บทที่ 4

ผลการทดลอง

ในการทดลองใช้วิธีสังเคราะห์เส้นใยนาโนซิงก์ออกไซด์อยู่สองวิธี 2 วิธี คือ การตกสะสมด้วยการเผาด้วยกระแสไฟฟ้าและการระเหิดโดยวิธีคาร์โบเทอร์มอล ซึ่งทั้งสองวิธีนี้ได้ใช้อัตราส่วนระหว่างแกรไฟต์และซิงก์ออกไซด์ในอัตราส่วนที่เท่ากัน คือ แกรไฟต์ 60% โดยน้ำหนักสารทั้งหมด และ ซิงก์ออกไซด์ 40% ของน้ำหนักสารทั้งหมด การทดลองจะได้ทำการเปรียบเทียบระหว่างวิธีทั้งสองถึงเงื่อนไขที่เหมาะสมที่สุดที่จะให้เส้นใยนาโนซิงก์ออกไซด์ที่ได้มีลักษณะตั้งตรงและเรียงตัวกันอย่างเป็นระเบียบมากที่สุด

ในการวิเคราะห์ผลการทดลองนั้น มีการศึกษาลักษณะเฉพาะของเส้นใยนาโนซิงก์ออกไซด์โดยใช้กล้องอิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning electron microscope, SEM) เพื่อศึกษาขนาดและรูปร่างของเส้นใยนาโนที่สังเคราะห์ได้ การวิเคราะห์การกระจายพลังงานของสาร (Energy dispersive spectroscopy) เพื่อวิเคราะห์ธาตุที่เป็นองค์ประกอบของเส้นใยนาโนที่สังเคราะห์ได้ การวิเคราะห์การเปล่งแสงของสาร (Ionoluminescence) เพื่อศึกษาการเปล่งแสงของเส้นใยนาโนที่ได้เมื่อมีการกระตุ้นด้วยไอออนพลังงานต่ำ การวิเคราะห์ด้วยเทคนิค XRD เพื่อวิเคราะห์หาธาตุองค์ประกอบและโครงสร้างของผลึก โดยผลของการทดลองที่ได้มีดังต่อไปนี้

4.1 ผลที่ได้จากการสังเคราะห์เส้นใยนาโนซิงก์ออกไซด์ด้วยวิธีตกสะสมด้วยการเผาด้วยกระแสไฟฟ้า

4.1.1 การทดลองเปรียบเทียบผลเนื่องจากความบริสุทธิ์ของสาร

เตรียมแท่งสารตามขั้นตอน 3.1.1(3) จากนั้นนำแท่งสารที่ได้ไปอบเพื่อไล่ความชื้นที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1.30 ชั่วโมง แล้วทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้องอีก 1 วัน การตกสะสมด้วยการเผาด้วยกระแสไฟฟ้าทำภายใต้บรรยากาศของอาร์กอนที่มีอัตราไหลของอาร์กอนเท่ากับ 2 ลิตรต่อนาที แท่งสารตั้งต้นวางห่างจากแผ่นรองรับ (ไม่ได้เคลือบทอง) เป็นระยะ 3 มิลลิเมตร และอัตราการเพิ่มของกำลังไฟฟ้าเป็นไปตามตารางที่ 4.1 อุณหภูมิที่ใช้ในการสังเคราะห์ประมาณ 800 องศาเซลเซียส สิ่งที่เปลี่ยนแปลงในการทดลองชุดที่หนึ่งก็คือ ความบริสุทธิ์ของสาร

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

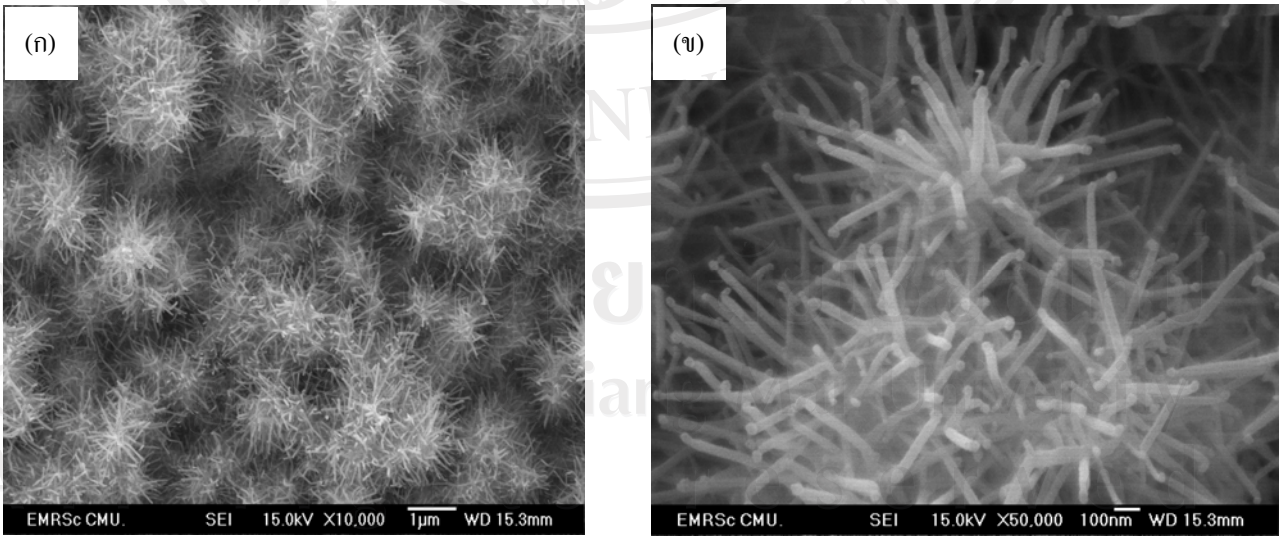
ตารางที่ 4.1 แสดงอัตราการให้กำลังกระแสไฟฟ้า

กำลังไฟฟ้า (วัตต์)	เวลา (นาที)	กำลังไฟฟ้า (วัตต์)	เวลา (นาที)
5	15	80	2
10	15	90	2
15	15	100	2
20	15	120	2
25	5	140	2
30	5	160	2
35	5	180	2
40	5	200	2
50	2	220	5
60	2	240	5
70	2		

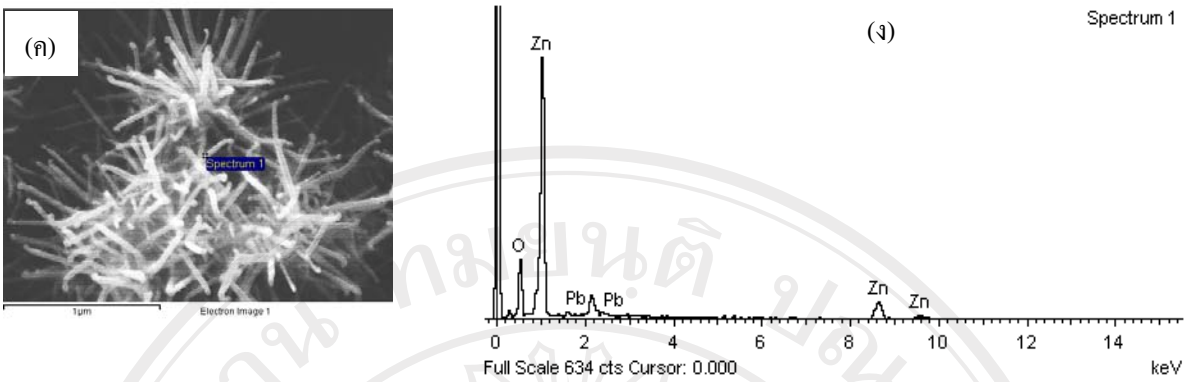
ผลการทดลองที่ได้มีดังต่อไปนี้

1) ลักษณะเฉพาะของเส้นใยนาโนซิงก์ออกไซด์ เมื่อใช้แกรไฟต์บริสุทธิ์ผสมกับซิงก์ออกไซด์สีเกรดอุตสาหกรรม ในอัตราส่วน 60:40%wt น้ำหนักรวมของสารทั้งหมดมีค่าเท่ากับ 4 กรัม

เมื่อนำสารผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการสังเคราะห์ไปวิเคราะห์หาลักษณะและสเปกตรัมองค์ประกอบธาตุด้วยเทคนิค SEM และ EDS ผลที่ได้เป็นดังรูป 4.1



รูปที่ 4.1 แสดงภาพถ่าย SEM ของเส้นใยนาโนที่สังเคราะห์ได้ที่กำลังขยาย (ก) 10,000 เท่า และ (ข) 50,000 เท่า



รูปที่ 4.1 (ค) และ (ง) แสดงจุดที่ใช้วิเคราะห์องค์ประกอบธาตุ และกราฟวิเคราะห์องค์ประกอบธาตุของเส้นใยนาโนที่สังเคราะห์ได้ ตามลำดับ

ตารางที่ 4.2 แสดงปริมาณธาตุองค์ประกอบของเส้นใยนาโนในรูปที่ 4.1 (ค)

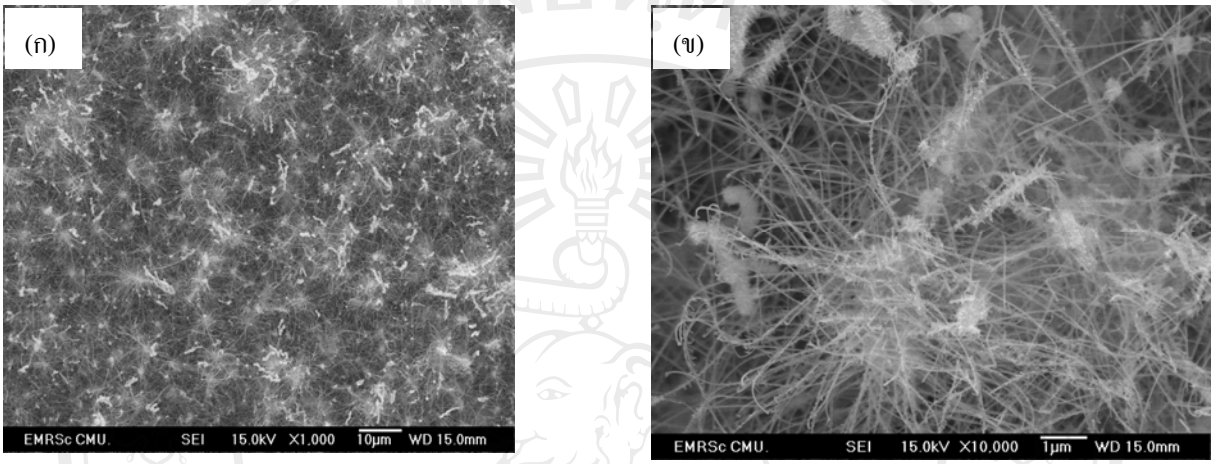
Element	Weight%	Atomic%
O K	22.84	55.29
Zn K	74.68	44.24
Pb M	2.48	0.46
Totals	100.00	

จากรูปที่ 4.1 (ก) และ (ข) พบว่าผลิตภัณฑ์ที่สังเคราะห์ได้มีลักษณะเป็นแท่งที่มีขนาดของเส้นผ่าศูนย์กลางอยู่ในช่วงประมาณ 26-55 นาโนเมตร (รูปที่ 1 ในภาคผนวก ก) โดยมีค่าเฉลี่ยของเส้นผ่าศูนย์กลางเท่ากับ 39 นาโนเมตร และมีส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 5.39 นาโนเมตร ในการวิเคราะห์แท่งนาโนด้วยเทคนิค EDS พบองค์ประกอบหลักของผลิตภัณฑ์ที่สังเคราะห์ได้คือ ออกซิเจน และสังกะสี โดย ดังตารางที่ 4.2

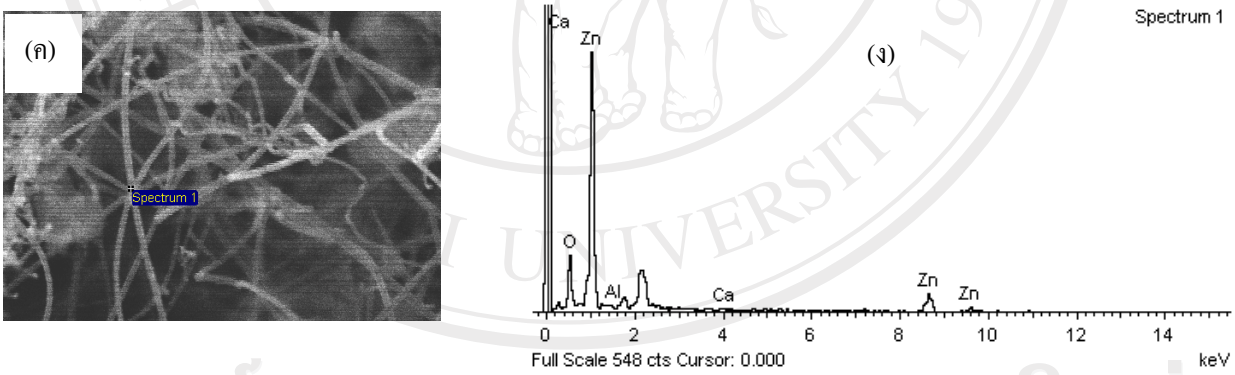
ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

2) ลักษณะเฉพาะของเส้นใยนาโนซิงก์ออกไซด์ เมื่อใช้แกรไฟต์เกรดอุตสาหกรรมผสมกับซิงก์ออกไซด์บริสุทธิ์ ในอัตราส่วน 60:40%wt น้ำหนักรวมของสารทั้งหมดมีค่าเท่ากับ 4 กรัม

เมื่อนำสารผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการสังเคราะห์ไปวิเคราะห์หาลักษณะและสเปกตรัมองค์ประกอบธาตุด้วยเทคนิค SEM และ EDS ผลที่ได้เป็นดังรูป 4.2



รูปที่ 4.2 แสดงภาพถ่าย SEM ของเส้นใยนาโนที่สังเคราะห์ได้ที่กำลังขยาย (ก) 1,000 เท่า และ (ข) 10,000 เท่า



รูปที่ 4.2 (ค) และ (ง) แสดงจุดที่ใช้วิเคราะห์องค์ประกอบธาตุ และกราฟวิเคราะห์องค์ประกอบธาตุของเส้นใยนาโนที่สังเคราะห์ได้ ตามลำดับ

ตารางที่ 4.3 แสดงปริมาณธาตุองค์ประกอบของเส้นใยนาโนในรูปที่ 4.2 (ค)

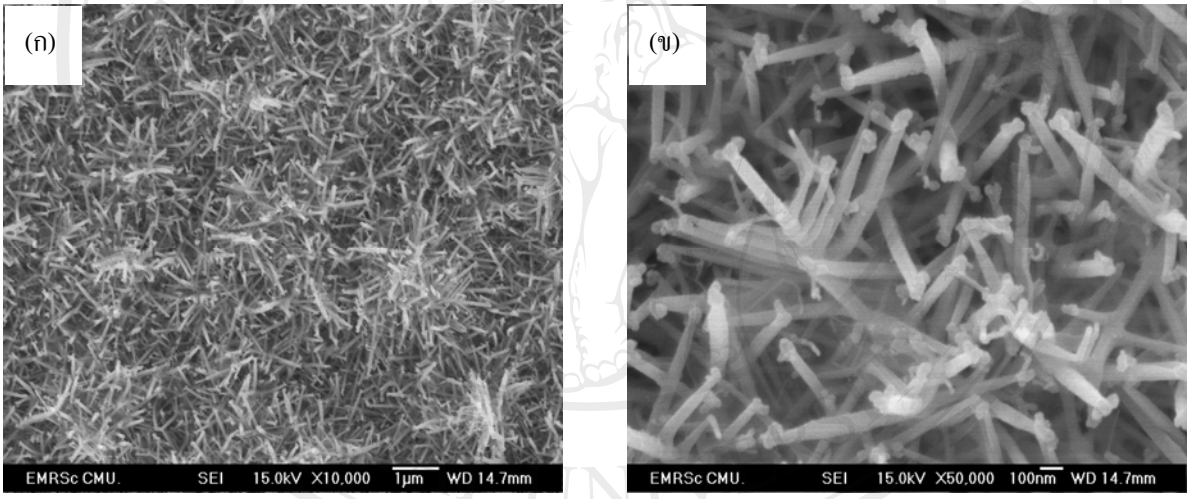
Element	Weight%	Atomic%
O K	21.27	52.17
Zn K	77.72	46.66
Totals	100.00	

