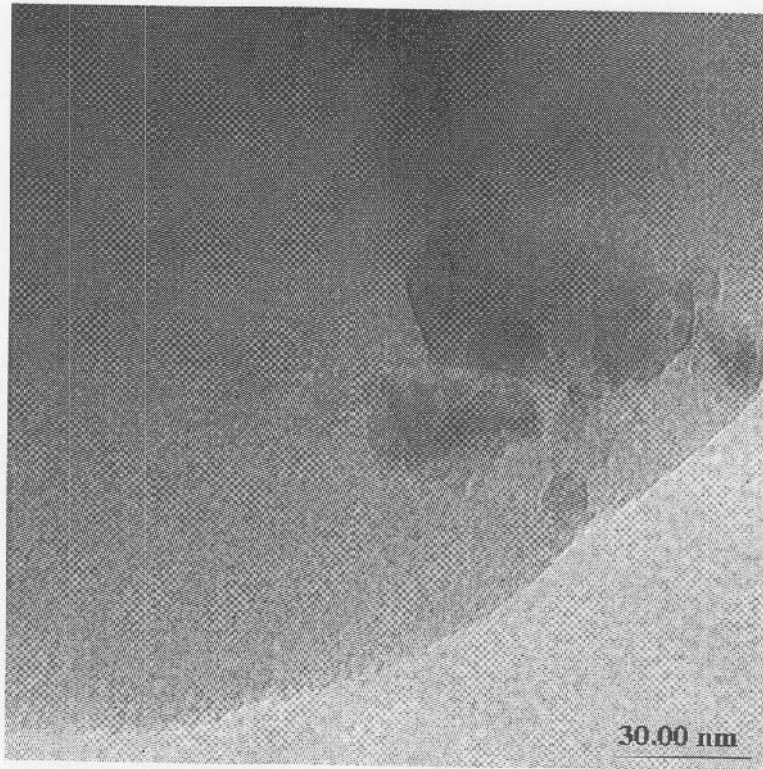


(b)

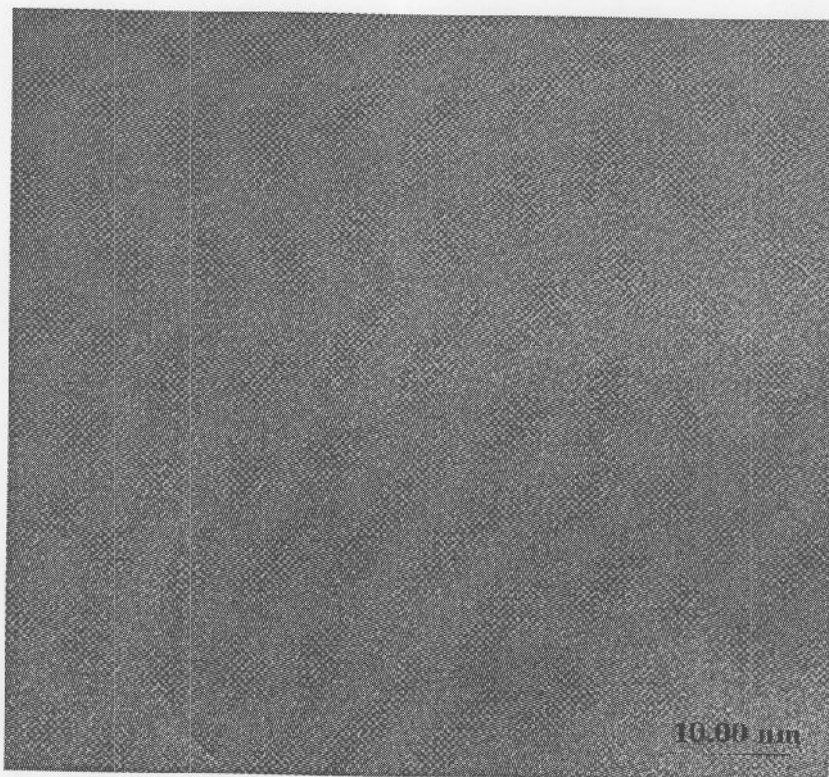
รูปที่ 3.71(a-b) ภาพ TEM ของตัวอย่าง 25 เมาที่อุณหภูมิ 1,050 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 ชั่วโมง
กำลังขยาย 25k



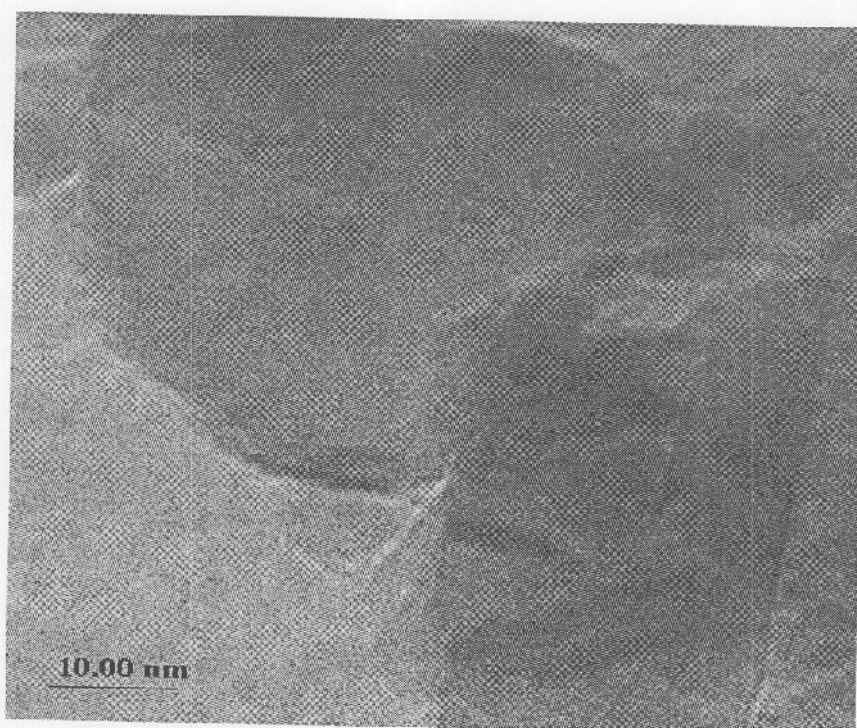
รูปที่ 3.72 ภาพ TEM ของตัวอย่าง 25 เมาที่อุณหภูมิ 1,050 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 ชั่วโมง
กำลังขยาย 50k



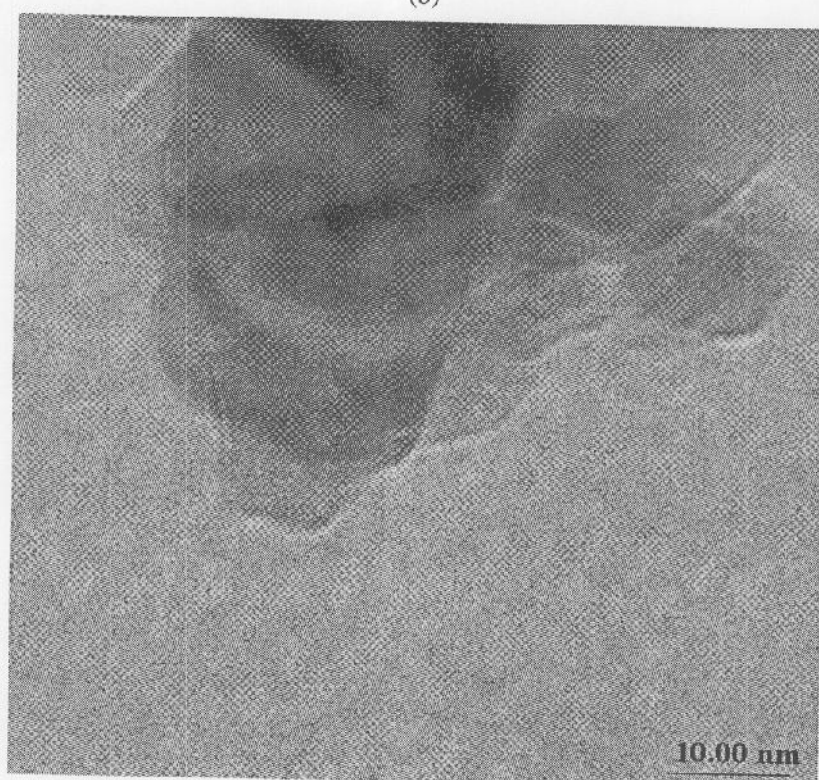
รูปที่ 3.73 ภาพ TEM ของตัวอย่าง 25 เฟาที่อุณหภูมิ 1,050 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 ชั่วโมง
กำลังขยาย 100k



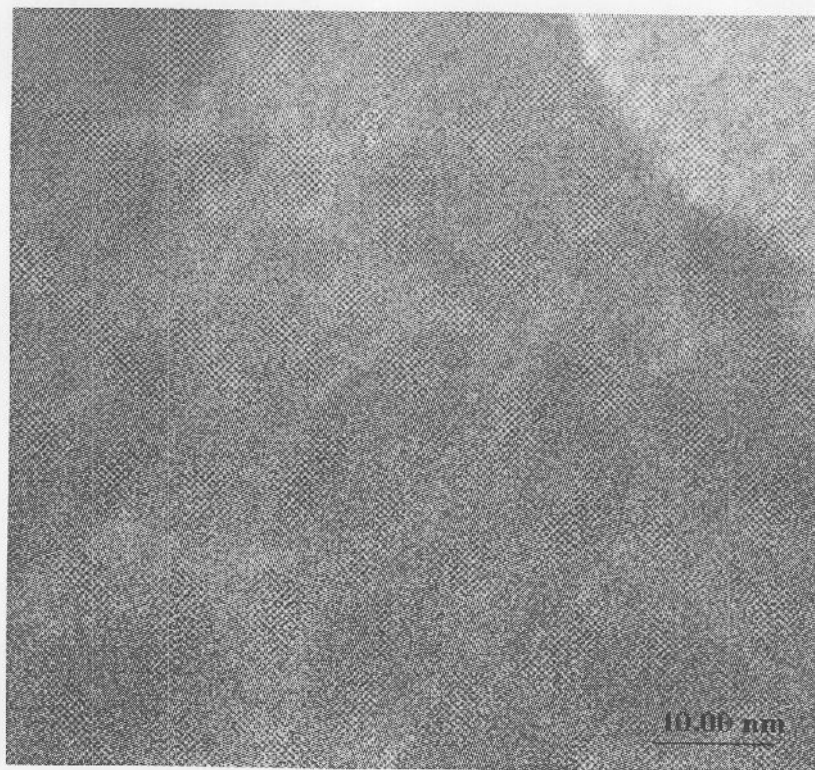
(a)



(b)

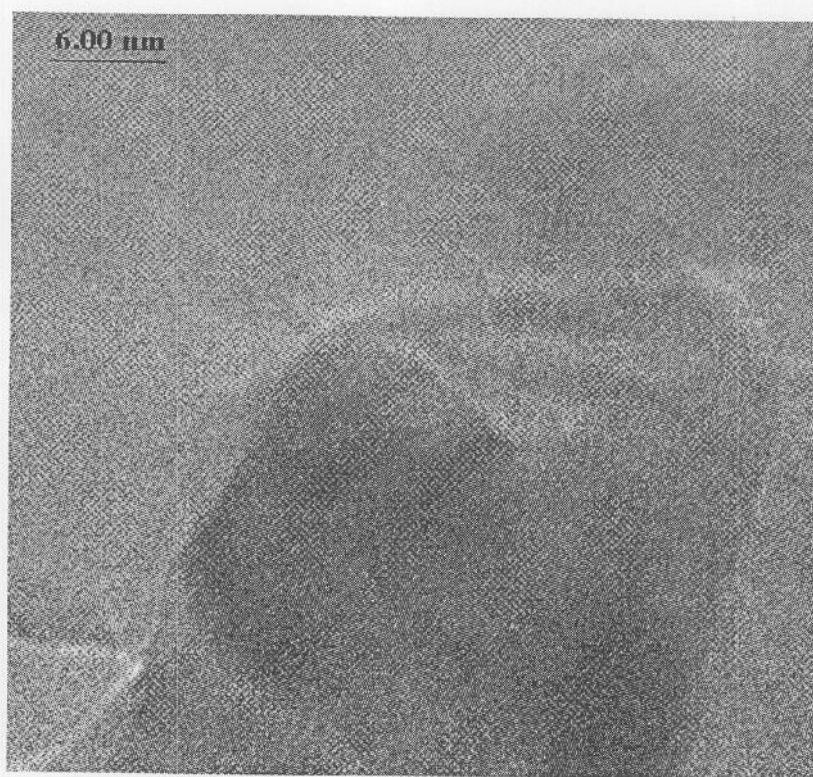


(c)

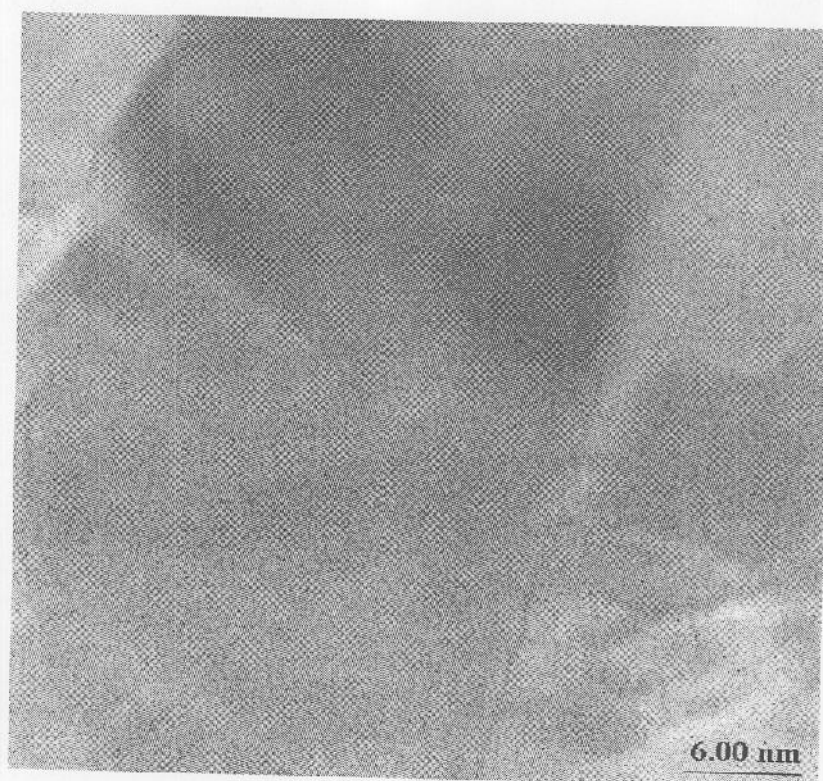


(d)

รูปที่ 3.74(a-d) ภาพ TEM เเผที่อุณหภูมิ 1,050 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 ชั่วโมง กำลังขยาย 250k



(a)

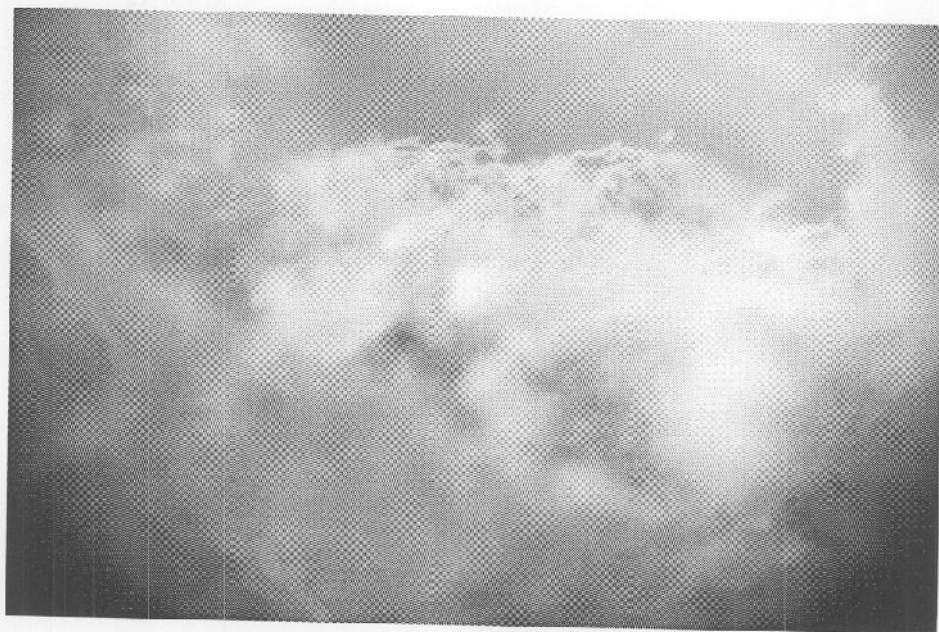


(b)

รูปที่ 3.75(a-b) ภาพ TEM เเผที่อุณหภูมิ 1,050 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 ชั่วโมง กำลังขยาย 400k

3.3 การถ่ายภาพพื้นผิววัสดุตัวอย่างด้วยกล้อง Stereo Microscope แบบแสง

วัสดุตัวอย่าง(ตัวอย่าง 20) ที่เตรียมได้จาก เถ้าแกลบบริสุทธิ์ ผสม GeO_2 และ ถ่านกะลา ในอัตราส่วน 5:1:1 เเผที่อุณหภูมิ 1200 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 ชั่วโมง ในบรรยากาศของก๊าซไนโตรเจนที่ไหลเข้าสู่เตาห่อ ด้วยอัตราการไหล 1 L/min หลังจากปล่อยให้เตาเย็นลงสู่อุณหภูมิห้อง นำฐานรองแผ่นซิลิกอนที่วางด้านบนตัวอย่างไปถ่ายภาพด้วย กล้อง stereo microscope กำลังขยายประมาณ 2 พันเท่า ผลลิตภัณฑ์ที่เกิดการสังเคราะห์บนแผ่นซิลิกอน จะมีลักษณะดังรูป 3.76(a-b)



(a)



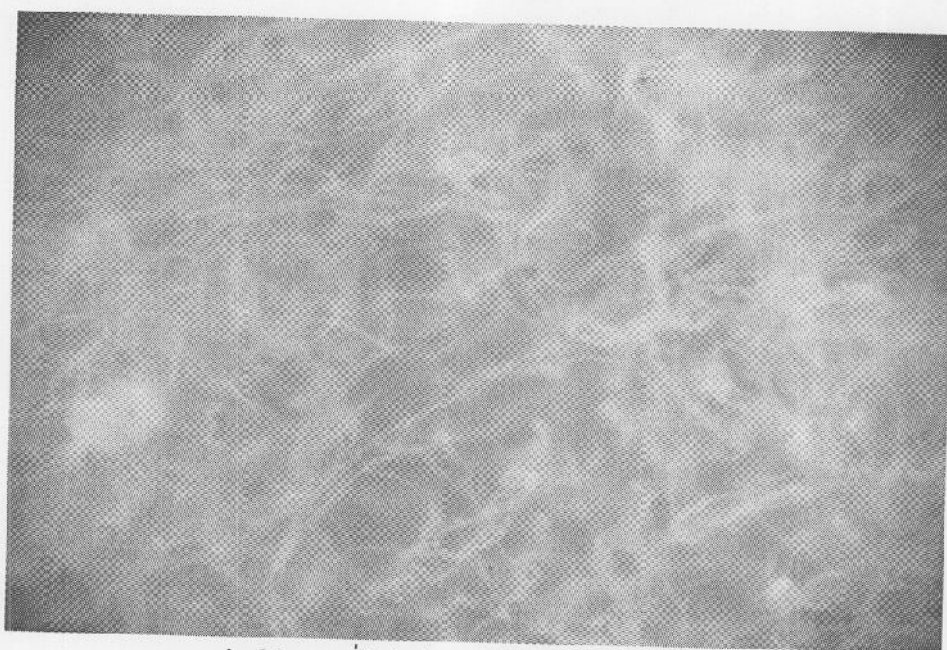
(b)

รูปที่ 3.76(a-b) ภาพ stereo microscope ของฐานรองแผ่นซีลิกอนที่วางอยู่ด้านบนตัวอย่าง 20

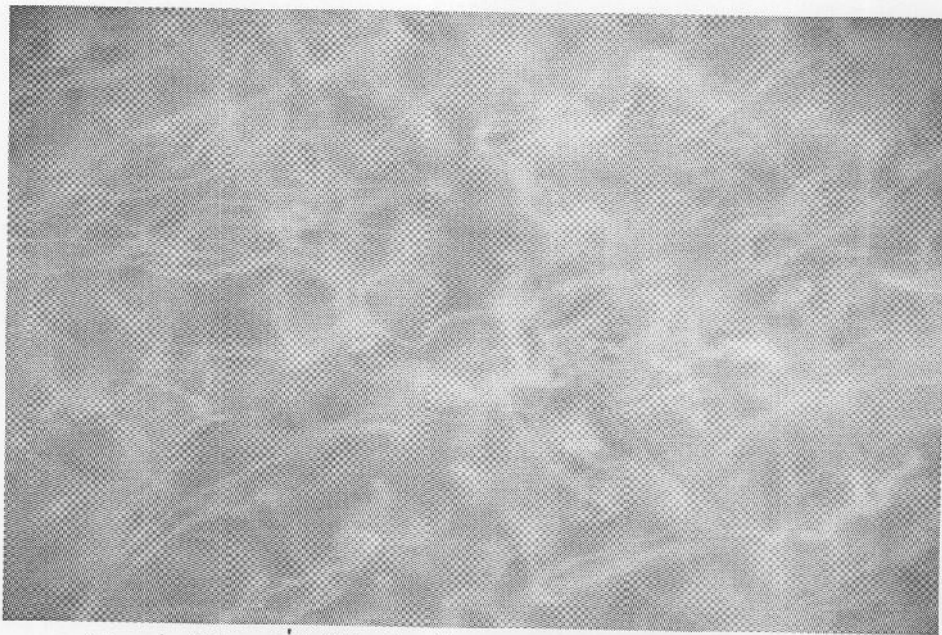
นำฐานรองแผ่นซีลิกอนที่วางถัดจากตัวอย่าง 20 ทั้งที่เคลือบฐานรองด้วยอนุภาคของทอง
และที่ไม่ได้เคลือบ ไปถ่ายภาพด้วย กล้อง stereo microscope กำลังขยายประมาณ 2 พันเท่า จะมี
ลักษณะดังรูป 3.77(a-e)



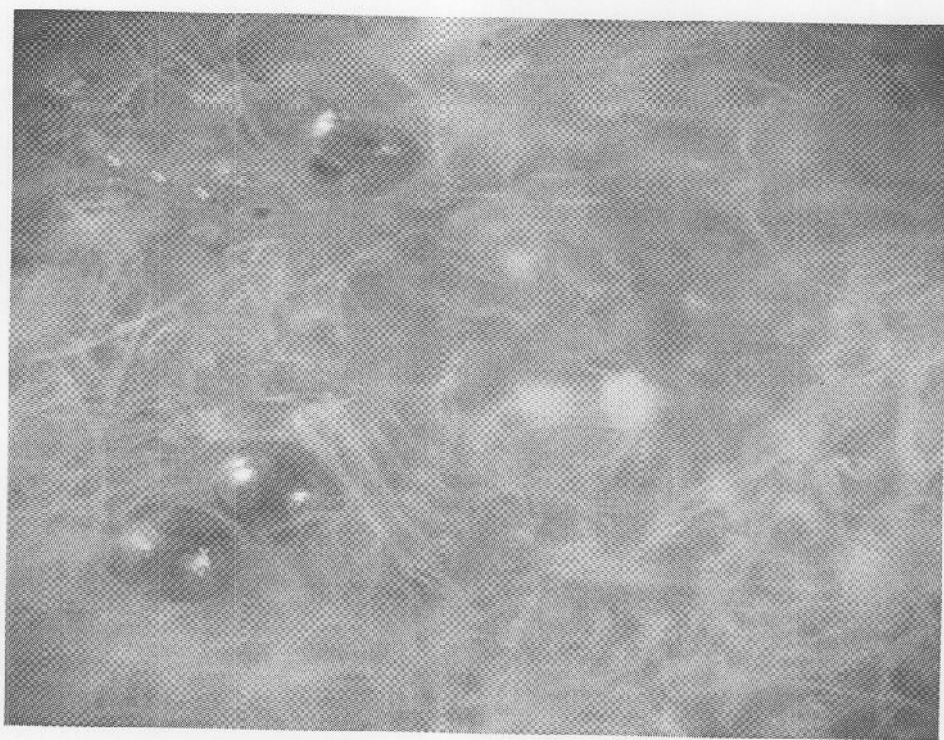
(a) แผ่นซิลิกอนที่ไม่ได้เคลือบด้วยอนุภาคทอง(ภาพ1)



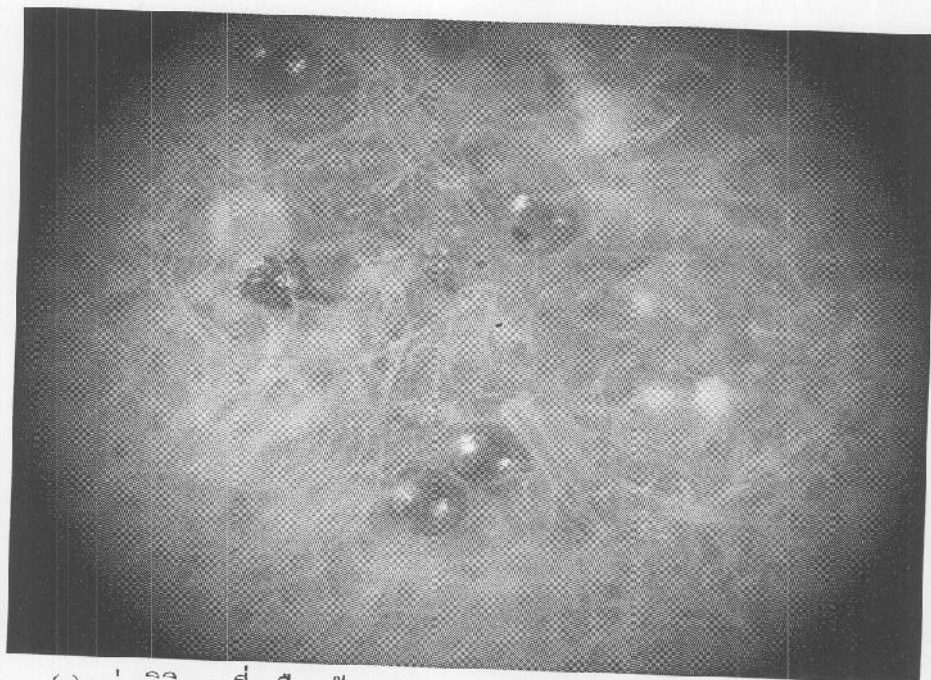
(b) แผ่นซิลิกอนที่ไม่ได้เคลือบด้วยอนุภาคทอง(ภาพ2)



(c) แผ่นซิลิกอนที่ไม่ได้เคลือบด้วยอนุภาคทอง(ภาพ3)



(d) แผ่นซิลิกอนที่เคลือบด้วยอนุภาคทอง(ภาพ1)



(c) แผ่นซิลิกอนที่เคลือบด้วยอนุภาคทอง(ภาพ2)

รูปที่ 3.77(a-e) ภาพจากกล้อง stereo microscope ของแผ่นฐานรองซิลิกอนที่เคลือบและไม่ได้เคลือบด้วยทอง

วัสดุตัวอย่าง(ตัวอย่าง21) ที่เตรียมได้จาก เถ้าแกลบบริสุทธิ์ ผสม GeO_2 และ แกรไฟต์ ในอัตราส่วน 5:1:1 เตาที่อุณหภูมิ 1200 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 ชั่วโมง ในบรรยากาศของก๊าซไนโตรเจนที่ไหลเข้าสู่เตาที่ด้วยอัตราการไหล 1 L/min หลังจากปล่อยให้เตาเย็นลงสู่อุณหภูมิห้อง นำฐานรองแผ่นซิลิกอน ที่วางถัดจากตัวอย่าง ไปถ่ายภาพด้วย กล้อง stereo microscope กำลังขยายประมาณ 2 พันเท่า ผลลัพธ์ที่เกิดการสังเคราะห์บนแผ่นซิลิกอนจะมีลักษณะดังรูป 3.78(a-b)



(a) ภาพจากแผ่นซิลิกอนที่วางถัดจากตัวอย่าง21 (ภาพ1)



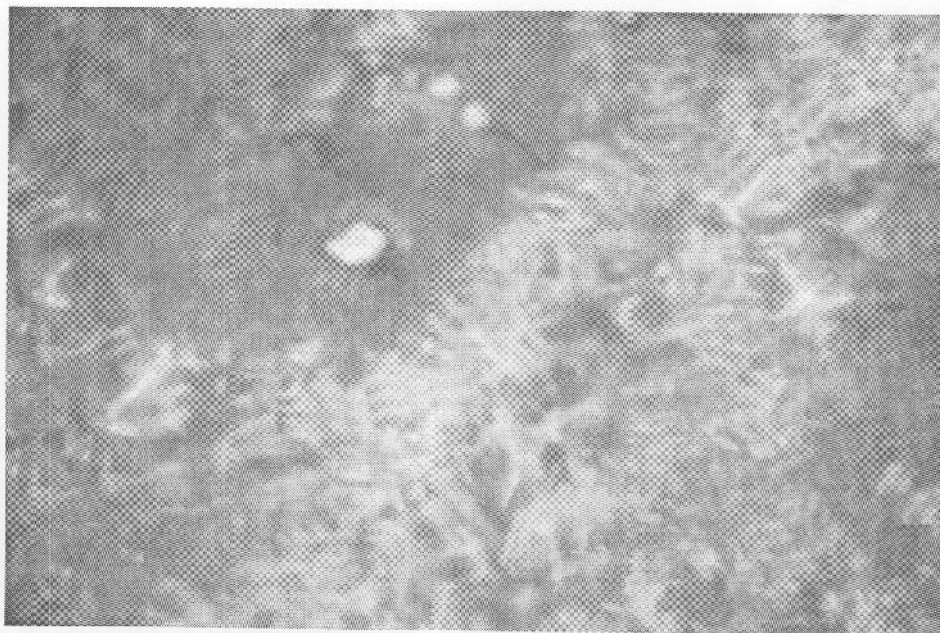
(b) ภาพจากแผ่นซิทิกอนที่วางถัดจากตัวอย่าง (ภาพ 2)

รูปที่ 3.78(a-b) ภาพถ่ายจากกล้อง stereo microscope ของฐานรองแผ่นซิทิกอนที่วางถัดจากตัวอย่าง 21

นำฐานรองแผ่นซิทิกอน ที่วางด้านบนตัวอย่าง 21 ไปถ่ายภาพด้วย กล้อง stereo microscope กำลังขยายประมาณ 2 พันเท่า ผลลัพธ์ที่เกิดการงัดเกราะห้บนแผ่นซิทิกอนจะมีลักษณะดังรูป 3.79(a-e)



(a) ภาพจากแผ่นซิทิกอนที่วางด้านบนตัวอย่าง (ภาพ 1)



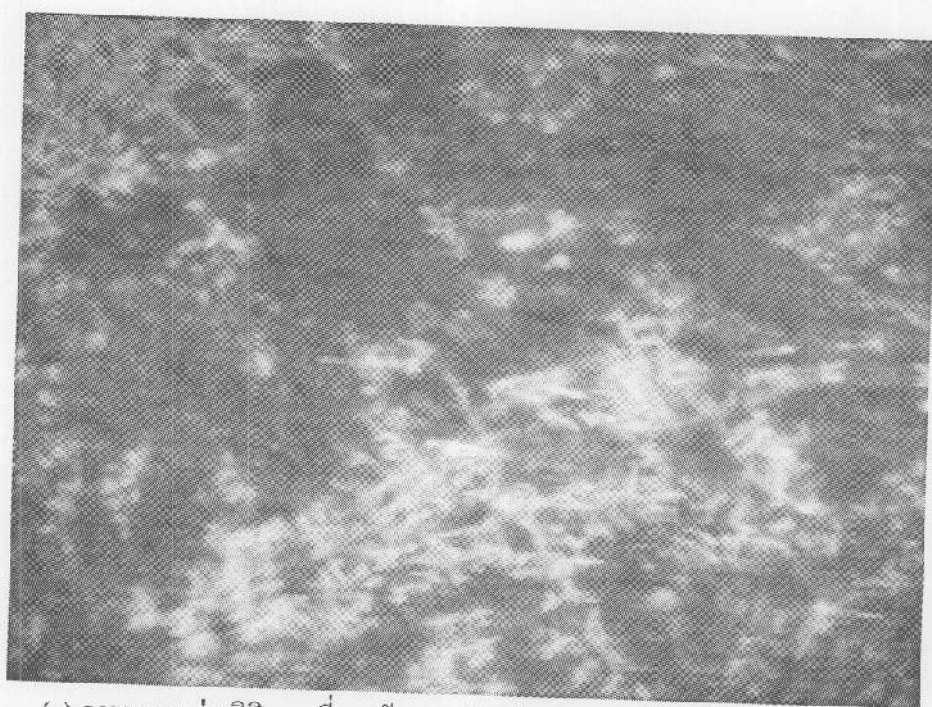
(b) ภาพจากแผ่นซิลิกอนที่วางด้านบนตัวอย่าง (ภาพ 2)



(c) ภาพจากแผ่นซิลิกอนที่วางด้านบนตัวอย่าง (ภาพ 3)



(d) ภาพจากแผ่นซลิคอนที่วางด้านตัวอย่าง (ภาพ 4)

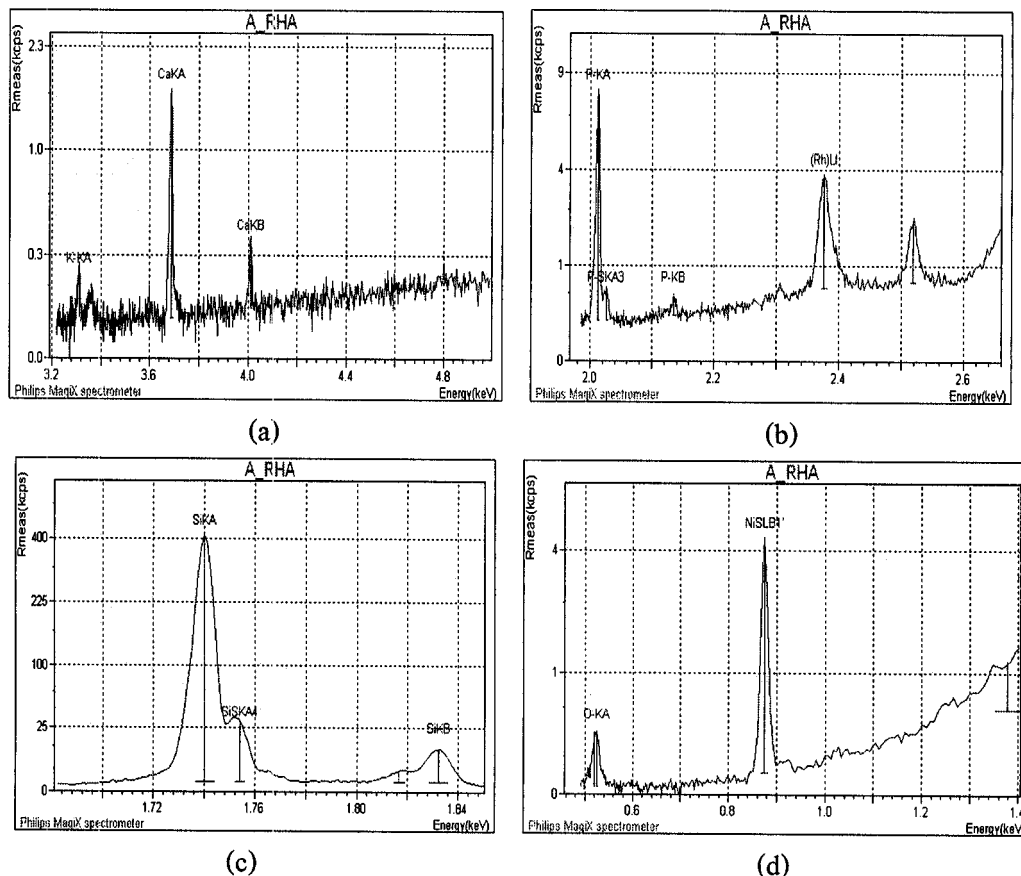


(e) ภาพจากแผ่นซลิคอนที่วางด้านบนตัวอย่าง (ภาพ 5)

รูปที่ 3.79(a-e) ภาพถ่ายจากกล้อง stereo microscope ของฐานรองแผ่นซลิคอนที่วางด้านบน
ตัวอย่าง 21

3.4 การวิเคราะห์ตัวอย่างด้วยเทคนิค X-Ray Fluorescence (WLDXRF)

เมื่อนำตัวอย่างที่ได้จาก ถ้ำกลบบริสุทธิ เฝ้าที่อุณหภูมิ 1,100 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง ในบรรยากาศของอากาศที่ไหลผ่านน้ำกลั่นเข้าสู่เตาหอ ด้วยอัตราการไหลของอากาศ 5 L/min (ตัวอย่างที่ 1) ไปวิเคราะห์ด้วย XRF ผลการวิเคราะห์แสดงกราฟดังรูปที่ 3.80(a-d) และตารางที่ 3.1a และ 3.1b



