

บทสรุปผู้บริหาร

โครงการวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อ ดำเนินการสังเคราะห์ วัสดุโครงสร้างนาโนของซิงค์และซิงค์ออกไซด์โดยการกระตุ้นด้วยถ่านกะลามะพร้าว เนื่องจากองค์ประกอบส่วนใหญ่ของถ่านกะลามะพร้าว จะประกอบไปด้วยคาร์บอน(C) มากกว่า 70 % และสารที่เป็นออกไซด์ของโลหะและกึ่งโลหะเช่น โพแทสเซียม(K) และ ซิลิกอน (Si) อีกประมาณ 20-30 % เราทำการแช่ถ่านกะลามะพร้าวในสารละลายกรด HCl เพื่อลดจำนวนโลหะออกไซด์ แล้วนำถ่านที่ผ่านการล้างด้วยน้ำกลั่นกรองให้แห้งแล้วนำไปวิเคราะห์องค์ประกอบด้วยเครื่อง Energy Dispersive X-Ray (EDX) ทำให้เราทราบว่าในถ่านกะลามะพร้าวยังมีสิ่งเจือปนอะไรอยู่บ้าง ที่อาจมีผลต่อการสังเคราะห์โครงสร้างนาโน หลังจากนั้น จึงเริ่มดำเนินการทดลองสังเคราะห์วัสดุโครงสร้างนาโน โดยการผสมโลหะซิงค์ ผงซิงค์ออกไซด์และผงถ่านกะลามะพร้าว ด้วยอัตราส่วนต่างๆกัน นำไปเผาในเตาท่อควอทซ์ ที่อุณหภูมิ เวลาและบรรยากาศต่างๆกัน ผลการทดลองพบว่าเกิดการสังเคราะห์วัสดุโครงสร้างนาโนหลายรูปแบบ เมื่อเปรียบเทียบกับรายงานการวิจัยที่ได้อ้างอิงในท้ายเอกสาร รูปแบบของวัสดุโครงสร้างนาโนที่สังเคราะห์ได้ มีลักษณะรูปร่างเชิงกายภาพ(morphology) คล้ายคลึงกัน โดยเฉพาะจากการเตรียมวัสดุและเผาในบรรยากาศของก๊าซไนโตรเจน จะมีการสังเคราะห์วัสดุโครงสร้างนาโน เช่น nanotetrapods, nanofibers, nanowires, nanobelts, และ nanoparticles เกิดขึ้น และจากการเตรียมวัสดุตัวอย่างโดยการผสมแกรไฟท์บริสุทธิ์เปรียบเทียบกับถ่านกะลามะพร้าว เผาในบรรยากาศของก๊าซออกซิเจน จะมีการสังเคราะห์วัสดุโครงสร้างนาโน เช่น nanorods, nanowires, และ nanoparticles เกิดขึ้น จากผลการทดลองดังกล่าวเราสามารถสรุปได้ว่าการสังเคราะห์วัสดุโครงสร้างนาโนของซิงค์ ซิงค์ออกไซด์ สามารถเตรียมได้จากการกระตุ้นด้วยถ่านกะลามะพร้าว

การดำเนินงานวิจัยทางด้านโครงสร้างนาโนและการประยุกต์ใช้ ยังเป็นศาสตร์การวิจัยที่ค่อนข้างใหม่สำหรับนักวิจัยในประเทศไทย ทฤษฎีที่นำมาใช้อธิบายปรากฏการณ์ต่างๆ ค่อนข้างซับซ้อนยุ่งยากและลึกซึ้งมาก จึงเป็นการยากมากที่ผู้วิจัยจะสามารถนำทฤษฎีมาใช้อธิบายผลการวิจัยที่ปรากฏในระยะเวลาอันจำกัด แต่อย่างไรก็ตามการสังเคราะห์วัสดุโครงสร้างนาโนที่ได้จากการดำเนินการวิจัยในครั้งนี้ มีคุณค่าอย่างยิ่งต่อผู้วิจัย ทั้งนี้เนื่องจาก จากการศึกษารายงานบทความการวิจัยที่มีการนำเสนอในวารสารวิชาการ ยังไม่พบว่ามี การสังเคราะห์โครงสร้างนาโนของวัสดุโดยใช้ถ่านกะลามะพร้าวเป็นตัวกระตุ้น ดังนั้นการดำเนินงานในครั้งนี้จะใช้เป็นแนวทางในการศึกษาและพัฒนางานที่เกี่ยวข้อง เพื่อให้เกิดคุณค่าทางวิชาการและงานวิจัยต่อไป