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

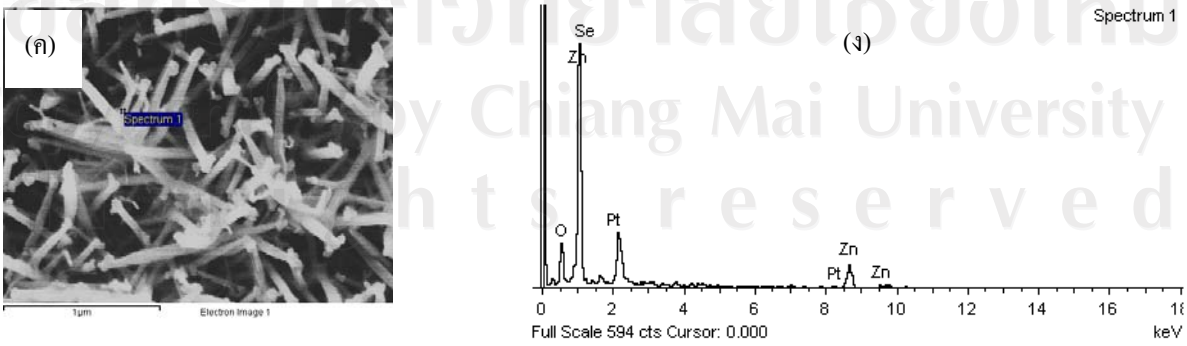
จากรูปที่ 4.2 (ก) และ (ข) พบว่าผลิตภัณฑ์ที่สังเคราะห์ได้มีลักษณะเป็นเส้นใยที่มีขนาดของเส้นผ่าศูนย์กลางอยู่ในช่วงประมาณ 30-60 นาโนเมตร (รูปที่ 2 ในภาคผนวก ก) โดยมีค่าเฉลี่ยของเส้นผ่าศูนย์กลางเท่ากับ 48 นาโนเมตร และมีส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 8.55 นาโนเมตร ในการวิเคราะห์เส้นใยนาโนด้วยเทคนิค EDS พบองค์ประกอบหลักของผลิตภัณฑ์ที่สังเคราะห์ได้คือ ออกซิเจนและสังกะสี ดังตารางที่ 4.3

3) ลักษณะเฉพาะของเส้นใยนาโนซิงก์ออกไซด์ เมื่อใช้แกรไฟต์เกรดอุตสาหกรรมผสมกับซิงก์ออกไซด์เกรดอุตสาหกรรมในอัตราส่วน 60:40%wt น้ำหนักรวมของสารทั้งหมดมีค่าเท่ากับ 4 กรัม

เมื่อนำสารผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการสังเคราะห์ไปวิเคราะห์หาลักษณะและสเปกตรัมองค์ประกอบธาตุด้วยเทคนิค SEM และ EDS ผลที่ได้เป็นดังรูป 4.3



รูปที่ 4.3 ภาพถ่าย SEM ของเส้นใยนาโนที่สังเคราะห์ได้ที่กำลังขยาย (ก) 10,000 เท่า และ (ข) 50,000 เท่า



รูปที่ 4.3 (ค) และ (ง) แสดงจุดที่ใช้วิเคราะห์องค์ประกอบธาตุ และกราฟวิเคราะห์องค์ประกอบธาตุของเส้นใยนาโนที่สังเคราะห์ได้ ตามลำดับ

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ตารางที่ 4.4 แสดงปริมาณธาตุองค์ประกอบของเส้นใยนาโนในรูปที่ 4.3 (ค)

Element	Weight%	Atomic%
O K	16.01	44.70
Zn K	77.54	52.98
Se L	2.50	1.41
Pt M	3.95	0.90
Totals	100.00	

จากรูปที่ 4.3 (ก) และ (ข) พบว่าผลิตภัณฑ์ที่สังเคราะห์ได้มีลักษณะเป็นแท่งที่มีขนาดของเส้นผ่าศูนย์กลางอยู่ในช่วงประมาณ 30-70 นาโนเมตร (รูปที่ 3 ในภาคผนวก ก) โดยมีค่าเฉลี่ยของเส้นผ่าศูนย์กลางเท่ากับ 48 นาโนเมตร และมีส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 9.71 นาโนเมตร ในการวิเคราะห์แท่งนาโนด้วยเทคนิค EDS พบองค์ประกอบหลักของผลิตภัณฑ์ที่สังเคราะห์ได้คือ ออกซิเจนและสังกะสี ดังตารางที่ 4.4

<u>สรุปการทดลองชุดที่ 4.1.1</u>

ในการสังเคราะห์เส้นใยนาโนซิงก์ออกไซด์เริ่มต้นด้วยการใช้สารที่มีความบริสุทธิ์ต่างกันมาผสมกัน การสังเคราะห์กระทำที่อุณหภูมิสูงสุดเท่ากับ 800 องศาเซลเซียส ผลการทดลองที่ได้พบว่าบางกรณีก็ให้ผลิตภัณฑ์ที่เป็นเส้นใย แต่บางเงื่อนไขก็ให้ผลิตภัณฑ์เป็นแท่ง ขนาดของเส้นใยนาโนที่ได้มีค่าค่อนข้างที่จะสม่ำเสมอในทุกเงื่อนไข เส้นผ่าศูนย์กลางของผลิตภัณฑ์ที่ได้จะอยู่ในช่วง 20-70 นาโนเมตร อัตราส่วนระหว่างออกซิเจนกับสังกะสีจะพบว่าการทดลองทั้งสามเงื่อนไขให้ผลของอัตราส่วนระหว่างธาตุทั้งสองที่ค่อนข้างใกล้เคียงกันโดยประมาณ แต่การทดลองเงื่อนไขที่สามเป็นลักษณะที่ต้องการมากที่สุด กล่าวคือมีลักษณะเป็นแท่งกระจายตัวอย่างสม่ำเสมอ ทำให้ในการทดลองครั้งที่หนึ่งสามารถสรุปได้ว่าสารตั้งต้นที่ควรจะใช้คือ แกรไฟต์เกรดอุตสาหกรรม ผสมกับซิงก์ออกไซด์เกรดอุตสาหกรรม ถึงจะให้ผลิตภัณฑ์ที่มีลักษณะที่เป็นแท่งและมีขนาดที่ค่อนข้างจะเท่ากัน การกระจายตัวค่อนข้างจะสม่ำเสมอ ซึ่งเชื่อว่าความไม่บริสุทธิ์ของสารตั้งต้นอาจจะเป็นตัวช่วยให้เกิดแท่งนาโนซิงก์ออกไซด์ที่มีลักษณะที่ค่อนข้างสม่ำเสมอ

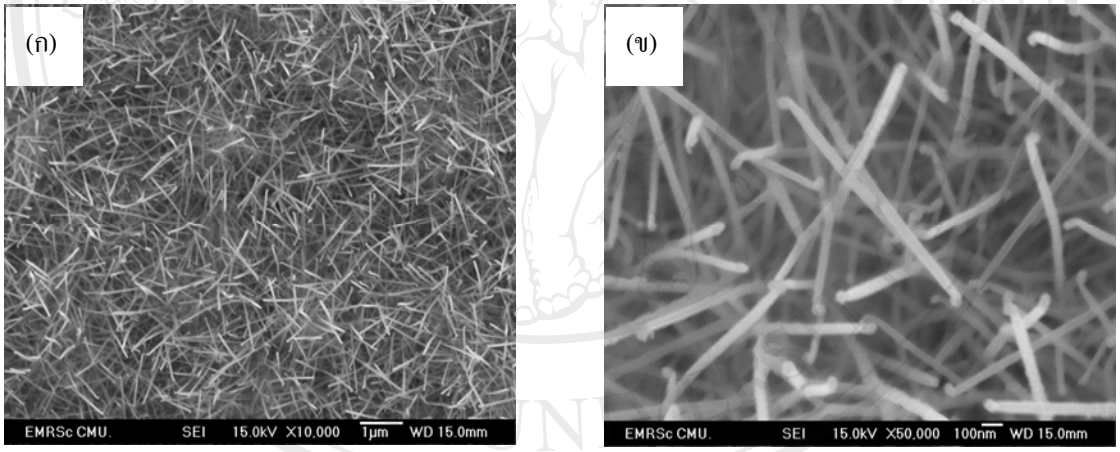
ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

4.1.2. การทดลองเปรียบเทียบระยะห่างระหว่างแผ่นรองรับกับแท่งสารตั้งต้น

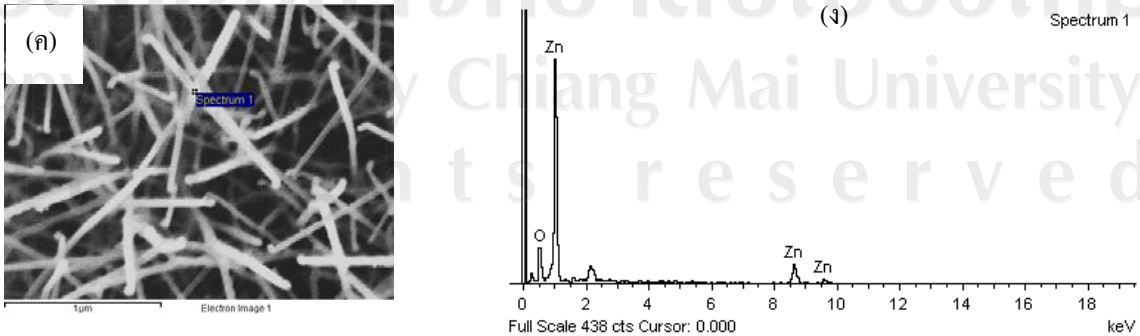
เตรียมแท่งสารตามขั้นตอน 3.1.1.3 โดยใช้ แกรไฟต์เกรดอุตสาหกรรม ผสมกับ ซิงก์ออกไซด์เกรดอุตสาหกรรมในอัตราส่วน 60:40%wt จากนั้นนำแท่งสารที่ได้ไปอบเพื่อไล่ความชื้นที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1.30 ชั่วโมง แล้วทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้องอีก 1 วัน การตกสะสมด้วยการเผาด้วยกระแสไฟฟ้าทำภายใต้บรรยากาศของอาร์กอนที่มีอัตราไหลของอาร์กอน อัตราการให้กระแสไฟฟ้าเหมือนกับการทดลองชุดที่หนึ่ง และแผ่นรองรับไม่ได้เคลือบด้วยทอง แต่ว่าเปลี่ยนระยะห่างระหว่างแผ่นรองรับกับแท่งสารตั้งต้นเป็น 3, 4, 5 และ 6 มิลลิเมตร ผลที่ได้มีดังต่อไปนี้

1) ลักษณะเฉพาะของเส้นใยนาโนซิงก์ออกไซด์ เมื่อระยะห่างระหว่างแผ่นรองรับกับแท่งสารตั้งต้นเท่ากับ 3 มิลลิเมตร

เมื่อนำสารผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการสังเคราะห์ไปวิเคราะห์หาลักษณะและสเปกตรัมองค์ประกอบธาตุด้วยเทคนิค SEM และ EDS ผลที่ได้เป็นดังรูป 4.4



รูปที่ 4.4 ภาพถ่าย SEM ของเส้นใยนาโนที่สังเคราะห์ได้ที่กำลังขยาย (ก) 10,000 เท่า และ (ข) 50,000 เท่า



รูปที่ 4.4 (ค) และ (ง) แสดงจุดที่ใช้วิเคราะห์องค์ประกอบธาตุ และกราฟวิเคราะห์องค์ประกอบธาตุของเส้นใยนาโนที่สังเคราะห์ได้ ตามลำดับ

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

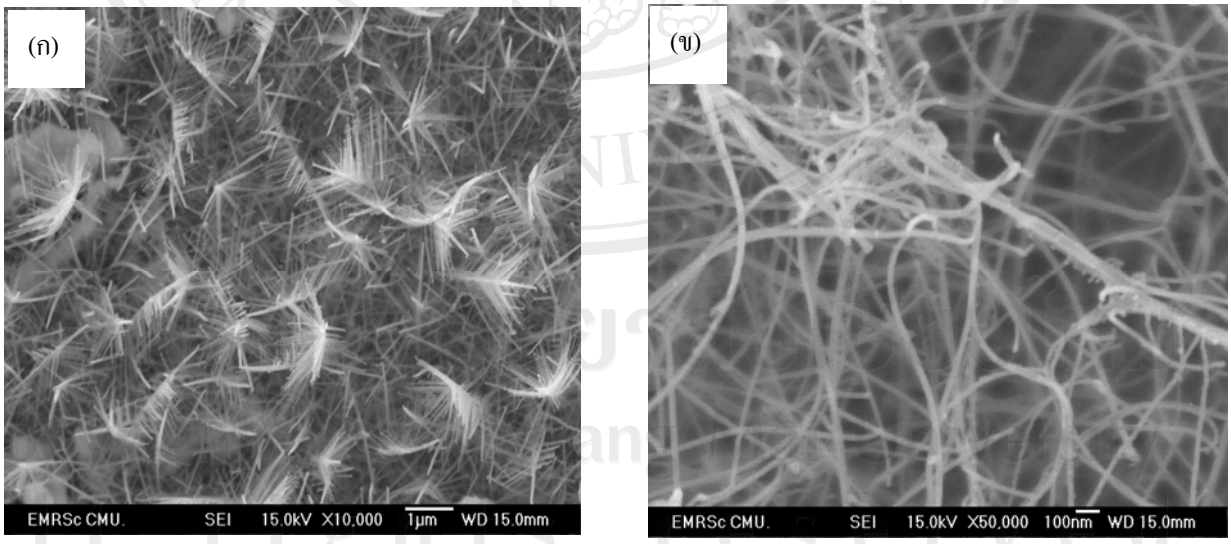
ตารางที่ 4.5 แสดงปริมาณธาตุองค์ประกอบของเส้นใยนาโนในรูปที่ 4.4 (ค)

Element	Weight%	Atomic%
O K	16.14	44.03
Zn K	83.86	55.97
Totals	100.00	

จากรูปที่ 4.4 (ก) และ (ข) พบว่าผลิตภัณฑ์ที่สังเคราะห์ได้มีลักษณะเป็นแท่งที่มีขนาดของเส้นผ่าศูนย์กลางอยู่ในช่วงประมาณ 30-60 นาโนเมตร (รูปที่ 4 ในภาคผนวก ก) โดยมีค่าเฉลี่ยของเส้นผ่าศูนย์กลางเท่ากับ 41 นาโนเมตร และมีส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 7.82 นาโนเมตรในการวิเคราะห์แท่งนาโนด้วยเทคนิค EDS พบองค์ประกอบหลักของผลิตภัณฑ์ที่สังเคราะห์ได้คือ ออกซิเจนและสังกะสี ดังตารางที่ 4.5

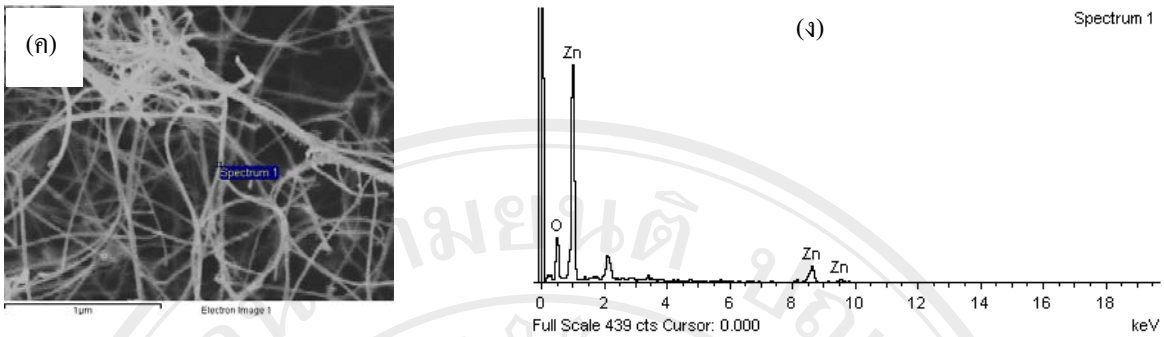
2) ลักษณะเฉพาะของเส้นใยนาโนซิงก์ออกไซด์ เมื่อระยะห่างระหว่างแผ่นรองรับกับแท่งสารตั้งต้นเท่ากับ 4 มิลลิเมตร

เมื่อนำสารผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการสังเคราะห์ไปวิเคราะห์หาลักษณะและสเปกตรัมองค์ประกอบธาตุด้วยเทคนิค SEM และ EDS ผลที่ได้เป็นดังรูป 4.5



รูปที่ 4.5 ภาพถ่าย SEM ของเส้นใยนาโนที่สังเคราะห์ได้ที่กำลังขยาย (ก) 10,000 เท่า และ (ข) 50,000 เท่า