รูปที่ 3.80(a-d) แสดงกราฟ XRF ในแต่ละช่วงพลังงาน(keV) ของตัวอย่าง 1

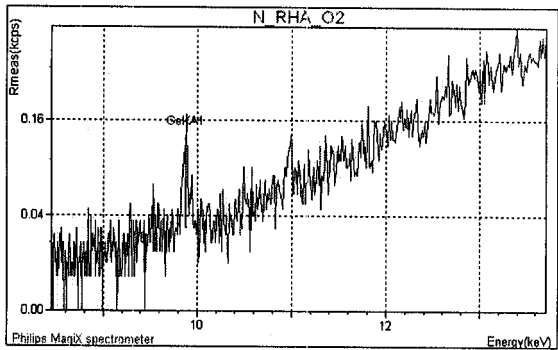
ตารางที่ 3.1a : แสดงองค์ประกอบของธาตุที่เตรียมได้จากตัวอย่างที่ 1

Element	Conc. (%)	Element	Conc. (%)
1 O	53.20	Ba	0.0000
2 Si	46.01	Ni	0.0000
3 P	0.5234	Y	<<
4 Ca	0.2585	K	<<
5 Am	0.0000		

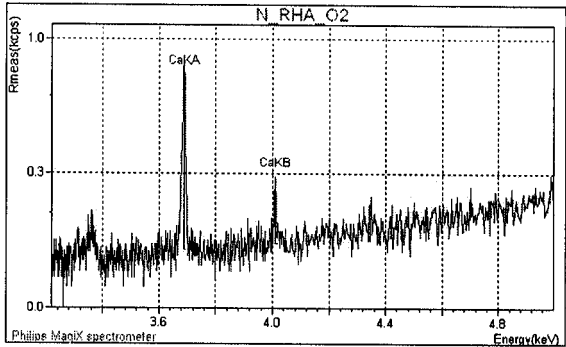
ตารางที่ 3.1b : แสดงองค์ประกอบของสารประกอบที่เตรียมได้จากตัวอย่างที่ 1

Compound Conc. Absolute			Compound Conc. Absolute		
Name	(%)	Error (%)	Name	(%)	Error (%)
1 SiO2	98.44	0.2	BaO	!	0.0000
2 P2O5	1.199	0.01	NiO	!	0.0000
3 CaO	0.3617	0.008	Y	<<	
4 Am	!	0.0000	K	<<	

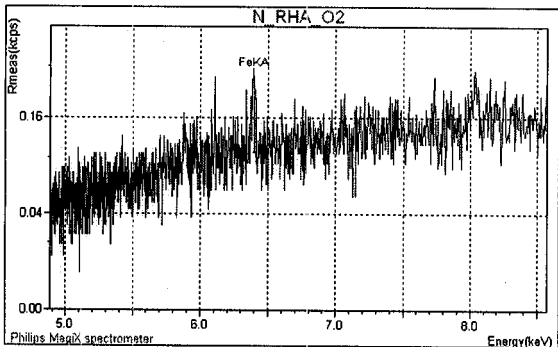
เมื่อนำตัวอย่างที่ได้จาก ถ้ำกลบบริสุทธิ เผาที่อุณหภูมิ 1,200 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 ชั่วโมง ในบรรยากาศของก๊าซออกซิเจนที่ไหลเข้าสู่เตาที่ด้วยอัตราการไหลของอากาศ 1 L/min (ตัวอย่างที่ 2) ไปวิเคราะห์ด้วย XRF ผลการวิเคราะห์แสดงกราฟดังรูปที่ 3.81 (a-f) และตารางที่ 3.2a และ 3.2b



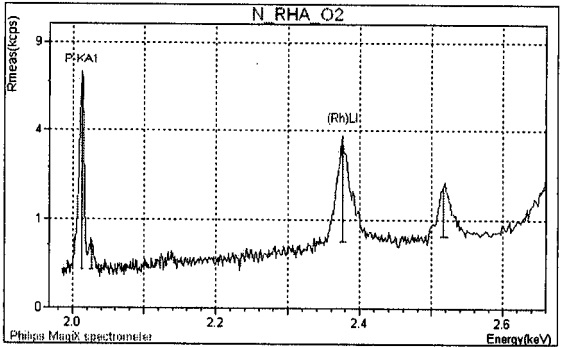
(a)



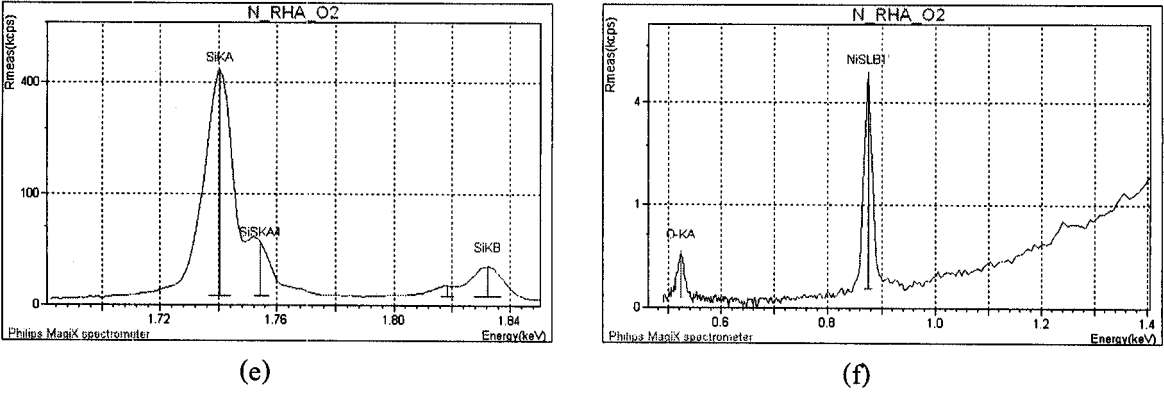
(b)



(c)



(d)



รูปที่ 3.81(a-f) แสดงกราฟ XRF ในแต่ละช่วงพลังงาน(keV) ของตัวอย่าง 2

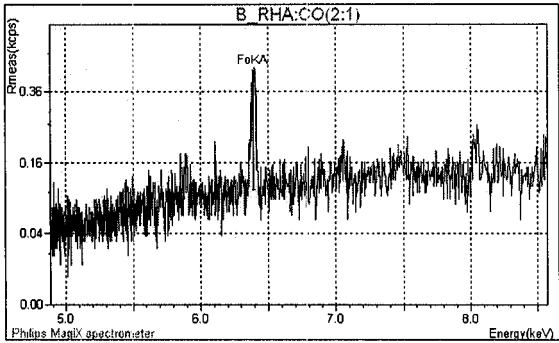
ตารางที่ 3.2a : แสดงองค์ประกอบของธาตุที่เตรียมได้จากตัวอย่างที่ 2

Element Conc.		Element Conc.	
(%)		(%)	
1	O 53.25	Ni	0.0000
2	Si 46.22	Ge	<<
3	P 0.4277	Fe	<<
4	Ca 0.1018		

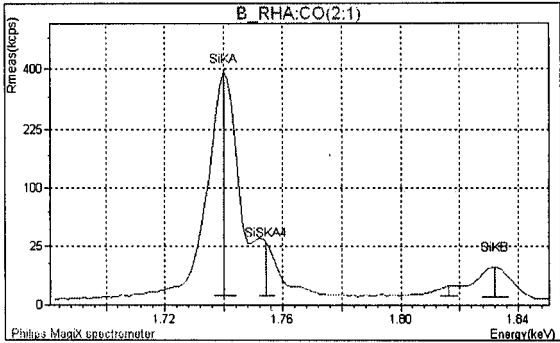
ตารางที่ 3.2b : แสดงองค์ประกอบของสารประกอบที่เตรียมได้จากตัวอย่างที่ 2

Compound Conc. Absolute			Compound Conc. Absolute		
Name	(%)	Error (%)	Name	(%)	Error (%)
1	SiO2 98.88	0.2	NiO	0.0000	
2	P2O5 0.980	0.009	Ge	<<	
3	CaO 0.1424	0.006	Fe		

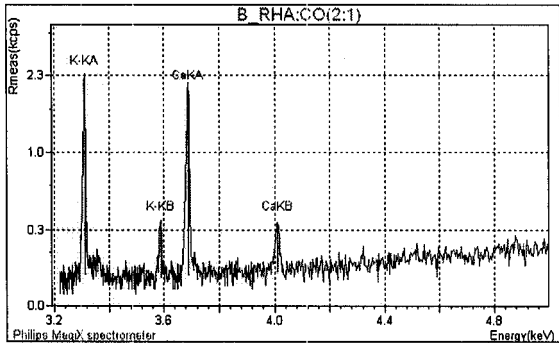
เมื่อนำตัวอย่างที่ได้จาก เถ้าแกลบบริสุทธิ์ ผสมถ่านกะลาในอัตราส่วน 2:1 เเผาที่อุณหภูมิ 1,100 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 ชั่วโมง ในบรรยากาศของอากาศที่ไหลผ่านน้ำกลั่นเข้าสู่เตาห่อ ด้วยอัตราการไหลของอากาศ 5 L/min (ตัวอย่างที่ 3) ไปวิเคราะห์ด้วย XRF ผลการวิเคราะห์แสดง กราฟดังรูปที่ 3.82(a-f) และตารางที่ 3.3a และ 3.3b



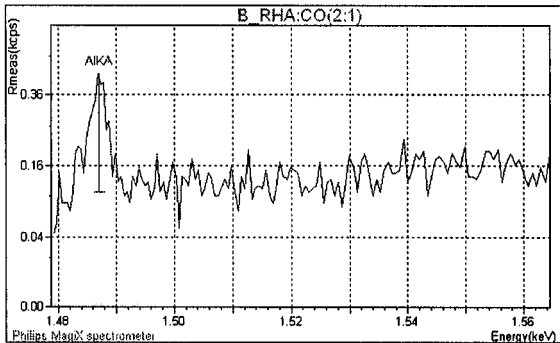
(a)



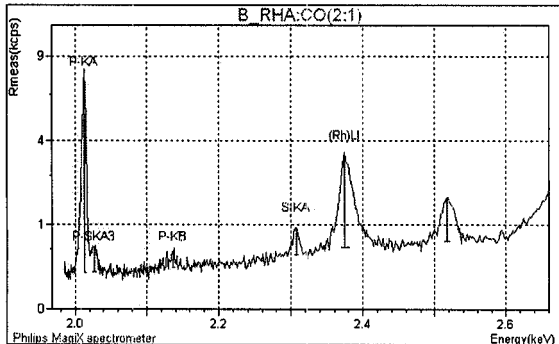
(b)



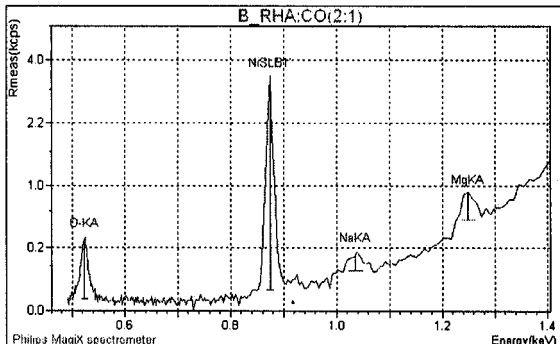
(c)



(d)



(e)



(f)

รูปที่ 3.82(a-f) แสดงกราฟ XRF ในแต่ละช่วงพลังงาน(keV)ของตัวอย่าง 3

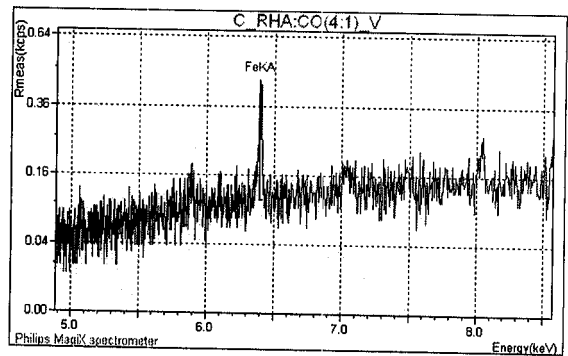
ตารางที่ 3.3a : แสดงองค์ประกอบของธาตุที่เตรียมได้จากตัวอย่างที่ 3

Element Conc.			Element Conc.		
(%)			(%)		
1	O	52.98	Ba	<<	
2	Si	45.72	Fe	<<	
3	P	0.5193	S	<<	
4	K	0.4724	Al	<<	

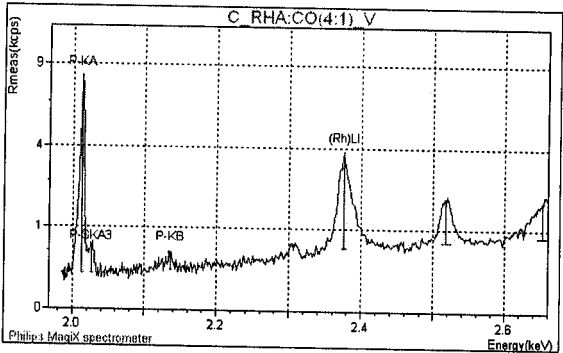
ตารางที่ 3.3b : แสดงองค์ประกอบของสารประกอบที่เตรียมได้จากตัวอย่างที่ 3

Compound			Compound		
Name	Conc. (%)	Absolute Error (%)	Name	Conc. (%)	Absolute Error (%)
1 SiO2	97.81	0.2	Fe	<<	
2 P2O5	1.190	0.01	S	<<	
3 K2O	0.5690	0.01	Al	<<	
4 CaO	0.4359	0.01	Mg	<<	
5 NiO	! 0.0000		Na	<<	
6 Ba	<<				

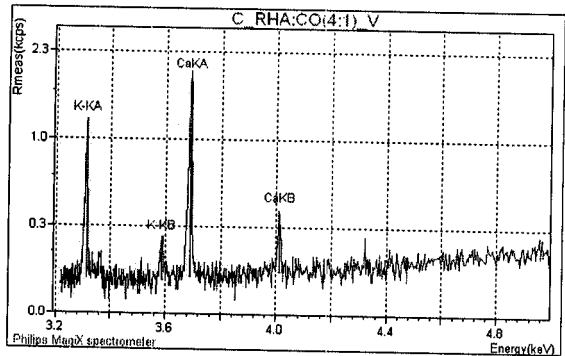
เมื่อนำตัวอย่างที่ได้จาก เถ้าแกลบบริสุทธิ์ ผสมถ่านกลาในอัตราส่วน 4:1 เผาที่อุณหภูมิ 1,100 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 ชั่วโมง ในบรรยากาศของอากาศที่ไหลผ่านน้ำกลั่นเข้าสู่เตาห้อง ด้วยอัตราการไหลของอากาศ 5 L/min(ตัวอย่างที่ 4) ไปวิเคราะห์ด้วย XRF ผลการวิเคราะห์แสดง กราฟดังรูปที่3.83 (a-f) และตารางที่ 3.4a และ 3.4b



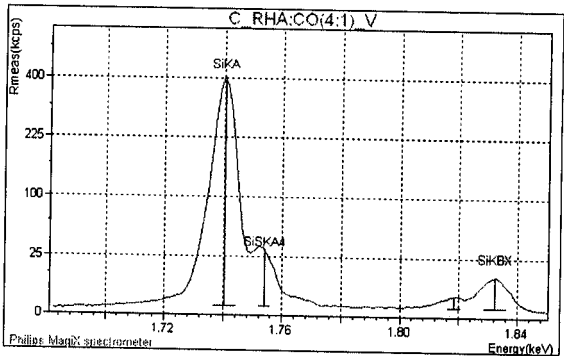
(a)



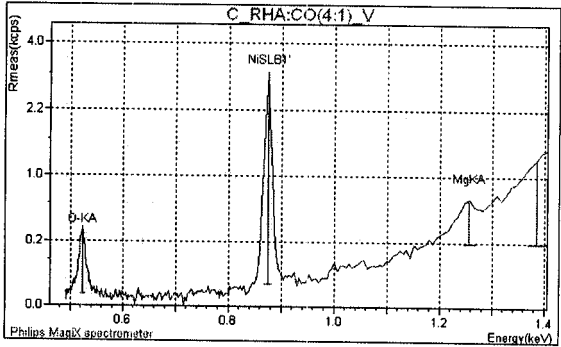
(c)



(b)



(d)



(e)

รูปที่ 3.83(a-e) แสดงกราฟ XRF ในแต่ละช่วงพลังงาน(keV)ของตัวอย่าง 4

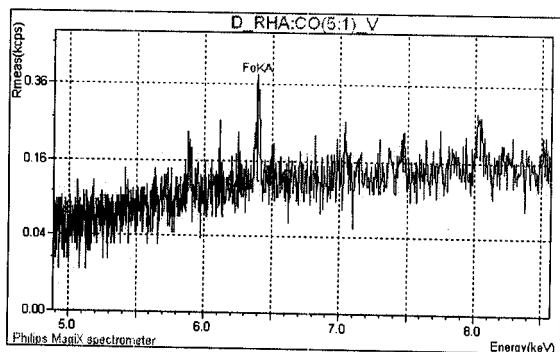
ตารางที่ 3.4a : แสดงองค์ประกอบของธาตุที่เตรียมได้จากตัวอย่างที่ 4

Element Conc.		Element Conc.	
(%)		(%)	
1	O 53.07	Mg	0.08419
2	Si 45.77	Ni	0.0000
3	P 0.5462	Ba	<<
4	Ca 0.2856	Fe	<<
5	K 0.2457		

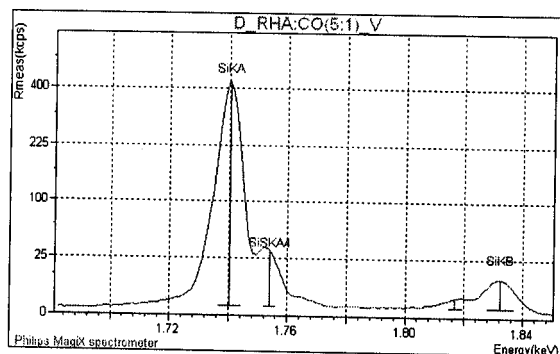
ตารางที่ 3.4b : แสดงองค์ประกอบของสารประกอบที่เตรียมได้จากตัวอย่างที่ 4

Compound Conc. Absolute			Compound Conc. Absolute		
Name	(%)	Error (%)	Name	(%)	Error (%)
1	SiO2 97.91	0.2	MgO	0.1396	0.004
2	P2O5 1.252	0.01	NiO	0.0000	
3	CaO 0.3996	0.010	Ba	<<	
4	K2O 0.2960	0.009	Fe	<<	

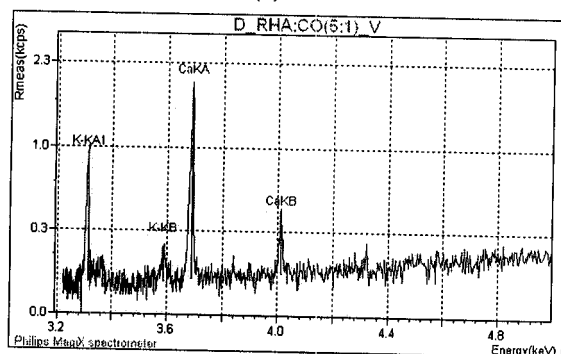
เมื่อนำตัวอย่างที่ได้จาก เถ้าแกลบบริสุทธิ์ ผสมถ่านกะลาในอัตราส่วน 5:1เผาที่อุณหภูมิ 1,100 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง ในบรรยากาศของอากาศที่ไหลผ่านน้ำกลั่นเข้าสู่เตาเผาด้วยอัตราการไหลของอากาศ 5 L/min(ตัวอย่างที่ 5) ไปวิเคราะห์ด้วย XRF ผลการวิเคราะห์แสดงกราฟดังรูปที่3.84 (a-e) และตารางที่ 3.5a และ 3.5b



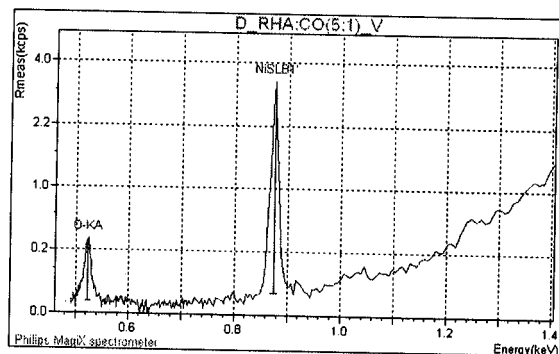
(a)



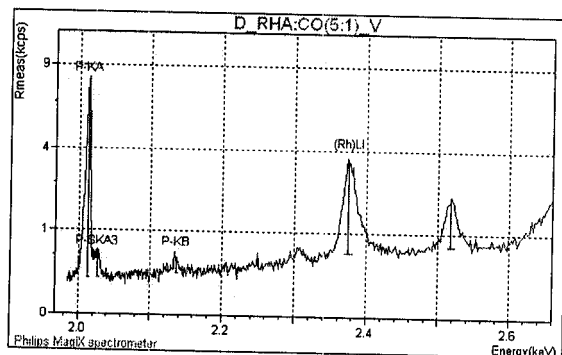
(d)



(b)



(e)



(c)

รูปที่ 3.84(a-e) แสดงกราฟ XRF ในแต่ละช่วงพลังงาน(keV)ของตัวอย่าง 5

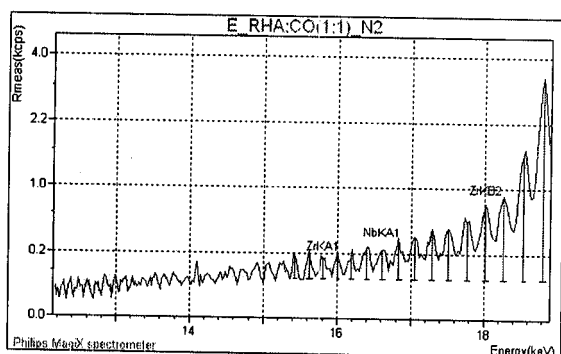
ตารางที่ 3.5a : แสดงองค์ประกอบของธาตุที่เตรียมได้จากตัวอย่างที่ 5

Element Conc.			Element Conc.		
		(%)			(%)
1	O	53.11	Cs	0.0000	
2	Si	45.92	Ni	0.0000	
3	P	0.4996	Nb	<<	
4	Ca	0.2883	Fe	<<	
5	K	0.1777	Al	<<	

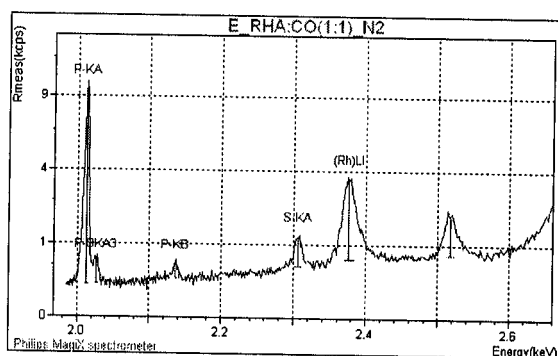
ตารางที่ 3.5b : แสดงองค์ประกอบของสารประกอบที่เตรียมได้จากตัวอย่างที่ 5

Compound Name	Conc. (%)	Absolute Error (%)	Compound Name	Conc. (%)	Absolute Error (%)
1 SiO ₂	98.24	0.2	NiO	0.0000	
2 P ₂ O ₅	1.145	0.01	Nb	<<	
3 CaO	0.4034	0.01	Fe	<<	
4 K ₂ O	0.2140	0.009	Al	<	
5 Cs ₂ O	! 0.0000				

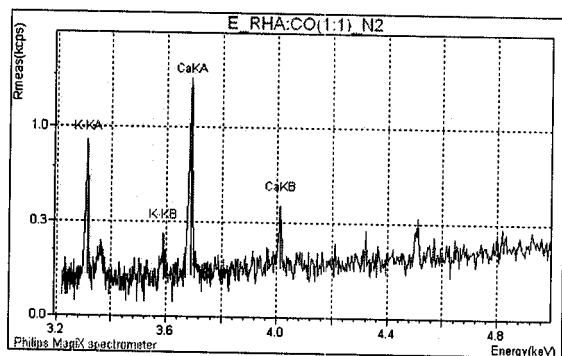
เมื่อนำตัวอย่างที่ได้จาก แก้วเคลือบบริสุทธิ์ ผสมถ่านกลา ในอัตราส่วน 1:1 เผาที่ อุณหภูมิ 1,100 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 ชั่วโมง ในบรรยากาศของก๊าซไนโตรเจนที่ไหลเข้าสู่เตา ท่อ ด้วยอัตราการไหล 1 L/min(ตัวอย่างที่ 6) ไปวิเคราะห์ด้วย XRF ผลการวิเคราะห์แสดงกราฟดัง รูปที่ 3.85 (a-f) และตารางที่ 3.6a และ 3.6b



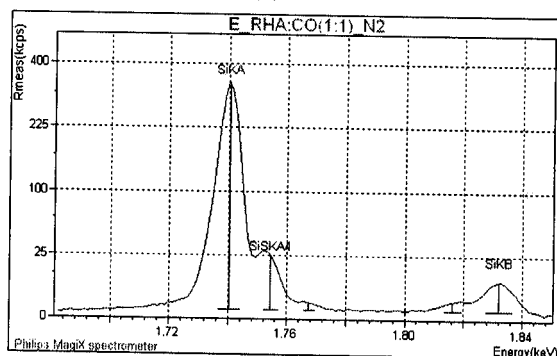
(a)



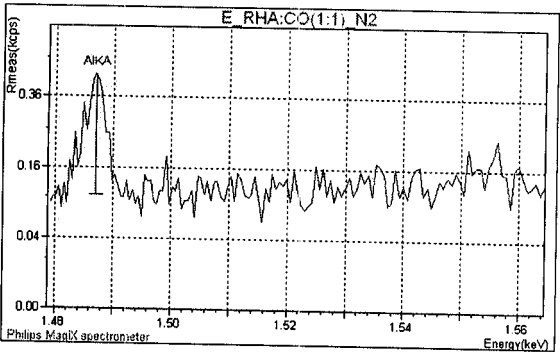
(c)



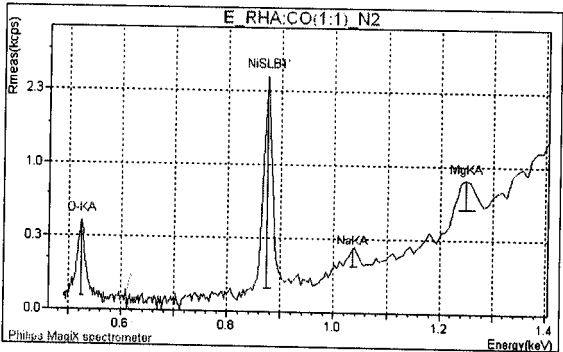
(b)



(d)



(e)



(f)

รูปที่ 3.85(ง-ก) แสดงกราฟ XRF ในแต่ละช่วงพลังงาน(keV)ของตัวอย่าง 6

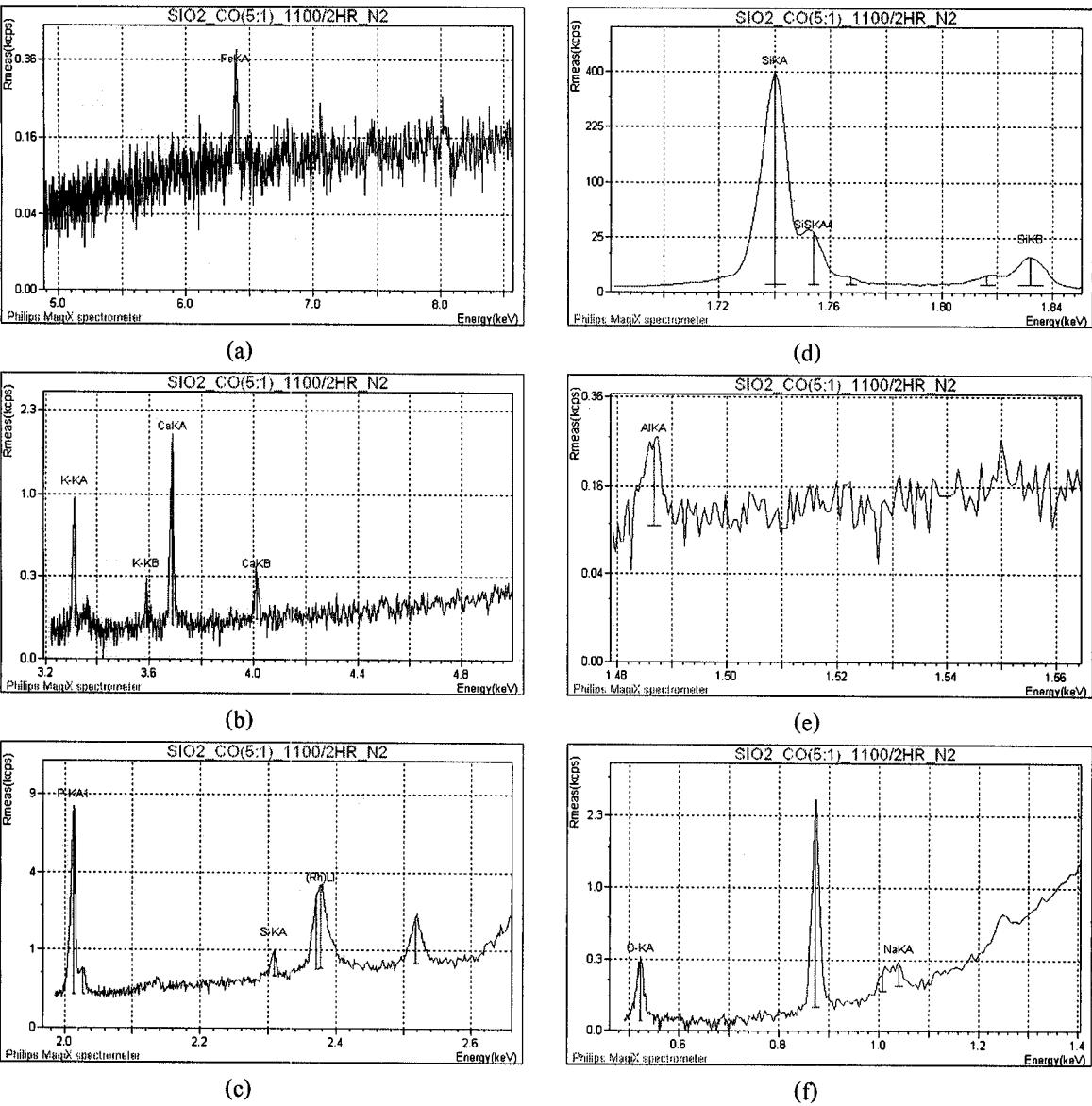
ตารางที่ 3.6a : แสดงองค์ประกอบของธาตุที่เตรียมได้จากตัวอย่างที่ 6

Element Conc.			Element Conc.		
		(%)			(%)
1	O	53.13	Cs	<<	
2	Si	45.62	Nb	<<	
3	P	0.7791	Fe	<<	
4	Ca	0.2779	S	<<	
5	K	0.1866	Al	<<	
6	Zr	0.0000	Mg	<<	
7	Ni	0.0000	Na	<<	

ตารางที่ 3.6b : แสดงองค์ประกอบของสารประกอบที่เตรียมได้จากตัวอย่างที่ 6

Compound Conc.			Compound Conc.		
Name	(%)	Absolute Error (%)	Name	(%)	Absolute Error (%)
1 SiO2	97.60	0.2	Nb	<<	
2 P2O5	1.785	0.01	Fe	<<	
3 CaO	0.3889	0.01	S	<<	
4 K2O	0.2248	0.008	Al	<<	
5 ZrO2	0.0000		Mg	<<	
6 NiO	0.0000		Na	<<	
7 Cs	<<				

เมื่อนำวัสดุตัวอย่างที่เตรียมได้จาก แก้วเคลือบบริสุทธิ์ ผสมผ่านกะลา ในอัตราส่วน 5:1 เผาที่อุณหภูมิ 1,100 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง ในบรรยากาศของก๊าซไนโตรเจนที่ไหลเข้าสู่เตาที่ด้วยอัตราการไหล 1 L/min (ตัวอย่าง 7) ไปวิเคราะห์ด้วย XRF ผลการวิเคราะห์แสดงกราฟดังรูปที่ 3.86(a-f) และตารางที่ 3.7a และ 3.7b



รูปที่ 3.86(a-f) แสดงกราฟ XRF ในแต่ละช่วงพลังงาน(keV)ของตัวอย่าง 7

ตารางที่ 3.7a : แสดงองค์ประกอบของธาตุที่เตรียมได้จากตัวอย่างที่ 7

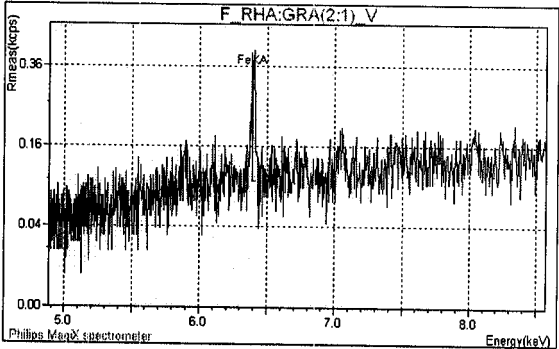
Element Conc.		Element Conc.	
(%)		(%)	
1	O 53.12	Fe	<<

2	Si	45.87	S	<<
3	P	0.5493	Al	<<
4	Ca	0.2780	Na	<<
5	K	0.1860		

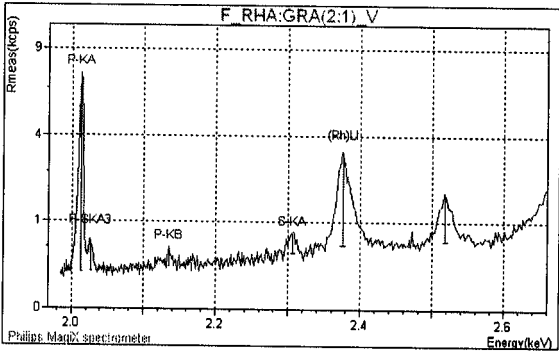
ตารางที่ 3.7b : แสดงองค์ประกอบของสารประกอบที่เตรียมได้จากตัวอย่างที่ 7

Compound			Compound		
Name	Conc. (%)	Absolute Error (%)	Name	Conc. (%)	Absolute Error (%)
1 SiO2	98.13	0.2	Fe	<<	
2 P2O5	1.259	0.01	S	<<	
3 CaO	0.3890	0.01	Al	<<	
4 K2O	0.2241	0.007	Na	<<	

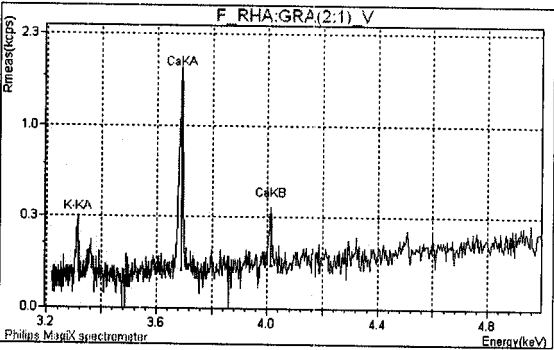
เมื่อนำตัวอย่างที่ได้จาก เถ้าแกลบบริสุทธิ์ ผสมแกรไฟท์ในอัตราส่วน 2:1 เผาที่อุณหภูมิ 1,100 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 ชั่วโมง ในบรรยากาศของอากาศที่ไหลผ่านน้ำกลั่นเข้าสู่เตาห้องด้วยอัตราการไหลของอากาศ 5 L/min (ตัวอย่างที่ 8) ไปวิเคราะห์ด้วย XRF ผลการวิเคราะห์แสดงกราฟดังรูปที่ 3.87(a-e) และตารางที่ 3.8a และ 3.8b



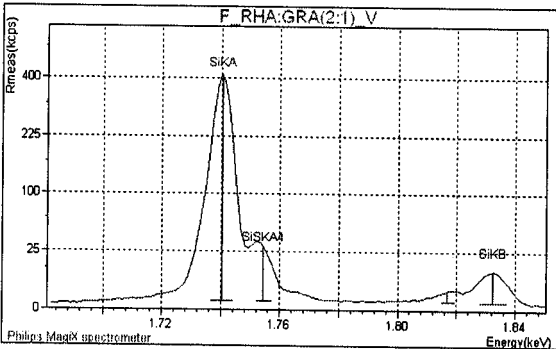
(a)



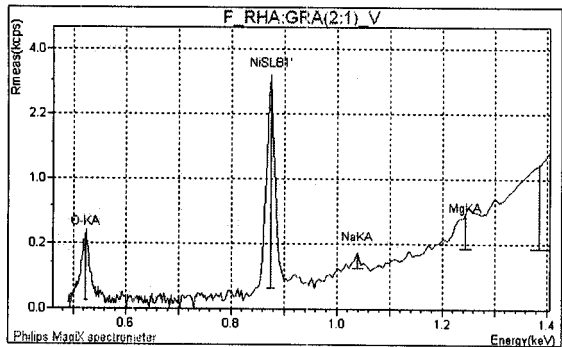
(c)



(b)



(d)



(e)

รูปที่ 3.87(a-e) แสดงกราฟ XRF ในแต่ละช่วงพลังงาน(keV)ของตัวอย่าง 8

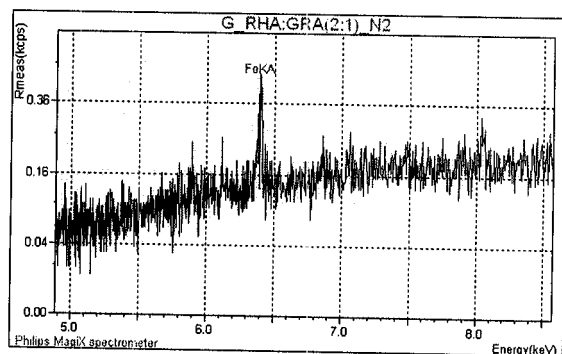
ตารางที่ 3.8a : แสดงองค์ประกอบของธาตุที่เตรียมได้จากตัวอย่างที่ 8