กิตติกรรมประกาศ

โครงการวิจัยเรื่อง การสังเคราะห์โครงสร้างนาโนของซิงค์และซิงค์ออกไซด์โดยการกระตุ้นด้วยถ่านกะลามะพร้าวได้รับการสนับสนุนงบประมาณแผ่นดิน จากสำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ สำนักงานปรมาณ และมหาวิทยาลัยอุบลราชธานี คณะผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณสำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ สำนักงานปรมาณแผ่นดิน และมหาวิทยาลัยอุบลราชธานี ที่ได้สนับสนุนงบประมาณในการดำเนินงานวิจัยในโอกาสนี้ และขอขอบคุณภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ ที่ได้ให้การสนับสนุนอุปกรณ์และเครื่องมือซึ่งใช้ในการดำเนินงานวิจัยครั้งนี้

ศุภกร ภู่เกิด

พิเชษฐ ลีมสุวรรณ

อุดม ทิพรราช

สุพล สำราญ

บทคัดย่อ

ในงานวิจัยนี้ เราทำการสังเคราะห์โครงสร้างนาโนของซิงค์และซิงค์นาโนโดยการกระตุ้นด้วย
ถ่านกะลามะพร้าว ด้วยการเตรียมโลหะซิงค์ และซิงค์ออกไซด์ ผสมถ่านกะลามะพร้าวหรือ
แกรไฟท์ ในอัตราส่วนต่างๆ วางไว้ในถ้วยอลูมินา(alumina boat) และนำฐานรองแผ่นซิลิกอน
(silicon wafer) วางไว้ที่บริเวณต่างๆภายในถ้วยอลูมินา จากนั้นนำถ้วยอลูมินาไปใส่ในท่อควอทซ์
ของเตาเผาในบรรยากาศ อุณหภูมิและเวลาต่างๆ กัน หลังจากอุณหภูมิถึงกำหนดที่ต้องการ ปิด
สวิตช์ปล่อยให้เตาเย็นลงตามธรรมชาติจนถึงอุณหภูมิห้อง นำวัสดุตัวอย่างและฐานรองแผ่น
ซิลิกอนไปวิเคราะห์ตรวจสอบด้วยเครื่อง stereo microscope, scanning electron microscope
(SEM), transmission electron microscope (TEM), X-rays fluorescence (XRF), และ X-rays
diffraction (XRD) ตามความเหมาะสม ผลการวิเคราะห์ แสดงให้เห็นว่าเกิดการสังเคราะห์ของวัสดุ
โครงสร้างนาโน โดยเฉพาะวัสดุตัวอย่างที่เตรียมจากการนำซิงค์และซิงค์ออกไซด์ ผสม
กะลามะพร้าวหรือแกรไฟท์ ที่เผาในบรรยากาศของก๊าซไนโตรเจน ที่อุณหภูมิ 1,200 องศา
เซลเซียส เป็นเวลา 3 ชั่วโมง จะพบโครงสร้าง nanofibers, nanowires, nanorods และ nanoparticles
เกิดขึ้น

Abstract

In this research, we synthesized Zn and ZnO nanostructures by coconut shell charcoal assisted. The materials source will be prepared by mixture Zn, ZnO and coconut shell charcoal or graphite with various ratios. 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 studied 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 Zn, ZnO and coconut shell charcoal heated at temperature of 1,200 Celsius for 3 hours in atmosphere of nitrogen. Nanofibers, nanowires, nanorods and nanoparticle structured will be observed.