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved



รูปที่ 4.5 (ค) และ (ง) แสดงจุดที่ใช้วิเคราะห์องค์ประกอบธาตุ และกราฟวิเคราะห์องค์ประกอบธาตุของเส้นใยนาโนที่สังเคราะห์ได้ ตามลำดับ

ตารางที่ 4.6 แสดงปริมาณธาตุองค์ประกอบของเส้นใยนาโนในรูปที่ 4.5 (ค)

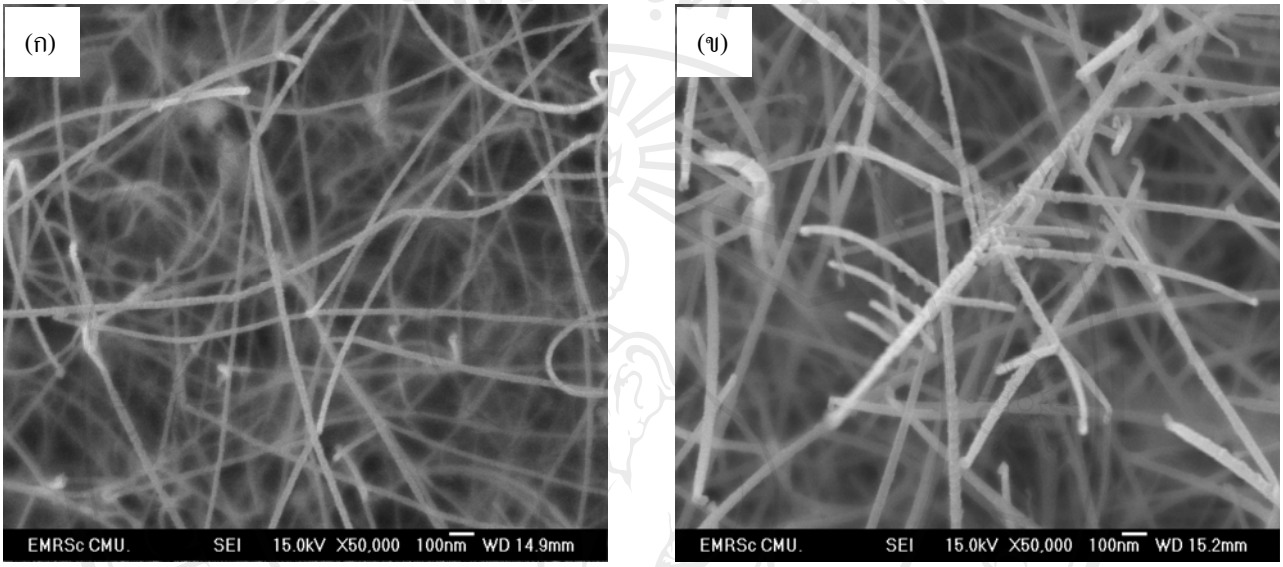
Element	Weight%	Atomic%
O K	19.84	50.29
Zn K	80.16	49.71
Totals	100.00	

จากรูปที่ 4.5 (ก) และ (ข) พบว่าผลิตภัณฑ์ที่สังเคราะห์ได้มีลักษณะเป็นเส้นใยที่มีขนาดของเส้นผ่าศูนย์กลางอยู่ในช่วงประมาณ 15-35 นาโนเมตร (รูปที่ 5 ในภาคผนวก ก) โดยมีค่าเฉลี่ยของเส้นผ่าศูนย์กลางเท่ากับ 23 นาโนเมตร และมีส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 4.77 นาโนเมตร ในการวิเคราะห์เส้นใยนาโนด้วยเทคนิค EDS พบองค์ประกอบหลักของผลิตภัณฑ์ที่สังเคราะห์ได้คือ ออกซิเจนและสังกะสี ดังตารางที่ 4.6

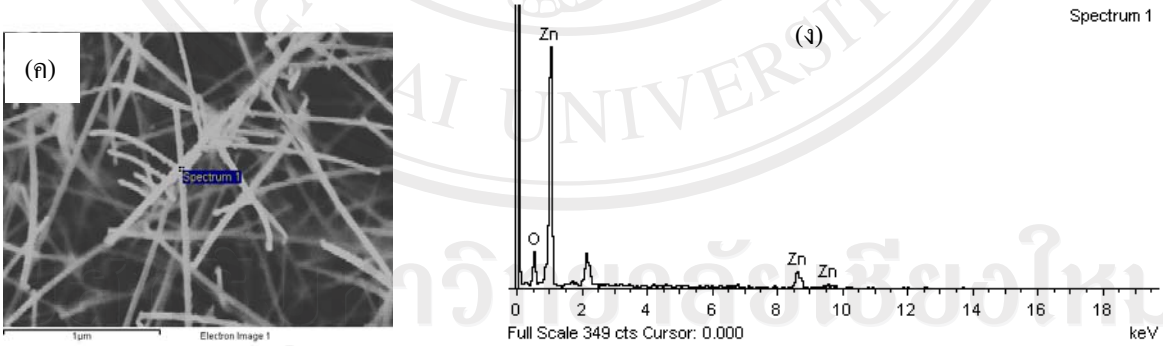
ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

3) ลักษณะเฉพาะของเส้นใยนาโนซิงก์ออกไซด์ เมื่อระยะห่างระหว่างแผ่นรองรับกับแท่งสารตั้งต้นเท่ากับ 5 มิลลิเมตร

เมื่อนำสารผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการสังเคราะห์ไปวิเคราะห์หาลักษณะและสเปกตรัมองค์ประกอบธาตุด้วยเทคนิค SEM และ EDS ผลที่ได้เป็นดังรูป 4.6



รูปที่ 4.6 ภาพถ่าย SEM ของเส้นใยนาโนที่สังเคราะห์ได้ที่กำลังขยาย (ก) 50,000 เท่า และ (ข) 50,000 เท่า



รูปที่ 4.6 (ค) และ (ง) แสดงจุดที่ใช้วิเคราะห์องค์ประกอบธาตุ และกราฟวิเคราะห์องค์ประกอบธาตุของเส้นใยนาโนที่สังเคราะห์ได้ ตามลำดับ

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

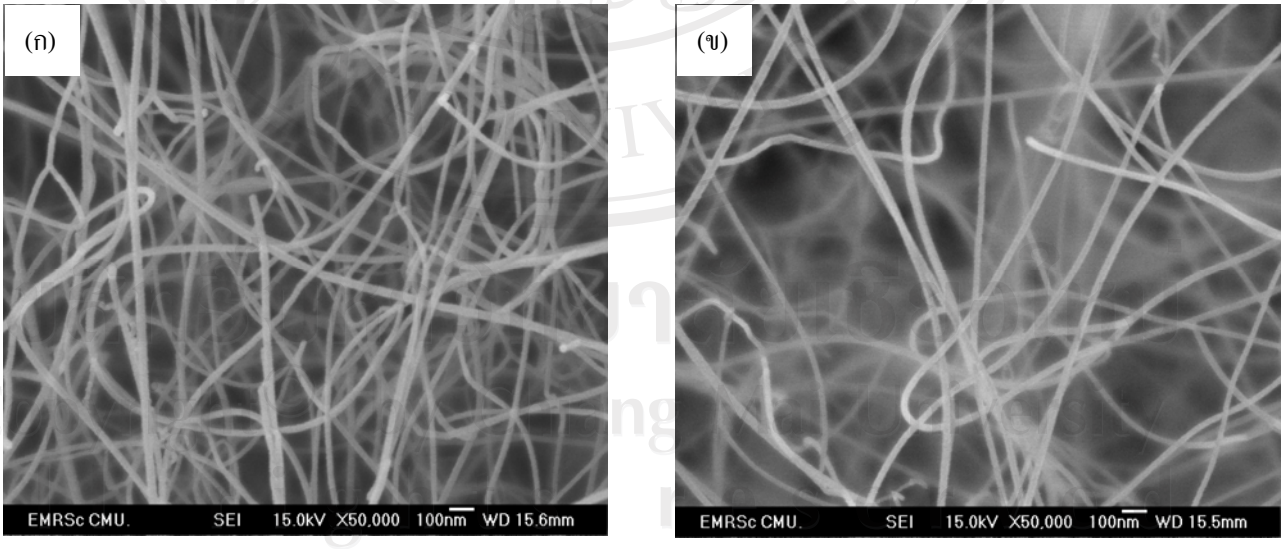
ตารางที่ 4.7 แสดงปริมาณธาตุองค์ประกอบของเส้นใยนาโนในรูปที่ 4.6 (ค)

Element	Weight%	Atomic%
O K	15.74	43.29
Zn K	84.26	56.71
Totals	100.00	

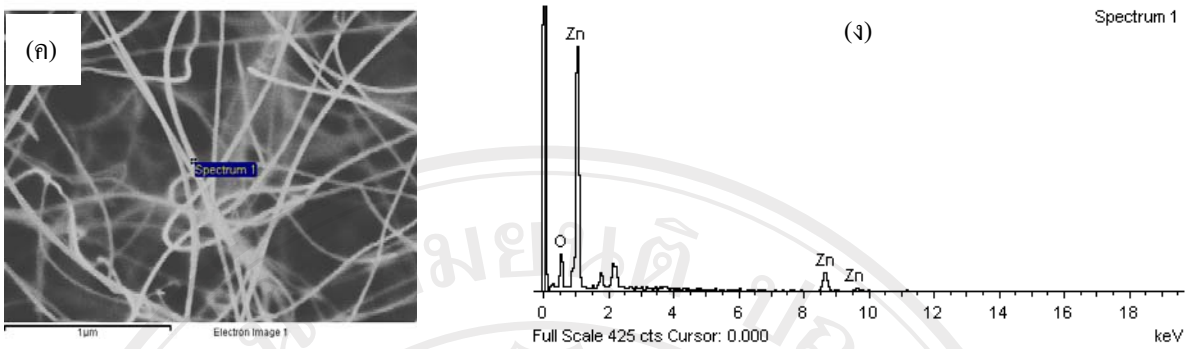
จากรูปที่ 4.6 (ก) และ (ข) พบว่าผลิตภัณฑ์ที่สังเคราะห์ได้มีลักษณะเป็นเส้นใย ขนาดของเส้นผ่าศูนย์กลางอยู่ในช่วงประมาณ 20-40 นาโนเมตร (รูปที่ 6 ในภาคผนวก ก) มีค่าเฉลี่ยของเส้นผ่าศูนย์กลางเท่ากับ 31 นาโนเมตร และมีส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 3.95 นาโนเมตร ในการวิเคราะห์แท่งนาโนด้วยเทคนิค EDS พบองค์ประกอบหลักของผลิตภัณฑ์ที่สังเคราะห์ได้คือ ออกซิเจนและสังกะสี ดังตารางที่ 4.7

4) ลักษณะเฉพาะของเส้นใยนาโนซิงก์ออกไซด์ เมื่อระยะห่างระหว่างแผ่นรองรับกับแท่งสารตั้งต้นเท่ากับ 6 มิลลิเมตร

เมื่อนำสารผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการสังเคราะห์ไปวิเคราะห์หาลักษณะและสเปกตรัมองค์ประกอบธาตุด้วยเทคนิค SEM และ EDS ผลที่ได้เป็นดังรูป 4.7



รูปที่ 4.7 ภาพถ่าย SEM ของเส้นใยนาโนที่สังเคราะห์ได้ที่กำลังขยาย (ก) 50,000 เท่า และ (ข) 50,000 เท่า



รูปที่ 4.7 (ค) และ (ง) แสดงจุดที่ใช้วิเคราะห์องค์ประกอบธาตุ และกราฟวิเคราะห์องค์ประกอบธาตุของเส้นใยนาโนที่สังเคราะห์ได้ ตามลำดับ

ตารางที่ 4.8 แสดงปริมาณธาตุองค์ประกอบของเส้นใยนาโนในรูปที่ 4.7 (ค)

Element	Weight%	Atomic%
O K	14.72	41.37
Zn K	85.28	58.63
Totals	100.00	

จากรูปที่ 4.7 (ก) และ (ข) พบว่าผลิตภัณฑ์ที่สังเคราะห์ได้มีลักษณะเป็นเส้นใย ขนาดของเส้นผ่าศูนย์กลางอยู่ในช่วงประมาณ 15-35 นาโนเมตร (รูปที่ 7 ในภาคผนวก ก) โดยมีค่าเฉลี่ยของเส้นผ่าศูนย์กลางเท่ากับ 25 นาโนเมตร และมีส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 3.86 นาโนเมตร ในการวิเคราะห์เส้นใยนาโนด้วยเทคนิค EDS พบองค์ประกอบหลักของผลิตภัณฑ์ที่สังเคราะห์ได้คือออกซิเจนและสังกะสี ดังตารางที่ 4.8

<u>สรุปผลการทดลองชุดที่ 4.1.2</u>

การทดลองชุดที่สองใช้สารตั้งต้นเป็น แกรไฟต์เกรดอุตสาหกรรม ผสมกับ ซิงก์ออกไซด์เกรดอุตสาหกรรม แผ่นรองรับไม่เคลือบทอง การสังเคราะห์ทำที่อุณหภูมิสูงสุดเท่ากับ 800 องศาเซลเซียส ผลการทดลองที่ได้พบว่าเงื่อนไขแรกจะให้ผลิตภัณฑ์ที่เป็นแท่ง ส่วนสามเงื่อนไขที่เหลือจะให้ผลิตภัณฑ์ที่เป็นเส้นใย ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของผลิตภัณฑ์ที่ได้อยู่ในช่วงของ 15-60 นาโนเมตร โดยมีค่าเฉลี่ยที่ค่อนข้างใกล้เคียงกัน อัตราส่วนระหว่างเปอร์เซ็นต์อะตอมของออกซิเจนและสังกะสีพบว่ามีอัตราส่วนที่ใกล้เคียงกัน แต่ว่าเปอร์เซ็นต์ปริมาณอะตอมสังกะสีจะมากกว่าอยู่เล็กน้อย เมื่อพิจารณาทุกเงื่อนไขพบว่าเงื่อนไขที่หนึ่งให้ผลิตภัณฑ์ที่ดีที่สุด ดังนั้นตำแหน่งแผ่นรองรับควรวางห่างจากสารตั้งต้น 3 มิลลิเมตร เพื่อให้ซิงก์ออกไซด์ที่ได้มีลักษณะเป็นแท่งและมีการกระจายตัวสม่ำเสมอ ข้อสังเกตของการทดลองนี้คือ ถ้ายิ่งขยับแผ่นรองรับให้ห่างจากสารตั้งต้นมากขึ้นผลิตภัณฑ์ที่ได้จะมีลักษณะเป็นเส้น

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

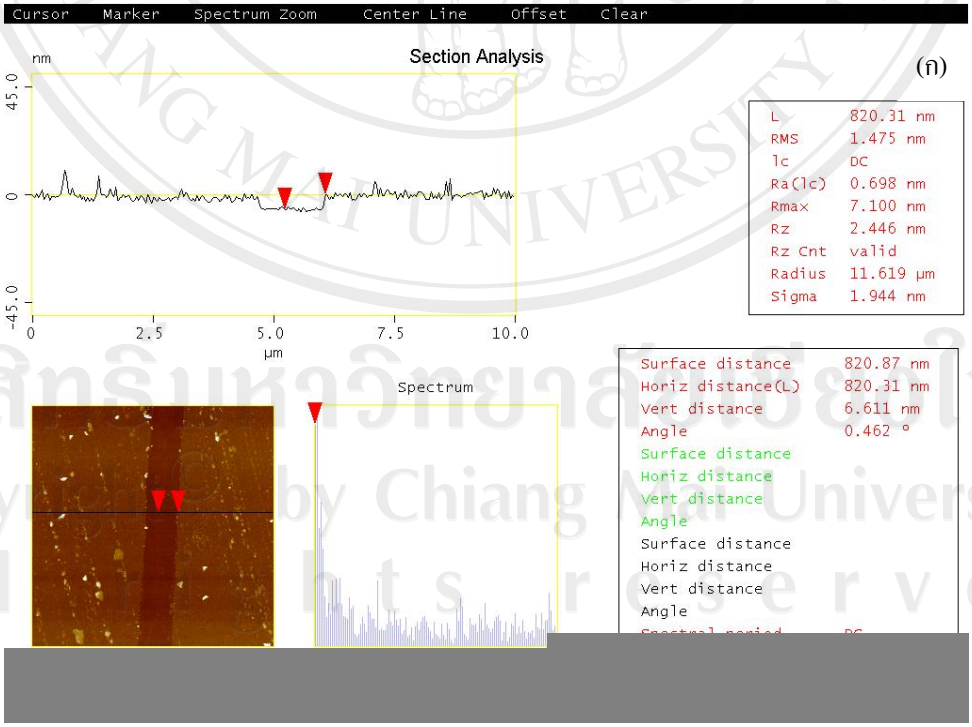
ใยมากขึ้น แต่ระยะห่างระหว่างแผ่นรองรับกับสารตั้งต้นไม่ค่อยมีผลกับขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางกับผลิตภัณฑ์มากนัก

4.1.3 การทดลองเปรียบเทียบกำลังไฟฟ้าสูงสุดที่ใช้

เตรียมแท่งสารตามขั้นตอน 3.1.1.3 โดยใช้ แกรไฟต์เกรดอุตสาหกรรม ผสมกับ ซิงก์ออกไซด์เกรดอุตสาหกรรมในอัตราส่วน 60:40%wt จากนั้นนำแท่งสารที่ได้ไปอบเพื่อไล่ความชื้นที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1.30 ชั่วโมง แล้วทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้องอีก 1 วัน การตกสะสมด้วยการเผาด้วยกระแสไฟฟ้าทำภายใต้บรรยากาศของอาร์กอนที่มีอัตราไหลของอาร์กอนเท่ากับ 2 ลิตรต่อนาที แผ่นรองรับเคลือบด้วยทองและผ่านการเตรียมตามขั้นตอน 3.1.1.4 ระยะห่างระหว่างแผ่นรองรับกับแท่งสารตั้งต้นจะมี 2 ค่า คือ 3 และ 5 มิลลิเมตร อัตราการให้กำลังไฟฟ้าเป็นไปตามตารางที่ 4.1 แต่ว่าทำการเปลี่ยนค่ากำลังไฟฟ้าสูงสุดเป็น 220, 240 และ 260 วัตต์

1) ลักษณะเฉพาะของ อนุภาคนาโนทอง ที่จะใช้เป็นตัวเร่งในการสังเคราะห์เส้นใยนาโนซิงก์ ออกไซด์

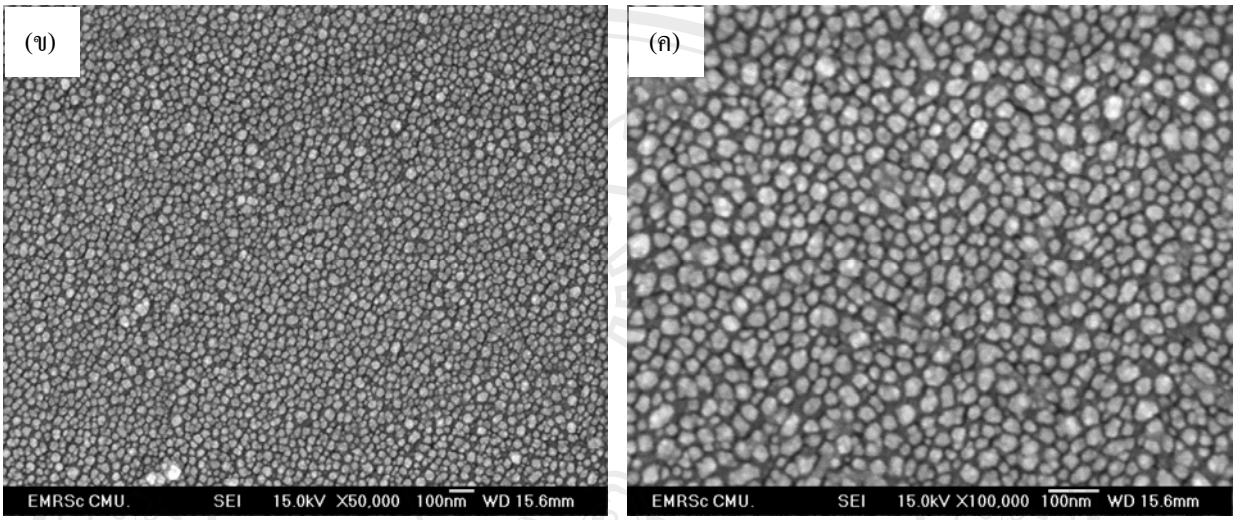
เคลือบแผ่นรองรับด้วยทองคำโดยใช้เครื่อง เคลือบทอง (รูปที่ 3.3) เป็นเวลา 10 วินาที ระยะของที่วางแผ่นรองรับสูงจากพื้นเท่ากับ 5.5 เซนติเมตร กระแสที่ใช้คือ 15 แอมแปร์ วัดความหนาด้วยเทคนิค AFM ได้เท่ากับ 6.6 นาโนเมตร ดังรูป ที่ 4.8 (ก)



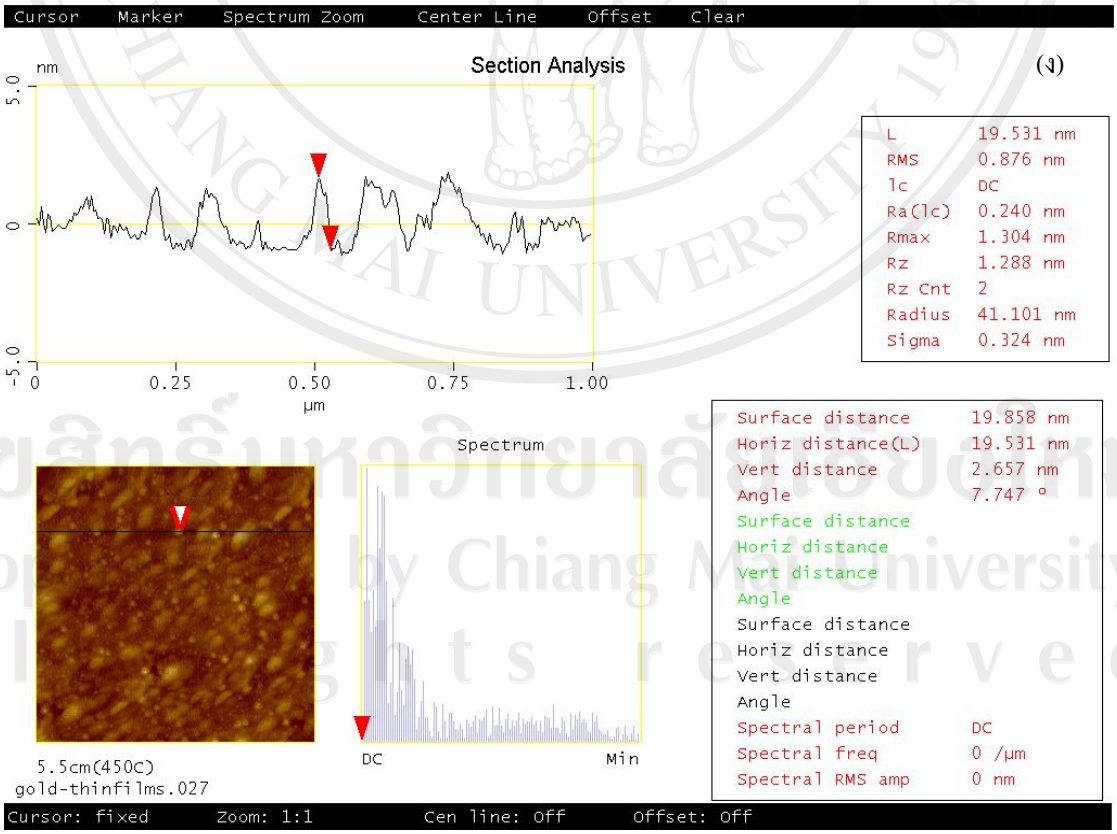
รูปที่ 4.8 (ก) แสดงความหนาของฟิล์มทองก่อนเผาวัดด้วยเทคนิค AFM

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

จากนั้นทำการเตรียมแผ่นรองรับตามขั้นตอนที่ 3.1.1(4) นำผลิตภัณฑ์ที่ได้ไปวิเคราะห์ด้วยเทคนิค SEM และ AFM พบลักษณะของทองเป็นไปตามรูปที่ 4.8 (ข), 4.8 (ค) และ 4.8 (ง)



รูปที่ 4.8 แสดงภาพถ่าย SEM ของอนุภาคนาโนของทองหลังการให้ความร้อนที่กำลังขยาย (ข) 50,000 เท่า และ (ค) 100,000 เท่า



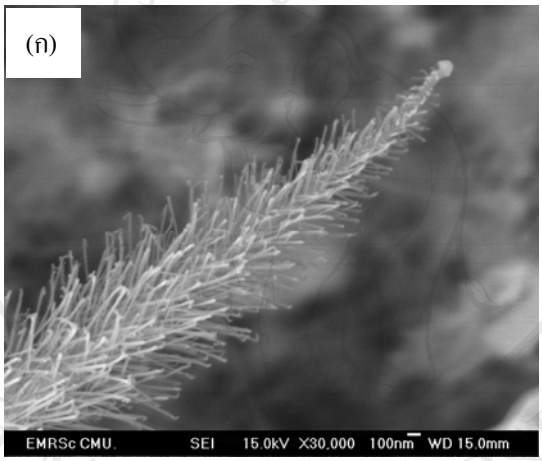
รูปที่ 4.8 (ง) แสดงความหนาของอนุภาคทองหลังการให้ความร้อนวัดด้วยเทคนิค AFM

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright by Chiang Mai University
All rights reserved

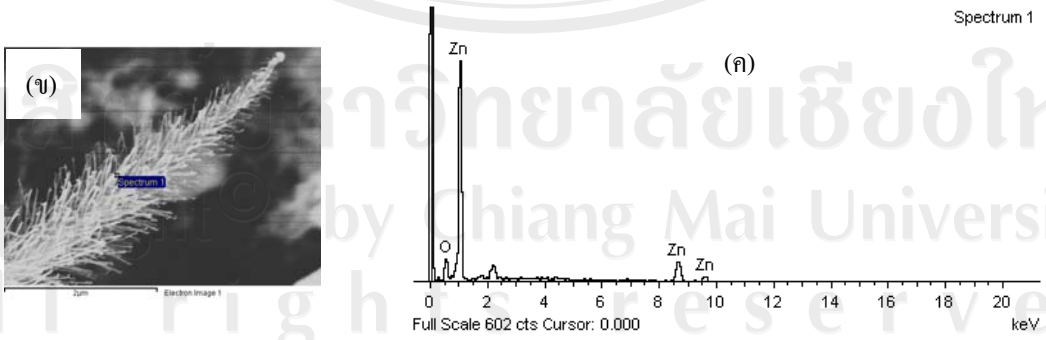
จากรูปที่ 4.8 (ข) และ (ค) พบว่าอนุภาคทองที่ได้มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางอยู่ในช่วงประมาณ 10-40 นาโนเมตร (รูปที่ 8 ในภาคผนวก ก) โดยมีค่าเฉลี่ยของเส้นผ่าศูนย์กลางเท่ากับ 24 นาโนเมตร และมีส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 6.82 นาโนเมตร ซึ่งจะพบว่าขนาดของอนุภาคนาโนทองที่ได้มีขนาดที่ไม่ค่อยสม่ำเสมอ รูปที่ 4.8 (ง) แสดงความหนาของอนุภาคทองที่วัดโดยเทคนิค AFM มีค่าโดยประมาณ 2.6 นาโนเมตร

2) ลักษณะเฉพาะของเส้นใยนาโนซิงก์ออกไซด์ เมื่อระยะห่างระหว่างแผ่นรองรับกับแท่งสารตั้งต้นเท่ากับ 3 มิลลิเมตร และกำลังไฟฟ้าสูงสุดเท่ากับ 220 วัตต์ อุณหภูมิประมาณ 750 องศาเซลเซียส

เมื่อนำสารผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการสังเคราะห์ไปวิเคราะห์หาลักษณะและสเปกตรัมองค์ประกอบธาตุด้วยเทคนิค SEM และ EDS ผลที่ได้เป็นดังรูป 4.9



รูปที่ 4.9 (ก) แสดงภาพถ่าย SEM ที่กำลังขยาย 30,000 เท่า ของเส้นใยนาโนที่สังเคราะห์ได้



รูปที่ 4.9 (ข) และ (ค) แสดงจุดที่ใช้วิเคราะห์องค์ประกอบธาตุ และกราฟวิเคราะห์องค์ประกอบธาตุของเส้นใยนาโนที่สังเคราะห์ได้ ตามลำดับ

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

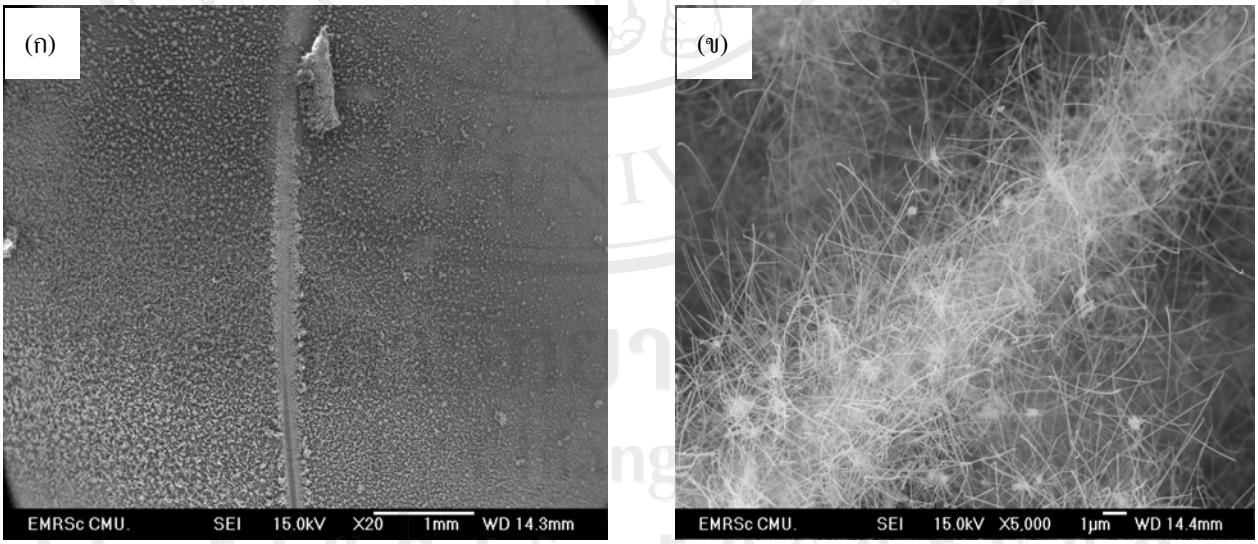
ตารางที่ 4.9 แสดงปริมาณธาตุองค์ประกอบของเส้นใยนาโนในรูปที่ 4.9 (ข)

Element	Weight%	Atomic%
O K	9.57	30.20
Zn K	90.43	69.80
Totals	100.00	

จากรูปที่ 4.9 (ก) พบว่าผลิตภัณฑ์ที่สังเคราะห์ได้มีลักษณะเป็นแท่งที่มีขนาดของเส้นผ่าศูนย์กลางอยู่ในช่วงประมาณ 14-30 นาโนเมตร (รูปที่ 9 ในภาคผนวก ก) โดยมีค่าเฉลี่ยของเส้นผ่าศูนย์กลางเท่ากับ 21 นาโนเมตร และมีส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 3.13 นาโนเมตร ในการวิเคราะห์แท่งนาโนด้วยเทคนิค EDS พบองค์ประกอบหลักของผลิตภัณฑ์ที่สังเคราะห์ได้คือ ออกซิเจนและสังกะสี ดังตารางที่ 4.9

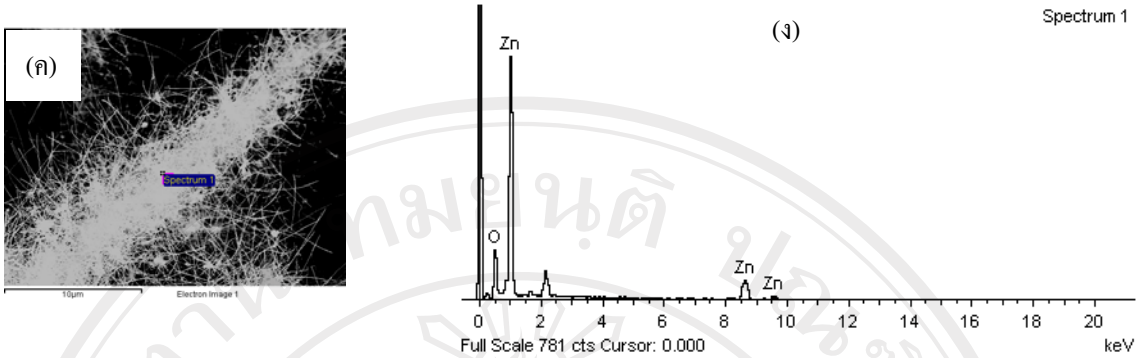
3) ลักษณะเฉพาะของเส้นใยนาโนซิงก์ออกไซด์ เมื่อระยะห่างระหว่างแผ่นรองรับกับแท่งสารตั้งต้นเท่ากับ 3 มิลลิเมตร และกำลังไฟฟ้าสูงสุดเท่ากับ 240 วัตต์ อุณหภูมิประมาณ 800 องศาเซลเซียส