Element Conc.			Element Conc.		
(%)			(%)		
1	O	53.20		Te	
2	Si	46.06		Sb	
3	P	0.4852		Sn	
4	Ca	0.2503		In	
5	Ni	0.0000		Cd	

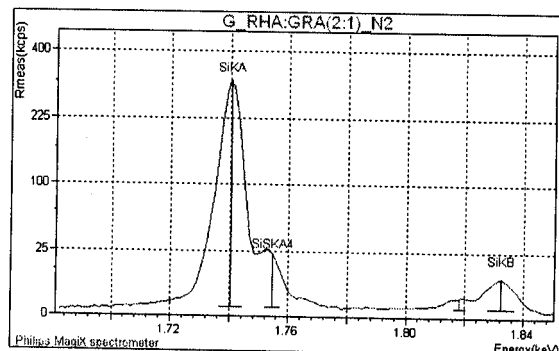
ตารางที่ 3.8b : แสดงองค์ประกอบของสารประกอบที่เตรียมได้จากตัวอย่างที่8

Compound Conc.			Compound Conc.		
Absolute			Absolute		
Name	(%)	Error (%)	Name	(%)	Error (%)
1	SiO2	98.54	0.2	Sb	
2	P2O5	1.112	0.01	Sn	
3	CaO	0.3502	0.009	In	
4	NiO	0.0000		Cd	

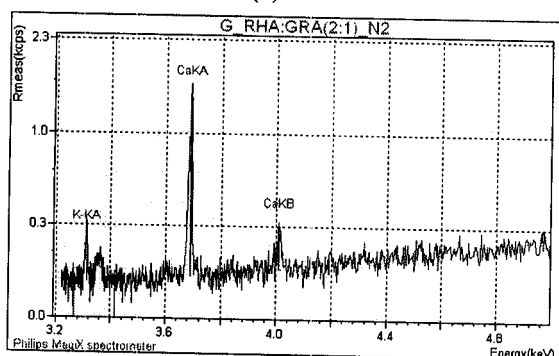
เมื่อนำตัวอย่างที่ได้จากถ้ำกลบบริสุทธิ ผสมแกรไฟท์ในอัตราส่วน 2:1 เเผที่อุณหภูมิ 1,100 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 ชั่วโมง ในบรรยากาศของก๊าซไนโตรเจนที่ไหลเข้าสู่เตาท่อ ด้วยอัตราการไหล 1 L/min(ตัวอย่างที่ 9) ไปวิเคราะห์ด้วย XRF ผลการวิเคราะห์แสดงกราฟดังรูปที่ 3.88(a-f) และตารางที่ 3.9a และ 3.9b



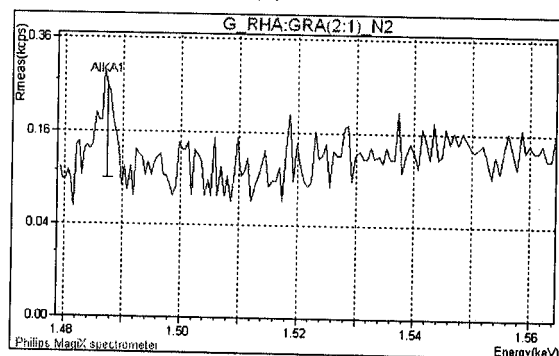
(a)



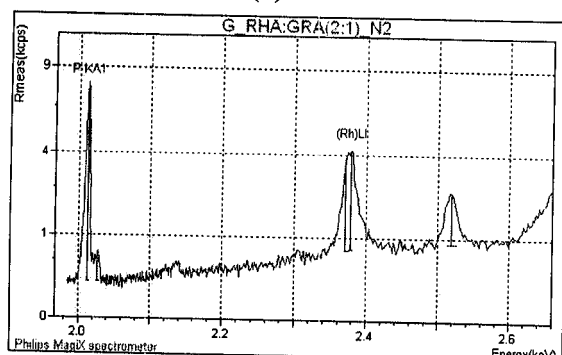
(d)



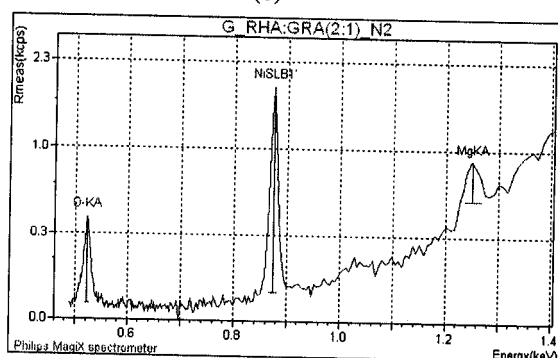
(b)



(e)



(c)



(f)

รูปที่ 3.88(a-ก) แสดงกราฟ XRF ในแต่ละช่วงพลังงาน(keV)ของตัวอย่าง 9

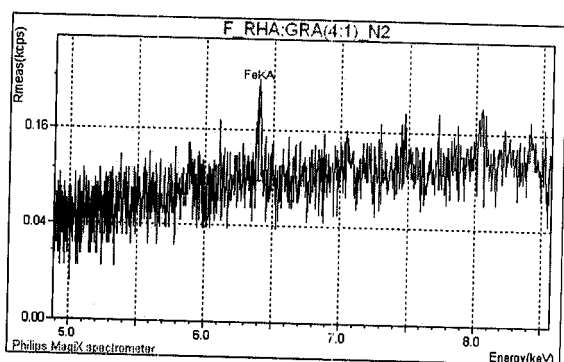
ตารางที่ 3.9a : แสดงองค์ประกอบของธาตุที่เตรียมได้จากตัวอย่างที่ 9

	Element Conc.		Element Conc.	
		(%)		(%)
1	O	53.15	Fe	<<
2	Si	46.54	K	<<
3	Ca	0.3167	Al	<<
4	Ni	0.0000	Mg	<<
5	Cs	<<		

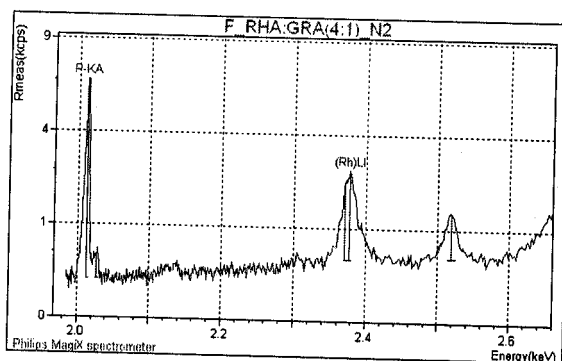
ตารางที่ 3.9b : แสดงองค์ประกอบของสารประกอบที่เตรียมได้จากตัวอย่างที่ 9

Compound Name	Conc. (%)	Absolute Error (%)	Compound Name	Conc. (%)	Absolute Error (%)
1 SiO ₂	99.56	0.2	Fe	<<	
2 CaO	0.4431	0.01	K	<<	
3 NiO	0.0000		Al	<<	
4 Cs	<<		Mg	<<	

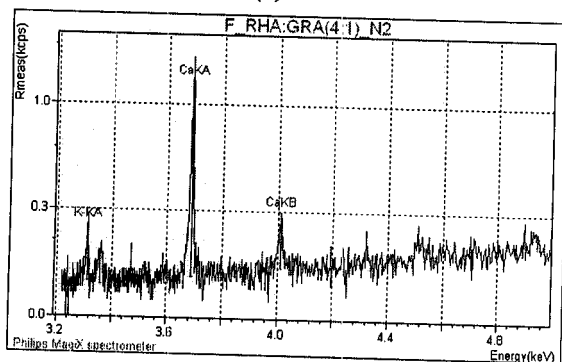
เมื่อนำตัวอย่างที่ได้จาก แก้วเคลือบบริสุทธิ์ ผสม แกรไฟท์ ในอัตราส่วน 4:1 เผาที่อุณหภูมิ 1,100 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 ชั่วโมง ในบรรยากาศของก๊าซไนโตรเจนที่ไหลเข้าสู่เตาที่ด้วย อัตราการไหล 1 L/min(ตัวอย่างที่ 10) ไปวิเคราะห์ด้วย XRF ผลการวิเคราะห์แสดงกราฟดังรูปที่ 3.89 (a-e) และตารางที่ 3.10a และ 3.10b



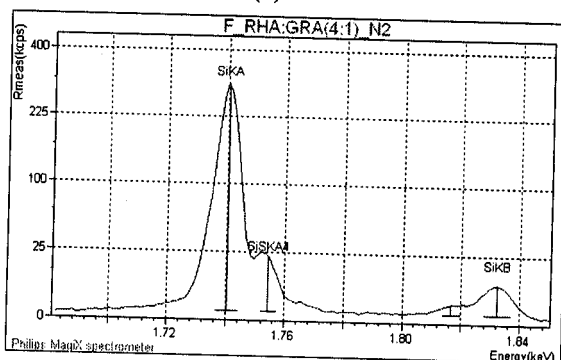
(a)



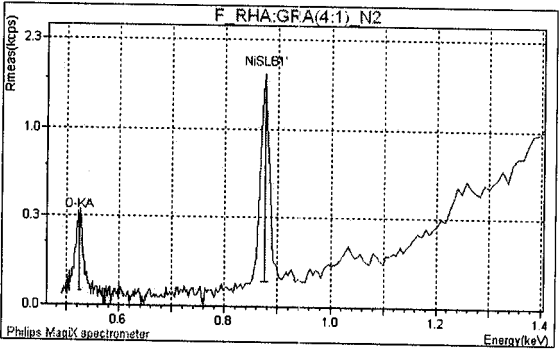
(c)



(b)



(d)



(e)

รูปที่ 3.89(a-e) แสดงกราฟ XRF ในแต่ละช่วงพลังงาน(keV)ของตัวอย่าง 10

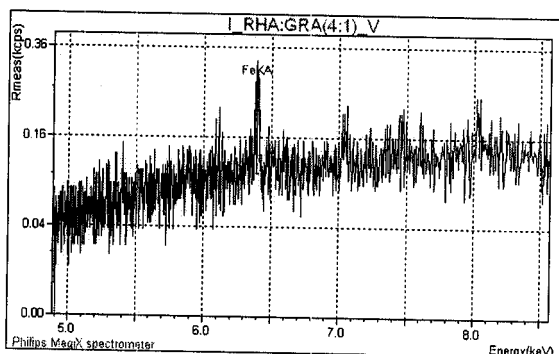
ตารางที่ 3.10a : แสดงองค์ประกอบของธาตุที่เตรียมได้จากตัวอย่างที่ 10

Element Conc.			Element Conc.		
(%)			(%)		
1	O	53.21	Ni	0.0000	
2	Si	45.99	Fe	<<	
3	P	0.5577	K	<<	
4	Ca	0.2377			

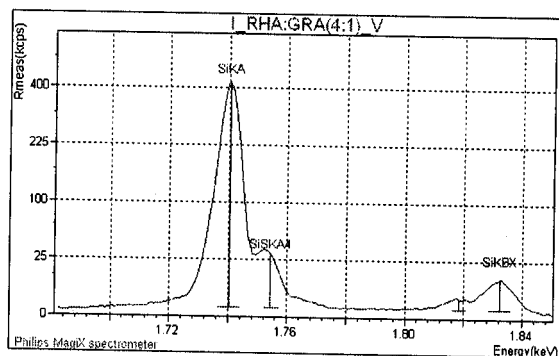
ตารางที่ 3.10b : แสดงองค์ประกอบของสารประกอบที่เตรียมได้จากตัวอย่างที่ 10

Compound Conc.			Absolute	Compound Conc.			Absolute
Name	(%)		Error (%)	Name	(%)		Error (%)
1	SiO2	98.39	0.2	NiO	0.0000		
2	P2O5	1.278	0.01	Fe	<<		
3	CaO	0.3326	0.01	K	<<		

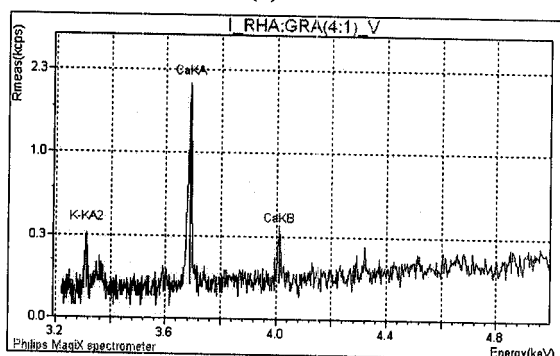
เมื่อนำตัวอย่างที่ได้จาก ถ้ำแถบบริสุทธ์ ผสม แกรไฟท์ในอัตราส่วน 4:1 เผาที่อุณหภูมิ 1,100 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 ชั่วโมง ในบรรยากาศอากาศที่ไหลผ่านน้ำกลั่น เข้าสู่เตาห่อด้วย อัตราการไหลของอากาศ 5 L/min(ตัวอย่างที่ 11) ไปวิเคราะห์ด้วย XRF ผลการวิเคราะห์แสดง กราฟดังรูปที่ 3.90(a-f) และตารางที่ 3.11a และ 3.11b



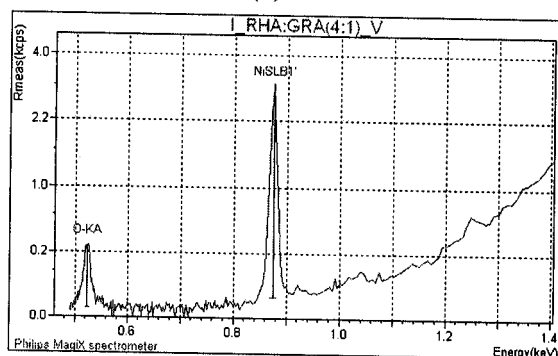
(a)



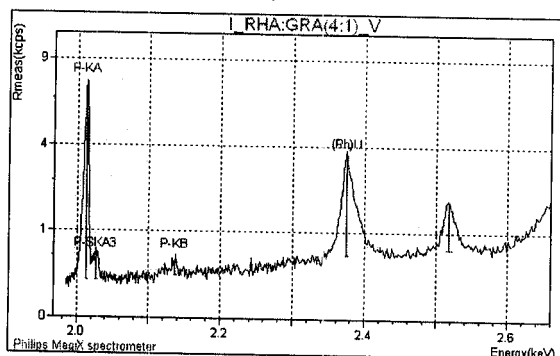
(d)



(b)



(e)



(c)

รูปที่ 3.90(a-e) แสดงกราฟ XRF ในแต่ละช่วงพลังงาน(keV)ของตัวอย่าง 11

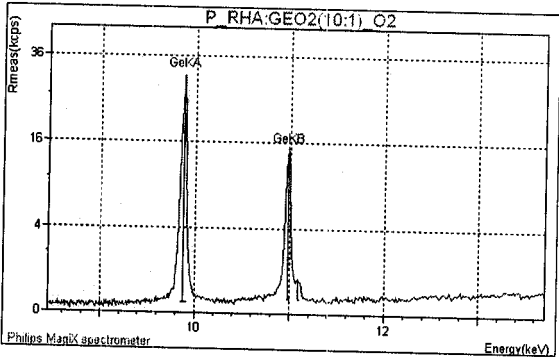
ตารางที่ 3.11a : แสดงองค์ประกอบของธาตุที่เตรียมได้จากตัวอย่างที่ 11

Element Conc.			Element Conc.		
(%)			(%)		
1	O	53.19	Ni	0.0000	
2	Si	46.03	Cs	<<	
3	P	0.4808	Fe	<<	
4	Ca	0.3038			

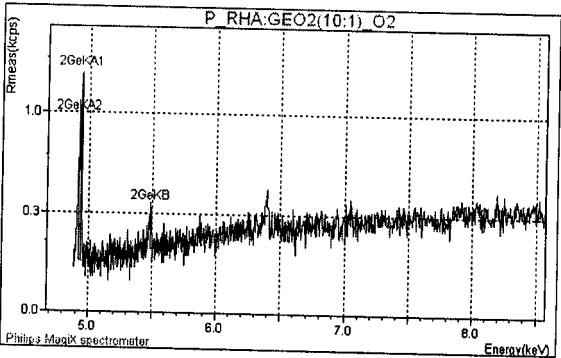
ตารางที่ 3.11b : แสดงองค์ประกอบของสารประกอบที่เตรียมได้จากตัวอย่างที่ 11

Compound Conc. Absolute			Compound Conc. Absolute		
Name	(%)	Error (%)	Name	(%)	Error (%)
1	SiO2	98.47	0.2	NiO	0.0000
2	P2O5	1.102	0.01	Cs	<<
3	CaO	0.4250	0.01	Fe	<<

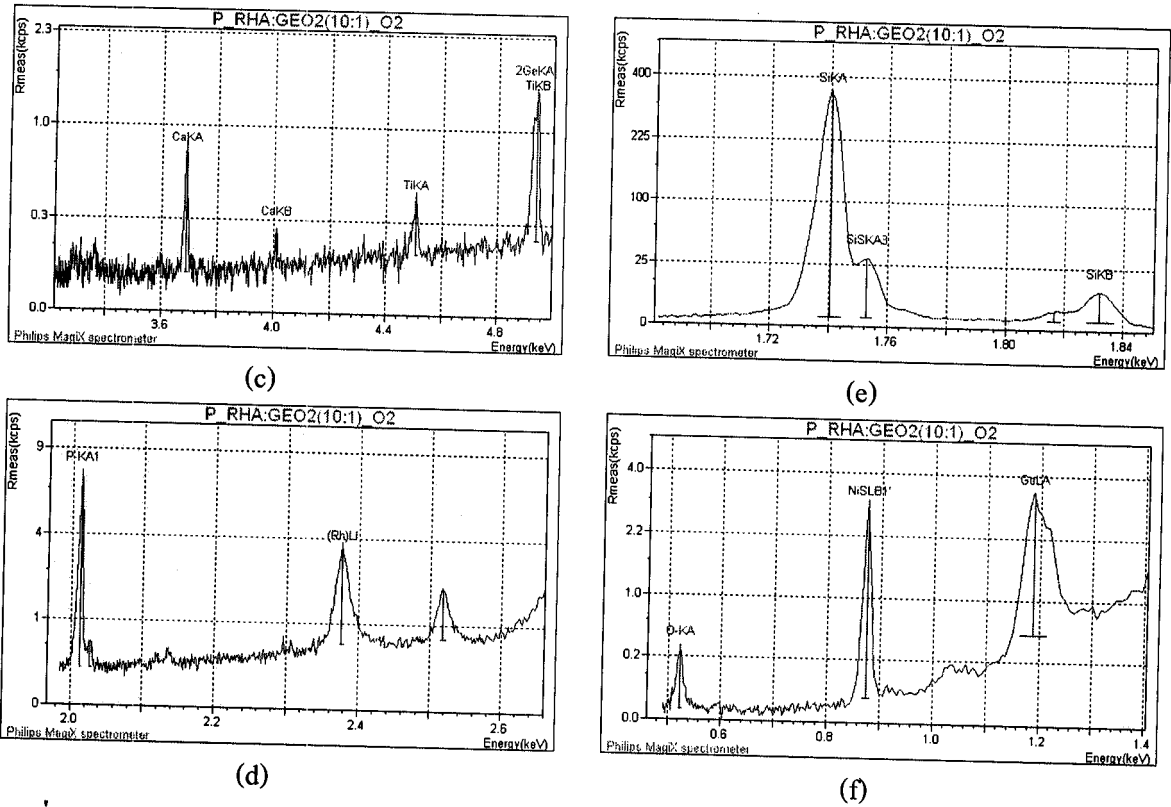
เมื่อนำตัวอย่างที่ได้จาก เถ้าแกลบบริสุทธิ์ ผสม GeO_2 ในอัตราส่วน 10:1 เผาที่อุณหภูมิ 1,200 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 ชั่วโมง ในบรรยากาศของก๊าซออกซิเจนเข้าสู่เตาที่ อัตราการไหลของอากาศ 1 L/min (ตัวอย่างที่ 12) ไปวิเคราะห์ด้วย XRF ผลการวิเคราะห์แสดงกราฟดังรูปที่ 3.91(a-f) และตารางที่ 3.12a และ 3.12b



(a)



(b)



รูปที่ 3.91(a-ก) แสดงกราฟ XRF ในแต่ละช่วงพลังงาน(keV)ของตัวอย่าง 12

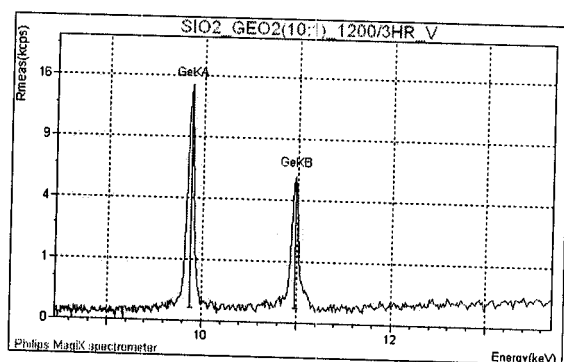
ตารางที่ 3.12a : แสดงองค์ประกอบของธาตุที่เตรียมได้จากตัวอย่างที่12

Element Conc.		Element Conc.	
(%)		(%)	
1	O 53.00	Ni	0.0000
2	Si 45.55	Ti	0.0000
3	Ge 0.7769	Ba	<<
4	P 0.5540	Al	<<
5	Ca 0.1249		

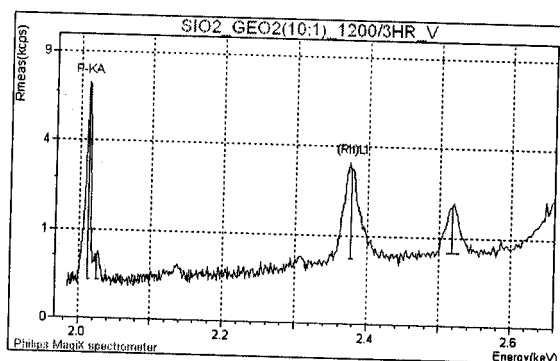
ตารางที่ 3.12b : แสดงองค์ประกอบของสารประกอบที่เตรียมได้จากตัวอย่างที่ 12

Compound Conc.			Compound Conc.		
Name	(%)	Absolute Error (%)	Name	(%)	Absolute Error (%)
1	SiO2 97.44	0.2	NiO	0.0000	
2	P2O5 1.269	0.01	TiO2	0.0000	
3	GeO2 1.119	0.01	Ba	<<	
4	CaO 0.1747	0.006	Al	<<	

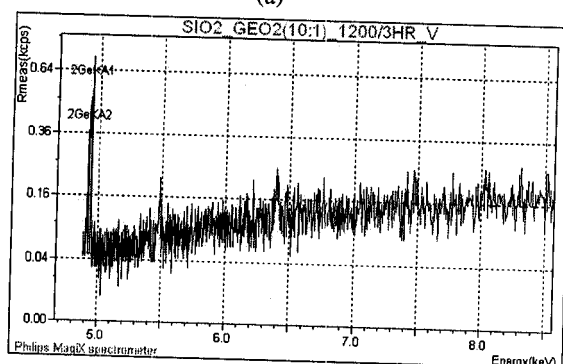
เมื่อนำวัสดุตัวอย่างที่ได้จาก เถ้าแกลบบริสุทธิ์ผสม GeO_2 ในอัตราส่วน 10:1 เผาที่อุณหภูมิ 1200 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 ชั่วโมง ในบรรยากาศของอากาศที่ไหลผ่านน้ำกลั่นเข้าสู่เตาห่อ ด้วยอัตราการไหล 5 L/min (ตัวอย่าง 13) ไปวิเคราะห์ด้วย XRF ผลการวิเคราะห์แสดงกราฟดังรูปที่ 3.92(a-f) และตารางที่ 3.13a และ 3.13b



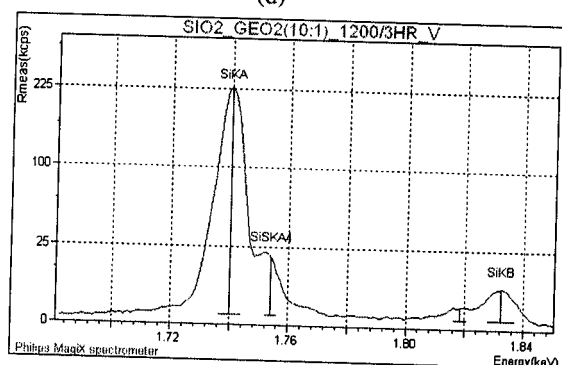
(a)



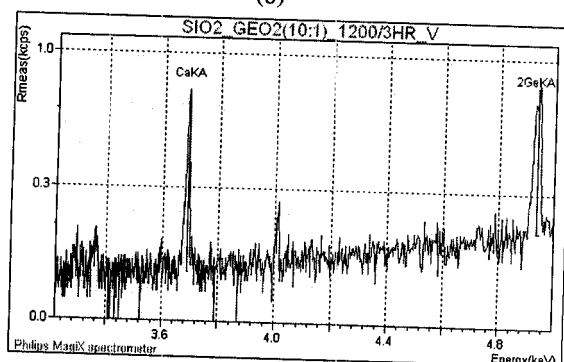
(d)



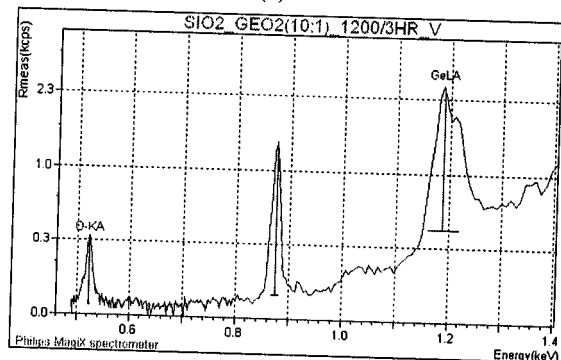
(b)



(e)



(c)



(f)

รูปที่ 3.92(a-f) แสดงกราฟ XRF ในแต่ละช่วงพลังงาน(keV)ของตัวอย่าง 13

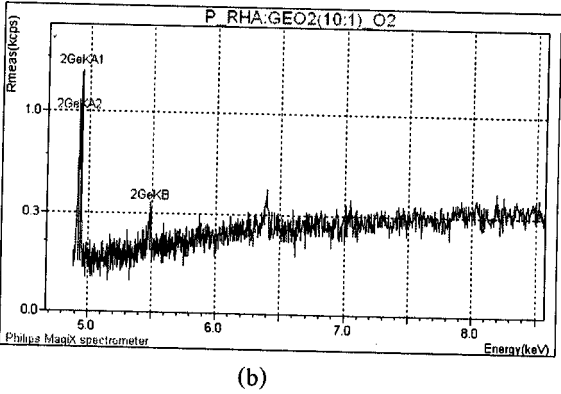
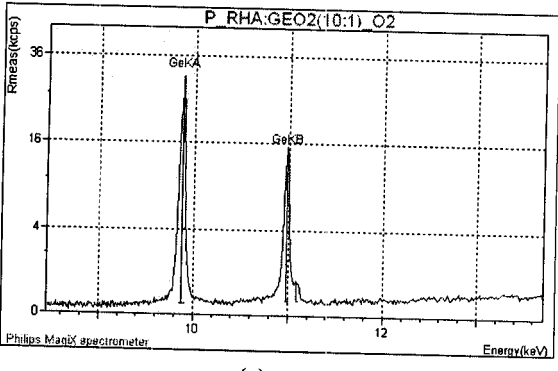
ตารางที่ 3.13a : แสดงองค์ประกอบของธาตุที่เตรียมได้จากตัวอย่างที่ 13

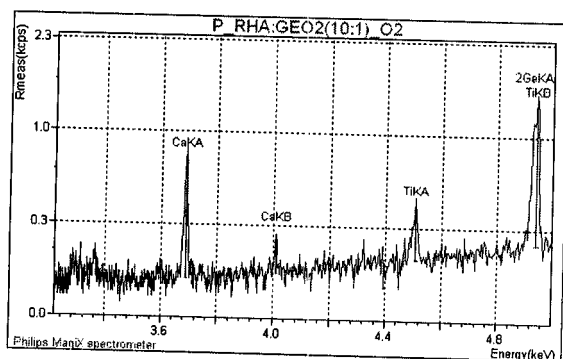
Element Conc.		Element Conc.	
(%)		(%)	
1	O 52.97	Ca	0.1914
2	Si 45.21	Cs	<<
3	Ge 0.8408	I	<<
4	P 0.7893		

ตารางที่ 3.13b : แสดงองค์ประกอบของสารประกอบที่เตรียมได้จากตัวอย่างที่ 13

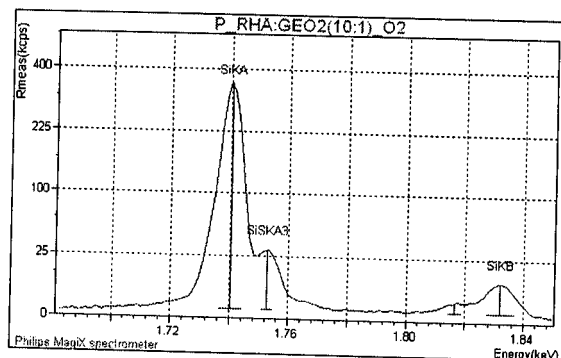
Compound Conc. Absolute			Compound Conc. Absolute		
Name	(%)	Error (%)	Name	(%)	Error (%)
1	SiO2 96.71	0.2	CaO	0.2677	0.01
2	P2O5 1.808	0.02	Cs	<<	
3	GeO2 1.211	0.01	I	<<	

เมื่อนำวัสดุตัวอย่างที่เตรียมได้จาก เถ้าแกลบบริสุทธิ์ ผสม GeO_2 ในอัตราส่วน 10:1 เผาที่อุณหภูมิ 1200 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 ชั่วโมง ในบรรยากาศของก๊าซออกซิเจนที่ไหลเข้าสู่เตาที่ด้วยอัตราการไหล 1 L/min (ตัวอย่าง 14) ไปวิเคราะห์ด้วย XRF ผลการวิเคราะห์แสดงกราฟดังรูปที่ 3.93(a-f) และตารางที่ 3.14a และ 3.14b

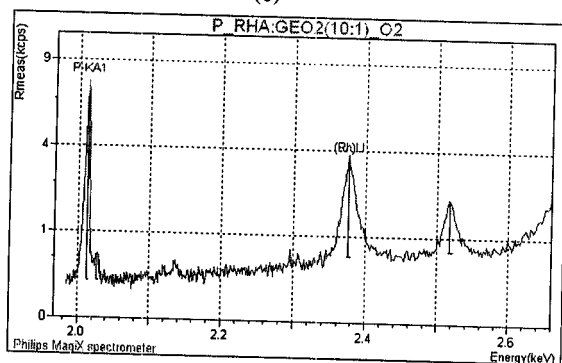




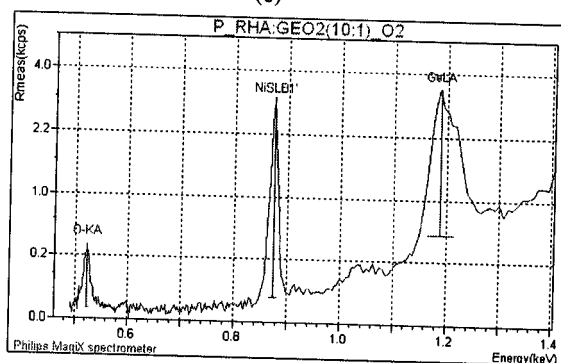
(c)



(e)



(d)



(f)

รูปที่ 3.93(a-f) แสดงกราฟ XRF ในแต่ละช่วงพลังงาน(keV)ของตัวอย่าง 14

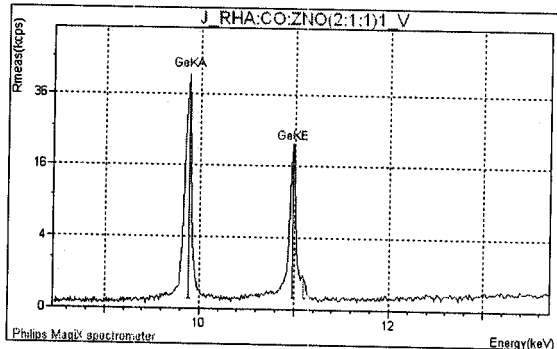
ตารางที่ 3.14a : แสดงองค์ประกอบของธาตุที่เตรียมได้จากตัวอย่างที่ 14

Element	Conc. (%)	Element	Conc. (%)
1 O	52.96	Ti	0.0000
2 Si	46.13	Ba	<<
3 Ge	0.7859	Al	<<
4 Ca	0.1263		

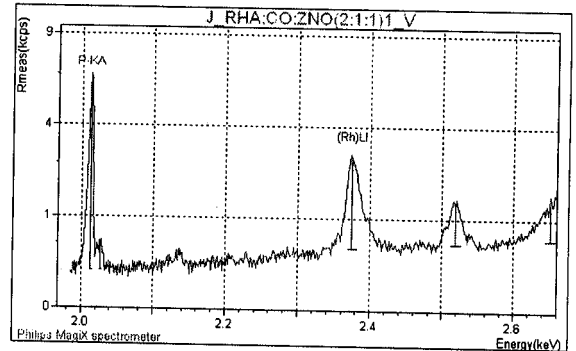
ตารางที่ 3.14b : แสดงองค์ประกอบของสารประกอบที่เตรียมได้จากตัวอย่างที่ 14

Compound	Conc. (%)	Absolute Error (%)	Compound	Conc. (%)	Absolute Error (%)
1 SiO2	98.69	0.2	TiO2	0.0000	
2 GeO2	1.132	0.01	Ba	<<	
3 CaO	0.1767	0.007	Al	<<	

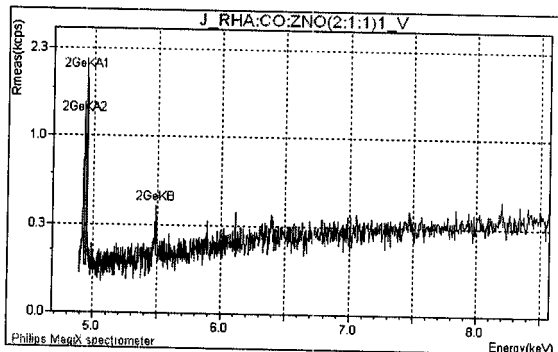
เมื่อนำตัวอย่างที่ได้จาก เถ้าแกลบบริสุทธิ์ ผสม GeO_2 ในอัตราส่วน 5:1 เตาที่อุณหภูมิ 1,100 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 ชั่วโมง ในบรรยากาศของอากาศที่ไหลผ่านน้ำกลั่น เข้าสู่เตาห้องด้วยอัตราการไหลของอากาศ 5 L/min (ตัวอย่างที่ 15) ไปวิเคราะห์ด้วย XRF ผลการวิเคราะห์แสดงกราฟดังรูปที่ 3.94(a-f) และตารางที่ 3.15a และ 3.15b



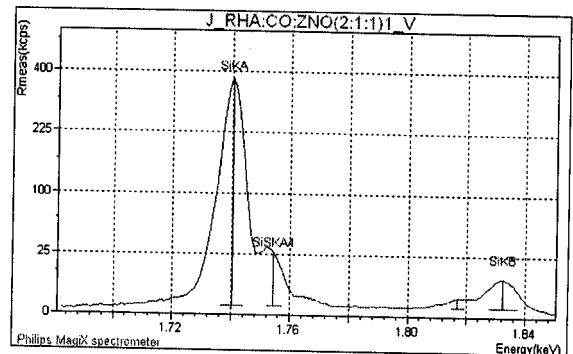
(a)



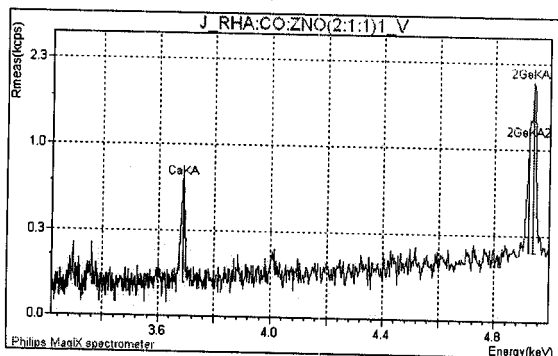
(d)



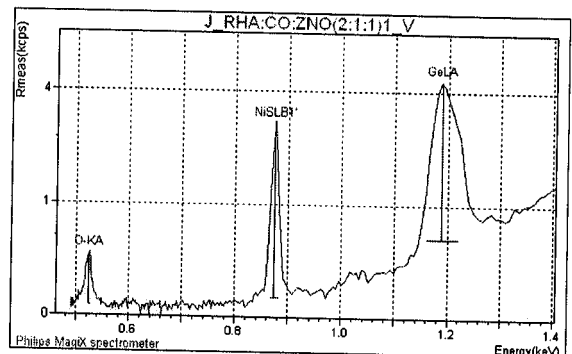
(b)



(e)



(c)



(f)