สารบัญเรื่อง

หน้า

บทสรุปผู้บริหาร	ก
กิตติกรรมประกาศ	ข
บทคัดย่อภาษาไทย	ค
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	ง
สารบัญตาราง	ฉ
สารบัญภาพ	ช
1. บทนำ	1
1.1 ความสำคัญและที่มาของปัญหา	1
1.2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	3
1.3 วัตถุประสงค์และขอบเขตการวิจัย	6
2. วิธีดำเนินการวิจัย	8
3. ผลการวิจัยและการอภิปรายผล	10
4. สรุปผลการวิจัย	75
บรรณานุกรม	77
ภาคผนวก	80
ประวัตินักวิจัย	87

สารบัญตาราง

	หน้า
ตารางที่ 3.1 แสดงการเตรียมตัวอย่างงานวิจัยที่สภาวะเงื่อนไขต่างๆ	12
ตารางที่ 3.2 แสดงปริมาณของธาตุองค์ประกอบของโครงสร้างในรูปที่ 3.40	47
ตารางที่ 3.3 แสดงปริมาณของธาตุองค์ประกอบของโครงสร้างในรูปที่ 3.41	48
ตารางที่ 3.4 แสดงปริมาณของธาตุองค์ประกอบของโครงสร้างในรูปที่ 3.42	48
ตารางที่ 3.5 แสดงปริมาณของธาตุองค์ประกอบของโครงสร้างในรูปที่ 3.43	49
ตารางที่ 3.6 แสดงปริมาณของธาตุองค์ประกอบของโครงสร้างในรูปที่ 3.44	49
ตารางที่ 3.7 แสดงปริมาณของธาตุองค์ประกอบของโครงสร้างในรูปที่ 3.45	50
ตารางที่ 3.8 แสดงปริมาณของธาตุองค์ประกอบของโครงสร้างในรูปที่ 3.46	51
ตารางที่ 3.9 แสดงองค์ประกอบของโครงสร้างคล้าย nanowires บริเวณจุดเริ่มต้น	56
ตารางที่ 3.10 แสดงองค์ประกอบของโครงสร้างคล้าย nanowires บริเวณจุดเริ่มต้น	57
ตารางที่ 3.11 แสดงองค์ประกอบของโครงสร้างคล้าย nanowires บริเวณส่วนปลาย	58
ตารางที่ 3.12 แสดงองค์ประกอบของโครงสร้างคล้ายกระดูก nanobers	59
ตารางที่ 3.13 แสดงองค์ประกอบของโครงสร้างคล้ายกระดูก nanowires	60
ตารางที่ 3.14 แสดงองค์ประกอบของโครงสร้างคล้าย nanopaticles	63
ตารางที่ 3.15 แสดงองค์ประกอบของโครงสร้างคล้ายกระดูก nanowires	64
ตารางที่ 3.16 แสดงองค์ประกอบของโครงสร้างคล้าย nanowires จากรูปที่ 3.66	65
ตารางที่ 3.17 แสดงองค์ประกอบของโครงสร้างคล้าย nanofibers จากรูปที่ 3.66	66
ตารางที่ 3.18 แสดงองค์ประกอบโครงสร้างของถ่านกระถินยักษ์	69
ตารางที่ 3.19 แสดงองค์ประกอบโครงสร้างของถ่านไมยราบยักษ์	69
ตารางที่ 3.20 แสดงองค์ประกอบโครงสร้างของถ่านผักตบชวา	70
ตารางที่ 3.21 แสดงองค์ประกอบโครงสร้างของถ่านกะลามะพร้าว	70
ตารางที่ 3.22 แสดงองค์ประกอบโครงสร้างคล้าย nanobelts ของรูปที่ 3.76	71
ตารางที่ 3.23 แสดงองค์ประกอบโครงสร้างคล้าย nanowires ของรูปที่ 3.77	72
ตารางที่ 3.24 แสดงองค์ประกอบโครงสร้างคล้าย nanotubes ของรูปที่ 3.78	73
ตารางที่ 3.25 แสดงองค์ประกอบโครงสร้างคล้าย nanowires ของรูปที่ 3.79	74