เมื่อนำสารผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการสังเคราะห์ไปวิเคราะห์หาลักษณะและสเปกตรัมองค์ประกอบธาตุด้วยเทคนิค SEM และ EDS ผลที่ได้เป็นดังรูป 4.10



รูปที่ 4.10 ภาพถ่าย SEM ของเส้นใยนาโนที่สังเคราะห์ได้ที่กำลังขยาย (ก) 20 เท่า และ (ข) 5,000 เท่า

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved



รูปที่ 4.10 (ค) และ (ง) แสดงจุดที่ใช้วิเคราะห์องค์ประกอบธาตุ และกราฟวิเคราะห์องค์ประกอบธาตุของเส้นใยนาโนที่สังเคราะห์ได้ ตามลำดับ

ตารางที่ 4.10 แสดงปริมาณธาตุองค์ประกอบของเส้นใยนาโนในรูปที่ 4.10 (ค)

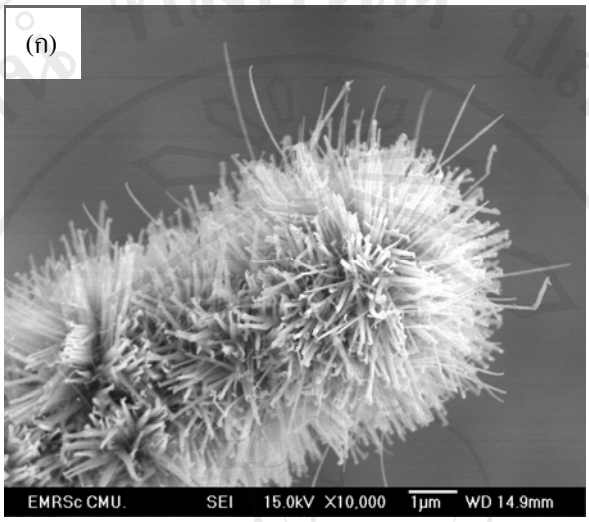
Element	Weight%	Atomic%
O K	17.55	46.52
Zn K	82.45	53.48
Totals	100.00	

จากรูปที่ 4.10 (ก) และ (ข) พบว่าผลิตภัณฑ์ที่สังเคราะห์ได้มีลักษณะเป็นเส้นใยที่มีขนาดของเส้นผ่าศูนย์กลางอยู่ในช่วงประมาณ 40-80 นาโนเมตร (รูปที่ 10 ในภาคผนวก ก) โดยมีค่าเฉลี่ยของเส้นผ่าศูนย์กลางเท่ากับ 61 นาโนเมตร และมีส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 9.55 นาโนเมตร ในการวิเคราะห์เส้นใยนาโนด้วยเทคนิค EDS พบองค์ประกอบหลักของผลิตภัณฑ์ที่สังเคราะห์ได้คือ ออกซิเจนและสังกะสี ดังตารางที่ 4.10

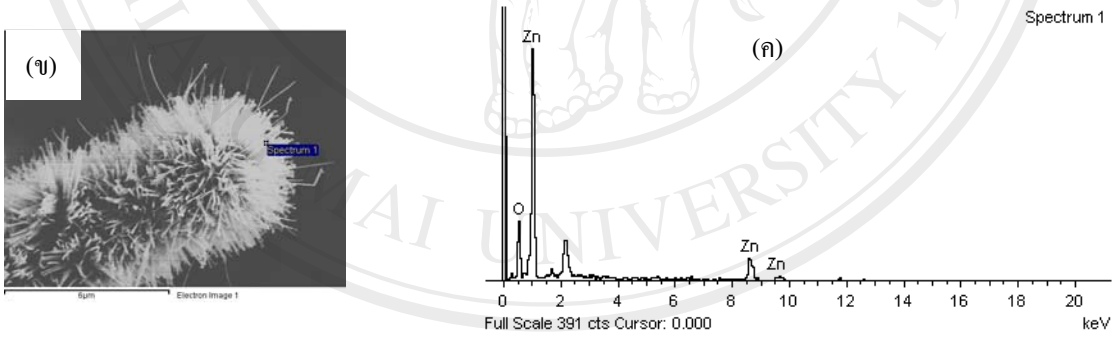
ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

4) ลักษณะเฉพาะของเส้นใยนาโนซิงก์ออกไซด์ เมื่อระยะห่างระหว่างแผ่นรองรับกับแท่งสารตั้งต้นเท่ากับ 3 มิลลิเมตร และกำลังไฟฟ้าสูงสุดเท่ากับ 260 วัตต์ อุณหภูมิประมาณ 830 องศาเซลเซียส

เมื่อนำสารผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการสังเคราะห์ไปวิเคราะห์หาลักษณะและสเปกตรัมองค์ประกอบธาตุด้วยเทคนิค SEM และ EDS ผลที่ได้เป็นดังรูป 4.11



รูปที่ 4.11 (ก) แสดงภาพถ่าย SEM ที่กำลังขยาย 10,000 เท่าของเส้นใยนาโนที่สังเคราะห์ได้



รูปที่ 4.11 (ข) และ (ค) แสดงจุดที่ใช้วิเคราะห์องค์ประกอบธาตุ และกราฟวิเคราะห์องค์ประกอบธาตุของเส้นใยนาโนที่สังเคราะห์ได้ ตามลำดับ

ตารางที่ 4.11 แสดงปริมาณธาตุองค์ประกอบของเส้นใยนาโนในรูปที่ 4.11 (ข)

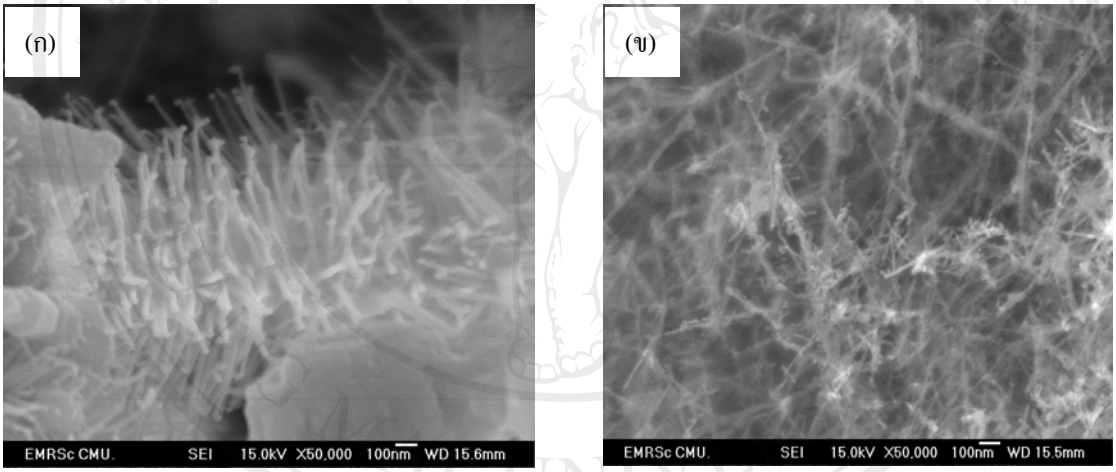
Element	Weight%	Atomic%
O K	20.96	52.01
Zn K	79.04	47.99
Totals	100.00	

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

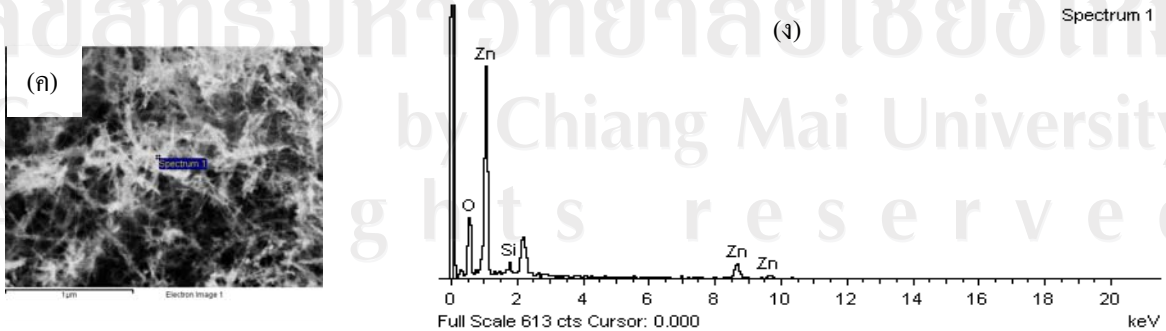
จากรูปที่ 4.11 (ก) พบว่าผลิตภัณฑ์ที่สังเคราะห์ได้มีลักษณะเป็นแท่งที่มีขนาดของเส้นผ่าศูนย์กลางอยู่ในช่วงประมาณ 50-105 นาโนเมตร (รูปที่ 11 ในภาคผนวก ก) โดยมีค่าเฉลี่ยของเส้นผ่าศูนย์กลางเท่ากับ 83 นาโนเมตร และมีส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 13 นาโนเมตร ในการวิเคราะห์แท่งนาโนด้วยเทคนิค EDS พบองค์ประกอบหลักของผลิตภัณฑ์ที่สังเคราะห์ได้คือ ออกซิเจน และสังกะสี ดังตารางที่ 4.11

5) ลักษณะเฉพาะของเส้นใยนาโนซิงก์ออกไซด์ เมื่อระยะห่างระหว่างแผ่นรองรับกับแท่งสารตั้งต้นเท่ากับ 5 มิลลิเมตร และกำลังไฟฟ้าสูงสุดเท่ากับ 220 วัตต์ อุณหภูมิประมาณ750 องศาเซลเซียส

เมื่อนำสารผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการสังเคราะห์ไปวิเคราะห์หาลักษณะและสเปกตรัมองค์ประกอบธาตุด้วยเทคนิค SEM และ EDS ผลที่ได้เป็นดังรูป 4.12



รูปที่ 4.12 ภาพถ่าย SEM ของเส้นใยนาโนที่สังเคราะห์ได้ที่กำลังขยาย (ก) 50,000 เท่า และ (ข) 50,000 เท่า



รูปที่ 4.12 (ค) และ (ง) แสดงจุดที่ใช้วิเคราะห์องค์ประกอบธาตุ และกราฟวิเคราะห์องค์ประกอบธาตุของเส้นใยนาโนที่สังเคราะห์ได้ ตามลำดับ

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
by Chiang Mai University
All rights reserved

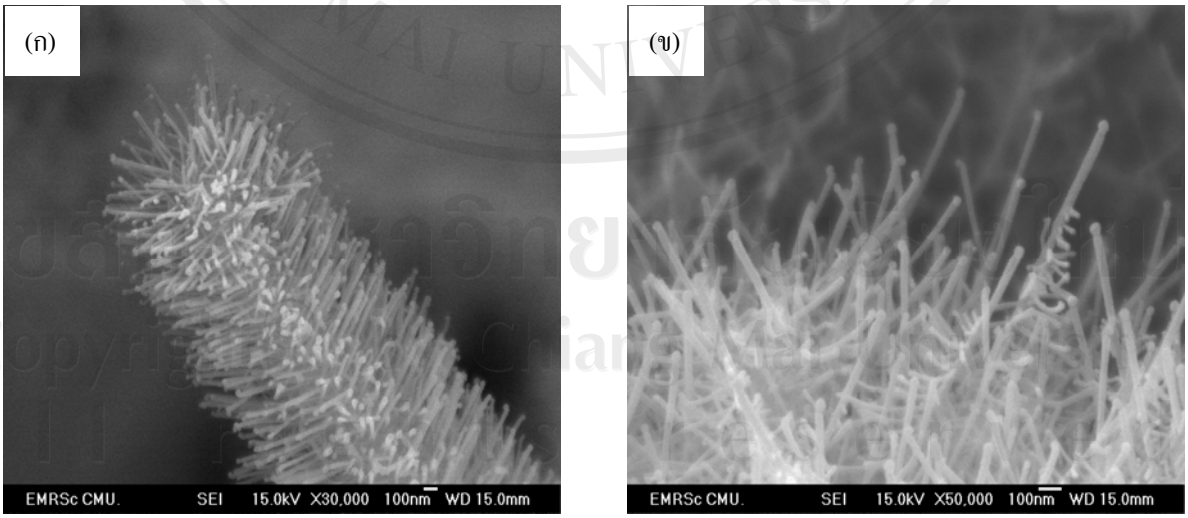
ตารางที่ 4.12 แสดงปริมาณธาตุองค์ประกอบของเส้นใยนาโนในรูปที่ 4.12 (ค)

Element	Weight%	Atomic%
O K	26.07	57.94
Si K	2.54	3.22
Zn K	71.39	38.84
Totals	100.00	

จากรูปที่ 4.12 (ก) และ (ข) พบว่าผลิตภัณฑ์ที่สังเคราะห์ได้มีลักษณะเป็นแท่งที่มีขนาดของเส้นผ่าศูนย์กลางอยู่ในช่วงประมาณ 15-30 นาโนเมตร (รูปที่ 12 ในภาคผนวก ก) โดยมีค่าเฉลี่ยของเส้นผ่าศูนย์กลางเท่ากับ 24 นาโนเมตร และมีส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 3.16 นาโนเมตรในการวิเคราะห์แท่งนาโนด้วยเทคนิค EDS พบองค์ประกอบหลักของผลิตภัณฑ์ที่สังเคราะห์ได้คือ ออกซิเจน และสังกะสี ดังตารางที่ 4.12

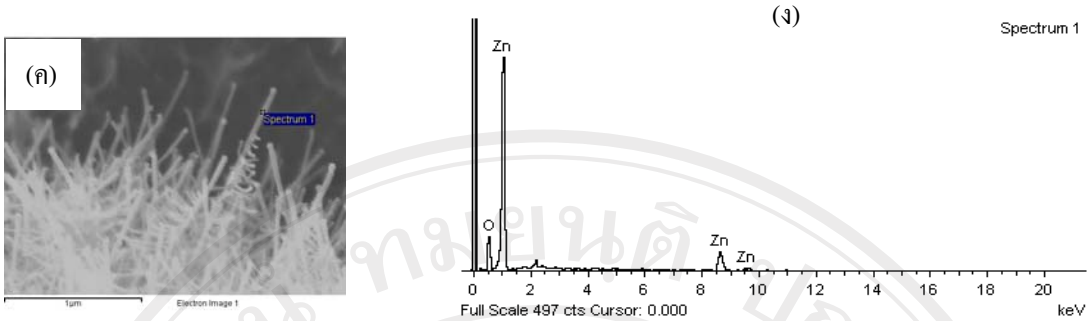
6) ลักษณะเฉพาะของเส้นใยนาโนซิงก์ออกไซด์ เมื่อระยะห่างระหว่างแผ่นรองรับกับแท่งสารตั้งต้นเท่ากับ 5 มิลลิเมตร และกำลังไฟฟ้าสูงสุดเท่ากับ 240 วัตต์ อุณหภูมิประมาณ 800 องศาเซลเซียส

เมื่อนำสารผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการสังเคราะห์ไปวิเคราะห์หาลักษณะและสเปกตรัมองค์ประกอบธาตุด้วยเทคนิค SEM และ EDS ผลที่ได้เป็นดังรูป 4.13



รูปที่ 4.13 ภาพถ่าย SEM ของเส้นใยนาโนที่สังเคราะห์ได้ที่กำลังขยาย (ก) 30,000 เท่า และ (ข) 50,000 เท่า

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved



รูปที่ 4.13 (ค) และ (ง) แสดงจุดที่ใช้วิเคราะห์องค์ประกอบธาตุ และกราฟวิเคราะห์องค์ประกอบธาตุของเส้นใยนาโนที่สังเคราะห์ได้ ตามลำดับ

ตารางที่ 4.13 แสดงปริมาณธาตุองค์ประกอบของเส้นใยนาโนในรูปที่ 4.13 (ค)