รูปที่ 3.94(a-f) แสดงกราฟ XRF ในแต่ละช่วงพลังงาน(keV)ของตัวอย่าง 15

ตารางที่ 3.15a : แสดงองค์ประกอบของธาตุที่เตรียมได้จากตัวอย่างที่ 15

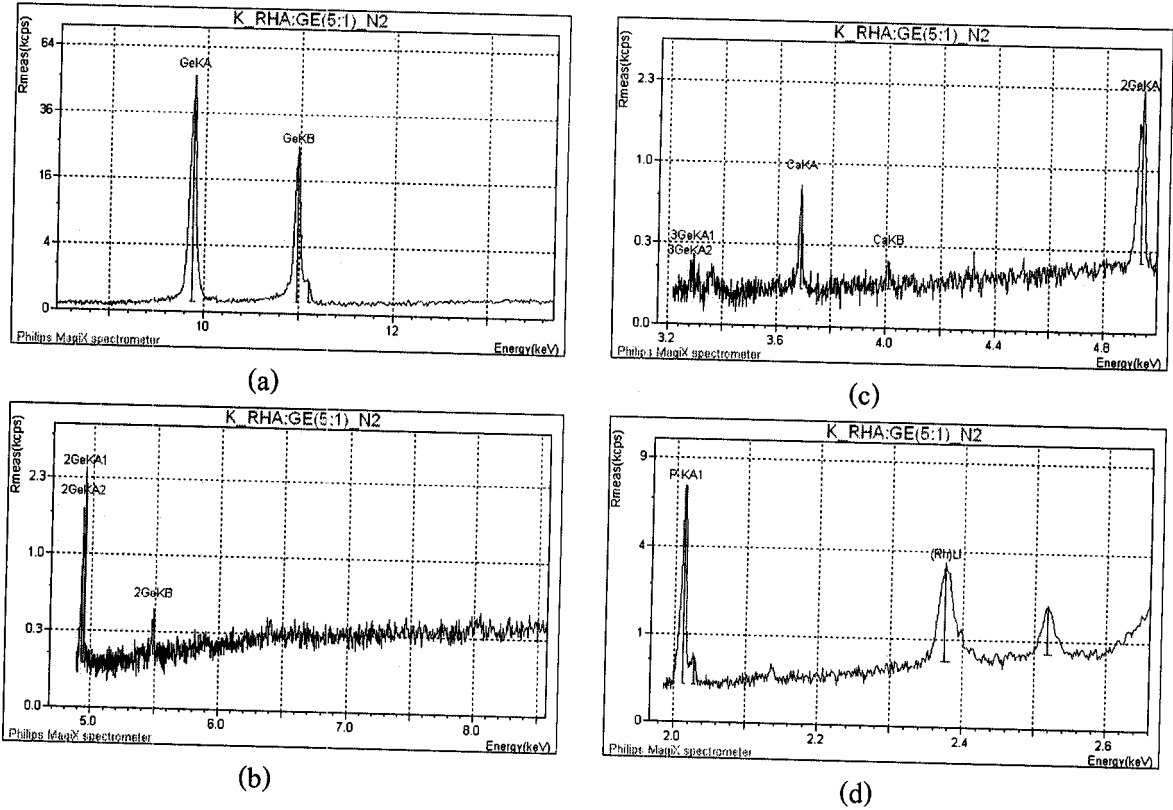
	Element	Conc.	Element	Conc.
		(%)		(%)
1	O	52.95	Ca	0.08614
2	Si	45.57	Ni	0.0000

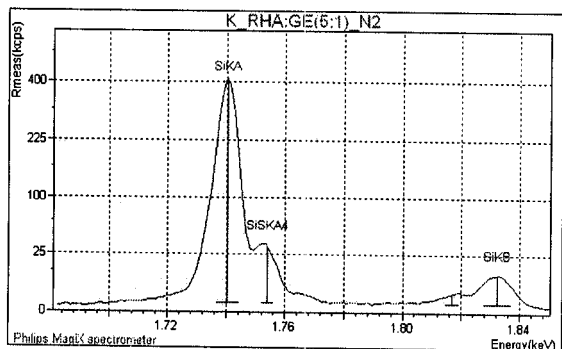
3 Ge 0.9441 Ba <<
4 P 0.4499

ตารางที่ 3.15b : แสดงองค์ประกอบของสารประกอบที่เตรียมได้จากตัวอย่างที่ 15

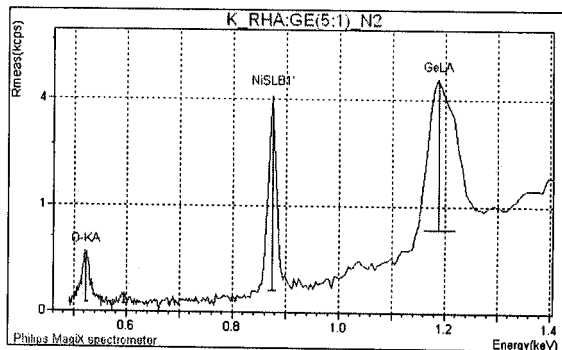
Compound Name	Conc. (%)	Absolute Error (%)	Compound Name	Conc. (%)	Absolute Error (%)
1 SiO2	97.49	0.2	CaO	0.1205	0.005
2 GeO2	1.360	0.01	NiO	0.0000	
3 P2O5	1.031	0.01	Ba	<<	

เมื่อนำตัวอย่างที่ได้จาก เถ้าแกลบบริสุทธิ์ ผสม GeO_2 ในอัตราส่วน 5:1เผาที่อุณหภูมิ 1,100 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 ชั่วโมง ในบรรยากาศของก๊าซไนโตรเจน เข้าสู่เตาห่อ ด้วยอัตราการไหล 1 L/min (ตัวอย่างที่ 16) ไปวิเคราะห์ด้วย XRF ผลการวิเคราะห์แสดงกราฟดังรูปที่ 3.95(a-f) และ ตารางที่ 3.16a และ 3.16b





(e)



(f)

รูปที่ 3.95(a-f) แสดงกราฟ XRF ในแต่ละช่วงพลังงาน(keV)ของตัวอย่าง 16

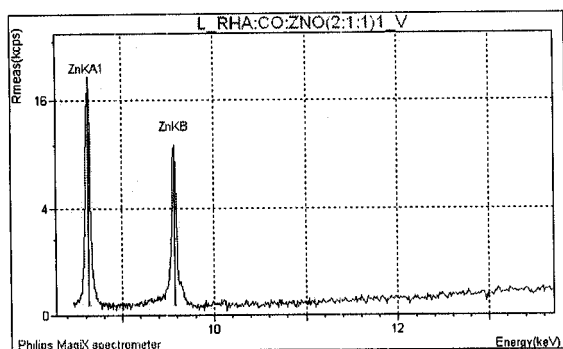
ตารางที่ 3.16a : แสดงองค์ประกอบของธาตุที่เตรียมได้จากตัวอย่างที่ 16

Element Conc.		Element Conc.	
(%)		(%)	
1	O 52.95	Ca	0.1029
2	Si 45.57	Ni	0.0000
3	Ge 0.9335	Ba	<<
4	P 0.4472		

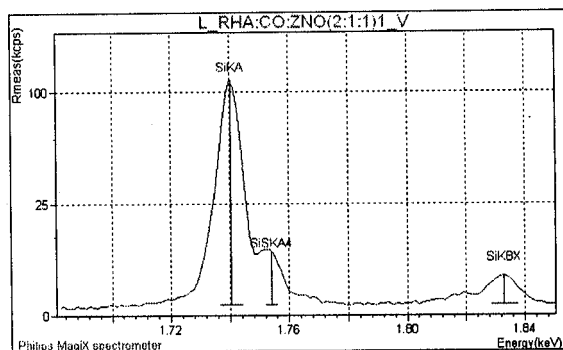
ตารางที่ 3.16b : แสดงองค์ประกอบของสารประกอบที่เตรียมได้จากตัวอย่างที่ 16

Compound Conc. Absolute			Compound Conc. Absolute		
Name	(%)	Error (%)	Name	(%)	Error (%)
1	SiO2 97.49	0.2	CaO	0.1439	0.005
2	GeO2 1.345	0.01	NiO	0.0000	
3	P2O5 1.025	0.01	Ba	<<	

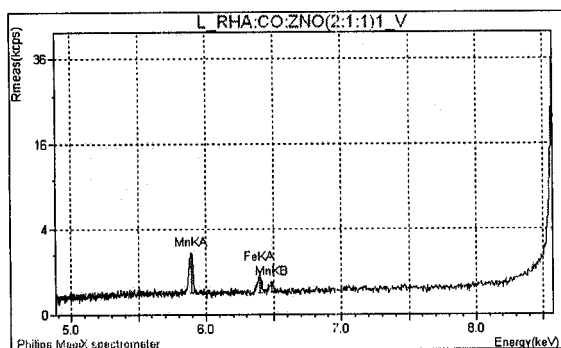
เมื่อนำตัวอย่างที่ได้จาก แก้วเคลือบบริสุทธิ์ ผสมถ่านกะลาและ ZnO ในอัตราส่วน 2:1:1เผาที่อุณหภูมิ 1,000 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมง ในบรรยากาศของก๊าซไนโตรเจน ที่ไหลเข้าสู่เตาท่อ ด้วยอัตราการไหล 1 L/min (ตัวอย่าง17) ไปวิเคราะห์ด้วย XRF ผลการวิเคราะห์แสดงกราฟดังรูปที่ 3.96(a-e) และตารางที่ 3.17a และ 3.17b



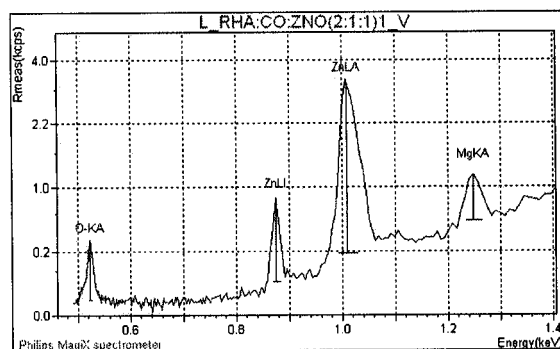
(a)



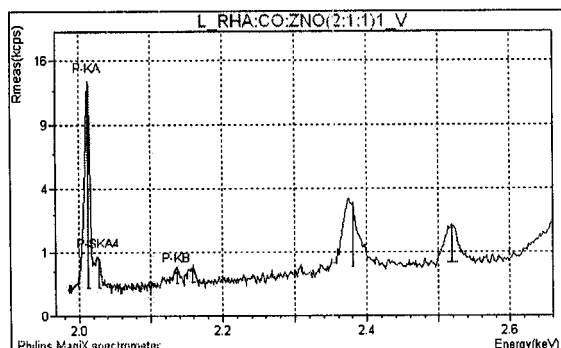
(d)



(b)



(e)



(c)

รูปที่ 3.96(a-ก) แสดงกราฟ XRF ในแต่ละช่วงพลังงาน(keV)ของตัวอย่าง 17

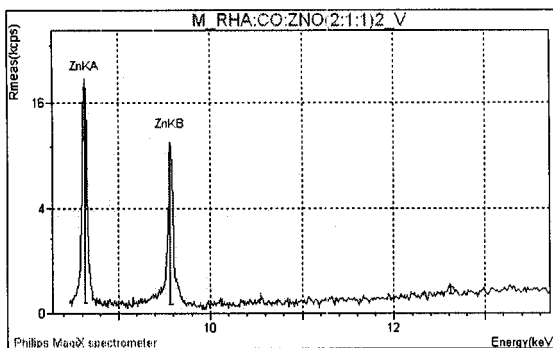
ตารางที่ 3.17a : แสดงองค์ประกอบของธาตุที่เตรียมได้จากตัวอย่างที่ 17

Element Conc.		Element Conc.	
(%)		(%)	
1	O 47.85	K	1.423
2	Si 36.32	Mg	0.3842
3	Zn 9.838	Mn	0.0000
4	Ca 2.114	Fe	<<
5	P 2.074	Al	<<

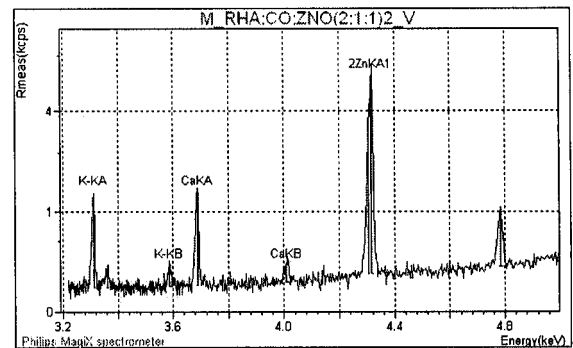
ตารางที่ 3.17b : แสดงองค์ประกอบของสารประกอบที่เตรียมได้จากตัวอย่างที่ 17

Compound Name	Conc. (%)	Absolute Error (%)	Compound Name	Conc. (%)	Absolute Error (%)
1 SiO ₂	77.69	0.2	MgO	0.6370	0.01
2 ZnO	12.25	0.1	MnO	0.0000	
3 P ₂ O ₅	4.752	0.03	Fe	<<	
4 CaO	2.958	0.04	Al	<<	
5 K ₂ O	1.714	0.03			

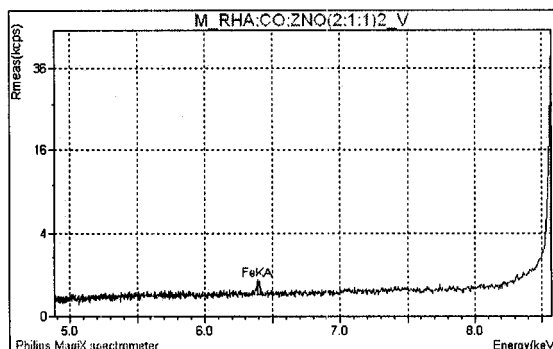
เมื่อนำตัวอย่างที่ได้จาก เถ้าแกลบบริสุทธิ์ ผสมถ่านกะลาและ ZnO ในอัตราส่วน 2:1:1 เผาที่อุณหภูมิ 1,100 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง ในบรรยากาศของอากาศที่ไหลผ่านน้ำกลั่นเข้าสู่เตาท่อ ด้วยอัตราการไหลของอากาศ 5 L/min (ตัวอย่าง 18) ไปวิเคราะห์ด้วย XRF ผลการวิเคราะห์แสดงกราฟดังรูปที่ 3.97(a-f) และตารางที่ 3.18a และ 3.18b



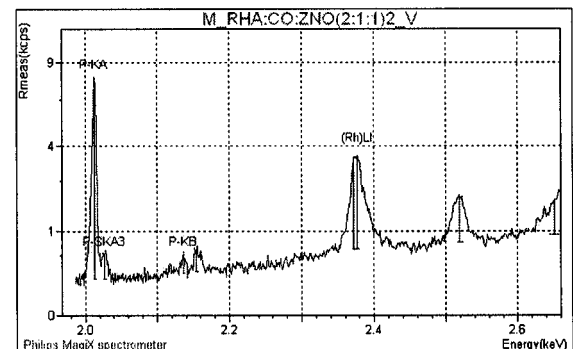
(a)



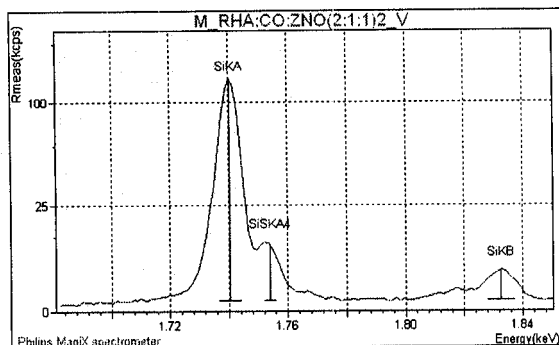
(c)



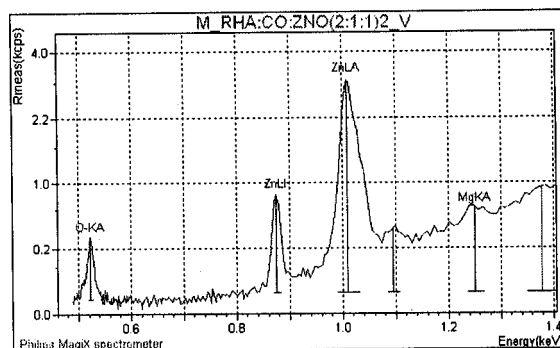
(b)



(d)



(e)



(f)

รูปที่ 3.97(a-f) แสดงกราฟ XRF ในแต่ละช่วงพลังงาน(keV)ของตัวอย่าง 18

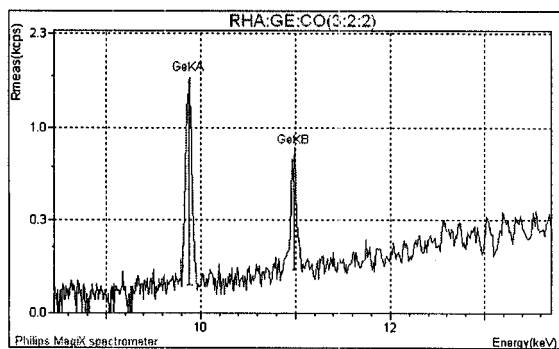
ตารางที่ 3.18a : แสดงองค์ประกอบของธาตุที่เตรียมได้จากตัวอย่างที่ 18

Element	Conc. (%)	Element	Conc. (%)
1 O	48.87	Ca	0.5257
2 Si	38.99	Mg	0.3572
3 Zn	9.464	Ba	<<
4 P	1.210	Fe	<<
5 K	0.5867		

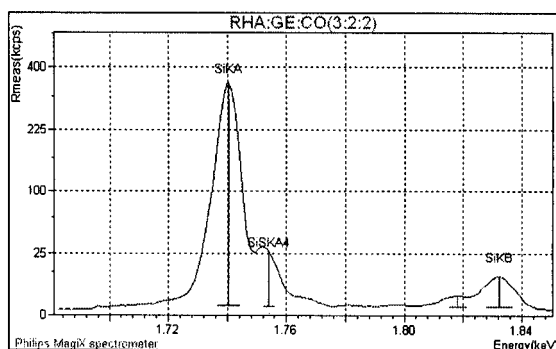
ตารางที่ 3.18b : แสดงองค์ประกอบของสารประกอบที่เตรียมได้จากตัวอย่างที่ 18

Compound	Conc. (%)	Absolute Error (%)	Compound	Conc. (%)	Absolute Error (%)
1 SiO ₂	83.41	0.2	K ₂ O	0.7068	0.02
2 ZnO	11.78	0.1	MgO	0.5924	0.02
3 P ₂ O ₅	2.772	0.02	Ba	<<	
4 CaO	0.7355	0.02	Fe	<<	

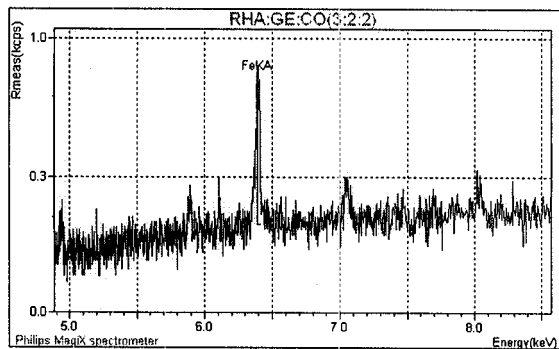
เมื่อนำตัวอย่างที่ได้จาก แก้วเคลือบบริสุทธิ์ ผสมถ่านกะลาและ GeO₂ ในอัตราส่วน 3:2:2 เผาที่อุณหภูมิ 1,000 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง ในบรรยากาศของอากาศที่ไหลผ่านน้ำกลั่นเข้าสู่เตาที่ด้วยอัตราการไหลของอากาศ 5 L/min (ตัวอย่าง 19) ไปวิเคราะห์ด้วย XRF ผลการวิเคราะห์แสดงกราฟดังรูปที่ 3.98(a-f) และตารางที่ 3.19a และ 3.19b



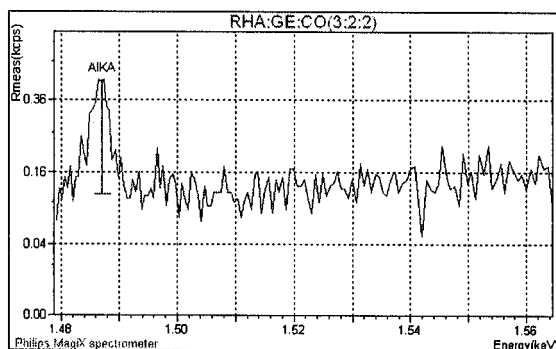
(a)



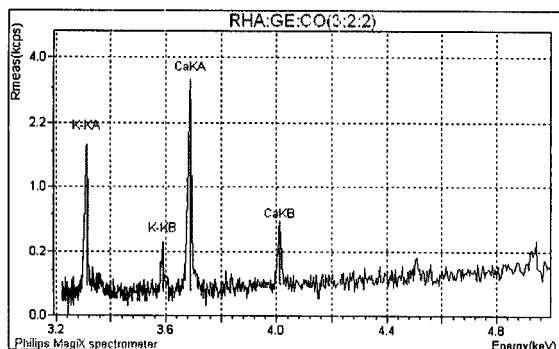
(c)



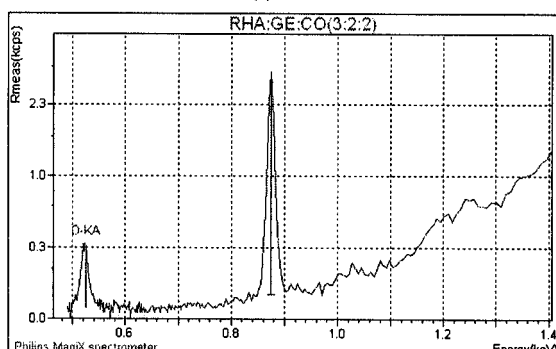
(b)



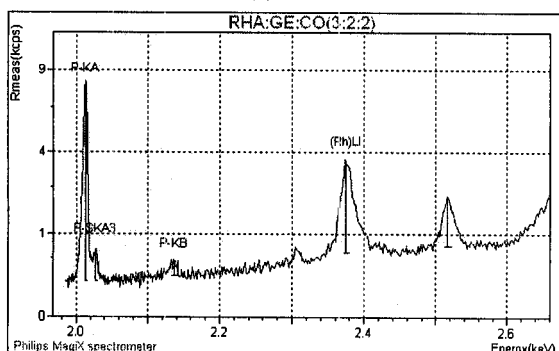
(f)



(c)



(g)



(d)

รูปที่ 3.98(a-ก) แสดงกราฟ XRF ในแต่ละช่วงพลังงาน(keV)ของตัวอย่าง 19

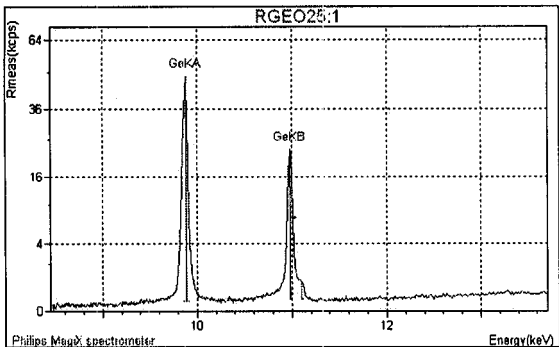
ตารางที่ 3.19a : แสดงองค์ประกอบของธาตุที่เตรียมได้จากตัวอย่างที่ 19

Element Conc.			Element Conc.		
(%)			(%)		
1	O	52.92	Ge	0.0000	
2	Si	45.48	Fe	0.0000	
3	P	0.6094	Nb	<<	
4	Ca	0.6009	Zr	<<	
5	K	0.3901	Al	<<	

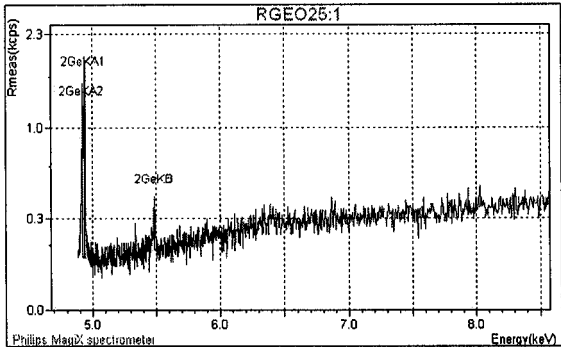
ตารางที่ 3.19b : แสดงองค์ประกอบของสารประกอบที่เตรียมได้จากตัวอย่างที่ 19

Compound Conc.			Compound Conc.		
Absolute			Absolute		
Name	(%)	Error (%)	Name	(%)	Error (%)
1	SiO2	97.29	0.2	Fe2O3	0.0000
2	P2O5	1.396	0.01	Nb	<<
3	CaO	0.8408	0.02	Zr	<<
4	K2O	0.4699	0.01	Al	<<
5	GeO2	! 0.0000			

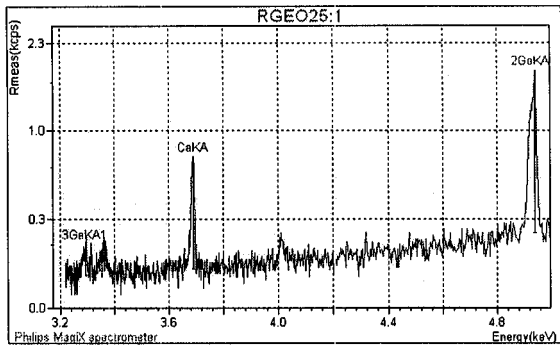
เมื่อนำตัวอย่างที่ได้จาก เถ้าแกลบบริสุทธิ์ ผสม GeO_2 และ ถ่านกะลา ในอัตราส่วน 5:1:1 เผาที่อุณหภูมิ 1200 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 ชั่วโมง ในบรรยากาศของก๊าซไนโตรเจนที่ไหลเข้าสู่เตาที่ด้วยอัตราการไหล 1 L/min (ตัวอย่าง 20)ไปวิเคราะห์ด้วย XRF ผลการวิเคราะห์แสดงกราฟดังรูปที่ 3.99 (a-f) และตารางที่ 3.20a และ 3.20b



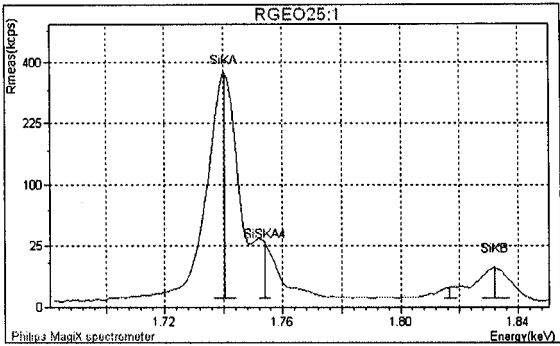
(a)



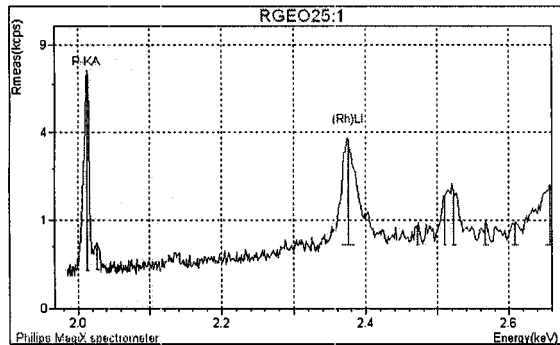
(b)



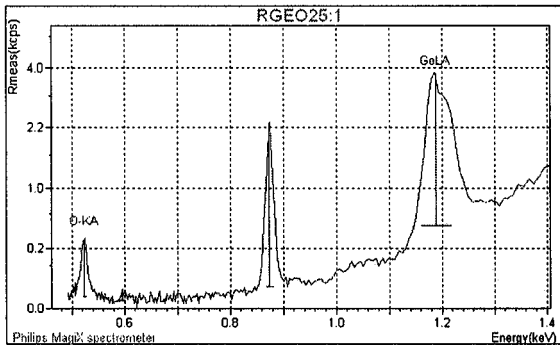
(c)



(e)



(d)



(f)

รูปที่ 3.99(a-f) แสดงกราฟ XRF ในแต่ละช่วงพลังงาน(keV)ของตัวอย่าง 20

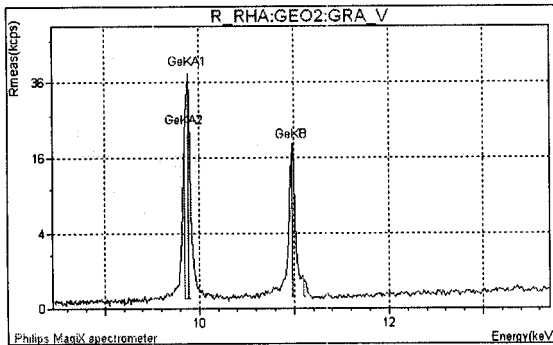
ตารางที่ 3.20a : แสดงองค์ประกอบของธาตุที่เตรียมได้จากตัวอย่างที่ 20

Element Conc.		Element Conc.	
(%)		(%)	
1	O 52.98	P	0.5008
2	Si 45.57	Ca	0.1094
3	Ge 0.8355	Cs	<<

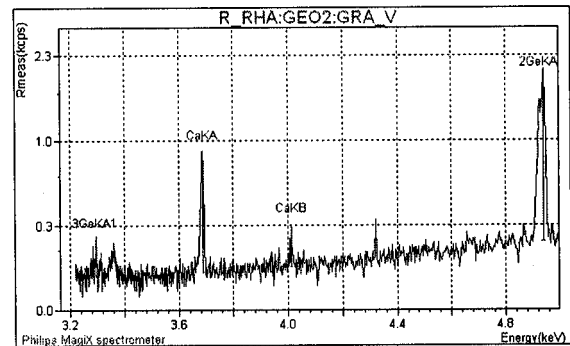
ตารางที่ 3.20b : แสดงองค์ประกอบของสารประกอบที่เตรียมได้จากตัวอย่างที่ 20

Compound Conc.			Compound Conc.		
Name	(%)	Absolute Error (%)	Name	(%)	Absolute Error (%)
1	SiO2 97.50	0.2	CaO	0.1531	0.006
2	GeO2 1.204	0.01	Cs	<<	
3	P2O5 1.147	0.01			

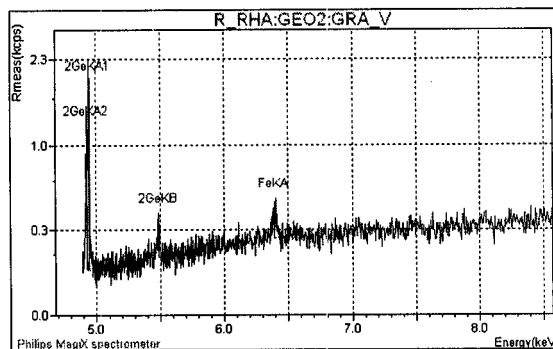
เมื่อนำตัวอย่างที่ได้จาก เถ้าแกลบบริสุทธิ์ ผสม GeO_2 และ แกรไฟต์ ในอัตราส่วน 5:1:1 เตาที่อุณหภูมิ 1200 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 ชั่วโมง ในบรรยากาศของอากาศที่ไหลผ่านน้ำกลั่นเข้าสู่เตาที่ด้วยอัตราการไหลของอากาศ 5 L/min (ตัวอย่าง 21) ไปวิเคราะห์ด้วย XRF ผลการวิเคราะห์แสดงกราฟดังรูปที่ 3.100(a-f) และตารางที่ 3.21a และ 3.21b



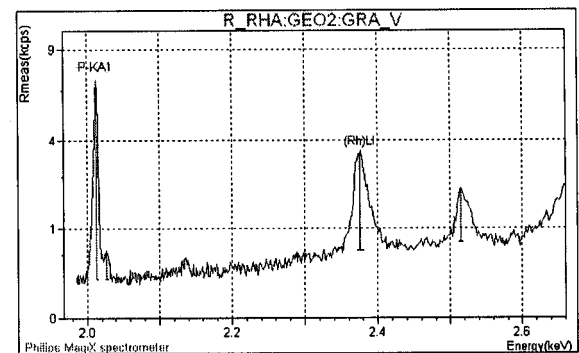
(a)



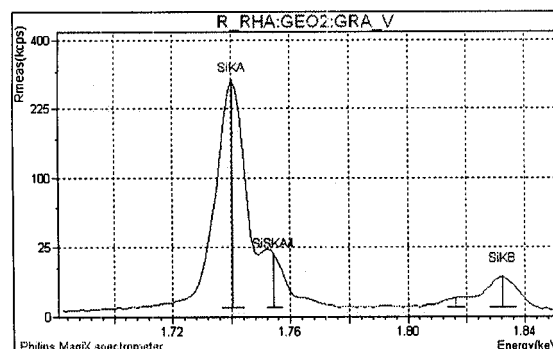
(c)



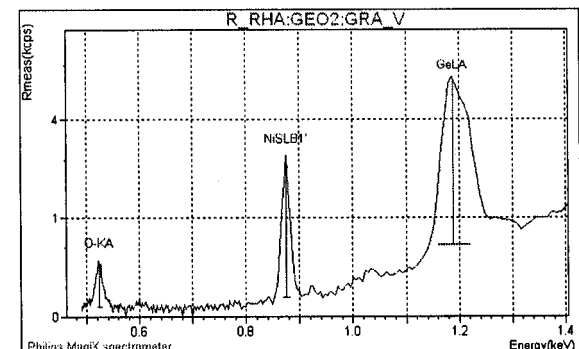
(b)



(d)



(e)



(f)

รูปที่ 3.100(a-f) แสดงกราฟ XRF ในแต่ละช่วงพลังงาน(keV)ของตัวอย่าง 21

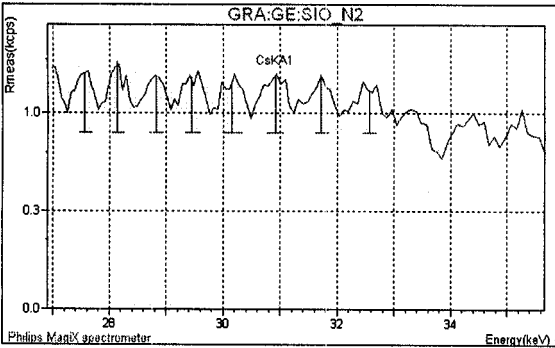
ตารางที่ 3.21a : แสดงองค์ประกอบของธาตุที่เตรียมได้จากตัวอย่างที่ 21

Element Conc.		Element Conc.	
(%)		(%)	
1	O 52.71	Ca	0.1671
2	Si 44.89	Ni	0.0000
3	Ge 1.618	Ba	<<
4	P 0.6141	Fe	<<

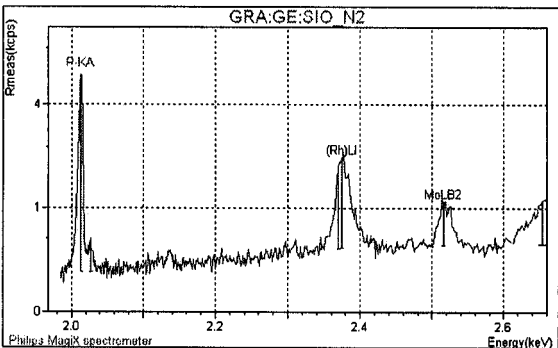
ตารางที่ 3.21b : แสดงองค์ประกอบของสารประกอบที่เตรียมได้จากตัวอย่างที่ 21

Compound Conc. Absolute			Compound Conc. Absolute		
Name	(%)	Error (%)	Name	(%)	Error (%)
1	SiO2 96.03	0.2	NiO	0.0000	
2	GeO2 2.331	0.02	Ba	<<	
3	P2O5 1.407	0.01	Fe	<<	
4	CaO 0.2339	0.009			

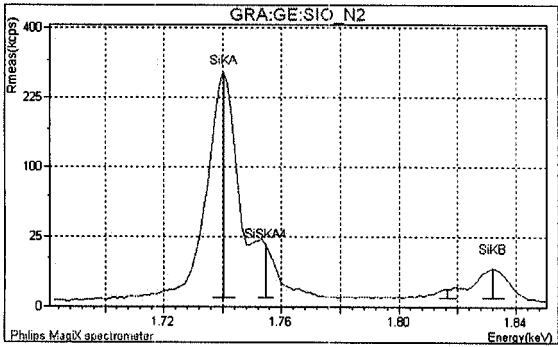
เมื่อนำตัวอย่างที่ได้จาก เถ้าแกลบบริสุทธิ์ ผสม GeO_2 และ แกรไฟต์ ในอัตราส่วน 5:1:1 เเผที่อุณหภูมิ 1200 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 ชั่วโมง ในบรรยากาศของก๊าซไนโตรเจนที่ไหลเข้าสู่เตาท่อ ด้วยอัตราการไหล 1 L/min (ตัวอย่าง 22) ไปวิเคราะห์ด้วย XRF ผลการวิเคราะห์แสดงกราฟดังรูปที่ 3.101(a-g) และตารางที่ 3.22a และ 3.22b



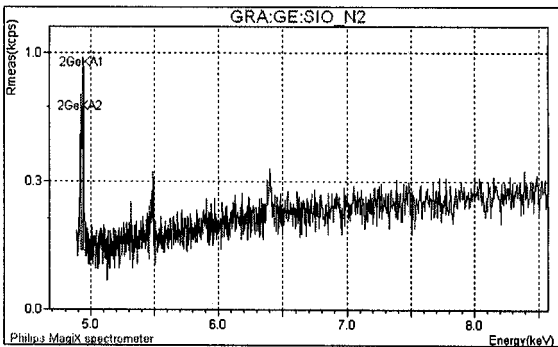
(a)