สารบัญภาพ

	หน้า
รูปที่ 1.1 แสดงโครงสร้างแบบเฮกซะโกนอลของ ZnO	2
รูปที่ 3.1 (a) ภาพแสดงชุดอุปกรณ์ดำเนินการวิจัย (b) แสดงตำแหน่งวัสดุตั้งต้น และฐานรองแผ่นซิลิกอน	10
รูป 3.2 ชุดทดลองเตาท่อเผาสารสุญญากาศความดันประมาณ 10^{-2} - 10^{-3} mbar	11
รูปที่ 3.3 ภาพ image analyzer ของโลหะซิงค์เผาที่อุณหภูมิ 1,200 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 ชั่วโมง ในบรรยากาศของก๊าซไนโตรเจนที่ไหลเข้าสู่เตาท่อ ด้วยอัตราการไหล 1 L/min	14
รูปที่ 3.4 ภาพ image analyzer (a) แสดงพื้นผิวของวัสดุตัวอย่าง (b) และ (c) พื้นผิวของฐาน รองแผ่นซิลิกอน	15
รูปที่ 3.5 (a-b) ภาพ SEM ของวัสดุที่เตรียมจากตัวอย่างที่ 2, (c) เส้นกราฟ EDX ที่แสดง ธาตุองค์ประกอบของโครงสร้าง (b), (d) ผลึกภัณฑ์บนแผ่นซิลิกอนแผ่นแรก และ (e) บน แผ่นที่สอง	16
รูปที่ 3.6 ภาพ TEM ของผลึกภัณฑ์ที่เกิดการสังเคราะห์บนแผ่นฐานรองซิลิกอน จากการเตรียมตัวอย่างที่ 2	17
รูปที่ 3.7 ภาพ image analyzer ของวัสดุตั้งต้นที่เตรียมจากตัวอย่างที่ 3	18
รูปที่ 3.8 ภาพ image analyzer ของฐานรองแผ่นซิลิกอน (a)วางชิดวัสดุตั้งต้น, (b) วางถัดจากแผ่นแรกออกไป ที่เตรียมจากตัวอย่างที่ 3	18
รูปที่ 3.9 ภาพ SEM และ EDX ของฐานรองแผ่นซิลิกอนที่วางชิดวัสดุตั้งต้นจากการเตรียม ตัวอย่างที่ 3	19
รูปที่ 3.10 ภาพ SEM และ EDX ฐานรองแผ่นซิลิกอนที่วางถัดจากแผ่นแรกจากการเตรียม ตัวอย่างที่ 3	20
รูปที่ 3.11 ภาพ TEM ของผลึกภัณฑ์บนแผ่นซิลิกอนจากภาพที่ 3.9(a)ของการเตรียม ตัวอย่างที่ 3	21
รูปที่ 3.12 ภาพ TEM ของผลึกภัณฑ์บนแผ่นซิลิกอนจากภาพที่ 3.10(a) ของการเตรียม ตัวอย่างที่ 3	22
รูปที่ 3.13 ภาพจากกล้อง stereo microscope ของวัสดุตั้งต้นที่ได้จากการเตรียมตัวอย่างที่ 4	23
รูปที่ 3.14 ภาพ SEM และ EDX ของวัสดุตั้งต้นที่เตรียมจากตัวอย่างที่ 4	23
รูปที่ 3.15 ภาพผลึกภัณฑ์บนแผ่นซิลิกอน (a) วางชิดวัสดุตั้งต้น และ(b) ภาพขยายของ (a)จากการเตรียมตัวอย่างที่ 4	24