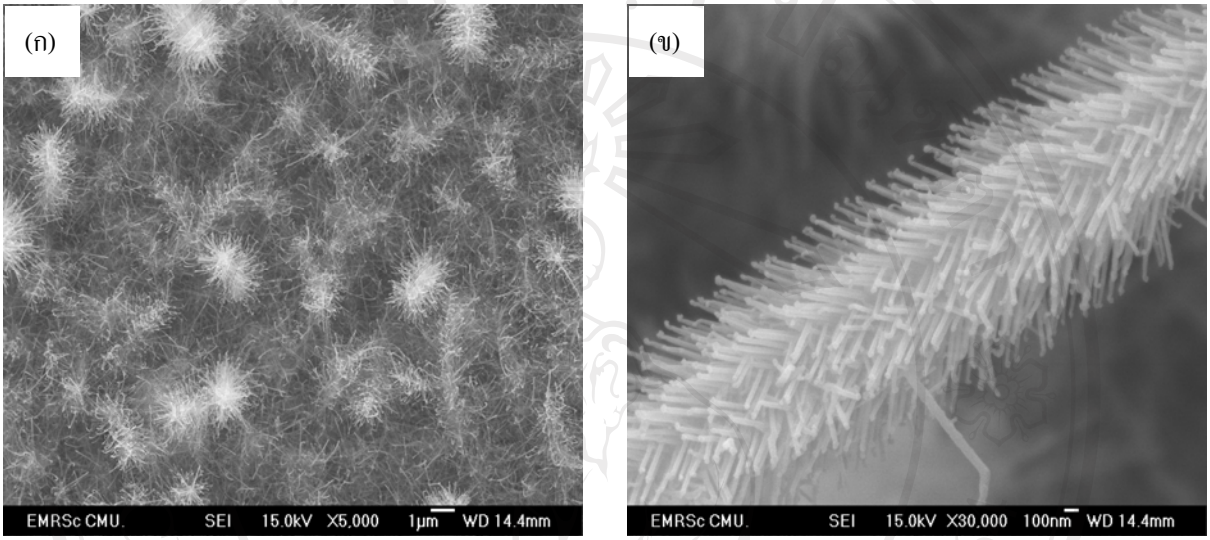
Element	Weight%	Atomic%
O K	14.93	41.75
Zn K	85.07	58.25
Totals	100.00	

จากรูปที่ 4.13 (ก) และ (ข) พบว่าผลิตภัณฑ์ที่สังเคราะห์ได้มีลักษณะเป็นแท่งที่มีขนาดของเส้นผ่าศูนย์กลางอยู่ในช่วงประมาณ 20-40 นาโนเมตร (รูปที่ 13 ในภาคผนวก ก) โดยมีค่าเฉลี่ยของเส้นผ่าศูนย์กลางเท่ากับ 30 นาโนเมตร และมีส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 4.77 นาโนเมตรในการวิเคราะห์แท่งนาโนด้วยเทคนิค EDS พบองค์ประกอบหลักของผลิตภัณฑ์ที่สังเคราะห์ได้คือ ออกซิเจน และสังกะสี ดังตารางที่ 4.13

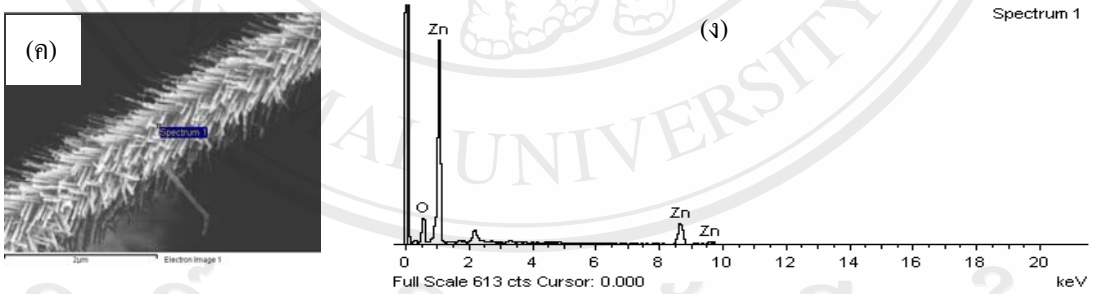
ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

7) ลักษณะเฉพาะของเส้นใยนาโนซิงก์ออกไซด์ เมื่อระยะห่างระหว่างแผ่นรองรับกับแท่งสารตั้งต้นเท่ากับ 5 มิลลิเมตร และกำลังไฟฟ้าสูงสุดเท่ากับ 260 วัตต์ อุณหภูมิประมาณ 830 องศาเซลเซียส

เมื่อนำสารผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการสังเคราะห์ไปวิเคราะห์หาลักษณะและสเปกตรัมองค์ประกอบธาตุด้วยเทคนิค SEM และ EDS ผลที่ได้เป็นดังรูป 4.14



รูปที่ 4.14 ภาพถ่าย SEM ของเส้นใยนาโนที่สังเคราะห์ได้ที่กำลังขยาย (ก) 5,000 เท่า และ (ข) 30,000 เท่า



รูปที่ 4.14 (ค) และ (ง) แสดงจุดที่ใช้วิเคราะห์องค์ประกอบธาตุ และกราฟวิเคราะห์องค์ประกอบธาตุของเส้นใยนาโนที่สังเคราะห์ได้ ตามลำดับ

ตารางที่ 4.14 แสดงปริมาณธาตุองค์ประกอบของเส้นใยนาโนในรูปที่ 4.14 (ค)

Element	Weight%	Atomic%
O K	11.10	33.79
Zn K	88.90	66.21
Totals	100.00	

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

จากรูปที่ 4.14 (ก) และ (ข) พบว่าผลิตภัณฑ์ที่สังเคราะห์ได้มีลักษณะเป็นแท่งที่มีขนาดของเส้นผ่าศูนย์กลางอยู่ในช่วงประมาณ 20-45 นาโนเมตร (รูปที่ 14 ในภาคผนวก ก) โดยมีค่าเฉลี่ยของเส้นผ่าศูนย์กลางเท่ากับ 33 นาโนเมตร และมีส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 4.33 นาโนเมตร ในการวิเคราะห์แท่งนาโนด้วยเทคนิค EDS พบองค์ประกอบหลักของผลิตภัณฑ์ที่สังเคราะห์ได้คือ ออกซิเจน และสังกะสี ดังตารางที่ 4.14

<u>สรุปผลการทดลองที่ 4.1.3</u>

การทดลองชุดที่สามใช้สารตั้งต้นเป็น แกรไฟต์เกรดอุตสาหกรรม ผสมกับ ซิงก์ออกไซด์เกรดอุตสาหกรรมแผ่นรองรับเคลือบทองให้มีความหนาตามรูปที่ 4.8 แต่ว่าเปลี่ยนกำลังไฟฟ้าสูงสุดเป็น 220, 240 และ 260 วัตต์ ตามลำดับ ผลการทดลองที่ได้พบว่าผลิตภัณฑ์เริ่มมีการเรียงตัวที่ดีขึ้นในหลายๆ ตัวอย่าง เส้นผ่าศูนย์กลางของผลิตภัณฑ์ชุดนี้จะอยู่ในช่วง 15-105 นาโนเมตร และมีค่าที่ค่อนข้างสม่ำเสมอในตัวอย่างเดียวกัน อัตราส่วนระหว่างเปอร์เซ็นต์อะตอมของออกซิเจนและสังกะสีพบว่ามีอัตราส่วนที่ค่อนข้างใกล้เคียงกันในหลายๆ ตัวอย่าง ยกเว้นเงื่อนไขที่สองและเงื่อนไขที่เจ็ดที่พบเปอร์เซ็นต์อะตอมของสังกะสีมากกว่าออกซิเจนค่อนข้างมาก เมื่อพิจารณาทุกเงื่อนไขพบว่าเงื่อนไขที่หกให้ผลิตภัณฑ์ที่ดีที่สุด ดังนั้นตำแหน่งแผ่นรองรับควรวางห่างจากสารตั้งต้น 5 มิลลิเมตร และกำลังไฟฟ้าสูงสุดเท่ากับ 240 วัตต์ เพื่อให้ซิงก์ออกไซด์ที่ได้มีลักษณะเป็นแท่งและมีการกระจายตัวสม่ำเสมอที่สุด ข้อสังเกตของการทดลองนี้คือ ถ้ากำลังไฟฟ้าสูงสุดเพิ่มมากขึ้นเส้นผ่าศูนย์กลางของผลิตภัณฑ์ก็จะเพิ่มมากขึ้นด้วย ซึ่งน่าจะมาจากสารตั้งต้นระเหยออกมามากเมื่อกำลังไฟฟ้าสูงทำให้ไอสารมาเกาะที่แผ่นรองรับมากขึ้น

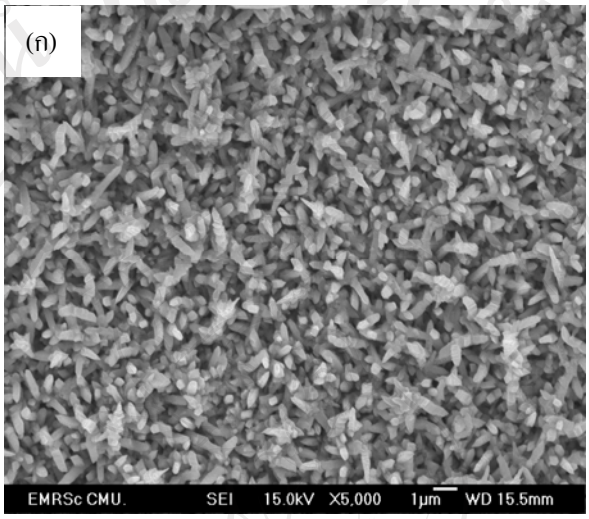
4.1.4 การทดลองเปรียบเทียบอัตราการไหลของก๊าซอาร์กอน

เตรียมแท่งสารตามขั้นตอน 3.1.1.3 โดยใช้ แกรไฟต์เกรดอุตสาหกรรม ผสมกับ ซิงก์ออกไซด์เกรดอุตสาหกรรมในอัตราส่วน 60:40%wt จากนั้นนำแท่งสารที่ได้ไปอบเพื่อไล่ความชื้นที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1.30 ชั่วโมง แล้วทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้องอีก 1 วัน ขัดหน้าของแท่งสารตั้งต้นให้เรียบ (รูปที่3.14) เพื่อให้ผิวหน้าของสารตั้งต้นขนานกับแผ่นรองรับและมีระยะห่างจากแผ่นรองรับเท่ากันทุกตำแหน่ง แผ่นรองรับเคลือบด้วยทองและผ่านการเตรียมตามขั้นตอน 3.1.1.4 ระยะห่างระหว่างแผ่นรองรับกับแท่งสารตั้งต้นจะมี 2 ค่า คือ 5 มิลลิเมตร และ 6 มิลลิเมตร กำลังไฟฟ้าสูงสุดคือ 240 วัตต์ อัตราการไหลของก๊าซอาร์กอนมีอยู่ 3 ค่าคือ 1, 2 และ 3 ลิตรต่อนาที ตามลำดับ

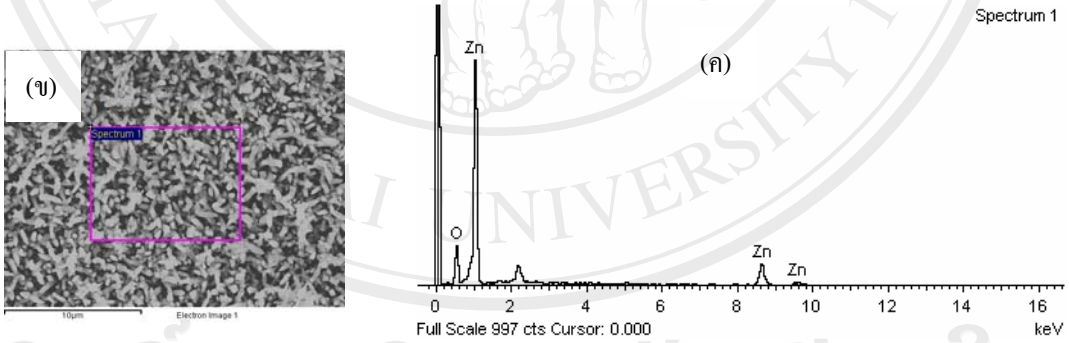
ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

1) ลักษณะเฉพาะของเส้นใยนาโนซิงก์ออกไซด์ เมื่อระยะห่างระหว่างแผ่นรองรับกับแท่งสารตั้งต้นเท่ากับ 5 มิลลิเมตร และอัตราการไหลของก๊าซอาร์กอนเท่ากับ 1 ลิตรต่อนาที

เมื่อนำสารผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการสังเคราะห์ไปวิเคราะห์หาลักษณะและสเปกตรัมองค์ประกอบธาตุด้วยเทคนิค SEM, EDS, และ IL ผลที่ได้เป็นดังรูป 4.15



รูปที่ 4.15 (ก) แสดงภาพถ่าย SEM ที่กำลังขยาย 5,000 เท่าของเส้นใยนาโนที่สังเคราะห์ได้

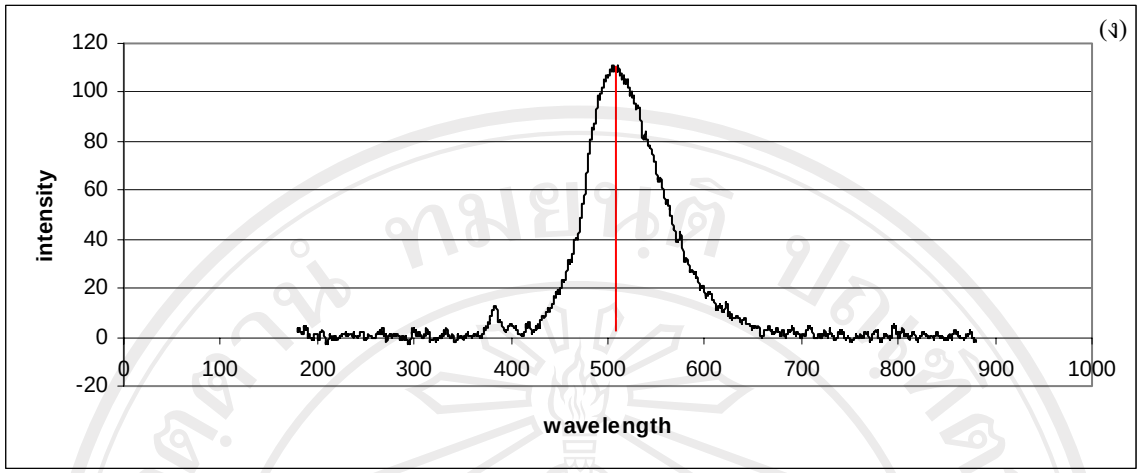


รูปที่ 4.15 (ข) และ (ค) แสดงบริเวณที่ใช้วิเคราะห์องค์ประกอบธาตุ และกราฟวิเคราะห์องค์ประกอบธาตุของเส้นใยนาโนที่สังเคราะห์ได้ ตามลำดับ

ตารางที่ 4.15 แสดงปริมาณธาตุองค์ประกอบของเส้นใยนาโนในรูปที่ 4.15 (ข)

Element	Weight%	Atomic%
O K	15.76	43.32
Zn K	84.24	56.68
Totals	100.00	

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved



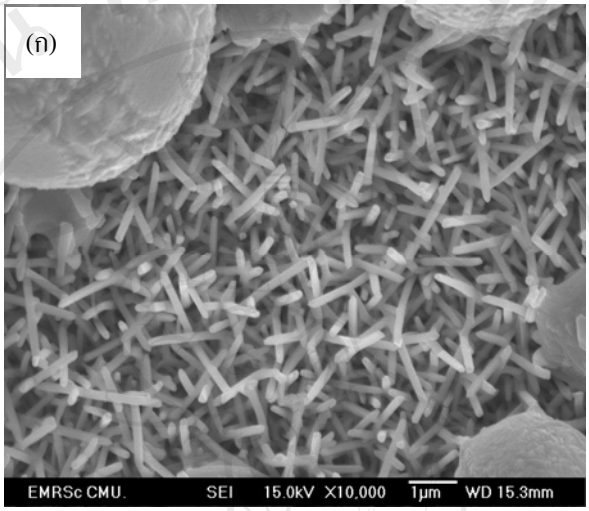
รูปที่ 4.15 (ง) แสดงเส้นสเปคตรัมที่ได้จากการวัดโดยเทคนิค IL