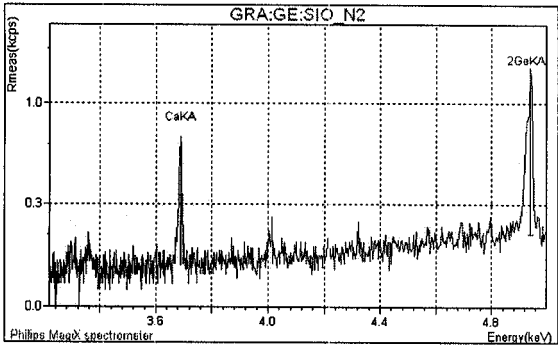
(b)



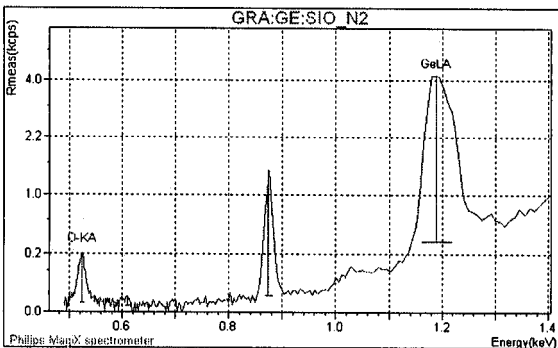
(c)



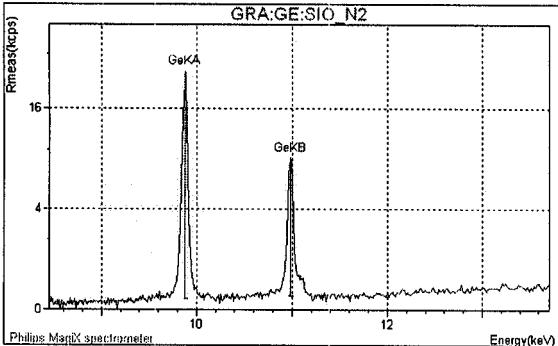
(d)



(e)



(f)



(g)

รูปที่ 3.101(a-g) แสดงกราฟ XRF ในแต่ละ
ช่วงพลังงาน(keV)ของตัวอย่าง 22

ตารางที่ 3.22a : แสดงองค์ประกอบของธาตุที่เตรียมได้จากตัวอย่างที่ 22

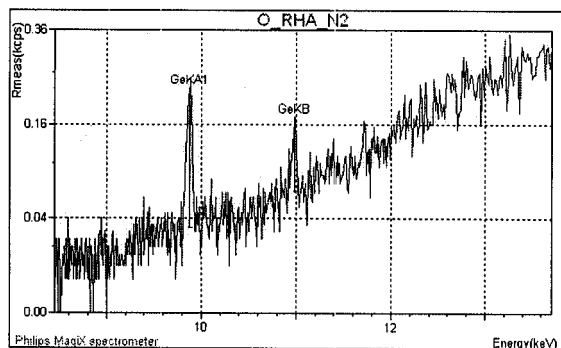
Element Conc.		Element Conc.	
(%)		(%)	
1	O 52.84	P	0.4745
2	Si 45.33	Ca	0.1406
3	Ge 1.215	Cs	<<

ตารางที่ 3.22b : แสดงองค์ประกอบของสารประกอบที่เตรียมได้จากตัวอย่างที่ 22

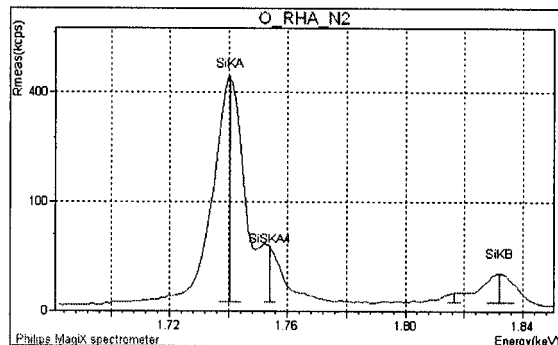
Compound Conc.		Compound Conc.	
Absolute		Absolute	
Name (%)		Name (%)	
Error (%)		Error (%)	

1	SiO ₂	96.97	0.2	CaO	0.1967	0.008
2	GeO ₂	1.751	0.01	Cs	<<	
3	P ₂ O ₅	1.087	0.01			

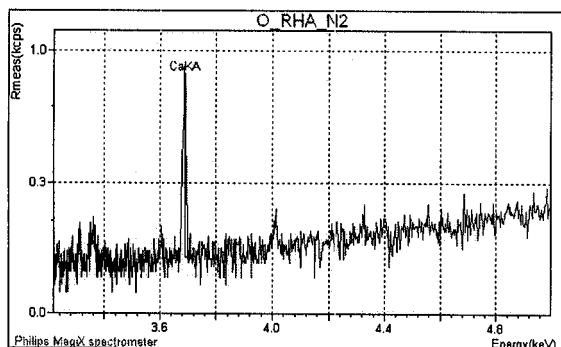
เมื่อนำตัวอย่างที่ได้จากถ้ำกลบปริสุทรี เภาที่อุณหภูมิ 1,200 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 ชั่วโมง ในบรรยากาศของก๊าซไนโตรเจนเข้าสู่เตาห่อ ด้วยอัตราการไหล 1 L/min ไปวิเคราะห์ด้วย XRF ผลการวิเคราะห์แสดงกราฟดังรูปที่ 3.102 (a-e) และตารางที่ 3.23a-3.23b



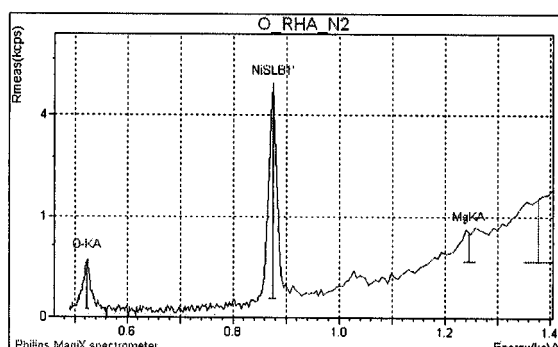
(a)



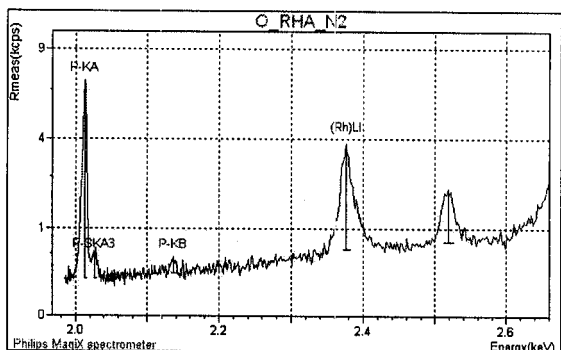
(d)



(b)



(e)



(c)

รูปที่ 3.102(a-e) แสดงกราฟ XRF ในแต่ละช่วงพลังงาน(keV)ของถ้ำกลบปริสุทรี เภาที่อุณหภูมิ 1,200 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 ชั่วโมง ในบรรยากาศของก๊าซไนโตรเจนเข้าสู่เตาห่อ ด้วยอัตราการไหล 1 L/min

ตารางที่ 3.23a : แสดงองค์ประกอบของธาตุที่เตรียมได้จากตัวอย่างที่

Element Conc.		Element Conc.	
(%)		(%)	
1	O 53.25	Ni	0.0000
2	Si 46.24	Ge	<<
3	P 0.4105	Mg	<<
4	Ca 0.1027		

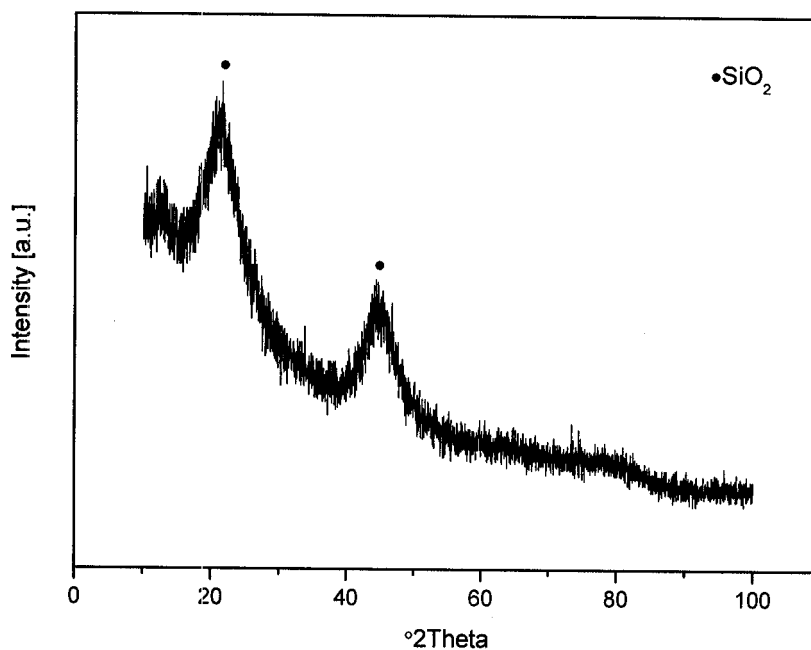
ตารางที่ 3.23b : แสดงองค์ประกอบของสารประกอบที่เตรียมได้จากตัวอย่างที่

Compound Conc. Absolute			Compound Conc. Absolute		
Name	(%)	Error (%)	Name	(%)	Error (%)
1	SiO2 98.92	0.1	NiO	0.0000	
2	P2O5 0.9406	0.009	Ge	<<	
3	CaO 0.1437	0.006	Mg	<<	

3.5 ผลการวิเคราะห์ตัวอย่างด้วยเทคนิค X-Ray Diffraction (XRD)

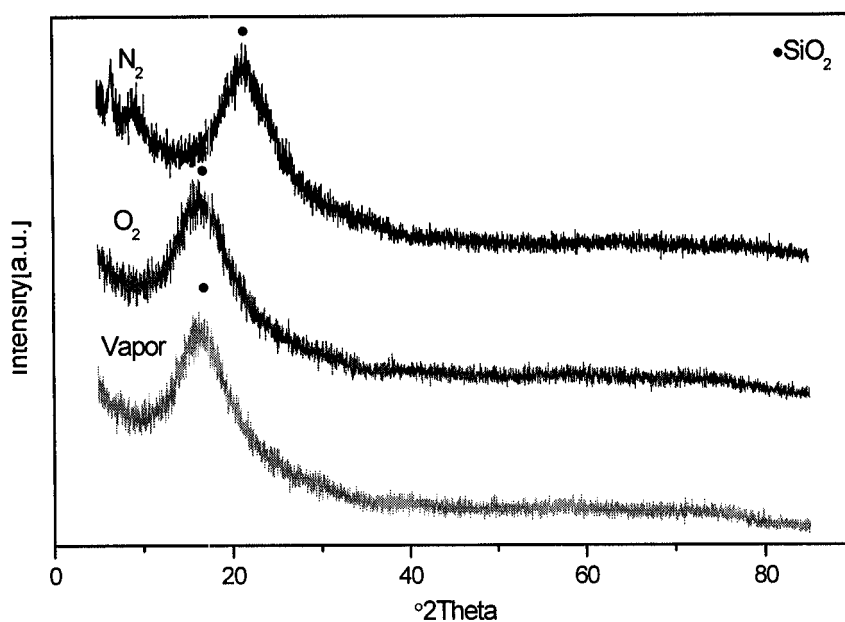
ในการวิเคราะห์ตัวอย่างที่เตรียมได้ด้วยเทคนิค XRD จะทำการวิเคราะห์เฉพาะบางตัวอย่างที่ต้องการศึกษาโครงสร้างขององค์ประกอบและตัวอย่างที่ผลการถ่ายภาพ SEM เกิดการสังเคราะห์วัสดุโครงสร้างนาโน ผลการวิเคราะห์มีดังนี้

เมื่อนำตัวอย่างที่เตรียมจาก เถ้าแกลบบริสุทธิ์ เเผาที่อุณหภูมิ 1,100 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง ในบรรยากาศของอากาศที่ไหลผ่านน้ำกลั่นเข้าสู่เตาท่อ ด้วยอัตราการไหลของอากาศ 5 L/min ไปวิเคราะห์ด้วย XRD แสดงผลการวิเคราะห์องค์ประกอบและโครงสร้างดังรูปที่ 3.103



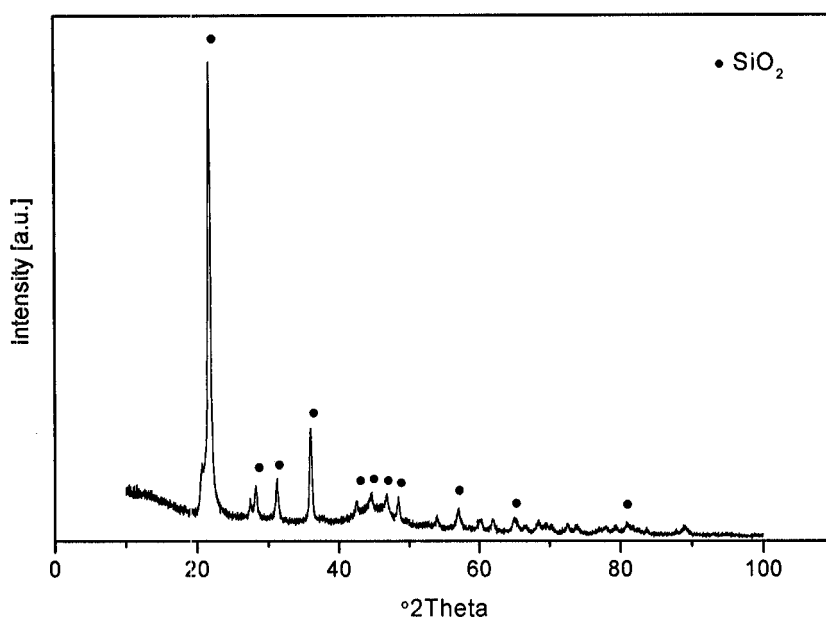
รูปที่ 3.103 แสดงกราฟ XRD ของเถ้าแกลบที่เผาในบรรยากาศของอากาศที่ไหลผ่านน้ำกลั่น

เมื่อนำตัวอย่างที่เตรียมจากเถ้าแกลบบริสุทธิ์ เเผาที่อุณหภูมิ 1,200 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 3 ชั่วโมง ในบรรยากาศของก๊าซไนโตรเจนด้วยอัตราการไหล 1 L/min ในบรรยากาศของก๊าซออกซิเจนด้วยอัตราการไหล 1 L/min และในบรรยากาศของอากาศที่ไหลผ่านน้ำ ด้วยอัตราการไหลของอากาศ 5 L/min ไปวิเคราะห์ XRD แสดงผลการวิเคราะห์องค์ประกอบและโครงสร้าง ของตัวอย่างทั้งสามได้ดังรูปที่ 3.104



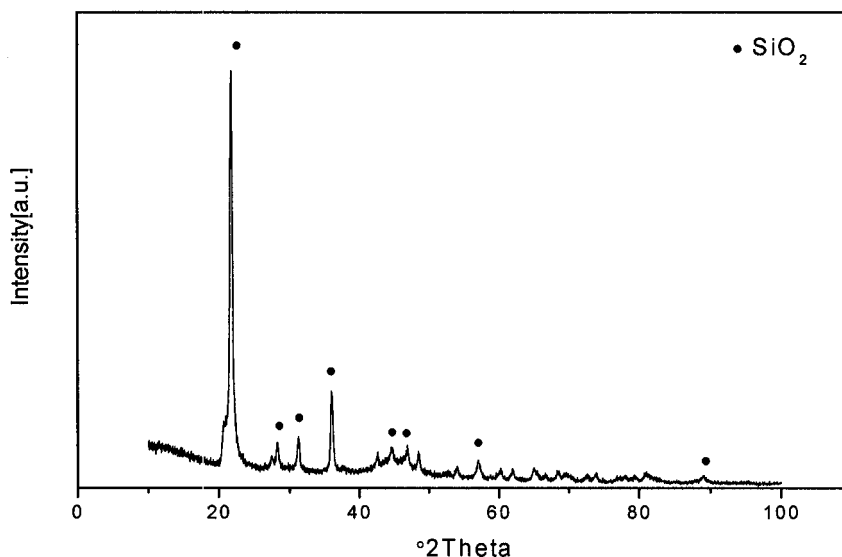
รูปที่ 3.104 แสดง กราฟ XRD ของเส้นใยที่เผาในบรรยากาศต่างๆกัน

เมื่อนำตัวอย่าง ที่เตรียมได้จาก เส้นใยเคลือบบริสุทธิ์ ผสมถ่านกะลาในอัตราส่วน 2:1 เผาที่อุณหภูมิ 1,100 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 ชั่วโมง ในบรรยากาศของอากาศที่ไหลผ่านน้ำกลั่นเข้าสู่เตาที่ด้วยอัตราการไหลของอากาศ 5 L/min แสดงผลการวิเคราะห์องค์ประกอบและโครงสร้าง XRD ของตัวอย่างได้ดังรูปที่ 3.105



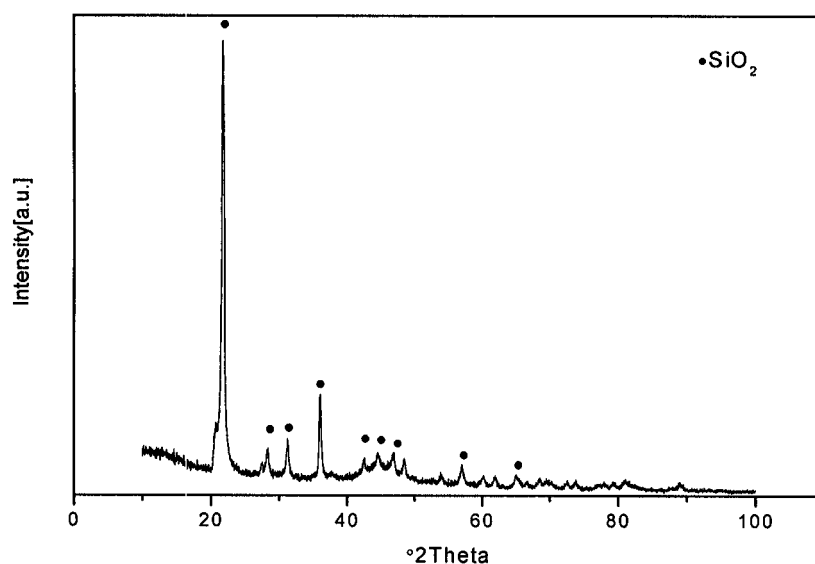
รูปที่ 3.105 แสดงกราฟ XRD ของเส้นใยเคลือบผสมถ่านกะลาอัตราส่วน 2:1 ที่เผาในบรรยากาศของอากาศที่ไหลผ่านน้ำกลั่น

เมื่อนำตัวอย่างที่เตรียมจากเถ้าแกลบผสมถ่านกะลา อัตราส่วน 3:1 เผาที่อุณหภูมิ 1100 องศาเซลเซียส แชนนาน 2 ชั่วโมงในบรรยากาศของอากาศที่ไหลผ่านน้ำกลั่น เข้าสู่เตาพ่นด้วยอัตราการไหล 5 L/min แสดงผลการวิเคราะห์องค์ประกอบและ โครงสร้าง XRD ของตัวอย่างได้ดังรูปที่ 3.106



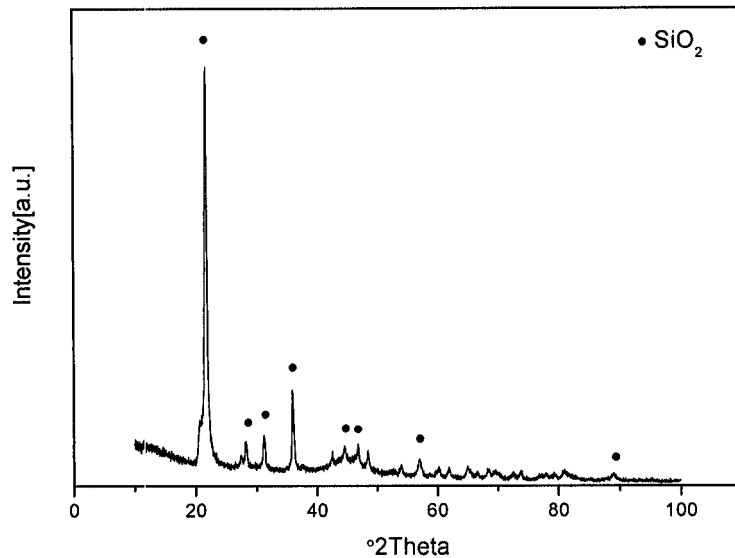
รูปที่ 3.106 แสดงกราฟ XRD ของเถ้าแกลบผสมถ่านกะลาอัตราส่วน 3:1 เผาในบรรยากาศของอากาศที่ไหลผ่านน้ำกลั่น

เมื่อนำตัวอย่างที่เตรียมได้จาก เถ้าแกลบบริสุทธิ์ ผสมถ่านกะลาในอัตราส่วน 4:1 เผาที่อุณหภูมิ 1,100 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 ชั่วโมง ในบรรยากาศของอากาศที่ไหลผ่านน้ำกลั่นเข้าสู่เตาพ่นด้วยอัตราการไหลของอากาศ 5 L/min แสดงผลการวิเคราะห์องค์ประกอบและ โครงสร้าง XRD ของตัวอย่างได้ดังรูปที่ 3.107



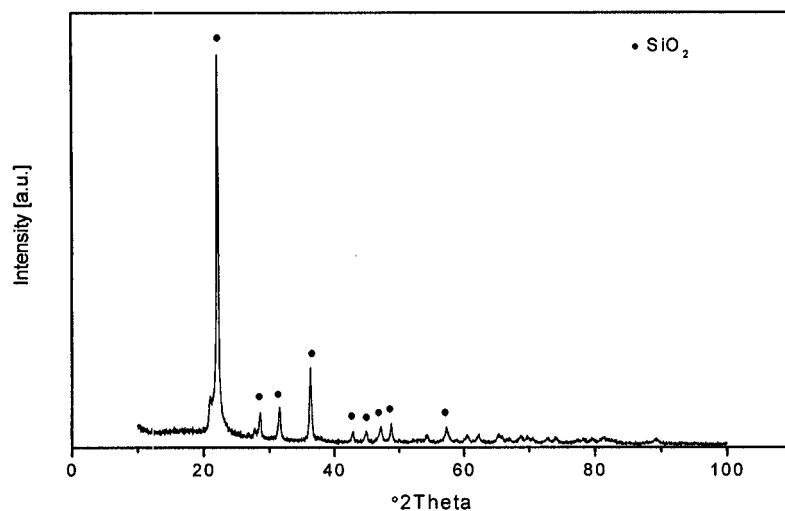
รูปที่ 3.107 แสดงกราฟ XRD ของเถ้าแกลบผสมถ่านกะลาอัตราส่วน 4:1 เผาในบรรยากาศของอากาศที่ไหลผ่านน้ำกลั่น

เมื่อนำตัวอย่างที่ได้จากเก้าเคลือบบริสุทธิ์ ผสมถ่านกะลาในอัตราส่วน 5:1 เเผที่อุณหภูมิ 1,100 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง ในบรรยากาศของอากาศที่ไหลผ่านน้ำกลั่นเข้าสู่เตาท่อ ด้วยอัตราการไหลของอากาศ 5 L/min แสดงผลการวิเคราะห์องค์ประกอบและโครงสร้าง XRD ของตัวอย่างได้ดังรูปที่ 3.108



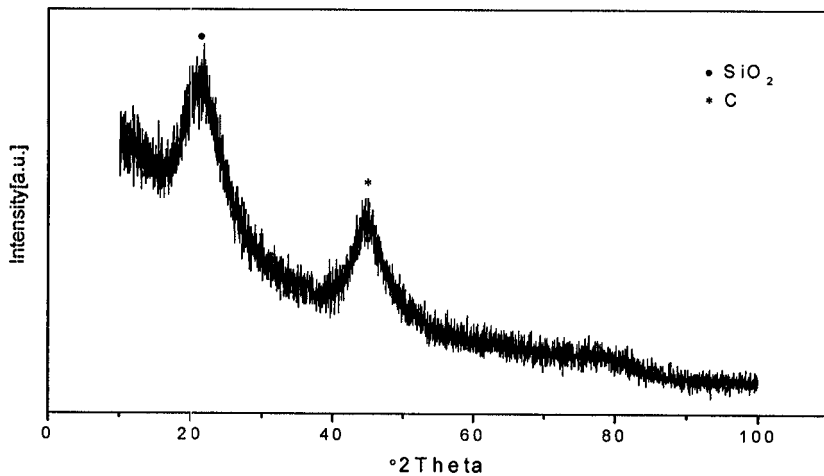
รูปที่ 3.108 แสดงกราฟ XRD ของเก้าเคลือบผสมถ่านกะลาอัตราส่วน 5:1 เเผในบรรยากาศของอากาศที่ไหลผ่านน้ำกลั่น

เมื่อนำตัวอย่างที่ได้จากเก้าเคลือบบริสุทธิ์ ผสมถ่านกะลาในอัตราส่วน 5:1 เเผที่อุณหภูมิ 1,100 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง ในบรรยากาศของก๊าซไนโตรเจนที่ไหลเข้าสู่เตาท่อ ด้วยอัตราการไหล 1 L/min แสดงผลการวิเคราะห์องค์ประกอบและ โครงสร้าง XRD ของตัวอย่างได้ดังรูปที่ 3.109



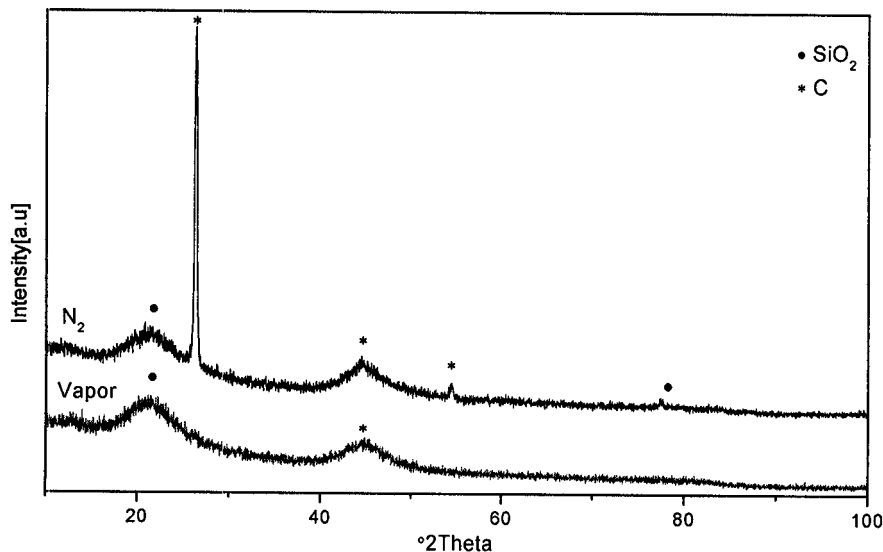
รูปที่ 3.109 แสดงกราฟ XRD ของเก้าเคลือบผสมถ่านกะลาอัตราส่วน 5:1 เเผในบรรยากาศของก๊าซไนโตรเจน

เมื่อนำตัวอย่างที่เตรียมได้จากเถ้าแกลบบริสุทธิ์ ผสม แกรไฟท์ ในอัตราส่วน 2:1 เผาที่อุณหภูมิ 1,100 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 ชั่วโมง ในบรรยากาศของอากาศที่ไหลผ่านน้ำกลั่นเข้าสู่เตาท่อ ด้วยอัตราการไหลของอากาศ 5 L/min แสดงผลการวิเคราะห์องค์ประกอบและโครงสร้าง XRD ของตัวอย่างได้ดังรูปที่ 3.110



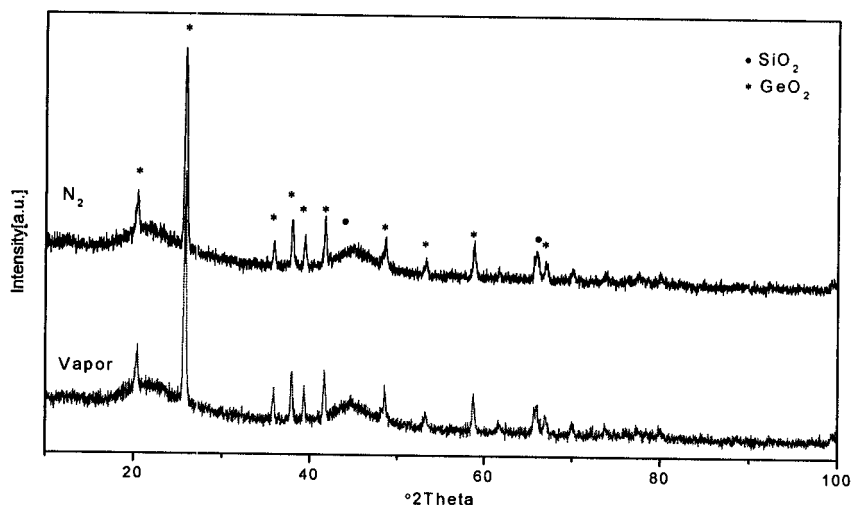
รูปที่ 3.110 แสดงกราฟ XRD ของเถ้าแกลบผสมแกรไฟท์ อัตราส่วน 2:1 เผาในบรรยากาศของอากาศที่ไหลผ่านน้ำกลั่น

เมื่อนำตัวอย่างที่เตรียมจาก เถ้าแกลบบริสุทธิ์ ผสมแกรไฟท์ ในอัตราส่วน 4:1 เผาที่อุณหภูมิ 1,100 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 ชั่วโมง ในบรรยากาศของก๊าซไนโตรเจน ด้วยอัตราการไหล 1 L/min ในบรรยากาศของอากาศที่ไหลผ่านน้ำกลั่นเข้าสู่เตาท่อ ด้วยอัตราการไหลของอากาศ 5 L/min แสดงผลการวิเคราะห์องค์ประกอบและโครงสร้าง XRD ของตัวอย่างได้ดังรูปที่ 3.111



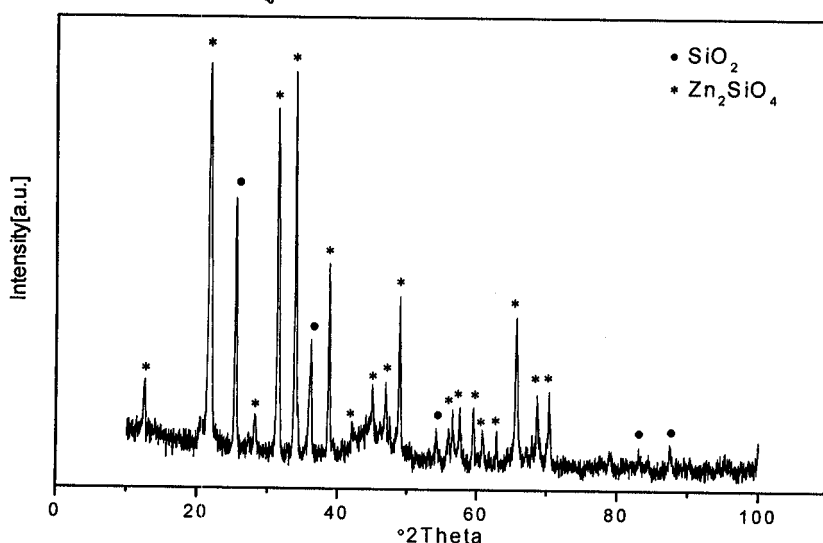
รูปที่ 3.111 แสดงกราฟ XRD ของเถ้าแกลบผสมแกรไฟท์ อัตราส่วน 4:1 เผาในบรรยากาศของไนโตรเจนและอากาศที่ไหลผ่านน้ำกลั่น

เมื่อนำตัวอย่างที่เตรียมจากเถ้าแกลบบริสุทธิ์ ผสม GeO_2 ในอัตราส่วน 5:1 เผาที่อุณหภูมิ 1,100 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 ชั่วโมง ในบรรยากาศของก๊าซไนโตรเจน ด้วยอัตราการไหลของอากาศ 1 L/min และในบรรยากาศของอากาศที่ไหลผ่านน้ำกลั่นเข้าสู่เตาห่อ ด้วยอัตราการไหลของอากาศ 5 L/min แสดงผลการวิเคราะห์องค์ประกอบและโครงสร้าง XRD ของตัวอย่างได้ดังรูปที่ 3.112



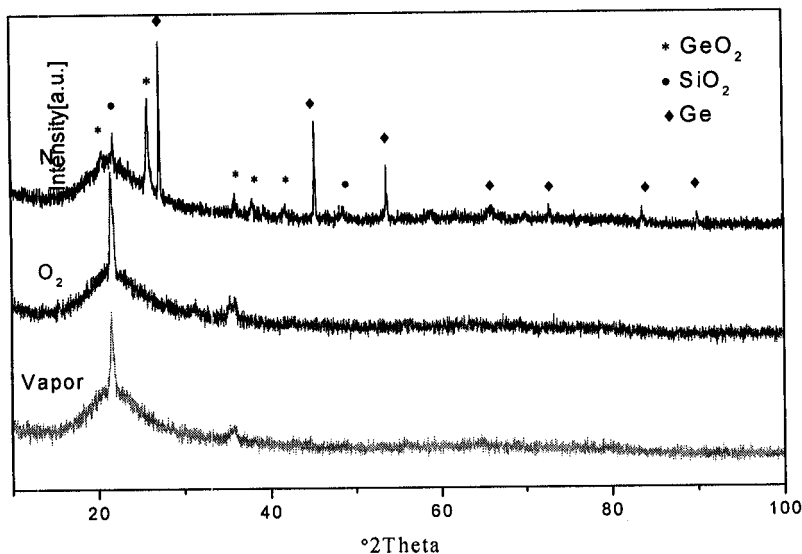
รูปที่ 3.112 แสดงกราฟ XRD ของเถ้าแกลบผสม GeO_2 อัตราส่วน 5:1 เผาในบรรยากาศของไนโตรเจนและอากาศที่ไหลผ่านน้ำกลั่น

เมื่อนำตัวอย่างที่เตรียมได้จากเถ้าแกลบบริสุทธิ์ ผสมถ่านกะลาและ ZnO ในอัตราส่วน 2:1:1 เผาที่อุณหภูมิ 1,100 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง ในบรรยากาศของอากาศที่ไหลผ่านน้ำกลั่นเข้าสู่เตาห่อ ด้วยอัตราการไหลของอากาศ 5 L/min แสดงผลการวิเคราะห์องค์ประกอบและโครงสร้าง XRD ของตัวอย่างได้ดังรูปที่ 3.113



รูปที่ 3.113 แสดงกราฟ XRD ของเถ้าแกลบผสมถ่านกะลาและ ZnO อัตราส่วน 2:1:1 เผาในบรรยากาศของอากาศที่ไหลผ่านน้ำกลั่น

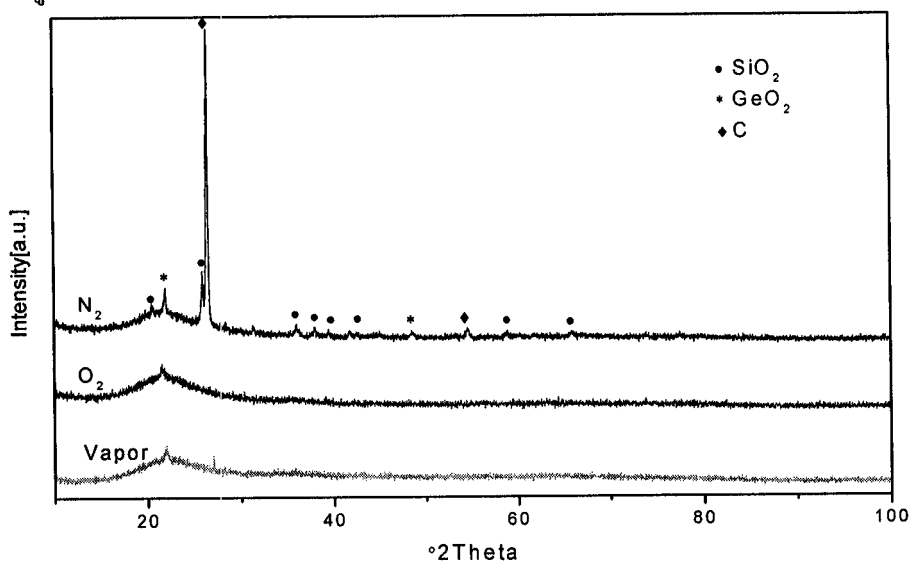
เมื่อนำวัสดุตัวอย่างที่เตรียมได้จากเก้าเกลบบริสุทธิ์ ผสมถ่านกะลา และ GeO_2 ในอัตราส่วน 5:1:1 เผาที่อุณหภูมิ 1200 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 ชั่วโมง ในบรรยากาศที่ต่าง ๆ กัน แสดงผลการวิเคราะห์องค์ประกอบและโครงสร้าง XRD ของตัวอย่างได้ดังรูปที่ 3.114



รูปที่ 3.114 แสดงกราฟ XRD ของเก้าเกลบผสมถ่านกะลาและ GeO_2 อัตราส่วน 5:1:1

เผา ในบรรยากาศต่าง ๆ

เมื่อนำตัวอย่างที่เตรียมได้จากเก้าเกลบบริสุทธิ์ ผสมแกรไฟต์ และ GeO_2 ในอัตราส่วน 5:1:1 เผาที่อุณหภูมิ 1200 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 ชั่วโมง ในบรรยากาศก๊าซไนโตรเจน อัตราการไหล 1L/min ก๊าซออกซิเจนอัตราการไหล 1L/min และอากาศที่ไหลผ่านน้ำกลั่น อัตราการไหล 5 L/min แสดงผลการวิเคราะห์องค์ประกอบและโครงสร้าง XRD ของตัวอย่างที่เผาในบรรยากาศต่าง ๆ ได้ดังรูปที่ 3.115