รูปที่ 3.16 ภาพ SEM และ EDX ของผลิตภัณฑ์ที่เกิดบนแผ่นซิลิกอนที่วางวัสดุตั้งต้นจากการเตรียมตัวอย่างที่ 4	25
รูปที่ 3.18 ภาพ TEM ของวัสดุตั้งต้นที่เตรียมจากตัวอย่างที่ 4 เผาที่อุณหภูมิ 1,200 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 ชั่วโมงในบรรยากาศของก๊าซไนโตรเจน	28
รูปที่ 3.19 ภาพ TEM ของผลิตภัณฑ์บนฐานรองแผ่นซิลิกอนที่สุ่มบางบริเวณจากการเตรียมตัวอย่างที่ 4	28
รูปที่ 3.20 ภาพ SEM ของตัวอย่างที่ 5 เผาที่อุณหภูมิ 1,200 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 ชั่วโมง ในบรรยากาศของอากาศที่ไหลผ่านน้ำ	29
รูปที่ 3.21 ภาพ SEM แสดงพื้นผิวของฐานรองแผ่นซิลิกอน(a)วางด้านบนสารตั้งต้น (b)วางถัดจากวัสดุตั้งต้นของตัวอย่างที่ 6	30
รูปที่ 3.22 ภาพ SEM ของตัวอย่างที่ 6 เผาที่อุณหภูมิ 1,200 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 ชั่วโมง ในบรรยากาศของก๊าซออกซิเจน ด้วยอัตราการไหลของอากาศ 1 L/min	31
รูปที่ 3.23 ภาพ SEM ของฐานรองแผ่นซิลิกอนที่ 1 วางด้านบนวัสดุตั้งต้นตัวอย่างที่ 6	31
รูปที่ 3.24 ภาพ SEM ของฐานรองแผ่นซิลิกอนที่วางถัดจากตัวอย่างที่ 6	32
รูปที่ 3.25 ภาพพื้นผิวฐานรองแผ่นซิลิกอนแผ่นที่ 1 ซึ่งวางด้านบนวัสดุตั้งต้นของการเตรียมตัวอย่างที่ 7	32
รูปที่ 3.26 ภาพพื้นผิวของฐานรองแผ่นซิลิกอนแผ่นที่ 2 ที่วางถัดจากแผ่นแรกของการเตรียม ตัวอย่างที่ 7	33
รูปที่ 3.27 ภาพพื้นผิวของฐานรองแผ่นซิลิกอนแผ่นที่ 3 ที่วางถัดจากแผ่นแรกของการเตรียมตัวอย่างที่ 7	33
รูปที่ 3.28 ภาพ SEM ของวัสดุตั้งต้นที่เตรียมจากตัวอย่างที่ 7 เผาที่อุณหภูมิ 1,200 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 ชั่วโมง ในบรรยากาศของไนโตรเจน ด้วยอัตราการไหลของอากาศ 1 L/min	34
รูปที่ 3.29 ภาพ SEM ของฐานรองแผ่นซิลิกอนแผ่นที่ 1 ของตัวอย่างที่ 7	35
รูปที่ 3.30 ภาพ SEM และ EDX ของฐานรองแผ่นซิลิกอนแผ่นที่ 2 ซึ่งวางถัดจากแผ่นแรกของการเตรียมตัวอย่างที่ 7	36
รูปที่ 3.31 ภาพ TEM ของวัสดุตั้งต้นที่ได้จากการเตรียมตัวอย่างที่ 7	38
รูปที่ 3.32 ภาพ TEM ของผลิตภัณฑ์บนฐานรองแผ่นซิลิกอนแผ่นที่ 2 ที่เตรียมจากตัวอย่างที่ 7	40
รูปที่ 3.33 ภาพพื้นผิว (a) วัสดุตั้งต้น, (b) ฐานรองแผ่นซิลิกอนแผ่นที่ 1, (c) ฐานรองแผ่นซิลิกอนแผ่นที่ 2	40
รูปที่ 3.34 ภาพ SEM แสดงพื้นผิวของวัสดุตั้งต้นของตัวอย่างที่ 8	41