จากรูปที่ 4.15 (ก) พบว่าผลิตภัณฑ์ที่สังเคราะห์ได้มีลักษณะเป็นแท่งที่มีขนาดของเส้นผ่าศูนย์กลางอยู่ในช่วงประมาณ 200-450 นาโนเมตร (รูปที่ 15 ในภาคผนวก ก) โดยมีค่าเฉลี่ยของเส้นผ่าศูนย์กลางเท่ากับ 330 นาโนเมตร และมีส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 52 นาโนเมตร ในการวิเคราะห์แท่งนาโนด้วยเทคนิค EDS พบองค์ประกอบหลักของผลิตภัณฑ์ที่สังเคราะห์ได้คือ ออกซิเจน และสังกะสี ดังตารางที่ 4.15 รูปที่ 4.15 (ง) แสดงความยาวคลื่นของแสงที่เปล่งออกมาเมื่อผลิตภัณฑ์ที่สังเคราะห์ได้ถูกกระตุ้นด้วยไอออนของไฮโดรเจนลบพลังงาน 25 keV จะเห็นได้ว่ามีความยาวคลื่นที่ปล่อยออกมาสองค่าคือ 380 นาโนเมตร และ 510 นาโนเมตร โดยที่แสงความยาวคลื่น 510 นาโนเมตร (สีเขียว) มีความเข้มสูงที่สุด การที่แสงสีเขียวที่เปล่งออกมามีความเข้มสูงเนื่องมาจากผลิตภัณฑ์ซิงก์ออกไซด์ที่สังเคราะห์ได้ขาดออกซิเจน (Oxygen vacancies)

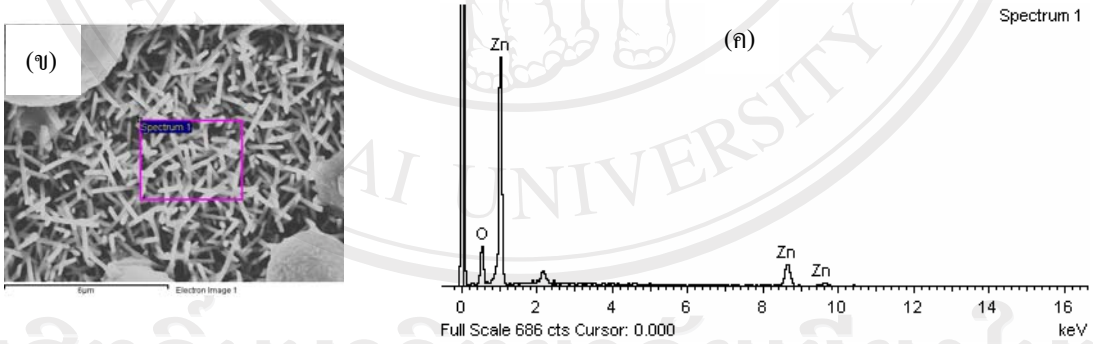
ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

2) ลักษณะเฉพาะของเส้นใยนาโนซิงก์ออกไซด์ เมื่อระยะห่างระหว่างแผ่นรองรับกับแท่งสารตั้งต้นเท่ากับ 5 มิลลิเมตร และอัตราการไหลของก๊าซอาร์กอนเท่ากับ 2 ลิตรต่อนาที

เมื่อนำสารผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการสังเคราะห์ไปวิเคราะห์หาลักษณะและสเปกตรัมองค์ประกอบธาตุด้วยเทคนิค SEM, EDS, และ IL ผลที่ได้เป็นดังรูป 4.16



รูปที่ 4.16 (ก) แสดงภาพถ่าย SEM ที่กำลังขยาย 10,000 เท่า ของเส้นใยนาโนที่สังเคราะห์ได้

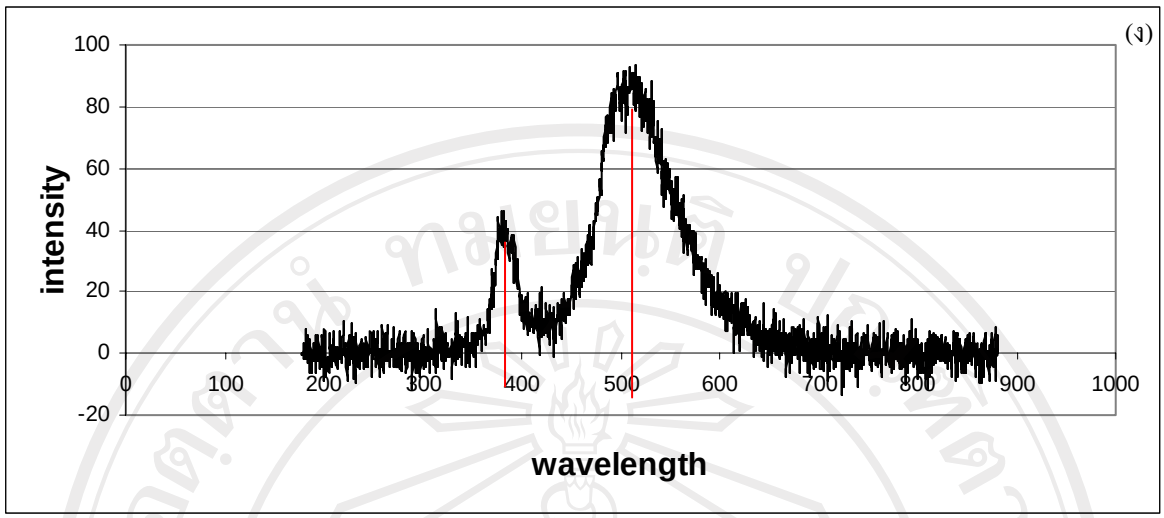


รูปที่ 4.16 (ข) และ (ค) แสดงจุดที่ใช้วิเคราะห์องค์ประกอบธาตุ และกราฟวิเคราะห์องค์ประกอบธาตุของเส้นใยนาโนที่สังเคราะห์ได้ ตามลำดับ

ตารางที่ 4.16 แสดงปริมาณธาตุองค์ประกอบของเส้นใยนาโนในรูปที่ 4.16 (ข)

Element	Weight%	Atomic%
O K	14.08	40.10
Zn K	85.92	59.90
Totals	100.00	

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved



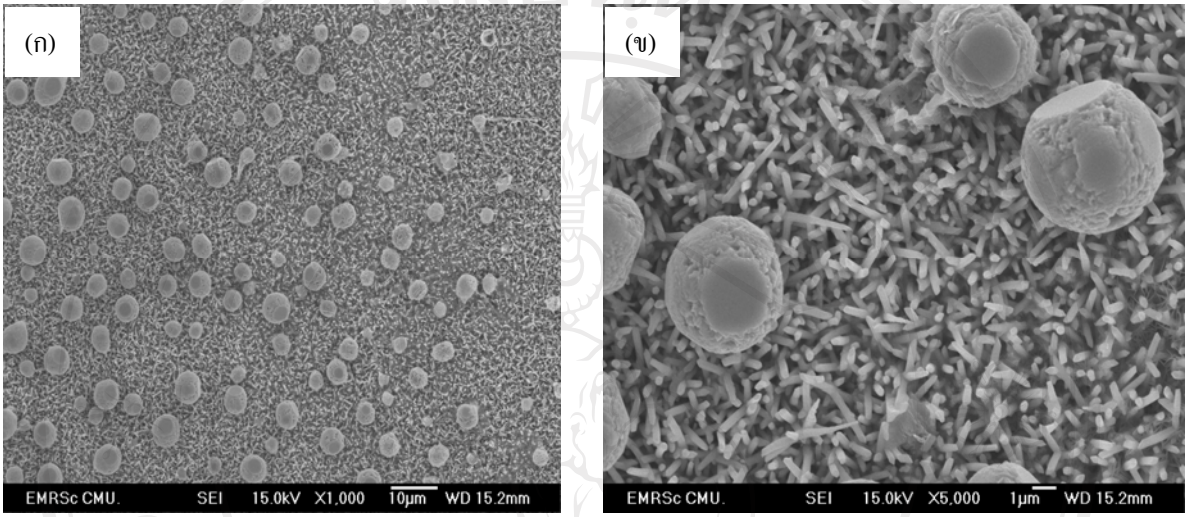
รูปที่ 4.16 (ง) แสดงเส้นสเปคตรัมที่ได้จากการวัดโดยเทคนิค IL

จากรูปที่ 4.16 (ก) พบว่าผลิตภัณฑ์ที่สังเคราะห์ได้มีลักษณะเป็นแท่งที่มีขนาดของเส้นผ่าศูนย์กลางอยู่ในช่วงประมาณ 120-190 นาโนเมตร (รูปที่ 16 ในภาคผนวก ก) โดยมีค่าเฉลี่ยของเส้นผ่าศูนย์กลางเท่ากับ 164 นาโนเมตร และมีส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 16.1 นาโนเมตร ในการวิเคราะห์แท่งนาโนด้วยเทคนิค EDS พบองค์ประกอบหลักของผลิตภัณฑ์ที่สังเคราะห์ได้คือ ออกซิเจน และสังกะสี ดังตารางที่ 4.16 รูปที่ 4.16 (ง) แสดงความยาวคลื่นของแสงที่เปล่งออกมาเมื่อผลิตภัณฑ์ที่สังเคราะห์ได้ถูกกระตุ้นด้วยไอออนของไฮโดรเจนลบพลังงาน 25 keV จะเห็นได้ว่ามีความยาวคลื่นที่ปล่อยออกมาสองค่าคือ 380 นาโนเมตร และ 510 นาโนเมตร โดยที่แสงความยาวคลื่น 510 นาโนเมตร (สีเขียว) มีความเข้มสูงที่สุด การที่แสงสีเขียวที่เปล่งออกมามีความเข้มสูงเนื่องมาจากผลิตภัณฑ์ซิงก์ออกไซด์ที่สังเคราะห์ได้ขาดออกซิเจน (Oxygen vacancies)

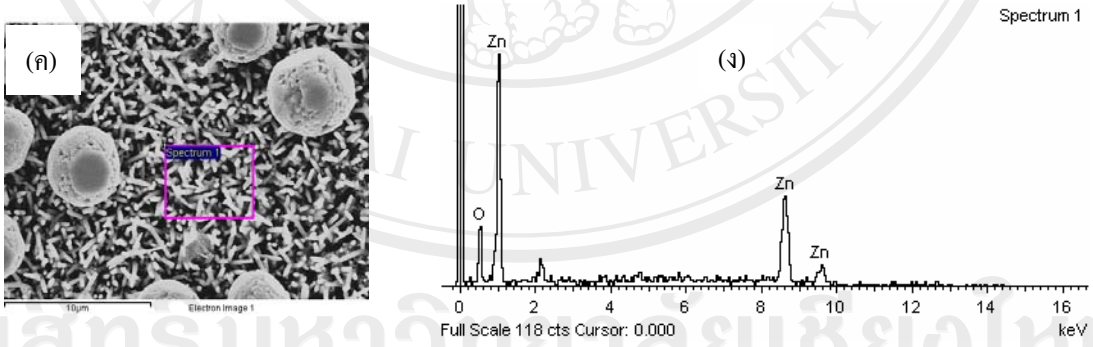
ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

3) ลักษณะเฉพาะของเส้นใยนาโนซิงก์ออกไซด์ เมื่อระยะห่างระหว่างแผ่นรองรับกับแท่งสารตั้งต้นเท่ากับ 5 มิลลิเมตร และอัตราการไหลของก๊าซอาร์กอนเท่ากับ 3 ลิตรต่อนาที

เมื่อนำสารผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการสังเคราะห์ไปวิเคราะห์หาลักษณะและสเปกตรัมองค์ประกอบธาตุด้วยเทคนิค SEM, EDS, และ IL ผลที่ได้เป็นดังรูป 4.17



รูปที่ 4.17 ภาพถ่าย SEM ของเส้นใยนาโนที่สังเคราะห์ได้ที่กำลังขยาย (ก) 1,000 เท่า และ (ข) 5,000 เท่า

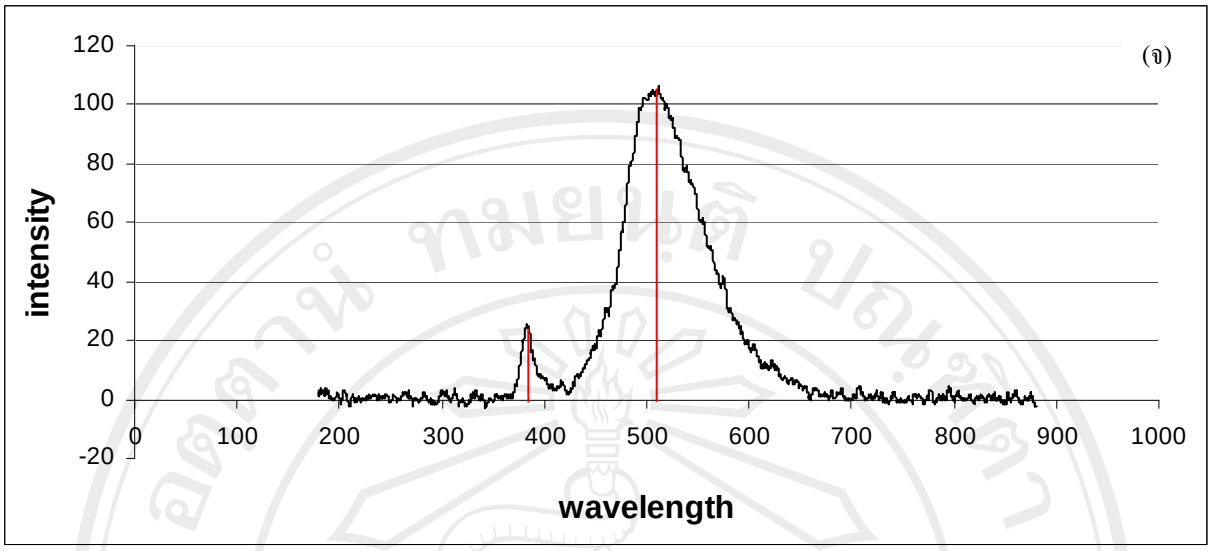


รูปที่ 4.17 (ค) และ (ง) แสดงบริเวณที่ใช้วิเคราะห์องค์ประกอบธาตุ และกราฟวิเคราะห์องค์ประกอบธาตุของเส้นใยนาโนที่สังเคราะห์ได้ ตามลำดับ

ตารางที่ 4.17 แสดงปริมาณธาตุองค์ประกอบของเส้นใยนาโนในรูปที่ 4.17 (ค)

Element	Weight%	Atomic%
O K	6.36	21.72
Zn K	93.64	78.28
Totals	100.00	

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved



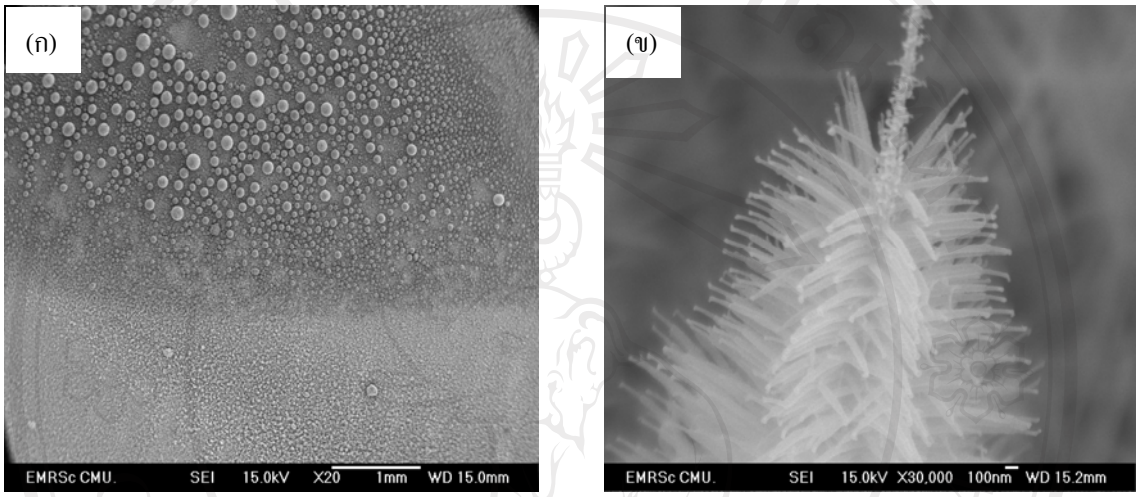
รูปที่ 4.17 (จ) แสดงเส้นสเปคตรัมที่ได้จากการวัดโดยเทคนิค IL