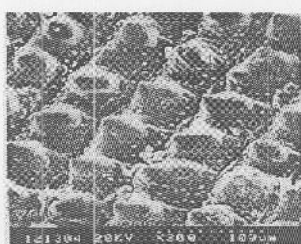
รูปที่ 3.115 แสดงกราฟ XRD ของเก้าเกลบผสมแกรไฟต์และ GeO_2 อัตราส่วน 5:1:1

เผา ในบรรยากาศของก๊าซไนโตรเจน ก๊าซออกซิเจน และอากาศที่ไหลผ่านน้ำ

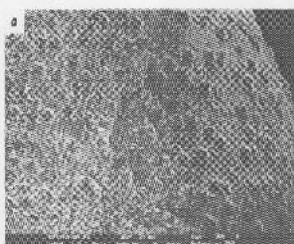
4. อภิปรายผลการวิจัย

จากผลการทดลองดังรูปที่ 3.1 เมื่อนำวัสดุที่เตรียมจากเส้นแกลบบริสุทธิ์เผาที่อุณหภูมิ 1,100 องศาเซลเซียส ในบรรยากาศของอากาศที่ไหลผ่านน้ำกลั่นเข้าสู่เตาท่อ ด้วยอัตราการไหลของอากาศ 5 L/min เป็นเวลา 2 ชั่วโมง ไปถ่ายภาพ SEM จะพบการก่อตัวของวัสดุที่มีลักษณะเป็นแท่งเกลียวยาวประมาณ 70 μm ปรากฏขึ้น แต่ละเกลียวมีขนาดประมาณ 1 μm จากลักษณะดังกล่าวอาจนำไปใช้ในการศึกษาทางด้าน micro-machining จากการวิเคราะห์ด้วยเทคนิค XRD พบว่าวัสดุตัวอย่างดังกล่าวเป็นผลึกของซิลิกอนไดออกไซด์(SiO_2) ดังรูปที่ 3.103 และเมื่อนำไปวิเคราะห์ด้วยเทคนิค XRF จะมีองค์ประกอบของ SiO_2 98.44%, P_2O_5 1.199%, และ CaO 0.361% ดังตารางที่ 3.1a และ 3.1b โดยมีเปอร์เซ็นต์อะตอมของธาตุที่เป็นองค์ประกอบเรียงจากมากไปน้อยดังนี้ O, Si, P, และ Ca เมื่อนำฐานรองแผ่นซิลิกอน(silicon-wafer substrate) ซึ่งวางถัดจากผงตัวอย่างไปถ่ายด้วยเครื่อง SEM พบว่ามีการก่อตัวของอนุภาคนาโน(nano-particle) ซึ่งมีขนาดของเส้นผ่านศูนย์กลางน้อยกว่า 1 μm แต่ความต่อเนื่องของอนุภาคนาโนยังมีน้อยแสดงดังรูปที่ 3.3

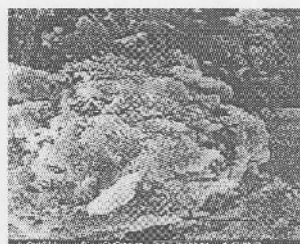
เมื่อนำวัสดุที่เตรียมจากเส้นแกลบบริสุทธิ์ ผสมกะลามะพร้าวในอัตราส่วน 2:1, 4:1 และ 5:1 เผาที่อุณหภูมิ 1,100 องศาเซลเซียส ในบรรยากาศของอากาศที่ไหลผ่านน้ำกลั่นเข้าสู่เตาท่อ เป็นเวลา 3 ชั่วโมง ด้วยอัตราการไหลของอากาศ 5 L/min ไปถ่ายด้วย SEM พบว่ามีการเกิดของปฏิกิริยา SiO_2 ดังรูปที่ 3.6 และ 3.8 ซึ่งมีลักษณะคล้ายคลึงกับรายงานการวิจัยของ Liou[Liou,2004] Bharadwaj และคณะ[Bharadwaj et al. 2004] โดยปฏิกิริยา SiO_2 เกิดขึ้นระหว่างเนื้อเยื่อและชั้นผิวหนัง(epidermis) เมื่อนำฐานรองแผ่นซิลิกอน ไปถ่าย SEM พบว่ามีการสังเคราะห์วัสดุรูปร่างใหม่เกิดขึ้นแต่การกระจายตัวไม่ต่อเนื่อง ดังรูปที่ 3.7 และ 3.9



[ที่มา Liou, 2004]



[ที่มา Bharadwaj et al, 2004]



[ที่มา Liou, 2004]

เมื่อนำวัสดุที่เตรียมจากเส้นแกลบบริสุทธิ์ ผสมกะลามะพร้าวที่ผ่านการล้างด้วยกรด HCl ในอัตราส่วน 1:1 เผาที่อุณหภูมิ 1,100 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 ชั่วโมง ในบรรยากาศของก๊าซไนโตรเจนที่ไหลเข้าสู่เตาท่อ ด้วยอัตรา 1 L/min ไปถ่ายด้วย SEM พบว่ามีการก่อตัวของอนุภาคนาโนเกิดขึ้นบนก้อนซิลิกอนไดออกไซด์ โดยมีเส้นผ่านศูนย์กลางน้อยกว่า 0.5 μm การกระจายตัวของอนุภาคนาโนค่อนข้างสม่ำเสมอแสดงดังรูปที่ 3.11 และเมื่อนำฐานรองแผ่นซิลิกอนซึ่งได้จากการเผาเส้นแกลบบริสุทธิ์ผสมกับถ่านกะลาในอัตราส่วน 5:1 เป็นเวลา 2 ชั่วโมง ที่เงื่อนไขเดียวกัน

ไปถ่าย SEM พบว่ามีการก่อตัวของอนุภาคนาโนรูปคล้ายกับก้อนหรือแท่งสี่เหลี่ยมขนาดความกว้างและความยาวน้อยกว่า $1\ \mu\text{m}$ มีการกระจายเรียงตัวเป็นแนวตั้งรูปที่ 3.13

เมื่อนำวัสดุที่เตรียมจากถ่านแกลบบริสุทธิ์ ผสมแกรไฟท์ในอัตราส่วน 2:1 เเผที่อุณหภูมิ 1,100 องศาเซลเซียส ในบรรยากาศของอากาศที่ไหลผ่านน้ำกลั่นเข้าสู่เตาท่อ เป็นเวลา 3 ชั่วโมง ด้วยอัตราการไหลของอากาศ $5\ \text{L/min}$ ไปถ่ายด้วย SEM พบว่ามีแผ่นของวัสดุจัดเรียงในลักษณะทับซ้อนกันเกิดขึ้นซึ่งแตกต่างไปจากลักษณะเดิมดังรูป 3.14 และเมื่อนำฐานรองแผ่นซิลิกอนไปถ่ายด้วย SEM พบว่ามีการก่อตัวของอนุภาคนาโนเกิดขึ้นตามแนวร่องของแผ่นซิลิกอน แต่การกระจายตัวไม่สม่ำเสมอดังรูป 3.15 และ 3.16

เมื่อนำวัสดุที่เตรียมจากถ่านแกลบบริสุทธิ์ ผสมแกรไฟท์ในอัตราส่วน 2:1 และ 4:1 เเผที่อุณหภูมิ 1,100 องศาเซลเซียส ในบรรยากาศของไนโตรเจนที่ไหลเข้าสู่เตาท่อ ด้วยอัตราการไหล $1\ \text{L/min}$ เป็นเวลา 3 ชั่วโมง ไปถ่ายด้วย SEM ดังรูป 3.17 และ 3.21 พบว่ามีวัสดุประกอบรูปแบบใหม่เกิดขึ้น แต่ไม่พบวัสดุโครงสร้างนาโน แต่เมื่อนำฐานรองแผ่นซิลิกอนไปถ่าย SEM พบอนุภาคนาโนเกิดขึ้นตามแนวร่องของแผ่นซิลิกอน บางอนุภาคมีลักษณะเป็นทรงกลม บางอนุภาคเป็นทรงกลมซ้อนอยู่บนก้อนสี่เหลี่ยมแสดงดังรูปที่ 3.18, 3.19, 3.20 และ 3.22 โดยอนุภาคนาโนมีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางน้อยกว่า หนึ่งไมโครเมตร

เมื่อนำวัสดุที่เตรียมจากถ่านแกลบบริสุทธิ์ ผสม GeO_2 ในอัตราส่วน 5:1 เเผที่อุณหภูมิ 1,100 องศาเซลเซียส ในบรรยากาศของอากาศที่ไหลผ่านน้ำกลั่นด้วยอัตราการไหล $5\ \text{L/min}$ เป็นเวลา 3 ชั่วโมง และวัสดุที่เผาในบรรยากาศของก๊าซไนโตรเจนที่ไหลเข้าสู่เตาท่อ ด้วยอัตราการไหล $1\ \text{L/min}$ เป็นเวลา 3 ชั่วโมง ไปถ่ายด้วย SEM ดังรูป 3.30 และ 3.31 พบว่ามีวัสดุประกอบรูปแบบใหม่เกิดขึ้น แต่ไม่พบวัสดุโครงสร้างนาโน แต่จะพบอนุภาคเกิดที่บริเวณแผ่นซิลิกอนดังรูป 3.32

เมื่อนำวัสดุที่เตรียมจากถ่านแกลบบริสุทธิ์ ผสมถ่านกะลาและ ZnO ในอัตราส่วน 2:1:1 เเผที่อุณหภูมิ 1,100 องศาเซลเซียส ในบรรยากาศของอากาศที่ไหลผ่านน้ำกลั่นด้วยอัตราการไหล $5\ \text{L/min}$ เป็นเวลา 3 ชั่วโมง และวัสดุที่เผาในบรรยากาศของก๊าซไนโตรเจนที่ไหลเข้าสู่เตาท่อ ด้วยอัตราการไหล $1\ \text{L/min}$ เป็นเวลา 3 ชั่วโมง ไปถ่ายด้วย SEM พบว่ามีวัสดุประกอบรูปแบบใหม่เกิดขึ้น ดังรูป 3.33 และ 3.34 วัสดุดังกล่าวมีลักษณะคล้ายกับจะมีการหลอมรวมตัวกัน หากใช้เวลามากกว่านี้อาจจะมีการก่อเกิดวัสดุโครงสร้างนาโน และเมื่อนำฐานรองแผ่นซิลิกอนจากการเผาในบรรยากาศของอากาศที่ไหลผ่านน้ำจะพบอนุภาคโครงสร้างนาโนเกิดที่บริเวณแผ่นซิลิกอนดังรูปที่ 3.35 มีการกระจายตัวของอนุภาคนาโนอย่างสม่ำเสมอจำนวนมาก โดยที่ขนาดของอนุภาคน้อยกว่า $0.5\ \mu\text{m}$

เมื่อนำวัสดุที่เตรียมจากถ่านแกลบบริสุทธิ์ เเผที่อุณหภูมิ 1,200 องศาเซลเซียส ในบรรยากาศของก๊าซออกซิเจนด้วยอัตราการไหล $1\ \text{L/min}$ เป็นเวลา 3 ชั่วโมง ไปถ่ายด้วย SEM พบว่ามีวัสดุโครงสร้างนาโนก่อเกิดขึ้นเป็นลักษณะของ nanowire 1 เส้น มีความยาวหลายร้อยไมโครเมตร ใน

บางบริเวณพบว่ามีอนุภาคเกิดขึ้นบนวัสดุก้อนใหญ่ดังรูปที่ 3.4(a-b) และเมื่อนำฐานรองแผ่นซิลิกอนไปถ่าย SEM ดังรูป 3.5(a-b) จะพบอนุภาคนาโนซึ่งมีขนาดประมาณน้อยกว่า $1\ \mu\text{m}$ เกิดบนฐานรองแผ่นซิลิกอนดังกล่าว

เมื่อนำวัสดุที่เตรียมจากเก้าเกลบบริสุทธิ์ผสม GeO_2 อัตราส่วน 10:1 เเผที่อุณหภูมิ 1,200 องศาเซลเซียส ในบรรยากาศของก๊าซออกซิเจนที่ไหลเข้าสู่เตาที่ด้วยอัตราการไหล $1\ \text{L/min}$ เป็นเวลา 3 ชั่วโมง ไปถ่ายด้วย SEM พบว่ามีวัสดุรูปแบบใหม่เกิดขึ้นแตกต่างไปจากลักษณะเดิมดังรูปที่ 3.25(a-b) และเมื่อนำฐานรองแผ่นซิลิกอนที่วางถัดจากตัวอย่างที่เตรียมจากการเผาเก้าเกลบและ GeO_2 อัตราส่วน 10:1 ในบรรยากาศและอุณหภูมิเดิมไปถ่าย SEM จะพบอนุภาคนาโนกระจายอย่างสม่ำเสมอ มีขนาดประมาณน้อยกว่า $1\ \mu\text{m}$ เกิดบนแผ่นซิลิกอนดังรูปที่ 3.26

เมื่อนำวัสดุที่เตรียมจากเก้าเกลบบริสุทธิ์ผสม GeO_2 อัตราส่วน 10:1 เเผที่อุณหภูมิ 1,200 องศาเซลเซียส ในบรรยากาศของก๊าซออกซิเจนด้วยอัตราการไหล $1\ \text{L/min}$ เป็นเวลา 3 ชั่วโมง ไปถ่ายด้วย SEM พบว่ามีการก่อเกิดวัสดุโครงสร้างนาโนขึ้น ซึ่งมีลักษณะคล้าย nanowires ยาวหลายร้อยไมโครเมตรเกิดขึ้นหลายเส้นดังรูป 3.27 และเมื่อนำฐานรองแผ่นซิลิกอนไปถ่ายภาพ SEM ดังรูป 3.28 และ 3.29 จะพบอนุภาคนาโนเกิดขึ้นเป็นกระจุกมีลักษณะเป็นเม็ดเล็ก ๆ กระจายตัวไม่ต่อเนื่องกัน

เมื่อนำวัสดุที่เตรียมจากเก้าเกลบบริสุทธิ์ผสม GeO_2 และ แกรไฟท์ อัตราส่วน 5:1:1 เเผที่อุณหภูมิ 1,200 องศาเซลเซียส ในบรรยากาศของอากาศที่ไหลผ่านน้ำกลั่นด้วยอัตราการไหล $5\ \text{L/min}$ เป็นเวลา 3 ชั่วโมง ไปถ่ายด้วย SEM พบว่ามีวัสดุรูปแบบใหม่เกิดขึ้นแตกต่างไปจากลักษณะเดิมไม่พบโครงสร้างนาโนดังรูป 3.40 และเมื่อนำฐานรองแผ่นซิลิกอนที่วางด้านบนตัวอย่างไปถ่าย SEM จะพบวัสดุรูปแบบใหม่เกิดขึ้นบนฐานรองดังรูป 3.41

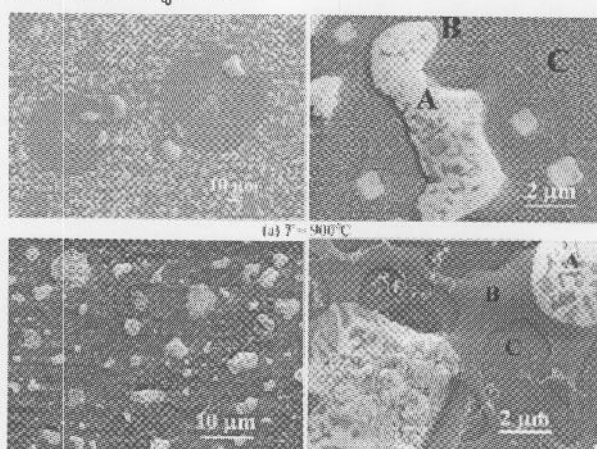
เมื่อนำวัสดุที่เตรียมจากเก้าเกลบบริสุทธิ์ ผสม GeO_2 และแกรไฟท์ ในอัตราส่วน 5:1:1 เเผในบรรยากาศของก๊าซไนโตรเจนที่ไหลเข้าสู่เตาที่ ด้วยอัตราการไหล $1\ \text{L/min}$ ที่อุณหภูมิ 1,200 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 3 ชั่วโมง ไปถ่าย SEM จะพบโครงสร้างนาโนมีลักษณะเป็นอนุภาคทรงกลมเรียงต่อกันคล้ายโซ่กระจายอย่างสม่ำเสมอ มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของทรงกลมประมาณน้อยกว่า $1\ \mu\text{m}$ โครงสร้างนาโนดังกล่าวอาจเรียกว่า nanochains ดังรูป 3.42b และเมื่อนำฐานรองแผ่นซิลิกอนที่วางด้านบนตัวอย่างไปถ่าย SEM จะพบโครงสร้างนาโนของวัสดุเกิดขึ้นหลายรูปแบบ บางลักษณะคล้ายกับกิ่งก้านของต้นไม้ บางลักษณะมีโครงสร้างคล้ายคลึงกับรายงานการวิจัยของ Li และคณะ [Li et al. 2004] และพบอนุภาคนาโนเป็นกลุ่มกระจุกล้อมเป็นวงกลมบนฐานรองที่วางถัดจากตัวอย่าง



[ที่มา Li et al, 2004]

บางลักษณะคล้ายกิ่งก้านของปะการังมีความกว้างน้อยกว่า $1\ \mu\text{m}$ ความยาวมากกว่า $50\ \mu\text{m}$ โครงสร้างนาโนปะการังดังกล่าวอาจเรียกว่า nanocorals นอกจากนี้ยังพบ โครงสร้าง nanochains กระจายอยู่เป็นกลุ่มใหญ่บนแผ่นซิลิกอนดังกล่าวด้วย แสดงภาพ SEM ดังรูปที่ 3.43(a-e)

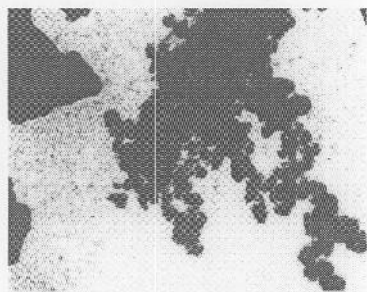
และเมื่อนำฐานรองแผ่นซิลิกอนที่วางด้านล่างตัวอย่างที่เตรียมจากเล้าเกลอบบริสุทธิ์ ผสมแกรไฟท์ ในอัตราส่วน 5:1:1 เผาในบรรยากาศของก๊าซไนโตรเจนที่ไหลเข้าสู่เตาที่ด้วยอัตราการไหล $1\ \text{L/min}$ ที่อุณหภูมิ $1,200$ องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 ชั่วโมง ไปถ่าย SEM จะพบโครงสร้างนาโนของอนุภาคกระจายอย่างสม่ำเสมอล้อมรอบเป็นวงกลมหลายวงซึ่งมีลักษณะคล้ายคลึงกับรายงานวิจัยของ Li และคณะ [Li et al. 2004] เช่นกัน นอกจากนี้ยังพบโครงสร้างนาโนของวัสดุคล้ายรูปแท่งซึ่งอาจเรียกว่า nanorods มีความกว้างน้อยกว่า $0.2\ \mu\text{m}$ ยาวมากกว่า $1\ \mu\text{m}$ อยู่ภายในบางบริเวณของแผ่นซิลิกอน ดังรูป 3.44b



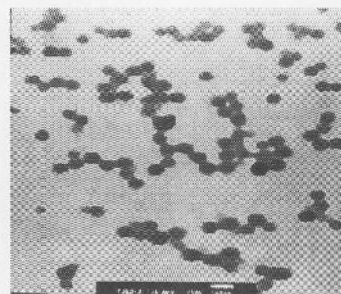
[ที่มา Li et al, 2004]

จากผลการวิเคราะห์วัสดุตัวอย่างดังกล่าวด้วย TEM ดังภาพในรูปที่ 3.64(a-b) เราพบว่าผงตัวอย่างมีการจัดเรียงตัวของอนุภาคนาโนลักษณะคล้ายก้อนทรงกลมมีความต่อเนื่องกันโดยทรงกลมดังกล่าวมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางน้อยกว่าหนึ่งไมโครเมตร โดยในรูปที่ 3.65c และ 3.66a-b จะเห็นการเกาะตัวของก้อนทรงกลมดังกล่าวอย่างชัดเจนโดยบางก้อนทรงกลมมีขนาดน้อยกว่า $0.15\ \mu\text{m}$ จากภาพในรูปที่ 3.64(a-b) และ 3.65(a-c) จะมีลักษณะคล้ายคลึงกับรายงานการวิจัยของ Tepper และ Berger [Tepper and Berger. 1999] ซึ่งเป็นภาพถ่าย TEM ที่ได้จากตัวอย่างผงซิลิกอนไดออกไซด์อัดแน่น นอกจากนี้ยังมีลักษณะคล้ายคลึงกับรายงานการวิจัยของ

Liou[Liou,2004] กับ Conradtและคณะ[Conradt et al.1992] ที่ได้จากการสังเคราะห์ผงนาโนซิลิกอนไดออกไซด์จากเกลบข้าว ดังภาพ TEM ด้านล่าง



[ที่มา Conradt et al,1992]



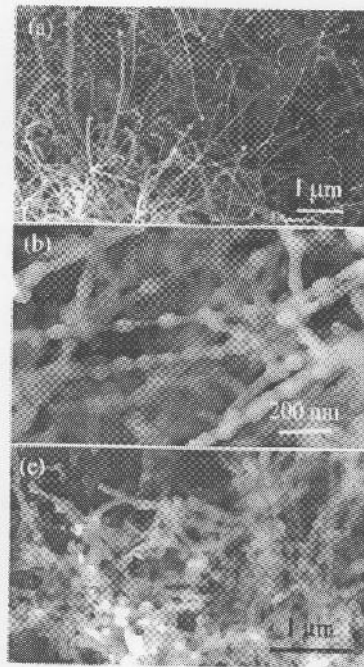
[ที่มาLiou, 2004]

และเมื่อนำผงวัสดุตัวอย่างดังกล่าวไปวิเคราะห์ด้วย XRF จากกราฟแสดงดังรูปที่ 3.99(a-f) และตารางที่ 3.20(a-b) พบว่าองค์ประกอบของวัสดุประกอบด้วยธาตุ O 52.98%, Si 45.57%, Ge 0.8355%, P 0.5008% และCa 0.1094% และวัสดุดังกล่าวประกอบด้วยสารประกอบ SiO_2 97.50%, GeO_2 1.204%, P_2O_5 1.147%, และCaO 0.1531% จากผลการวิเคราะห์องค์ประกอบของวัสดุ เราไม่พบองค์ประกอบของธาตุคาร์บอนในวัสดุตัวอย่างดังกล่าวซึ่งอาจเป็นข้อจำกัดของเครื่องมือแต่เมื่อเรานำวัสดุตัวอย่างนี้ไปวิเคราะห์โครงสร้างด้วยเครื่อง XRD ซึ่งแสดงดังรูปที่ 3.115 เราพบว่าวัสดุตัวอย่างที่เตรียมโดยกระบวนการและอัตราส่วนซึ่งได้กล่าวไว้ในเบื้องต้นนำไปเผาในบรรยากาศของก๊าซไนโตรเจนจะปรากฏพีคของผลึก SiO_2 , GeO_2 , และ C พีคของคาร์บอนดังกล่าวน่าจะเกิดจากแกรไฟท์ที่ใช้เป็นส่วนผสมหนึ่งของวัสดุตัวอย่าง สำหรับตัวอย่างที่เผาในบรรยากาศของก๊าซออกซิเจน และในบรรยากาศของอากาศที่ไหลผ่านน้ำไม่พบพีคของผลึกอื่นนอกจากพีคของซิลิกอนไดออกไซด์เท่านั้น เราไม่พบพีคผลึกคาร์บอนของแกรไฟท์ อาจจะเป็นเพราะเกิดกระบวนการทางเคมีของคาร์บอนและออกซิเจนในบรรยากาศดังกล่าว จากรายงานการวิจัยของ Lao และคณะ[<http://www.physics.bc.edu>]ในการสังเคราะห์โครงสร้างนาโนของ SiO_x โดยการใช้ผง GeO_2 เป็นตัวกระตุ้นปฏิกิริยา โครงสร้างนาโนของ SiO_x ที่เตรียมด้วยวิธีนี้มีคล้ายคลึงกับผลที่เตรียมได้โดยกระบวนการของเรา แสดงผลการสังเคราะห์ของ Laoและคณะดังรูปข้างล่าง



[ที่มา [http:// www.physics.bc.edu](http://www.physics.bc.edu)]

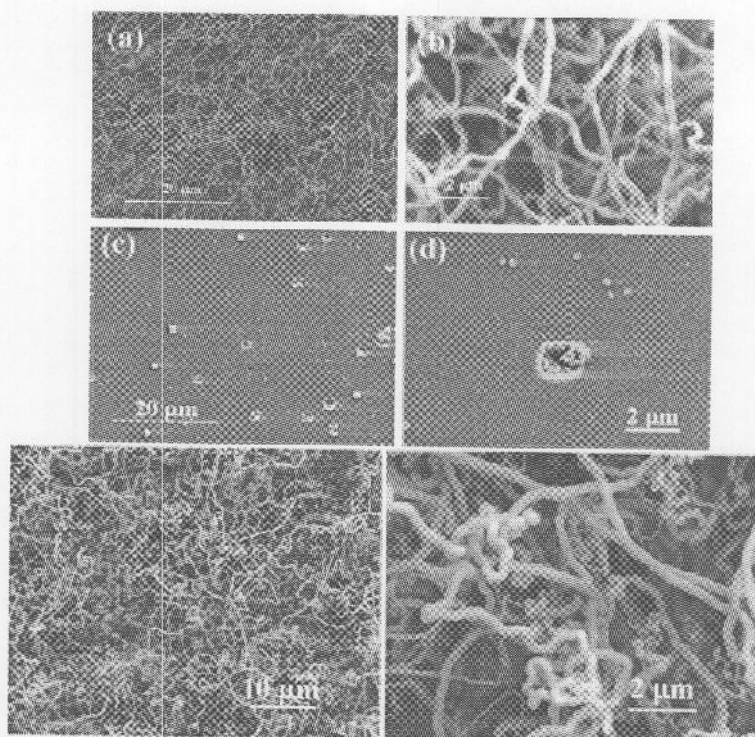
เมื่อนำวัสดุที่เตรียมจากเส้นใยแก้วบริสุทธิ์ ผสม GeO_2 และผ่านกระบวนการล้างด้วยสารละลายกรด HCl ความเข้มข้น 1 N ในอัตราส่วน 5:1:1 เฝานในบรรยากาศของก๊าซไนโตรเจนที่ไหลเข้าสู่เตาที่อุณหภูมิ 1,200 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 3 ชั่วโมง ไปถ่าย SEM จะพบโครงสร้างนาโนที่เกิดขึ้นในหลายรูปแบบ มีทั้งรูปร่างคล้ายอนุภาคนาโน รูปร่างคล้าย nanoballs รูปร่างคล้าย nanofibers รูปร่างคล้าย nanorods มีขนาดความกว้างของแท่งนาโนน้อยกว่า $0.5 \mu\text{m}$ และบางแท่งยาวมากกว่า $10 \mu\text{m}$ นอกจากนี้ยังพบโครงสร้างนาโนที่มีลักษณะคล้ายสร้อยคอลูกปัด ซึ่งอาจเรียกว่า nano necklaces หรือ nano-particle chains โดยรูปร่างดังกล่าวมีความคล้ายคลึงกันกับรายงานการวิจัยของ Pan และคณะ [17] บางโครงสร้างมีความกว้างของขนาดอนุภาคน้อยกว่า $0.5 \mu\text{m}$ และบางเส้นยาวมากกว่า $300 \mu\text{m}$ บางตำแหน่งยังสามารถพบโครงสร้าง nanofibers อีกด้วย



[ที่มา Pan et al, 2001]

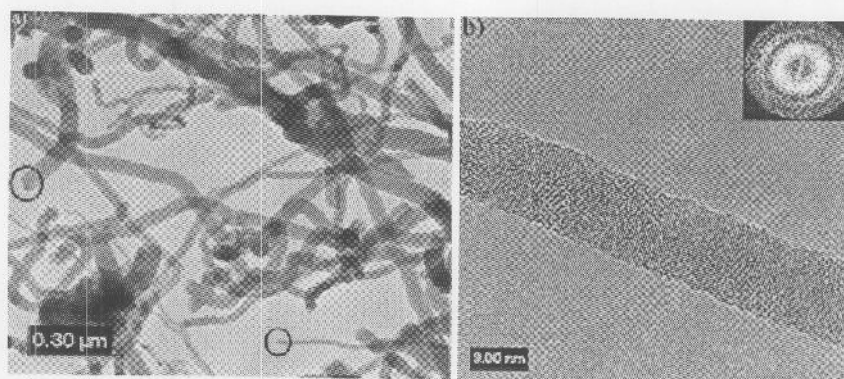
เมื่อนำฐานรองแผ่นซิลิกอนที่วางถัดจากตัวอย่างไปถ่าย SEM จะพบโครงสร้างนาโนที่เกิดขึ้นอย่างหลากหลาย บางโครงสร้างคล้ายคลึงกับกิ่งก้านไม้ บางโครงสร้างคล้ายกับ nanofibers และ nanowires ประสานซับซ้อนกันอย่างมากมายสม่ำเสมอ เมื่อเพิ่มกำลังขยายของ SEM ให้มากขึ้นจะเห็นว่า nanofibers และ nanowires ดังกล่าวเกิดมาจากการก่อตัวของอนุภาคที่มีขนาดเล็กมากโดยมีขนาดน้อยกว่า $0.1 \mu\text{m}$ สำหรับโครงสร้างของ nanofibers และ nanowires ที่ได้จากการสังเคราะห์มีความคล้ายคลึงกันกับรายงานการวิจัยของ Li และคณะ [Li et al. 2004] ซึ่งดำเนินการสังเคราะห์ SiO_x nanowires โดยการเผาส่วนผสมระหว่างผงซิลิคอนไฮไดรไรด์และแกรไฟท์ ให้เกิดไอระเหยไปเร่งปฏิกิริยาบนฐานรองแผ่นซิลิกอนทำให้เกิดโครงสร้างเส้นใยนาโนขึ้น ดังภาพด้านล่าง และ

นอกจากนี้เมื่อนำฐานรองแผ่นซิลิกอน ที่วางถัดตัวอย่างท้ายสุด ไปถ่าย SEM จะพบว่าการกระจายตัวของอนุภาคเกิดขึ้นอย่างสม่ำเสมอ โดยมีขนาดของอนุภาคน้อยกว่า $0.5 \mu\text{m}$

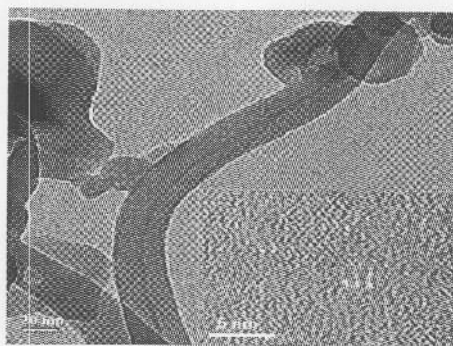


[ที่มา Li et al, 2004]

จากการวิเคราะห์วัสดุตัวอย่างที่เตรียมโดยวิธีดังกล่าวด้วยเครื่อง TEM เราพบว่า SiO_x nanowires ที่เตรียมจากรายงานการวิจัยของ Wenger และคณะ [Wenger et al. 2003] กับ Teo และคณะ [Teo et al. 2003] มีลักษณะคล้ายคลึงกับ nanowires ที่เราเตรียมได้ รายงานการวิจัยทั้งสองคณะที่กล่าวถึงแสดงภาพ TEM ดังรูปด้านล่าง

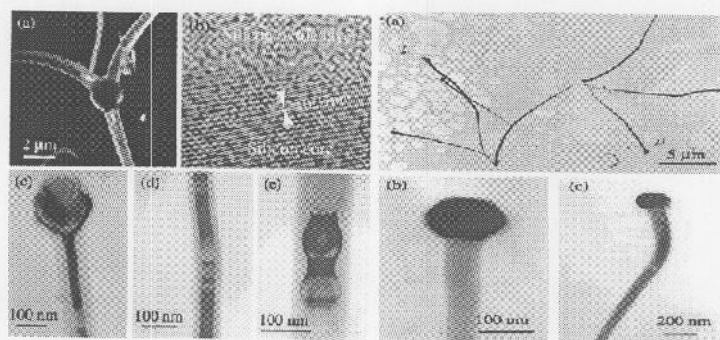


[ที่มา Wenger et al, 2003]

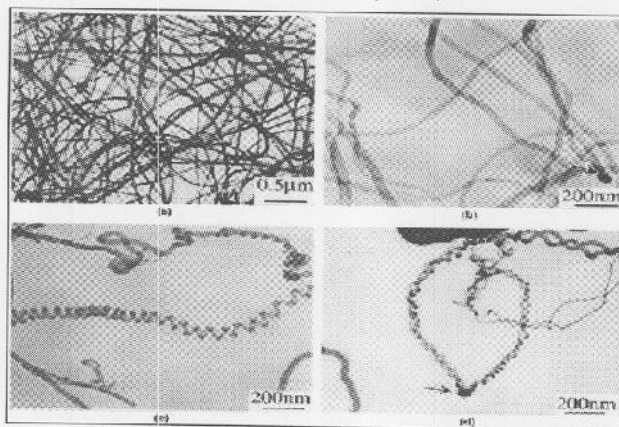


[ที่มา Tco et al, 2003]

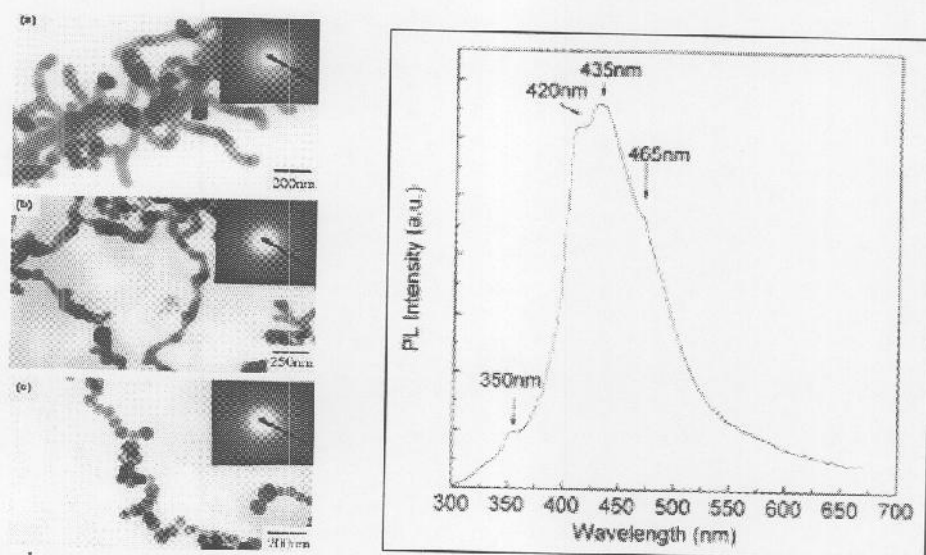
นอกจากนี้ยังมีความคล้ายคลึงกันกับการเตรียมโครงสร้างนาโน SiO ของ Pan และคณะ [Pan et al. 2001] กับ Liang และคณะ [Liang et al. 2007] รวมทั้ง Wu และคณะ [Wu et al. 2000] อีกด้วย จากรายงานการวิจัยของ Wu และคณะยังแสดงแถบสเปกตรัม photoluminescence ของ silica nanowires ซึ่งปลดปล่อยแสงสีฟ้าความยาวคลื่น 435 nm แสดงดังภาพถ่าย TEM ด้านล่าง



(Pan et al, 2001)



[ที่มา Liang et al, 2000]



[ที่มา Wu et al, 2000]

จากการวิเคราะห์องค์ประกอบของวัสดุที่เตรียมได้โดยเครื่อง XRF แสดงผลการวิเคราะห์ดังกราฟในรูปที่ 3.99(a-f) และข้อมูลในตารางที่ 3.20(a-b) เราพบว่าวัสดุตัวอย่างมีองค์ประกอบของธาตุ O 52.98%, Si 45.57%, Ge 0.8355%, P 0.5008% และ Ca 0.1094% ในรูปของสารประกอบจะประกอบด้วย SiO₂ 97.50%, GeO₂ 1.204%, P₂O₅ 1.147% และ CaO 0.1531% จากข้อมูลดังกล่าวไม่พบองค์ประกอบของคาร์บอนในวัสดุดังกล่าว อาจเนื่องมาจากข้อจำกัดของเครื่องมือ หรือกระบวนการทางเคมีที่อาจกำจัดคาร์บอนหมดไป เราได้นำวัสดุตัวอย่างดังกล่าวไปตรวจสอบด้วยเครื่อง XRD จะพบฟลักของผลึก SiO₂, GeO₂, และ Ge ในวัสดุตัวอย่างที่ได้จากการเผาในบรรยากาศของก๊าซไนโตรเจน แต่จะพบเฉพาะฟลักของ SiO₂ เท่านั้นจากวัสดุตัวอย่างที่เผาในบรรยากาศของก๊าซออกซิเจน และการเผาในบรรยากาศของอากาศที่ไหลผ่านน้ำกลั่น ข้อมูลจาก XRD เราจะไม่พบว่ามีฟลักของคาร์บอน อาจเนื่องมาจากว่าวัสดุดังกล่าวไม่มีคาร์บอนเป็นองค์ประกอบ หรือคาร์บอนมีโครงสร้างรูปอสัณฐานอยู่ในองค์ประกอบดังกล่าว