รูปที่ 3.35 ภาพ SEM และ EDX บริเวณต่างๆ ของฐานรองแผ่นซิลิกอนแผ่นที่ 1 จากการเตรียมตัวอย่างที่ 8	43
รูปที่ 3.36 ภาพ SEM และ EDX บริเวณต่างๆ ของฐานรองแผ่นซิลิกอนแผ่นที่ 2 จากการเตรียมตัวอย่างที่ 8	44
รูปที่ 3.37 ภาพ TEM ของวัสดุตั้งต้นที่เตรียมจากตัวอย่างที่ 8	45
รูปที่ 3.38 ภาพจากกล้อง stereo microscope (a) โลหะซิงค์หลังการเผา (b) ขยายภาพจาก (a), ฐานรอง(c) แผ่นที่ 1 วางด้านบนตัวอย่าง, (d) แผ่นที่ 2 วางใกล้ตัวอย่าง, (e)แผ่นที่ 3 วางไกล ตัวอย่าง, (f) ขยายภาพ (e) ของตัวอย่างที่ 9	46
รูปที่ 3.39 ภาพ SEM แสดงพื้นผิวของผลิตภัณฑ์ของรูปที่ 3.39 (a)-(b)	46
รูปที่ 3.40 ภาพ SEM ของวัสดุตั้งต้นที่เตรียมจากตัวอย่างที่ 9	47
รูปที่ 3.41 ภาพ SEM ของวัสดุตั้งต้นที่เตรียมจากตัวอย่างที่ 9 บริเวณที่อยู่ทางด้านซ้ายมือของรูปที่ 3.40	47
รูปที่ 3.42 ภาพ SEM ของฐานรองแผ่นซิลิกอนแผ่นที่ 1 ที่เตรียมจากตัวอย่างที่ 9	48
รูปที่ 3.43 ภาพ SEM ของฐานรองแผ่นซิลิกอนแผ่นที่ 1อีกบริเวณ ที่เตรียมจากตัวอย่างที่ 9	49
รูปที่ 3.44 ภาพ SEM ของฐานรองแผ่นซิลิกอนแผ่นที่ 1 ขยายเพิ่มขึ้น ที่เตรียมจากตัวอย่างที่ 9	49
รูปที่ 3.45 ภาพ SEM ของฐานรองแผ่นซิลิกอนแผ่นที่ 2 ที่เตรียมจากตัวอย่างที่ 9	50
รูปที่ 3.46 กราฟ EDX ของฐานรองแผ่นซิลิกอนแผ่นที่ 2 ที่เตรียมจากตัวอย่างที่ 9	50
รูปที่ 3.47 ภาพ SEM ของฐานรองแผ่นซิลิกอนแผ่นที่ 3 ที่เตรียมจากตัวอย่างที่ 9	51
รูปที่ 3.48 ฐานรองแผ่นซิลิกอน (a) วางขีดสารตั้งต้น, (b)วางถัดจากแผ่นแรก จากการเตรียมตัวอย่างที่ 10	52
รูปที่ 3.49 ภาพ SEM ของฐานรองแผ่นซิลิกอน (a) วางขีดสารตั้งต้น, (b)วางถัดจากแผ่นแรก จากการเตรียมตัวอย่างที่ 10	52
รูปที่ 3.50 ฐานรองแผ่นซิลิกอนแผ่นที่ 1 ซึ่งวางขีดสารตั้งต้นจากการเตรียมตัวอย่างที่ 11	53
รูปที่ 3.51 ฐานรองแผ่นซิลิกอนแผ่นที่ 2 ซึ่งวางจากแผ่นที่ 1 จากการเตรียมตัวอย่างที่ 11	53
รูปที่ 3.52 ภาพ SEM ของวัสดุสารตั้งต้น จากการเตรียมตัวอย่างที่ 11	54
รูปที่ 3.53 ภาพ SEM และกราฟ EDX ของผลิตภัณฑ์บนฐานรองแผ่นซิลิกอนที่ 1 จากการเตรียมตัวอย่างที่ 11	55
รูปที่ 3.54 ภาพ SEM และกราฟ EDX ของผลิตภัณฑ์บนฐานรองแผ่นซิลิกอนที่ 2 จากการเตรียมตัวอย่างที่ 11	56
รูปที่ 3.55 ภาพ SEM และกราฟ EDX ของวัสดุตั้งต้นจากการเตรียมตัวอย่างที่ 11	56
รูปที่ 3.56 ภาพ SEM และกราฟ EDX ของวัสดุตั้งต้นบริเวณที่ 2 จากการเตรียมตัวอย่างที่ 11	57

รูปที่ 3.57 กราฟ EDX ของวัสดุตั้งต้นตำแหน่งบริเวณลูกศรชี้ส่วนปลายของโครงสร้างคล้าย nanowire จากการเตรียมตัวอย่างที่ 11	58
รูปที่ 3.58 ภาพ SEM และกราฟ EDX ของผลิตภัณฑ์บนฐานรองแผ่นซิลิกอนที่ 1 จากการเตรียมตัวอย่างที่ 11	58
รูปที่ 3.59 กราฟ EDX ของโครงสร้างคล้ายกระดูก nanofibers จากการเตรียมตัวอย่างที่ 11	59
รูปที่ 3.60 กราฟ EDX ของโครงสร้างคล้ายกระดูก nanowire จากการเตรียมตัวอย่างที่ 11	59
รูปที่ 3.61 (a-g) ภาพ TEM ของวัสดุตั้งต้น ตัวอย่างที่ เผาที่อุณหภูมิ 1,200 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 ชั่วโมงในบรรยากาศของก๊าซไนโตรเจน	61
รูปที่ 3.62 (a-e) ภาพ TEM ของฐานรองแผ่นซิลิกอนแผ่นที่ 1 ของวัสดุตัวอย่างที่ 11 เผาที่อุณหภูมิ 1,200 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 ชั่วโมงในบรรยากาศของก๊าซไนโตรเจน	62
รูปที่ 3.63 ภาพ SEM ของวัสดุตั้งต้นที่เตรียมได้จากตัวอย่างที่ 12	63
รูปที่ 3.64 ภาพ SEM และกราฟ EDX ของฐานรองแผ่นซิลิกอนแผ่นที่ 1 จากการเตรียมตัวอย่างที่ 12	63
รูปที่ 3.65 กราฟ EDX ของโครงสร้างคล้าย nanowires จากการเตรียมตัวอย่างที่ 12	64
รูปที่ 3.66 ภาพ SEM แสดงโครงสร้างคล้าย nanowires และ nanofibers ของผลิตภัณฑ์บนฐานรองแผ่นที่ 2 ของตัวอย่างที่ 12	65
รูปที่ 3.67 กราฟ EDX ของโครงสร้างคล้าย nanowire จากรูปที่ 3.66	65
รูปที่ 3.68 แสดงกราฟ EDX ของโครงสร้างคล้าย nanofiber จากรูปที่ 3.66	66
รูปที่ 3.69 ภาพ SEM ของวัสดุตั้งต้น (a-b) และผลิตภัณฑ์บนฐานรองแผ่นซิลิกอน ของตัวอย่างที่ 13	67
รูปที่ 3.70 ภาพ SEM ของวัสดุตั้งต้นที่ผสมแกรไฟท์	68
รูปที่ 3.71 ภาพ SEM ของวัสดุที่เผาในท่อสุญญากาศ	68
รูปที่ 3.72 ภาพ SEM และ EDX แสดงพื้นผิวและโครงสร้างของถ่านกระถินยักษ์	69
รูปที่ 3.73 ภาพ SEM และ EDX แสดงพื้นผิวและโครงสร้างของถ่านไมยราบยักษ์	69
รูปที่ 3.74 ภาพ SEM และ EDX แสดงพื้นผิวและโครงสร้างของถ่านผักตบชวา	70
รูปที่ 3.75 ภาพ SEM และกราฟ EDX ของโครงสร้างถ่านกะลามะพร้าว	70
รูปที่ 3.76 ภาพ SEM และกราฟ EDX ของโครงสร้างของวัสดุลาย nanobelts ของตัวอย่างที่ 14	71
รูปที่ 3.77 ภาพ SEM และกราฟ EDX ของโครงสร้างของวัสดุลาย nanowires ของตัวอย่างที่ 15	72
รูปที่ 3.78 ภาพ SEM และกราฟ EDX ของโครงสร้างของวัสดุลาย nanotubes ของฐานรองแผ่นซิลิกอนแผ่นที่ 1 จากการเตรียมตัวอย่างที่ 16	73

รูปที่ 3.79 ภาพ SEM และกราฟ EDX ของโครงสร้างของวัสดุคล้าย nanowires ของ
ฐานรองแผ่นซิลิกอนแผ่นที่ 2 จากการเตรียมตัวอย่างที่ 17

74