จากผลการถ่ายภาพพื้นผิวของวัสดุตัวอย่างด้วยกล้อง stereo microscope ซึ่งมีกำลังขยายประมาณ 2,000 เท่าจะเป็นการศึกษาเบื้องต้นเพื่อดูพื้นผิวของวัสดุตัวอย่างที่เตรียมได้ว่ามีแนวโน้มโครงสร้างทาง microstructure เป็นอย่างไรเพื่อจะได้นำไปสู่การศึกษาโครงสร้างทาง nanostructure ต่อไป ผลการศึกษาด้วยกล้อง stereo microscope แสดงภาพได้ดังรูปที่ 3.76(a-b), 3.77(a-e), 3.78(a-b), และ 3.79(a-e) จากภาพเราจะสังเกตเห็น โครงสร้างลักษณะของเส้น fibers, wires, อนุภาค, ทรงกลม และ รูปแท่ง (particles, spheres, rods) ปรากฏให้เห็นในภาพดังกล่าว

จากผลการทดลอง เราได้ทำการทดลองตรวจสอบยืนยันการเตรียมวัสดุโครงสร้างนาโนจากถ้ำเกลือ พบว่าการสังเคราะห์วัสดุโครงสร้างนาโนหลายรูปแบบยังสามารถเตรียมได้จากกระบวนการและวิธีการเดิม

โครงสร้างนาโน หลายๆรูปแบบสามารถนำมาประยุกต์ใช้ประโยชน์ในงานต่างๆหลายๆด้าน[Liang et al, 2000] เช่น nanowires ถูกนำมาใช้ประโยชน์ในงานอุปกรณ์นาโนอิเล็กทรอนิกส์ทาง mesoscopic physics บางอย่างใช้เป็นหัววัด(probe) สำหรับเครื่อง field scanning optical microscopy, light emitting diode(LEDs), ไดโอดชนิดอื่นๆ และ field effect transistors(FETs)

5. สรุปผลการวิจัย

จากผลการทดลองและการอภิปรายผล เราสามารถสรุปผลการดำเนินการวิจัยได้ดังต่อไปนี้

1. การสังเคราะห์อนุภาคนาโนจากเถ้าแกลบ เช่น รูปทรงกลม สี่เหลี่ยม สามารถเตรียมได้จากการเผาเถ้าแกลบในบรรยากาศของก๊าซออกซิเจนดังรูปที่ 3.3 และ 3.5(a-b) สามารถเตรียมได้จากการเผาเถ้าแกลบผสมถ่านกะลาสัดส่วนต่างๆ เเผาในบรรยากาศของก๊าซไนโตรเจนดังรูปที่ 3.11-3.15 และสามารถเตรียมโครงสร้างนาโนรูปทรงกลมซ้อนทับบนสี่เหลี่ยมได้จากการเผาเถ้าแกลบผสมแกรไฟท์สัดส่วนต่างๆ ในบรรยากาศของก๊าซไนโตรเจนดังรูปที่ 3.18, 3.20, และ 3.22

2. การสังเคราะห์วัสดุที่มีลักษณะคล้ายก้อน nano-porous และมีการกระจายตัวของอนุภาคนาโนอย่างสม่ำเสมอบนฐานรองรับแผ่นซิลิกอนดังรูปที่ 3.33-3.35 สามารถเตรียมได้จากการเผาเถ้าแกลบผสมถ่านกะลา และ ZnO ในบรรยากาศของก๊าซไนโตรเจน และบรรยากาศของอากาศที่ไหลผ่านน้ำกลั่น

3. การสังเคราะห์วัสดุโครงสร้างนาโน เช่น nanofiber, nanowires, nanoballs, nanonecklaces, และ nanorods สามารถเตรียมได้จากการเผาเถ้าแกลบ ผสมถ่านกะลา และ GeO_2 ในบรรยากาศของก๊าซไนโตรเจน ดังรูปที่ 3.37(a-k), รูปที่ 3.38(a-e) และการกระจายตัวของอนุภาคอย่างต่อเนื่องดังรูปที่ 3.39(a-b) โครงสร้างนาโน เช่น nanosphere-chain, nanocoral และ nanotrees สามารถเตรียมได้จากการเผาเถ้าแกลบผสมกับแกรไฟท์และ GeO_2 ในบรรยากาศของก๊าซไนโตรเจนแสดงดังภาพในรูปที่ 3.42-3.46

จากผลการทดลองดังกล่าวสรุปได้ว่าเราสามารถเตรียมวัสดุโครงสร้างนาโนได้จากการเผาเถ้าแกลบตามกระบวนการและเงื่อนไขที่กล่าวไว้ในข้างต้น โดยบรรลุวัตถุประสงค์ตามที่วางไว้

ข้อเสนอแนะเกี่ยวกับการวิจัย

เนื่องจากการดำเนินการวิจัยทางด้าน nanoscience nanomaterials หรือ nanotechnology ค่อนข้างใหม่สำหรับประเทศไทย การดำเนินการวิจัยดังกล่าวจึงถือเป็นพื้นฐานในการสร้างองค์ความรู้ใหม่ให้กับวงการวิชาการ ทฤษฎีที่จะนำมาใช้อธิบายปรากฏต่างๆ ค่อนข้างใหม่ มีความยุ่งยากและลึกซึ้ง ต้องอาศัยความอดทน และประสบการณ์ในการดำเนินงานวิจัย และเนื่องจากเวลาอันจำกัด ตลอดจนระดับความรู้ของผู้ดำเนินการวิจัย และข้อจำกัดของเครื่องมือ ดังนั้นในส่วนของการอภิปรายผลจึงยังคงอภิปรายและสรุปผลได้เฉพาะในส่วนที่ปรากฏให้เห็นจากการทดลองเท่านั้น อย่างไรก็ตามจากองค์ความรู้ใหม่ที่ได้ในครั้งนี้ มีส่วนสำคัญอย่างยิ่งที่จะใช้เป็นแนวทางการพัฒนาการวิจัย งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง และงานวิจัยประยุกต์ในโอกาสต่อไป

บรรณานุกรม

- Lee, J-G., and Cutler, I. B.1975. **“Formation of Silicon Carbide from Rice Hulls”**. **Ceramics Bulletin**, 54 (2): 195-198.
- Amick, J. A.1982. **“Purification of Rice Hulls as a Source of Solar Grade Silicon for Solar Cells”**. **Journal of Electrochemical Society**, 29(4): 864-866.
- Hunt, L.P. et al.1984. **“Rice Hulls as a Raw Materials for Producing Silicon”**. **Journal of Electrochemical Society**, 131(7): 1683-1686.
- Mishra P. et al. 1985. **“Production and Purification of Silicon by Calcium Reduction of Rice-Husk White Ash”**. **Journal of Materials Science**, 20: 4387-4391.
- Liou, T-H. et al. 1996. **“Pyrolysis Kinetics of Acid-Leached Rice Husk”**. **Industry Engineer Chemical Resource** 60(10): 568-573.
- Kalapathy,U. et al. 2000. **“Production and Properties of Flexible Sodium Silicate Films from Rice Hull Ash Silica”**, **Bioresearches Technology**, 72: 99-106.
- Chandrasekhar, S. et al. 2003. **“Review Processing, Properties and Applications of Reactive Silica from Rice Husk an Overview”**, **Journal of Materials Science**, 38: 3159-3168.
- Patel, M. et al. 1987. **“Effect of Thermal and Chemical Treatments on Carbon and Silica Contents in Rice Husk”**. **Journal of Materials Science**, 22: 2457-2464.
- Chakraverty, A. et al. 1988. **“Investigation of Combustion of Raw and Acid-Leached Rice Husk for Production of Pure Amorphous White Silica”**, **Journal of Materials Science**, 23: 21-24.
- Real, C. et al. 1996. **“Preparation of Silica from Rice Husks”**. **Journal of American Ceramics Society**, 79(8): 2012-2016.
- Conradt, R. et al. 1992. **“Nano-structured Silica from Rice Husk”**. **Journal of Non-Crystalline Solid**, 145: 75-79.
- Li, S-H. et al. 2004. **“Carbon-Assisted Growth of SiO_x Nanowires”**. **Journal of Physical Chemistry**, B108: 17032-17041.
- Li, Y.H. et al. 1999. **“Intense Green-Yellow Luminescence from Nanostructured SiO₂ With Codoping of Dy³⁺ and Al³⁺”**. **Nano Structured Materials**, 11(3): 307-310.

- Meng, G.W. et al 1998. **"Microstructural Characterization of Amorphous SiO₂ Wrapped β -SiC Nanowhiskers"**. *Nano Structured Materials*, 10(4): 601-606.
- Meng, G.W. et al 1999. **"Synthesis of β -SiC Nanowires with SiO₂ Wrappers"**. *Nano Structured Materials*, 12: 1003-1006.
- Tjong, S.C., and Chen, H. 2004. **"Nanocrystalline Materials and Coatings"**. *Materials Science Engineering*, R45: 1-88.
- Pan, Z.W. et al. 2001. **"Temperature-Controlled Growth of Silicon-Based Nanostructures by Thermal Evaporation of SiO Powders"**. *Journal of Physical Chemistry B* 105: 2507-2514.
- Zhang, H-F. et al. 2003. **"Synthesis, characterization, and manipulation of Helical SiO₂ nanospring"**. *Nano Letters*, 3(5): 577-580.
- Pukird, S. et al. 2005. **"Synthesis of SiO_x Nanowires and Nanorods by Carbon-Assisted, 31th Congress on Science and Technology of Thailand, Nakhon Ratchasima, Thailand.**
- Liou, T-H. 2004. **"Preparation and Characterization of Nano-Structured Silica from Rice Husk"**. *Materials Science and Engineering*, A364: 313-323.
- Bharadwaj, A. et al. 2004 **"Pyrolysis of Rice Husk"**, *Current Science*. 87(7): 981-986.
- Tepper, T., and Berger, S. 1999. **"Correlation between Microstructure, Particle Size, Dielectric Constant, and Electrical Resistivity of Nano-Size Amorphous SiO₂ Powder"**. *Nano Structured Materials*, 11(8): 1081-1089.
- <http://www.physics.bc.edu/>
- Wenger, K.S. et al. 2003. **"Direct Synthesis of Amorphous Silicon Dioxide Nanowires and Helical Self-Assembled Nanostructures Derived Therefore"**. *Journal of Materials Chemistry*, 13: 3058-3061.
- Teo, B.K. et al. 2003. **"Silicon-Silica Nanowires, Nanotubes, and Biaxial Nanowires: Inside, Outside, and Side-by-Side Growth of Silicon versus Silica on Zeolite"**. *Inorganic Chemistry*, 42: 6723-6728.

Liang, C.H. et al. 2007. **“Different Morphology of Silica Nanowires”**. **Journal of Non-Crystalline Solid**, 227: 63-67.

Wu, X.C. et al. 2000. **“Synthesized Amorphous Silica Nanowires Through the Carbothermal Reduction Process”**. **Chemical Physics Letters**, 336: 53-56.

ภาคผนวก

บทความสำหรับการเผยแพร่ในงานวิจัย

Synthesis of Nanofibers and Nanowires from Rice Husk AshSupakorn Pukird^{1*}, Pichet Limsuwan², Udom Tipparach¹Supon Samran¹, Pattanasuk Chamninok¹ and Lee Chow³¹Department of Physics, Faculty of Science, Ubon Ratchathani University, 34190, Thailand²Department of Physics, Faculty of Science, King Mongkut University of Technology, Thailand³Department of Physics, University of Central Florida, Orlando, FL, 32816 USA.**Abstract**

Nanofibers and nanowires were synthesized by thermal evaporation of rice husk ash, coconut shell charcoal and GeO_2 with the ratio of 5:1:1 by weight heated at temperature of $1,200^\circ\text{C}$ in atmosphere of nitrogen for 3 hours. The diameter of nanofibers and nanowires vary from 50 nm to 200 nm and length of several micrometers. The scanning electron microscope, transmission electron microscope, X-rays diffraction and wavelength dispersive X-rays fluorescence instrument are used to characterize the nanofibers and nanowires.

Keywords: Rice husk ash, nanofibers, nanowires

Introduction

Rice is a major crop grown in Thailand. After rice grain milling, rice husks remain as a waste material. Many peoples have tried to use these agricultural wastes to produce useful materials such as silica, silicon carbide, silicon nitride or silicon for solar cells[1-3]. Rice husk is one of the largest readily available but most unutilized biomass resources and has long been an idea fuel for electricity generation. Pure amorphous white silica was obtained from complete combustion of acid-treated rice husks. The amorphous silica is a primary source of pure silicon, which is widely used in manufacturing photovoltaic or solar cells for power generation[2-4]. Silica is a group IV metal oxide, which has good abrasion

resistance, electrical insulator and high thermal stability. It is insoluble in all acids except for hydrogen fluoride (HF). The electrical property of silicon from rice husk ash are very sensitive to the presence of impurities, its electrical behavior is based on its inherent electronic structure[5-6]. Silicon nanowires have attracted much attention in mesoscopic research and device applications as well as in fundamental research because of their highly interesting optical and electrical properties[7]. Silica from rice husk ash is widely used as ceramic materials both a precursor of other ceramic products and silicon materials such as silicon wafers[8-9]. There are several researches on the preparation of silica from rice husk[1-6,8-9]. Conradt et al.[10] found that the particle size distribution of fumed silica could be obtained by burning rice husk at temperature of 600 °C in atmosphere of air, oxygen, or steam. Real et al.[3] revealed that a homogeneous size distribution of nanometric silica particle could be prepared by heating rice husk at temperature of 873-1073 K in atmosphere of oxygen. Liou[11] reported that uniformly sized ultrafine silica powder can be obtained by nonisothermal decomposition of rice husk in an oxidizing atmosphere. The characterization of silica prepared by heating the rice husk at various heating rate. The results was observed that the average pore diameter was 5.4 nm, and the average particle size was 60 nm. Silicon dioxide or silicon oxide nanostructures such as nanowires could be synthesized in many processes from silicon dioxide or silicon oxide source. Pan et al.[12] reported that silicon-based nanostructures with different morphologies, sizes, compositions, and microstructures were grown on Si wafers by thermal evaporation of SiO powder at 1350 °C for 5 hours under 300 Torr of a flowing gas mixture of 5% H₂-Ar at a flow rate of 50 sccm. Dikin et al. [13] revealed that amorphous SiO₂ nanowires could be prepared via a vapor-liquid-solid process using molten Ga as catalyst and a silicon wafer as the Si source. Highly aligned SiO₂ nanowires with diameters from 50 to 100 nm and lengths from 10 to 50 micrometers were obtained in high yield after a 5 hours growth. Saulig-Wenger et al. [14] reported that amorphous silicon dioxide nanowires could be synthesized by heating silicon powder and graphite at 1200 °C under a mixture of Ar/O₂(99.2/0.8 mol%) for 30 min. Amorphous silica nanowires with lengths up to 500 micrometers and diameter in range 10-300 nm will be observed. Li et al. [15] found that SiO_x nanowires could be obtained by solid-liquid-solid (SLS) process of ZnO powder and graphite powder heated at 900 to 1100 °C. The resulting nanowires have a Si-to-O ratio of 1:1.63 and a diameter of 50-300 nm. And the diameters of the nanowires increased with growth time.

In the present work, we studied on synthesis of nanofibers and nanowires by heating rice husk ash, coconut shell charcoal and GeO_2 in atmosphere of nitrogen. In addition, the rice husk and coconut shell charcoal were treated with acid leaching to remove impurities from the materials source. The physical of materials sources and the specimens on the silicon substrates were examined by several techniques such as stereo microscope, scanning electron microscope (SEM), tunneling electron microscope (TEM), X-rays fluorescence (XRF), and X-rays diffraction (XRD) with appropriate manners.

Experimental

The rice husks, which used in the study as a byproduct from a rice mill and were washed with tap water to remove all adhering soil and dirt. They were dried in the sun. The dried husks were then washed with distilled water and dried again in oven with temperature of 60°C . The dried husks were submitted of chemical treatment. The rice husks and acid solution 1 molar of HCl were mixed in a glass beaker placed on hot plate with temperature around 90°C for 1 hr. The solution was filtered and the rice husks were washed with distilled water several times until acid free. The acid-leached rice husks were dried in oven with temperature of 60°C . They were heated at 600°C for 1hr. The coconut shell was cleaned by tap water and distilled water several times and dried in oven with temperature of 60°C . The cleaning coconut shell was burned at 400°C for being charcoal. The coconut shell charcoal was ground to be powder and put in a glass beaker. The 1 molar of HCl was filled and soaked for 1 hr. The solution was filtered and the charcoal powder was washed with distilled water several times until acid free.

The materials sources consist of the mixture of cleaning rice husk ask, coconut shell charcoal or graphite(99.99%, Alfa Aesar) and GeO_2 with ratio of 5:1:1 by weight. The materials sources and silicon substrates were put in a quartz tube furnace, heated at temperature of 1200°C for 3 hours under atmosphere of nitrogen with flow rate at 1 L/min. When the temperatures reached the setting points, the switch was turned off to cool down room temperature naturally. The materials sources and the specimens on the silicon substrates were examined by several techniques such as stereo microscope, scanning electron microscope (SEM), transmission electron microscope (TEM), X-rays fluorescence (XRF), and X-rays diffraction (XRD) with appropriate manners. The figures 1-7 and table 1-2 showed the results of products which prepared from mixture rice husk ash, coconut shell charcoal and GeO_2 with ratio of 5:1:1. The figures 8-12

showed the results of products which prepared from mixture rice husk ash, graphite and GeO_2 with ratio of 5:1:1.

Results and discussion

The products formed could simply observing clearly different in color with the naked eye. The morphology of the synthesized nanomaterials can be characterized. Figure 1 shows the stereo microscope image of the wires-like structure formed on silicon substrate (a) placed on materials source (b) placed next materials source. These pictures are expansion around 2000 times. They show clearly surface of sample on the substrate. Which to be used pre-checking for next study.

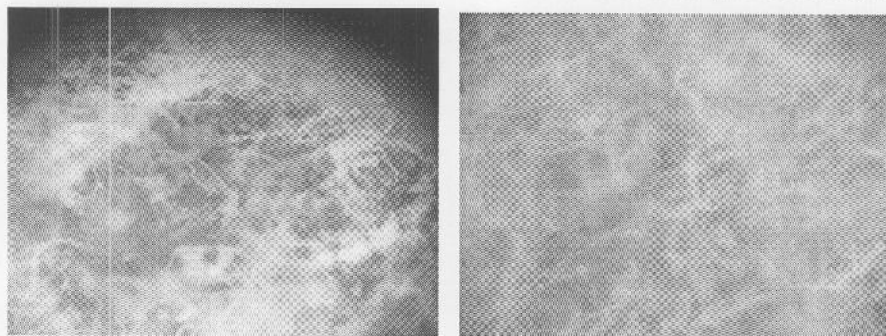


Figure 1. Stereo microscope image of the nanomaterials formed on silicon substrate (a) placed on materials source (b) placed next materials source

After pre-checking, we took the materials source and the specimens on silicon substrate to next examination. Figure 2 shows the SEM image of the nanofibers structures synthesized from upper side of materials source in (a) and the chainlike or necklace-like structures formed between inter layer of materials source in (b-d)

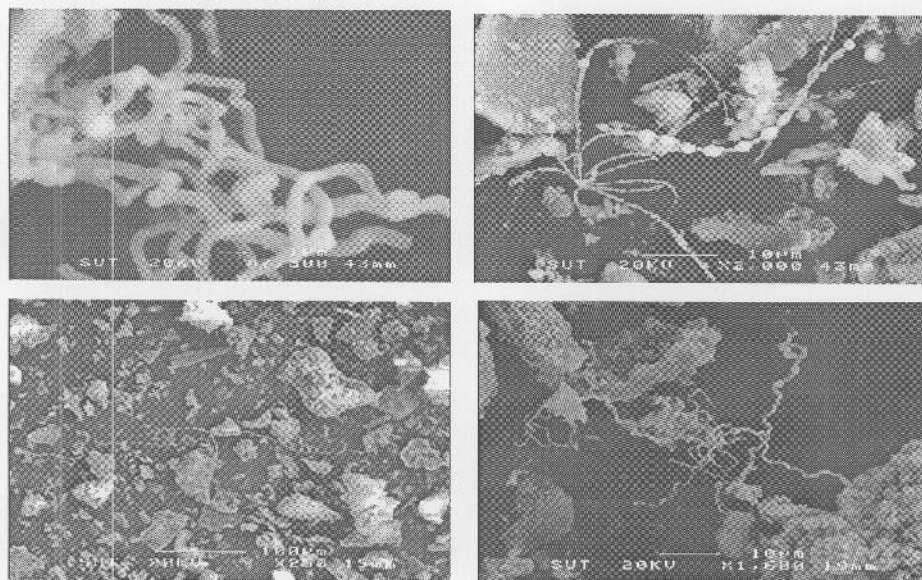


Figure 2. SEM image of the nanomaterials formed in materials source (a) upper sample (b-d) inter layer of sample.

Figure 3 shows the SEM image of the nanofibers and nanowires structures synthesized on silicon substrates which placed (a) on sample (b-c) next sample and (d) the expansion of image (c). We can observed the complex of numerous nanofibers and nanowires. The length of nanowires is more several hundred micrometers. When we expanded SEM image, the surface of fibers and wires will be appeared consist of many nanoparticles.

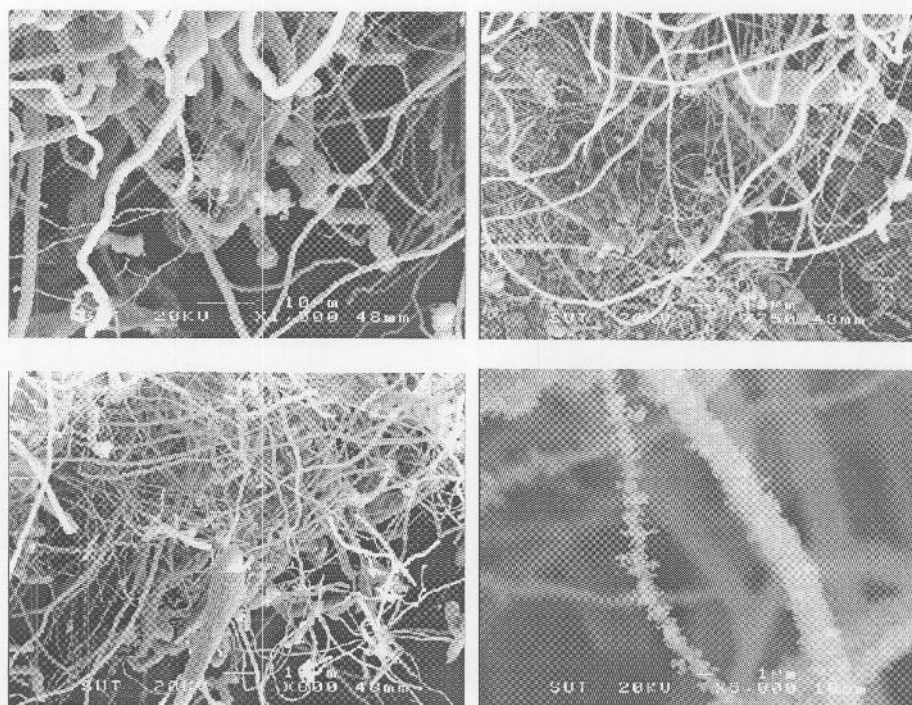
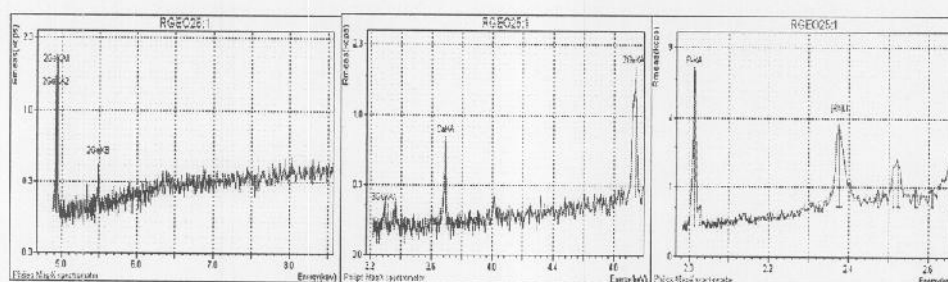


Figure 3. SEM image of the nanomaterials formed on silicon substrates which placed (a) on sample (b-c) next sample and (d) the expansion of image (c).

Figure 4 shows the graphic peak of XRF of materials source which synthesized nanostructures in figure 2. We can observe peak of O, Si, Ge, P and Ca which is consisted of nanostructures materials in this figure. From table 1 and 2 show the elements and compounds consisted of sample. They show that the compound of SiO_2 , GeO_2 , P_2O_5 and CaO are still in nanostructures materials after synthesizing.



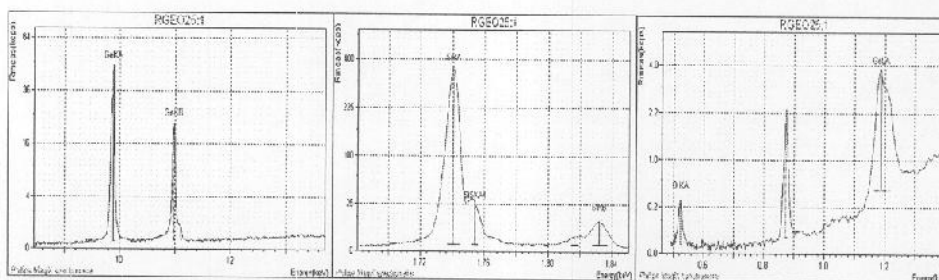


Figure 4. XRF peak of the materials source of figure 2.

Table 1: The element consisted of materials source.

Element	Conc. (%)	Element	Conc. (%)
O	52.98	P	0.5008
Si	45.57	Ca	0.1094
Ge	0.8355	Cs	<<

Table 2: The compound consisted of materials source.

Compound	Conc. (%)	Absolute Error (%)	Compound	Conc. (%)	Absolute Error (%)
SiO ₂	97.50	0.2	CaO	0.1531	0.006
GeO ₂	1.204	0.01	Cs	<<	
P ₂ O ₅	1.147	0.01			

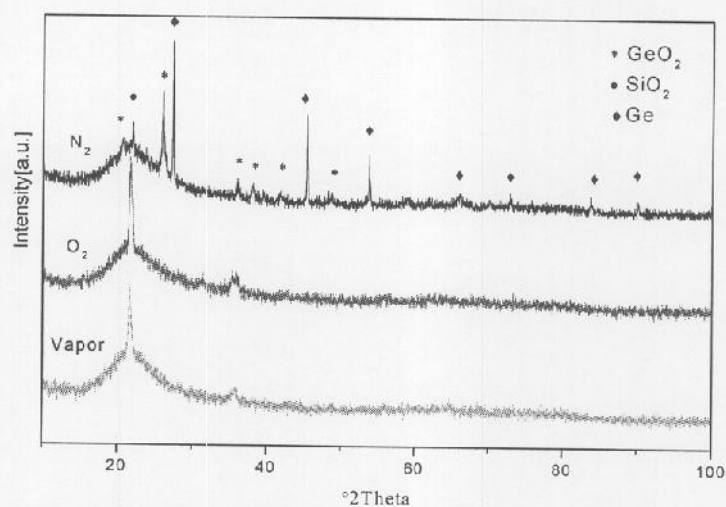


Figure 5: XRD curved of materials source.

We also worked the X-rays diffraction for checking the structure of materials source. Figure 5 show XRD patterns of materials source which heated at 1200°C in different atmosphere such as N_2 , O_2 , and in one atmosphere of air saturated with water vapor (vapor). XRD patterns showed all materials source were crystalline structure. The materials source which heated in atmosphere of N_2 consisted of GeO_2 , SiO_2 , and Ge peak. But two materials source which heated in atmosphere of O_2 , and in one atmosphere of air saturated with water vapor (vapor) consisted of SiO_2 peak and small GeO_2 peak. We used transmission electron microscope for observed the nanostructure of materials source. In figure 6(a), TEM image showed many particles consisted around wires. We can observed the expansion of this image 6(b-d). The expansion of image reveal the diameter of each particle is around 20 nm.

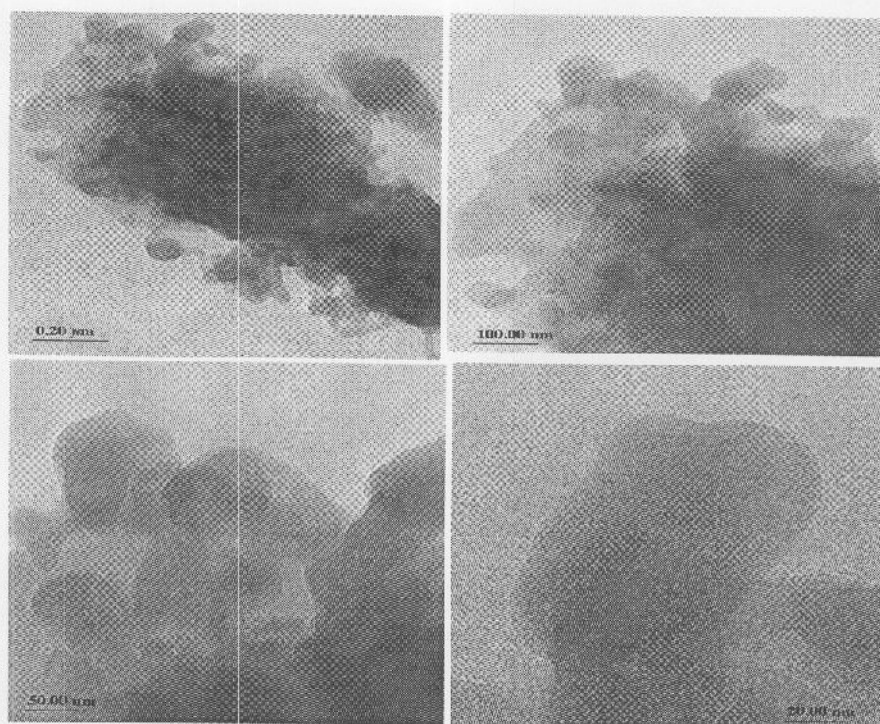


Figure 6 TEM image of the materials source.

Figure 7 show the TEM image of the products formed on silicon substrate which synthesized nanowires structure show in figure 3(b). The magnification TEM image showed the particle consisted on tip of nanowires. In the details, we can also observe many sphere-like particles consisted of wires.

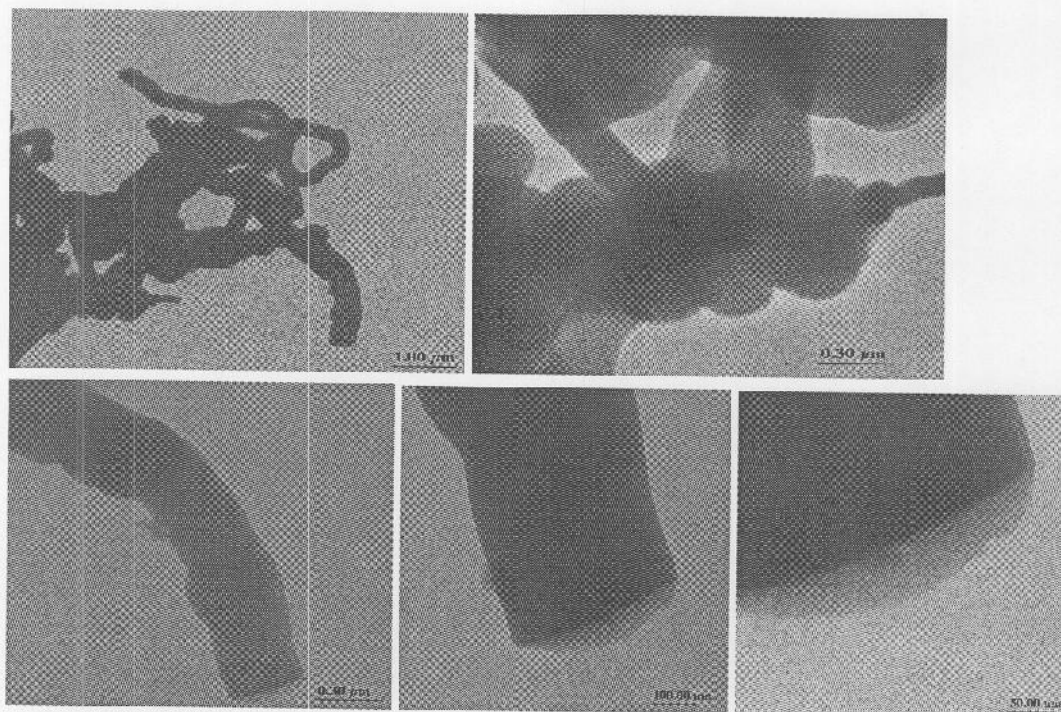


Figure 7 TEM image of the products formed on silicon substrate.

For comparison the experimental results, we used graphite replace to coconut shell charcoal. We would like again to pre-checking by stereo microscope before take to another instruments. Figure 8 shows the stereo microscope image of the wires-like and rods-like structure formed on silicon substrate (a) placed on materials source (b) placed next materials source. These pictures are expansion around 2000 times. They show clearly surface of sample on the substrates.

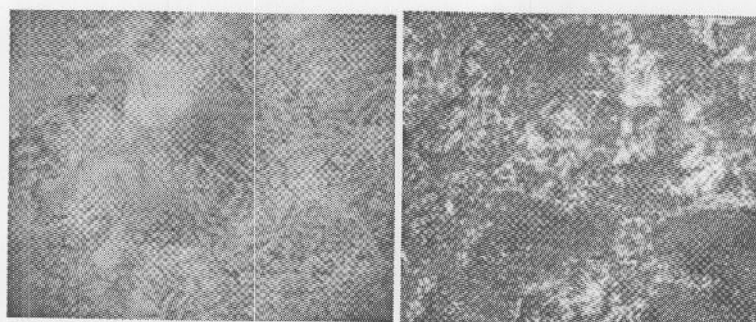


Figure 8: The stereo image of products formed on silicon substrates.

Figure 9: The SEM image of products formed on (a-b) materials source (c) silicon substrate placed on materials source (d) silicon substrate placed lower materials source and (e) silicon

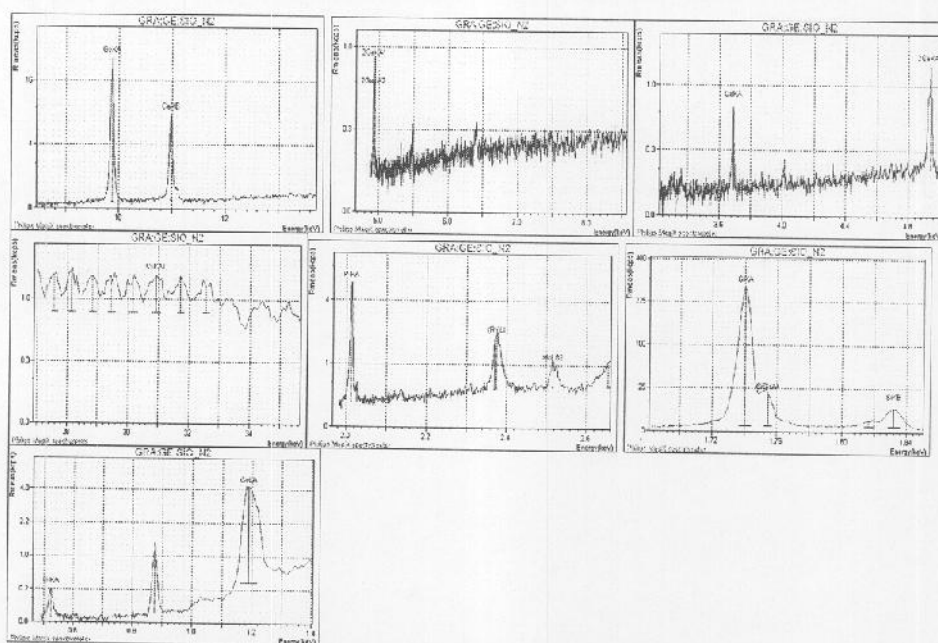


Figure 10. XRF peak of the materials source of figure 9.

Table 3: The element consisted of materials source.

Element	Conc. (%)	Element	Conc. (%)
O	52.84	P	0.4745
Si	45.33	Ca	0.1406
Ge	1.215	Cs	<<

Table 4: The compound consisted of materials source.

Compound	Conc. (%)	Absolute Error (%)	Compound	Conc. (%)	Absolute Error (%)
SiO ₂	96.97	0.2	CaO	0.1967	0.008
GeO ₂	1.751	0.01	Cs	<<	
P ₂ O ₅	1.087	0.01			

We also worked the X-rays diffraction for checking the structure of materials source. Figure 11 show XRD patterns of materials source which heated at 1200 °C in different atmosphere such as N₂, O₂, and in one atmosphere of air saturated with water vapor (vapor). XRD patterns showed all materials source were crystalline structure. The materials source which heated in atmosphere of N₂ consisted of SiO₂, GeO₂ and C peak. But the other two materials source which heated in atmosphere of O₂, and in one atmosphere of air saturated with water vapor (vapor) consisted of SiO₂ peak and small GeO₂ peak. We used tunneling electron microscope for observed the

nanostructure of materials source. In figure 9(a), TEM image showed many spheres consisted of the chain-like. We can observed the expansion of this image 9(b-d). The expansion of image reveal the diameter of some sphere are around 0.3 micrometer.

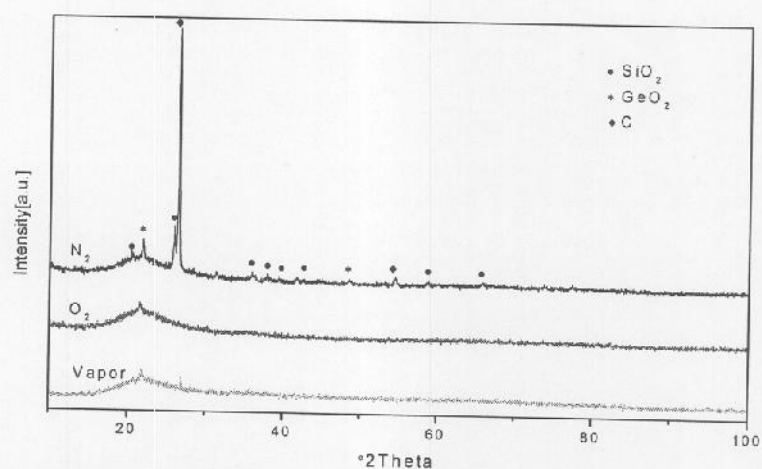


Figure 11: XRD curved of materials source.

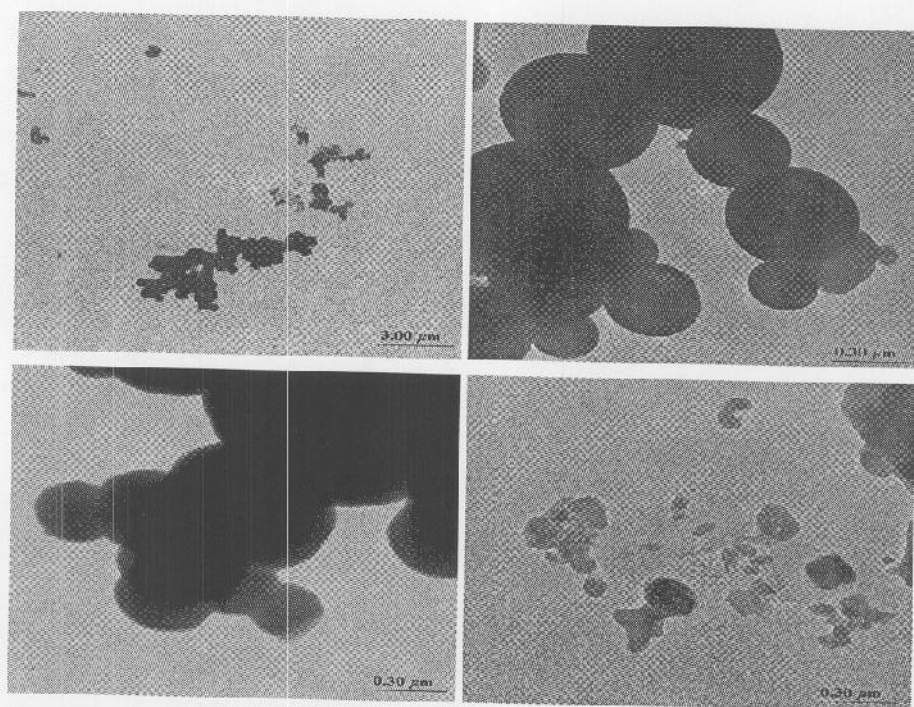


Figure 12: TEM image of the products formed on materials source.

Conclusion

In summary, the formation of the nanofibers and nanowires can be synthesized by heating mixture of rice husk ash, coconut shell charcoal or graphite and GeO_2 at temperature of $1200^\circ C$

in atmosphere of nitrogen with flowed rate of 1 L/min. The structures of these products have been characterized by stereo microscope, scanning electron microscope (SEM), transmission electron microscope (TEM), X-rays fluorescence (XRF), and X-rays diffraction (XRD) with appropriate manners. These nanostructures may be used in future applications in nanotechnology.

Acknowledgement

This work is supported by Ubon Ratchathani University. The authors thank to the National Research Council Thailand (NRCT) and the Thailand Research Fund (TRF) for financial support.

References

- [1] James A. Amick, (1982) Purification of rice hulls as a source of solar grade silicon for solar cell, *J. Electrochem. Soc.*, 29(4) 864-866.
- [2] L.P. Hunt, J.P. Dismukes, J.A. Amick, (1984), Rice hulls as a raw materials for producing silicon, *J. Electrochem. Soc.* 131(7) 1683-1686.
- [3] C. Real, M.D. Aleala, J.M. Criado, (1996), Preparation of silica from rice husk, *J. Am. Ceram. Soc.* 79 (8). 2012 - 2016.
- [4] P. Mishra, A. Chakraverty, H.D. Banerjee, (1985), Production and purification of silicon by calcium reduction of rice-husk white ash, *J. Mater. Sci.*(20) 4387 - 4391.
- [5] M. Patel, A. Karera, P. Prasanna, (1987), Effect of thermal and chemical treatments on carbon and silica contents in rice husk, *J. Mater. Sci.* (22) 2457 - 2464.
- [6] A. Chakraverty, P. Mishra, H.D. Banerjee (1988), Investigation of combustion of raw and acid-leached rice husk for production of pure amorphous white silica *J. Matler. Sci.* (23) 21-24.
- [7] B.K. Teo, C.P. Li, X.H. Sun, N.B. Wong and S.T. Lee, (2003), Silicon-silica nanowires, nanotubes, and Biaxial nanowires: inside, outside, and side-by-side growth of silicon versus silica on zeolite, *Inorg. Chem.* 42, 6723-6728.
- [8] A. Oya, N. ki shimoto, S. Mashio, K. Kumakura, T. Suzuki, (1995), Structure and properties of moulded carbon derived from rice hull, *J. Mater. Sci.* 30, 6249 - 6252.
- [9] T.H. Liou, F. W. Chang, J.J. Lo (1997), Pyrolysis kinetics of acid-leached rice husk, *Ind. Eng. Chem. Res.*(60) 568 - 573.
- [10] R. Conradt, P. Pimkhaokham and U. Leela-Adisorn, (1992), Nano-structured silica from rice husk, *J. Non-Crystalline Solid* 145, 75-79.

- [11] Tzong-Horng Liou, (2004), Preparation and characterization of nano-structured silica from rice husk, *Materials Science and Engineering A364*, 313-323.
- [12] L.W. Pan, Z.R. Dai, L. Xu, S.T. Lee and Z.L. Wang, (2001), Temperature-controlled growth of silicon-based Nanostructures by thermal evaporation of SiO powders, *J. Phys. Chem. B105*, 2507-2514.
- [13] D.A. Dikin, X. Chen, W. Ding, G. Wagner and R.S. Ruoff, (2003), Resonance vibration of amorphous SiO₂ nanowires driven by mechanical or electrical field excitation, *J. Appl. Phys.*, 93(1), 226-230.
- [14] K. Saulig-Wenger, D. Cornu, F. Chassagneux, T. Epicier and P. Miele, (2003), Direct synthesis of amorphous silicon dioxide nanowires and helical self-assembled nanostructures derived therefrom, *J. Mater. Chem.* 13, 3058-3061.

ประวัตินักวิจัย

หัวหน้าโครงการวิจัย รองศาสตราจารย์ ดร. ศุภกร ภูเก็ด

(Associate Professor Dr. Supakorn Pukird)

ตำแหน่ง รองศาสตราจารย์ ระดับ 9

ที่ทำงาน ภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี

อำเภอวารินชำราบ จังหวัดอุบลราชธานี 34190

โทร/โทรสาร 045-28838 081-2654535

การศึกษา

ปริญญาตรี วท.บ. (ฟิสิกส์) มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ พิษณุโลก

ศษ.บ. (บริหารการศึกษา) มหาวิทยาลัยสุโขทัยธรรมาธิราช

ปริญญาโท วท.ม. (การสอนฟิสิกส์) มหาวิทยาลัยเชียงใหม่

หัวข้อวิจัย “Preparation of Silicon-dioxide from Rice-Husk.”

ปริญญาเอก วท.ด. (ฟิสิกส์) มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

Topic of Ph.D. thesis :

“Photoemission Study of 3d Transition Metals”

ณ สถาบัน KEK High Energy Accelerator Research Organization, Tsukuba, Japan

การวิจัยหลังปริญญาเอก Research Scholar, Nanoscience/Nanotechnology, University of Central Florida, U.S.A. 2005.

Visiting Professor, Device Materials Research Center, Korea Research Institute of Chemical Technology, Daejeon, Korea, 2008.

ประสบการณ์การทำงาน

1. อาจารย์และศึกษานิเทศก์ กรมสามัญศึกษา กระทรวงศึกษาธิการ (2527-2536)
2. อาจารย์ ภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี (2536-2540)
3. เลขานุการ และหัวหน้าสำนักงาน คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี (2537)
4. รองคณบดีคณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี (2538-2540)
5. หัวหน้าภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี (2544-2548)
5. ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี (2545-2548)
6. กรรมการสภามหาวิทยาลัยอุบลราชธานี (ประเภทคณาจารย์ประจำ) (2547-2548)
7. รองศาสตราจารย์ ภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี (2548-ปัจจุบัน)

8. Certificate of Internship “ Synthesis and Scanning Electron Microscopic Study of ZnO Nanorods and Nanoparticles” Department of Physics, University of Central Florida, USA. March1-April26, 2005.
9. 2005 Annual Joint Symposium, Florida Society for Microscopy, Florida Chapter of AVS, and Applied Surface Analysis 2005. March13-17,2005, University of Central Florida, USA.
10. ศึกษางานด้านนิติวิทยาศาสตร์ ที่ประเทศอังกฤษ และประเทศสกอตแลนด์ (2548)

ผลงานวิจัยและงานตีพิมพ์เผยแพร่

1. Atomic and electronic structures of Si(113)1x1-Sb surface : core-level shifts and surface states. K.S. An, C.C. Hwang, Y.K. Kim, E.S. Cho, C.-Y. Park, **S. Pukird**, A. Kakizaki, T. Ohuda, T. Kinoshita, Surface Science 513 (2002) 49-56.
2. Re-investigation of electronic structure and ferromagnetism of non-reconstructed Cr (001) 1x1 surface. N.Nakajima, **S. Pukird**, W.Suraban, T.Saibtoh, A.Kakizaki, Surface Review and Letters, Vol.9, No.2 (2002) 861-864.
3. แสงซินโครตรอน, **สุภกร ภู่เกิด**, วารสารวิทยาศาสตร์ มศว. ปีที่ 15 ฉบับที่ 1 มกราคม 2542, 43-54
4. Photoemission Spectroscopy, **สุภกร ภู่เกิด**, วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี, สถาบันราชภัฏอุบลราชธานี, (ฉบับพิเศษ), 16-18 สิงหาคม 2545, 25-33.
5. Physical Properties of Silica from Mixture of Rice Husk and Carbon from Coconut Shell. **S. Pukird**, K.Tumboon 28th Congress on Science and Technology of Thailand. Bangkok, Thailand. 2002.
6. Electronic Structure and Magnetism of Cr(001) Surface Investigated by Photoemission Spectroscopy, H. Nakajima, **S. Pukird**, W. Suraban, T. Saito and A. Kakizaki 28th Congress on Science and Technology of Thailand. Bangkok, Thailand. 2002.
7. คุณสมบัติทางไฟฟ้าของวัสดุที่เตรียมจากเถ้าแกลบ, **สุภกร ภู่เกิด** และ อรทัย ทุมตัน, สารประชาสัมพันธ์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี, ปีที่ 10 ฉบับที่ 177 ประจำเดือนพฤษภาคม, 2546.
8. การเตรียมซิลิกอนไดออกไซด์ที่มีความบริสุทธิ์จากเถ้าแกลบข้าว, **สุภกร ภู่เกิด** และ युภาพักดิ์ นิระพนธ์, วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี, สถาบันราชภัฏอุบลราชธานี, (ฉบับพิเศษ), 18-20 สิงหาคม 2546.

9. Superconductivity of $\text{Yb}_2\text{Cu}_3\text{O}_7/\text{PrBa}_2(\text{Cu}_{1-x}\text{M}_x)_3\text{O}_7$ multilayered thin films, $\text{M}=\text{Al}$ and Ga , U. Tipparach, **S. Pukird**, Tar-Pin Chen, และ John L. Wagner, 29th Congress on Science and Technology of Thailand. Bangkok, Thailand. KhonKan University, Khonkan, Thailand. 2003.
10. Electrical resistivity of ceramics prepared from rice husks ash, **S. Pukird**, K. Hirunnawakun, U. Tipparach. 29th Congress on Science and Technology of Thailand. KhonKan University, Khonkan, Thailand. 2003.
11. Structure and Electrical resistivity of $\text{PrBa}_2(\text{Cu}_{0.80}\text{Ga}_{0.20})_3\text{O}_{7-\delta}$, U. Tipparach, **S. Pukird**, L. Trakulrum, S. Kulna, and T-P. Chen, 30th Congress on Science and Technology of Thailand. Bangkok, Thailand, 2004.
12. Surface Energy Bands of $\text{p}(1\times1)\text{Cr}(100)$ and $\text{p}(1\times1)\text{O}/\text{Cr}(100)$, H. Nakajima, **S. Pukird**, A. Kakizaki, and T. Ishii, J. Elect. Spectrosc. And Relat. Phenom., 144-147, (2005) 409-412
13. สมบัติเชิงกายภาพและเชิงกลของผ้าไหมไทยที่เคลือบด้วยโลหะ โดยวิธีดีซีสปีดเทอริง, ศุภกร ภู่เกิด, สุขอังคณา ซาหยัง, ภิชัย ปัญญารชุน, จตุพล ไกรยบุตร และ อุดม ทิพราว วารสารวิทยาศาสตร์, สมาคมวิทยาศาสตร์แห่งประเทศไทยในพระบรมราชูปถัมภ์, ปีที่ 59, ฉบับที่ 2 มีนาคม-เมษายน 2548
14. Synthesis of SiO_x nanowires and nanorods by carbon-assisted, **Supakorn Pukird**, Udom Tipparach and Supon Sumran 31th Congress on Science and Technology of Thailand. Suranaree University, Nakhon Ratchasima, Thailand, 2005.
15. Fabrication and characterizations of Fe:Ni nanoparticles for carbon nanotubes growth, Tippawan Saipin, Udom Tipparach, and **Supakorn Pukird**, Chiang Mai University Journal, Vol4, November 2005.
16. Structure and electrical resistance of SiO_2 prepared from rice husk ash, Pattanasuk Chamninok, **Supakorn Pukird** and Sombat Suksamae, 31th Congress on Science and Technology of Thailand. Suranaree University, Nakhon Ratchasima, Thailand, 2005.
17. วัสดุเทอร์โมอิเล็กทริก, ศุภกร ภู่เกิด และ Bounkong Khamkhoutlavong วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี, มหาวิทยาลัยราชภัฏอุบลราชธานี, (ฉบับพิเศษ), 16- 18 สิงหาคม 2548.
18. The Electrical Properties of SiO_2 Ceramics Prepared from Rice Hush Ash, **Supakorn Pukird**, Orathai ThumThan and Udom Tipparach, Proceeding of the First Workshop on Utilization of Rice Husk and Rice Husk Silica, September 19, 2005, Faculty of Science, Chulalongkorn University, Thailand.

- 19 The effect of Temperature on the growth of carbon nanotubes by catalytic chemical vapor deposit, Tippawan Saipin, Udom Tipparach and **Supakorn Pukird**, 31th Congress on Science and Technology of Thailand. Suranaree University, Nakhon Ratchasima, Thailand, 2005.
20. วัสดุนาโน, **สุภกร ภู่เกิด**, อุดม ทิพราช และ ทิพวรรณ สายพิน, วารสารวิชาการ ม.อบ. ปีที่ 8 ฉบับที่ 1 มกราคม-เมษายน 2549
21. Growth and Structure of Carbon Fibers with a Carbon Nanotube Core, U. Tipparach, T. Saipin, S. Sumran, and **S. Pukird**, Siam Physics Congress 2006, Frontier Research in Physics and Key Technologies for Development, March 23-25, 2006, Chonburi, Thailand.
22. สมบัติของวัสดุที่เตรียมจากเถ้าแกลบและถ่านกะลามะพร้าว, **สุภกร ภู่เกิด**, สุภารัตน์ ศิลปสร, อุดม ทิพราช และฉวีวรรณ ชัยวัฒนา, 2549, วารสารวิทยาศาสตร์, สมาคมวิทยาศาสตร์แห่งประเทศไทยในพระบรมราชูปถัมภ์, ปีที่ 61, ฉบับที่ 1, มกราคม-กุมภาพันธ์ 2550.
23. Thermo-electrical Property of Materials Prepared from Rice Husk Ash, **Supakorn Pukird**, Pattanasuk Chamninok, Dheerachai Polsongkram, Pakin Inchidjuy, and Udom Tipparach, The 2nd Workshop on the Utilization of Rice Husk and Rice Husk Silica, July 18th, 2007, NSTDA Building, National Metal and Materials Technology Center (MTEC), Bangkok, Thailand.
24. Synthesis of ZnO Nanowires and Nanobelts by Thermal Evaporation, **Supakorn Pukird**, Pattanasuk Chamninok, Dheerachai Polsongkram, Pakin Inchidjuy, Udom Tipparach and Lee Chow, The First Thailand National Nanotechnology Conference on Nanomaterials, Pharmaceuticals, Devices and Applications, 14-16 August 2007, Chiang Mai University, Chiang Mai, Thailand.
25. Investigation of Nanomaterials Prepared by Thermal Evaporation of Carbon-ZnO mixtures, D. Polsongkram, P. Kasian, P. Limsuwan, U. Tipparach, S. Samran, L. Chow and **S. Pukird**, International Conference on Smart Materials Smart/Intelligent Materials and Nanotechnology and 2nd International Workshop on Functional Materials and Nanomaterials, 22-25 April 2008, Chiang Mai Thailand.
26. Synthesis and Characterization of Nanostructured Materials Prepared from SiO₂ and GeO₂ Mixture by Carbon Assisted Method, P. Chamninok, P. Kasian, P. Limsuwan, U. Tipparach, S. Samran, L. Chow and **S. Pukird**, International Conference on Smart Materials Smart/Intelligent Materials and Nanotechnology and 2nd International Workshop on Functional Materials and Nanomaterials, 22-25 April 2008, Chiang Mai Thailand.

27. The Effects of Substrate Temperature on Optical Properties and Surface Morphology of Nickel Phthalocyanine Thin Films Grown by Organic Evaporator System, P. Inchidjuy, **S. Pukird** and J. Nukeaw, International Conference on Smart Materials Smart/Intelligent Materials and Nanotechnology and 2nd International Workshop on Functional Materials and Nanomaterials, 22-25 April 2008, Chiang Mai Thailand.
28. Effect of synthesis conditions on the growth of ZnO nanorods via hydrothermal method, D. Polsongkram, P. Chamninok, **S. Pukird**, L. Chow, O. Lupan, G. Chai, H. Khallaf, S. Park, and A. Schulte, *Physica B* (2008), doi: 10.1016/j.physb.2008.06.020

ผู้ร่วมวิจัย รศ. ดร. พิเชษฐ ลิมสุวรรณ

ตำแหน่ง รองศาสตราจารย์ ระดับ 9

ที่ทำงาน ภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี กรุงเทพฯ

คุณวุฒิการศึกษา

วท.บ. (ฟิสิกส์) จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

Ph.D. (Physics) Pennsylvania State University, USA.

ตัวอย่างผลงานวิจัยและงานตีพิมพ์

1. Nitinai Udomkan, Pichet Limsuwan and Pongtip Winotai, "Characterization of Titanium Nitride Film Coating on Stainless Steel", 29th Congress on Science and Technology of Thailand, Kohn Kean University, 20-22 October 2003.
2. Nitinai Udomkan, Vilasinee Sutton, and Pichet Limsuwan, "Properties of Titanium Nitride Film Coated on Stainless Steel 304", Kasetsart J. (Nat.Sci.) 37,209-218 (2003)
3. Vilasinee Sutton, Pongtip Winotai, and Pichet Limsuwan, "Characterization of Titanium Nitride Film Coating on Stainless Steel", J. Sci. Res. Chula. Univ. Vol. 28, No.2, 119-129 (2003)
4. N. Sinchaipanid, S. Pongwai, P.Limsuwan and A. Mitrevej and A. "Design of Salbutamol EOP Tablets from Pharmacokinetics", Pharmaceu. Devel. Tech. Vol.8 (2), 135 (2003).
5. P. Winotai, P.Limsuwan and S.Rittikulsittichai, "Optimization of Heat Treatments of Vietnamese Rubies", J.Mod.Phys. Lett.B, Vol. 17, Nos. 29-30, 1537 (2003)
6. S.Saiseng, P.Winotai, S.Nilpairuch, P.Limsuwan and I.M. Tang, "Nanocrystallization in amorphous $\text{Fe}_{40}\text{Ni}_{40}(\text{Si+B})_{19}\text{Mo}_{1-2}$ ribbons" Journal of Magnetism and Magnetic Materials 278 (2004) 172-178
7. P.Winotai, P.Limsuwan, I.M.Tang and S. Limsuwan, "Quality Enhancement of Vietnamese Ruby by Heat Treatments", Australian Gemologists (2004) 22, 72-77
8. S.Saiseng, P.Winotai and P.Limsuwan, "Effects of heat treatment on nanocrystalline formations in $\text{Fe}_{40}\text{Ni}_{40}(\text{Si+B})_{19}\text{Mo}_{1-2}$ amorphous ribbon" Phys. Stat. sol. (a) 202, No. 1, 46-54 (2005)

9. P.Limsuwan , N. Udomkan , S. Meejoo and P. Winotai , “Surface morphology of submicron crystals in aluminum nitride films grown by dc magnetron sputtering”, J. Mod. Phys. Lett.B , Vol. 19, No. 12,2073-2083 (2005)
- 10.N. Udomkan, S. Meejoo , P.Limsuwan ,P. Winotai and Y.Chaimanee, “Electron Spin Resonance Studies of Mn^{2+} in Freshwater Snail Shells: Pomacea Canaliculata Lamarck and Fossilized Sanail Shell”, Chin . Phys. Lett., Vol.22 , No.7 ,1780-1783 (2005)
- 11.N.Udomkan, P.Lumsuwan, P.Winotia and S. Meejoo, “Effect of Heat Treatment on Blue Sapphires as Monitored by ESR Spectroscopy”, Inter.J.Mod.Phys.B,Vol.19, No.20, 3273-3284(2005)
12. Investigation of Nanomaterials Prepared by Thermal Evaporation of Carbon-ZnO mixtures, D. Polsongkram, P. Kasian, P. Limsuwan, U. Tipparach, S. Samran, L. Chow and S. Pukird ,International Conference on Smart Materials Smart/Intelligent Materials and Nanotechnology and 2nd International Workshop on Functional Materials and Nanomaterials, 22-25 April 2008, Chiang Mai Thailand.
13. Synthesis and Characterization of Nanostructured Materials Prepared from SiO_2 and GeO_2 Mixture by Carbon Assisted Method, P. Chamninok, P. Kasian, P. Limsuwan, U. Tipparach, S. Samran, L. Chow and S. Pukird, International Conference on Smart Materials Smart/Intelligent Materials and Nanotechnology and 2nd International Workshop on Functional Materials and Nanomaterials, 22-25 April 2008, Chiang Mai Thailand

ผู้ร่วมวิจัย ผศ. ดร. อุดม ทิพราช

ตำแหน่ง ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ระดับ 8

ที่ทำงาน ภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี จ.อุบลราชธานี

การศึกษา: กศ.บ. (ฟิสิกส์) วท.ม. (ฟิสิกส์) Ph.D. (Physics)

การวิจัยหลังปริญญาเอก:

1. Postdoctoral Research, Superconductors, University of North Dakota, U.S.A, 2003.
2. Research Scholar, Nanoscience/Nanotechnology, University of Central Florida, U.S.A. 2005.

ตัวอย่างผลงานวิจัยและงานตีพิมพ์

1. Mingji Jin, Q. Y. Chen, **Udom Tipparach**, T.-P. Chen, C. Wang, H. W. Seo, Lixi Yuan, W. K. Chu, K. S. No, C. L. Chen, and Y. S. Song, Epitaxial $\text{PrBa}_2(\text{Cu}_{0.8}\text{Al}_{0.2})_3\text{O}_7$ thin films grown by rf sputtering, *Applied Physics Letter*, 80(2002), 3991.
2. Tar-Pin Chen, **Udom Tipparach**, H. D. Yang, J.T. Wang, Benjamin Chen, and Jean C.J. Chen Proximity effect of Pb on CeCu_6 and $\text{La}_{0.05}\text{Ce}_{0.95}\text{Cu}_6$. *International Journal of Modern Physics B*, Vol. 13, Nos. 29, 30&31(1999) 2642.
3. K. Wu, **U. Tipparach**, T.-P. Chen, Q. Li, X.H. Zeng, , E. Wert, , J.L. Wagner, Q.Y. Chen, H.C. Wang, H.C Yang, and H.Er. Horng, Transport Studies on Nanometer **Thick** $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_7$ Multilayers using $\text{Y}_{0.4}\text{P}_{0.6}\text{Cu}_3\text{O}_7$ and $\text{PrBa}_2(\text{Cu}_{0.8}\text{T}_{0.2})_3\text{O}_7$ as Buffer Layers, *International Journal of Modern PhysicsB*, 15(2001), 3317.
4. X. Yang, **Udom Tipparach**, Tar-Pin Chen, John L. Wagner, B. Helmowski, and J.T. Wang Fabrication of and transport studies on $\text{PrBa}_2(\text{Cu}_{0.8}\text{T}_{0.2})_3\text{O}_7$, *Physica C* 341-348, (2000) 2447.
5. **U. Tipparach**, T.-P. Chen, J.L. Wagner, K. Wu, Q.Y. Chen, Q. Li, J.T. Wang, H.C. Yang, and H.-E. Horng, Fabrication of and transport studies on $\text{PrBa}_2(\text{Cu}_{1-x}\text{M}_x)_3\text{O}_7$, $\text{M}=\text{Ga, Zn and Co}$, *Physica C*, 364-365(2001),404.
6. T-P Chen, X. Yang, **U. Tipparach**, A. Zhou, B. Chen, Q.Y. Chen, and J.T. Wang, Structure and transport studies on $\text{PrBa}_2(\text{Cu}_{1-x}\text{M}_x)_3\text{O}_7$: $\text{M}=\text{Al, Fe and Ni}$, *International Journal of Modern Physics B*, Vol. 17, Nos. 18, 19&20(2003) 2655. Fabrication and characterizations of Fe:Ni nanoparticles for carbon nanotubes growth, Tippiawan Saipin, Udom Tipparach, and Supakorn Pukird, *Chiang Mai University Journal*, ,Vol.40(1) (2005)

7. Xioachu Yang, Tar-Pin Chen, John Wagner, and **Udom Tipparach**, Transport Studies on Fe and Al Doped PBCO, APS march 1999, March 20-26, 1999, Atlanta, GA, American Physical society V. 44 (1999).
8. **อุดม ทิพราช**, สุภกร ภู่เกิด, Tar-Pin Chen, และ John L. Wagner, สภาพความนำยิ่งยวดของ $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_7/\text{PrBa}_2(\text{Cu}_{1-x}\text{M}_x)_3\text{O}_7$ พิล์มบางหลายชั้น เมื่อ $\text{M} = \text{Al}$ และ Ga , การประชุมวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 29, 2546.
9. สุภกร ภู่เกิด, กัลยา หิรัญนวกุล, และ **อุดม ทิพราช**, ความต้านทานไฟฟ้าของเซรามิกซ์ที่เตรียมจากเถ้า แกลบ, การประชุมวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 29, 2546.
10. **อุดม ทิพราช**, ลัดดา ตระกูลรัมย์, สุปิยา กุลนา, โครงสร้างและสภาพความต้านทานไฟฟ้าของ $\text{PrBa}_2(\text{Cu}_{0.80}\text{Ga}_{0.20})_3\text{O}_{7.5}$, การประชุมวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 30, 2547
11. **อุดม ทิพราช** และ ทิพวรรณ สายพิณ, การปลูกท่อนาโนคาร์บอนผนังหลายชั้นด้วยวิธีไอระเหยทางเคมีด้วยตัวเร่งปฏิกิริยาเหล็กและนิกเกิล, วทท 31, accepted 2548.
12. ทิพวรรณ สายพิณ, **อุดม ทิพราช**, และ สุภกร ภู่เกิด, ผลของอุณหภูมิต่อการปลูกท่อนาโนคาร์บอนด้วยวิธีไอระเหยทางเคมีที่มีตัวเร่งปฏิกิริยา, วทท 31, accepted 2548.
13. การสังเคราะห์เส้นใยนาโนและแท่งนาโนซิลิกอนออกไซด์โดยการกระตุ้นด้วยคาร์บอน, สุภกร ภู่เกิด, **อุดม ทิพราช**, สุพล สำราญ การประชุมวิชาการวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย วทท. 31, 18 – 20 ตุลาคม 2548. ณ เทคโนโลยีธานีมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี นครราชสีมา
14. Investigation of Nanomaterials Prepared by Thermal Evaporation of Carbon-ZnO mixtures, D. Polsongkram, P. Kasian, P. Limsuwan, U. **Tipparach**, S. Samran, L. Chow and S. Pukird ,International Conference on Smart Materials Smart/Intelligent Materials and Nanotechnology and 2nd International Workshop on Functional Materials and Nanomaterials, 22-25 April 2008, Chiang Mai Thailand.
15. Synthesis and Characterization of Nanostructured Materials Prepared from SiO_2 and GeO_2 Mixture by Carbon Assisted Method, P. Chamninok, P. Kasian, P. Limsuwan, U. **Tipparach**, S. Samran, L. Chow and S. Pukird, International Conference on Smart Materials Smart/Intelligent Materials and Nanotechnology and 2nd International Workshop on Functional Materials and Nanomaterials, 22-25 April 2008, Chiang Mai Thailand

ผู้ร่วมวิจัย ผศ. สุพล สำราญ

ตำแหน่ง ผู้ช่วยศาสตราจารย์ระดับ 8

ที่ทำงาน ภาควิชาฟิสิกส์

คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี จ.อุบลราชธานี

โทร. (045)288381

ประวัติการศึกษา

ปีที่จบการศึกษา	ระดับปริญญา	อักษรย่อ	สาขาวิชา	ชื่อสถาบันการศึกษา
2531	ปริญญาตรี	วท.บ	ฟิสิกส์	มหาวิทยาลัยรามคำแหง
2540	ปริญญาโท	วท.ม	ฟิสิกส์	สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี

สาขาที่มีความชำนาญเป็นพิเศษ

- 1. Mechanics เน้นการสร้างเครื่องมือทางกล
- 2. Applied Electronics

ผลงานวิจัยและงานตีพิมพ์ที่ได้รับการเผยแพร่

- 1. **สุพล สำราญ, พิเชษฐ ลิ้มสุวรรณ และขวัญ อารยะชนิตกุล** “การเกิดฮามอนิกที่สองโดยใช้นีโอดีเมียมเยกเลเซอร์” การประชุมวิชาการวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 23, 20-22 ตุลาคม 2540 ณ โรงแรมโลตัสปางสวนแก้ว จ.เชียงใหม่
- 2. **อภิชัย ศิวประภากร, สุพล สำราญ และปรเมษฐ์ บุญศรี** “อิทธิพลของกระแสไฟฟ้าตรงบนซับฟิล์ม (หรือสนามเวลา) ต่อการเพิ่มอัตราเร็วของปฏิกิริยารีดอกซ์” การประชุมวิชาการวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 30 19-21 ตุลาคม 2547 ณ ศูนย์แสดงสินค้าและการประชุมอิมแพ็ค เมืองทองธานี กรุงเทพมหานคร
- 3. **สุพล สำราญ, พิเชษฐ ลิ้มสุวรรณ และขวัญ อารยะชนิตกุล** “การเกิดฮามอนิกที่สองโดยใช้นีโอดีเมียมเยกเลเซอร์” การประชุมวิชาการวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 23, 20-22 ตุลาคม 2540 ณ โรงแรมโลตัส ปางสวนแก้ว จ.เชียงใหม่

4. อภิชัย ศิวประภากร, **สุพล ตำราญ** และปรเมษฐ์ บุญศรี “อิทธิพลของกระแสไฟฟ้าตรงบน ซับฟิลด์ (หรือสนามเวลา) ต่อการเพิ่มอัตราเร็วของปฏิกิริยารีดอกซ์” การประชุมวิชาการ วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 30, 19-21 ตุลาคม 2547 ณ ศูนย์แสดงสินค้าและการประชุมอิมแพ็ค เมืองทองธานี กรุงเทพมหานคร
5. อภิชัย ศิวประภากร, **สุพล ตำราญ** และปรเมษฐ์ บุญศรี “อิทธิพลของสนามเวลาแบบใหม่ (ซับฟิลด์แบบกลับทิศ) ต่อการเพิ่มอัตราเร็วของปฏิกิริยารีดอกซ์” การประชุมวิชาการ วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 31, 18-20 ตุลาคม 2548 ณ เทคโนโลยีธานี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี นครราชสีมา
6. อภิชัย ศิวประภากร, **สุพล ตำราญ** และปรเมษฐ์ บุญศรี “อิทธิพลของสนามเวลาแบบใหม่ แบบที่สอง(ซับฟิลด์แบบที่สองกลับทิศ)ต่อการเพิ่มอัตราเร็วของปฏิกิริยารีดอกซ์” การประชุมวิชาการวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 31, 18-20 ตุลาคม 2548 ณ เทคโนโลยีธานี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี นครราชสีมา
7. U. Tipparach*, T. Saipin, **S. Sumran** and S. Pukird, Growth and Structure of Carbon Fibers with a Carbon Nanotube Core, Siam Physics Congress 2006, March 23-25, 2006, The Tide Resort, Bangsaen Chonburi, Thailand
8. **สุพล ตำราญ** และฉวีวรรณ ชัยวัฒนา, การศึกษาเปรียบเทียบสภาพการนำความร้อนของอิฐดิน ซีเมนต์หลายแบบโดยใช้ระเบียบวิธีไฟไนต์อีเลเมนต์, การประชุมวิชาการวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 32 (วทท.32), 10-12 ตุลาคม 2549 ณ ศูนย์ประชุมแห่งชาติสิริกิติ์, กรุงเทพฯ.
9. Tanin Nutaro, **Supon Sumran**, Chaweewan Chaiwattana, David Ruffolo, Alejandro Saiz, Warin Sonsrettee, Manit Rujiwarodom, Paisan Tooprakai and Chakri Changchutoe, "Installation of the Princess Sirindhorn Neutron Monitor at a high cutoff rigidity in Thailand", The 4th Annual Meeting of the Asia Oceania Geosciences Society, Bangkok, 30 July 2007- 4 August 2007.
10. T. Nutaro, **S. Sumran**, C. Chaiwattana, D. Ruffolo, A. Sáiz, N. Kamyan, W. Sonsrettee, M. Rujiwarodom, P. Tooprakai, and C. Changchutoe, Initial Observations of Cosmic Rays by the Princess Sirindhorn Neutron Monitor at a High Cutoff Rigidity in Thailand: Part I (submitted to Siam Physics Congress and Thai National Astronomy Meeting, Nakorn Ratchasima, March, 2008)
11. T. Nutaro, **S. Sumran**, C. Chaiwattana, D. Ruffolo, A. Sáiz, N. Kamyan, W. Sonsrettee, M. Rujiwarodom (presenter), P. Tooprakai, and C. Changchutoe, Initial Observations of Cosmic Rays by the Princess Sirindhorn Neutron Monitor at a High Cutoff Rigidity in

- Thailand: Part II (submitted to Siam Physics Congress and Thai National Astronomy Meeting, Nakorn Ratchasima, March, 2008)
12. T. Nutaro, **S. Sumran**, C. Chaiwattana, D. Ruffolo, A. Sáiz, N. Kamyran, W. Sonsrettee, M. Rujiwarodom, P. Tooprakai, and C. Changchutoe, Initial Observations of Cosmic Rays by the Princess Sirindhorn Neutron Monitor at a High Cutoff Rigidity in Thailand (2nd Korea-Thailand Joint Workshop on Astronomy and Astrophysics, Seoul, Korea, February, 2008)
 13. D. Ruffolo, A. Sáiz, N. Kamyran, W. Sonsrettee, T. Nutaro, **S. Sumran**, C. Chaiwattana, M. Rujiwarodom, P. Tooprakai, and C. Changchutoe, Installation of the Princess Sirindhorn Neutron Monitor at a High Cutoff Rigidity in Thailand accepted for 33rd Congress on Science and Technology of Thailand, Nakorn Si Thammarat, October, 2007.
 14. Investigation of Nanomaterials Prepared by Thermal Evaporation of Carbon-ZnO mixtures, D. Polsongkram, P. Kasian, P. Limsuwan, U. Tipparach, **S. Samran**, L. Chow and S. Pukird, International Conference on Smart Materials Smart/Intelligent Materials and Nanotechnology and 2nd International Workshop on Functional Materials and Nanomaterials, 22-25 April 2008, Chiang Mai Thailand.
 15. Synthesis and Characterization of Nanostructured Materials Prepared from SiO₂ and GeO₂ Mixture by Carbon Assisted Method, P. Chamninok, P. Kasian, P. Limsuwan, U. Tipparach, **S. Samran**, L. Chow and S. Pukird, International Conference on Smart Materials Smart/Intelligent Materials and Nanotechnology and 2nd International Workshop on Functional Materials and Nanomaterials, 22-25 April 2008, Chiang Mai Thailand
-