จากรูปที่ 4.17 (ก) และ (ข) พบว่าผลิตภัณฑ์ที่สังเคราะห์ได้มีลักษณะเป็นแท่งที่มีขนาดของเส้นผ่าศูนย์กลางอยู่ในช่วงประมาณ 200-340 นาโนเมตร (รูปที่ 17 ในภาคผนวก ก) โดยมีค่าเฉลี่ยของเส้นผ่าศูนย์กลางเท่ากับ 286 นาโนเมตร และมีส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 31.75 นาโนเมตร ในการวิเคราะห์แท่งนาโนด้วยเทคนิค EDS พบองค์ประกอบหลักของผลิตภัณฑ์ที่สังเคราะห์ได้คือ ออกซิเจนและสังกะสี ดังตารางที่ 4.17 รูปที่ 4.17 (จ) แสดงความยาวคลื่นของแสงที่เปล่งออกมาเมื่อผลิตภัณฑ์ที่สังเคราะห์ได้ถูกกระตุ้นด้วยไอออนของไฮโดรเจนลบพลังงาน 25 keV จะเห็นได้ว่ามีความยาวคลื่นที่ปล่อยออกมาสองค่าคือ 380 นาโนเมตร และ 510 นาโนเมตร โดยที่แสงความยาวคลื่น 510 นาโนเมตร (สีเขียว) มีความเข้มสูงที่สุด การที่แสงสีเขียวที่เปล่งออกมามีความเข้มสูงเนื่องมาจากผลิตภัณฑ์ซิงก์ออกไซด์ที่สังเคราะห์ได้ขาดออกซิเจน (Oxygen vacancies)

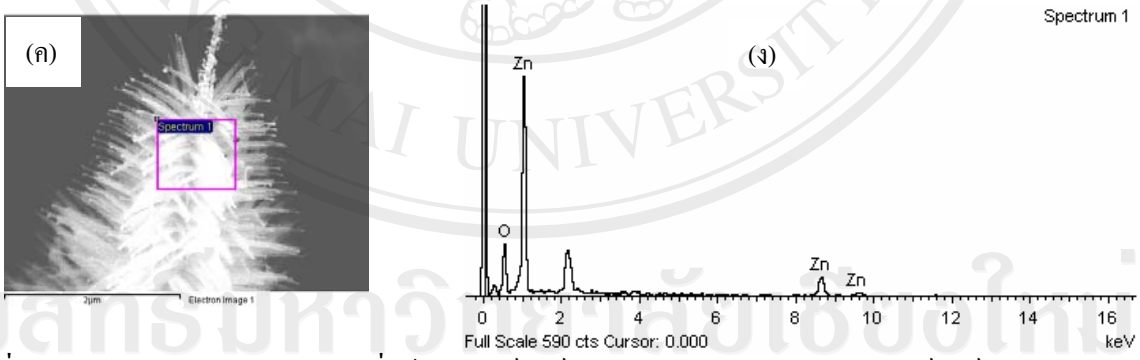
ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

4) ลักษณะเฉพาะของเส้นใยนาโนซิงก์ออกไซด์ เมื่อระยะห่างระหว่างแผ่นรองรับกับแท่งสารตั้งต้นเท่ากับ 6 มิลลิเมตร และอัตราการไหลของก๊าซอาร์กอนเท่ากับ 1 ลิตรต่อนาที

เมื่อนำสารผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการสังเคราะห์ไปวิเคราะห์หาลักษณะและสเปกตรัมองค์ประกอบธาตุด้วยเทคนิค SEM และ EDS ผลที่ได้เป็นดังรูป 4.18



รูปที่ 4.18 ภาพถ่าย SEM ของเส้นใยนาโนที่สังเคราะห์ได้ที่กำลังขยาย (ก) 20 เท่า และ (ข) 30,000 เท่า



รูปที่ 4.18 (ค) และ (ง) แสดงบริเวณที่ใช้วิเคราะห์องค์ประกอบธาตุ และกราฟวิเคราะห์องค์ประกอบธาตุของเส้นใยนาโนที่สังเคราะห์ได้ ตามลำดับ

ตารางที่ 4.18 แสดงปริมาณธาตุองค์ประกอบของเส้นใยนาโนในรูปที่ 4.18 (ค)

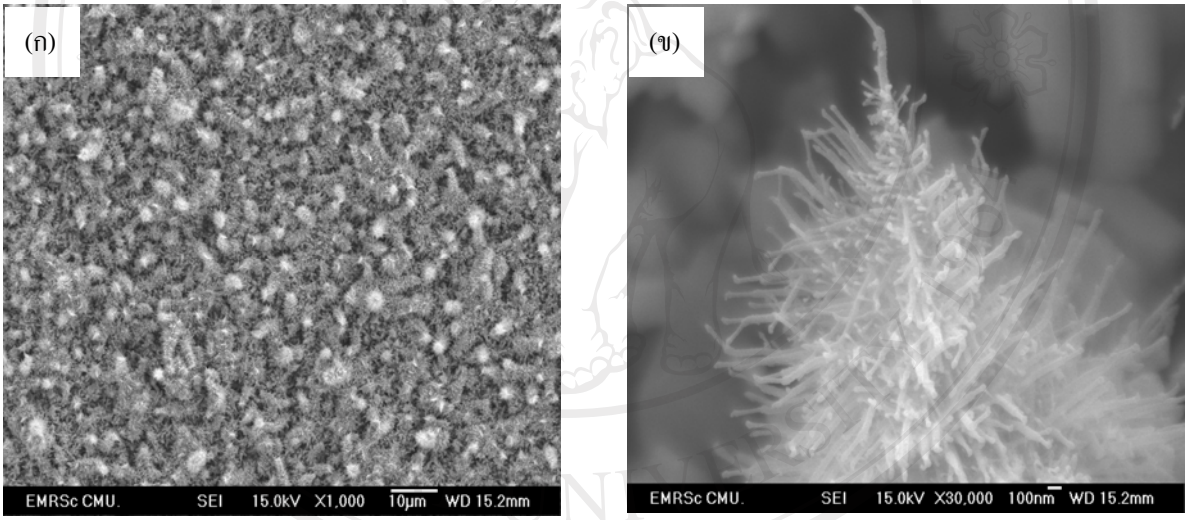
Element	Weight%	Atomic%
O K	18.87	48.73
Zn K	81.13	51.27
Totals	100.00	

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

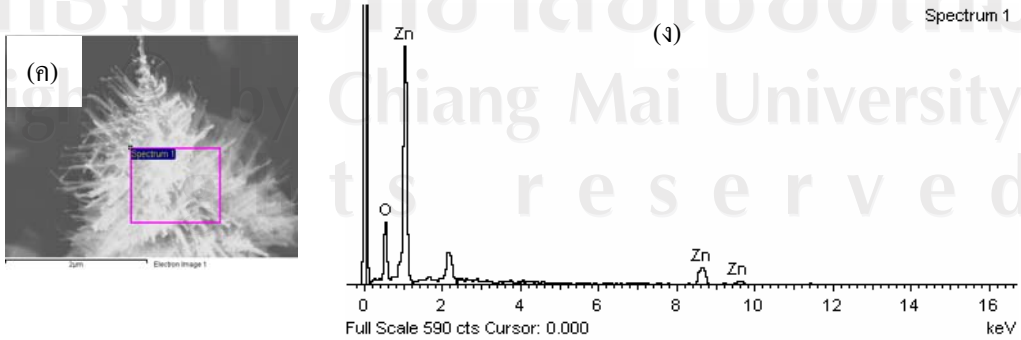
จากรูปที่ 4.18 (ก) และ (ข) พบว่าผลิตภัณฑ์ที่สังเคราะห์ได้มีลักษณะเป็นแท่งที่มีขนาดของเส้นผ่าศูนย์กลางอยู่ในช่วงประมาณ 20-55 นาโนเมตร (รูปที่ 18 ในภาคผนวก ก) โดยมีค่าเฉลี่ยของเส้นผ่าศูนย์กลางเท่ากับ 42 นาโนเมตร และมีส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 8.47 นาโนเมตรในการวิเคราะห์แท่งนาโนด้วยเทคนิค EDS พบองค์ประกอบหลักของผลิตภัณฑ์ที่สังเคราะห์ได้คือ ออกซิเจน และสังกะสี ดังตารางที่ 4.18

5) ลักษณะเฉพาะของเส้นใยนาโนซิงก์ออกไซด์ เมื่อระยะห่างระหว่างแผ่นรองรับกับแท่งสารตั้งต้นเท่ากับ 6 มิลลิเมตร และอัตราการไหลของก๊าซอาร์กอนเท่ากับ 2 ลิตรต่อนาที

เมื่อนำสารผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการสังเคราะห์ไปวิเคราะห์หาลักษณะและสเปกตรัมองค์ประกอบธาตุด้วยเทคนิค SEM และ EDS ผลที่ได้เป็นดังรูป 4.19



รูปที่ 4.19 ภาพถ่าย SEM ของเส้นใยนาโนที่สังเคราะห์ได้ที่กำลังขยาย (ก) 1,000 เท่า และ (ข) 30,000 เท่า



รูปที่ 4.19 (ค) และ (ง) แสดงบริเวณที่ใช้วิเคราะห์องค์ประกอบธาตุ และกราฟวิเคราะห์องค์ประกอบธาตุของเส้นใยนาโนที่สังเคราะห์ได้ ตามลำดับ

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

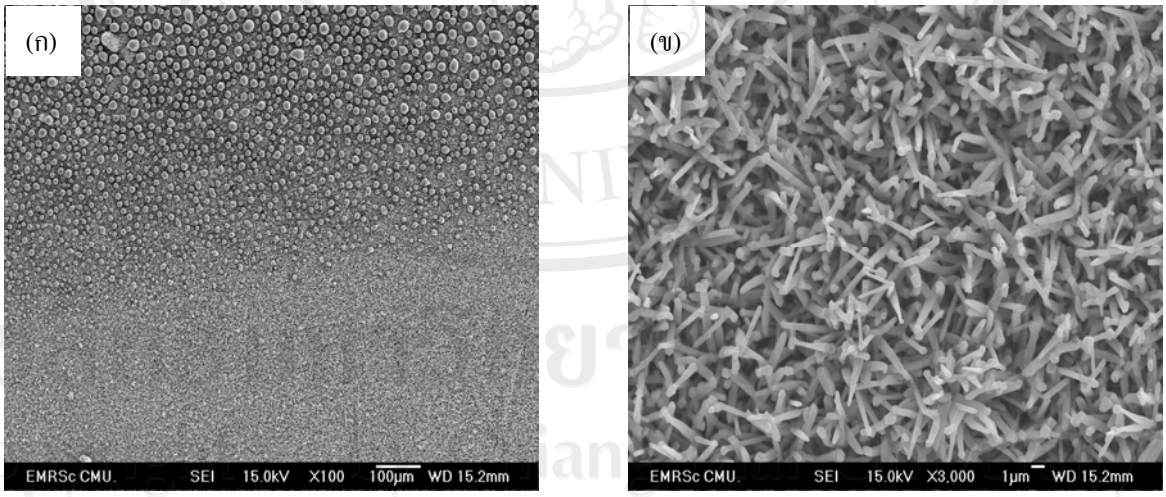
ตารางที่ 4.19 แสดงปริมาณธาตุองค์ประกอบของเส้นใยนาโนในรูปที่ 4.19 (ค)

Element	Weight%	Atomic%
O K	21.37	52.61
Zn K	78.63	47.39
Totals	100.00	

จากรูปที่ 4.19 (ก) และ (ข) พบว่าผลิตภัณฑ์ที่สังเคราะห์ได้มีลักษณะเป็นแท่งที่มีขนาดของเส้นผ่าศูนย์กลางอยู่ในช่วงประมาณ 20-45 นาโนเมตร (รูปที่ 19 ในภาคผนวก ก) โดยมีค่าเฉลี่ยของเส้นผ่าศูนย์กลางเท่ากับ 34 นาโนเมตร และมีส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 5.35 นาโนเมตรในการวิเคราะห์แท่งนาโนด้วยเทคนิค EDS พบองค์ประกอบหลักของผลิตภัณฑ์ที่สังเคราะห์ได้คือ ออกซิเจนและสังกะสี ดังตารางที่ 4.19

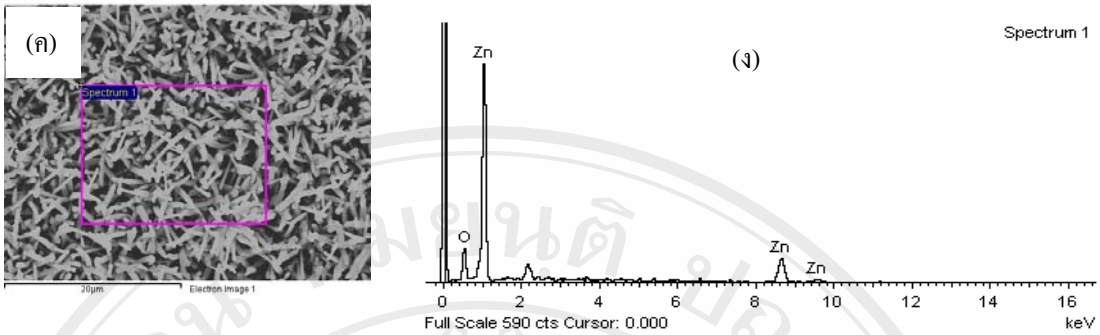
6) ลักษณะเฉพาะของเส้นใยนาโนซิงก์ออกไซด์ เมื่อระยะห่างระหว่างแผ่นรองรับกับแท่งสารตั้งต้นเท่ากับ 6มิลลิเมตร และอัตราการไหลของก๊าซอาร์กอนเท่ากับ 3 ลิตรต่อนาที

เมื่อนำสารผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการสังเคราะห์ไปวิเคราะห์หาลักษณะและสเปกตรัมองค์ประกอบธาตุด้วยเทคนิค SEM และ EDS ผลที่ได้เป็นดังรูป 4.20



รูปที่ 4.20 ภาพถ่าย SEM ของเส้นใยนาโนที่สังเคราะห์ได้ที่กำลังขยาย (ก) 100 เท่า และ (ข) 3,000 เท่า

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved



รูปที่ 4.20 (ค) และ (ง) แสดงจุดที่ใช้วิเคราะห์องค์ประกอบธาตุ และกราฟวิเคราะห์องค์ประกอบธาตุของเส้นใยนาโนที่สังเคราะห์ได้ ตามลำดับ

ตารางที่ 4.20 แสดงปริมาณธาตุองค์ประกอบของเส้นใยนาโนในรูปที่ 4.20 (ค)

Element	Weight%	Atomic%
O K	11.65	35.01
Zn K	88.35	64.99
Totals	100.00	

จากรูปที่ 4.20 (ก) และ (ข) พบว่าผลิตภัณฑ์ที่สังเคราะห์ได้มีลักษณะเป็นแท่งที่มีขนาดของเส้นผ่าศูนย์กลางอยู่ในช่วงประมาณ 250-550 นาโนเมตร (รูปที่ 20 ในภาคผนวก ก) โดยมีค่าเฉลี่ยของเส้นผ่าศูนย์กลางเท่ากับ 410 นาโนเมตร และมีส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 61.19 นาโนเมตร ในการวิเคราะห์แท่งนาโนด้วยเทคนิค EDS พบองค์ประกอบหลักของผลิตภัณฑ์ที่สังเคราะห์ได้คือ ออกซิเจน และสังกะสี ดังตารางที่ 4.20

<u>สรุปผลการทดลองชุดที่ 4.1.4</u>

การทดลองชุดที่สี่ใช้สารตั้งต้นเป็น แกรไฟต์เกรดอุตสาหกรรม ผสมกับ ซิงก์ออกไซด์เกรดอุตสาหกรรมแผ่นรองรับเคลือบทองให้มีความหนาตามรูปที่ 4.8 การสังเคราะห์ทำที่อุณหภูมิสูงสุดเท่ากับ 800 องศาเซลเซียส ขัดผิวหน้าสารตั้งต้นให้เรียบ ผลการทดลองที่ได้พบว่าผลิตภัณฑ์ในตัวอย่างที่ 1, 2, 3 และ 6 เริ่มมีการเรียงแบบตั้งฉากกับแผ่นรองรับ เส้นผ่าศูนย์กลางของผลิตภัณฑ์ในสามเงื่อนไขแรกอยู่ในช่วง 120-450 นาโนเมตร เส้นผ่าศูนย์กลางเงื่อนไขที่สี่และห้าอยู่ในช่วง 20-55 นาโนเมตร และเงื่อนไขที่หกอยู่ในช่วง 250-550 นาโนเมตร ทำให้สามารถสรุปได้ในเบื้องต้นว่าการขัดแท่งสารตั้งต้นให้มีผิวหน้าเรียบ และวางขนานกับแผ่นรองรับมีผลค่อนข้างมาก ในกรณีที่ผิวหน้าของแท่งสารตั้งต้นเรียบจะทำให้ทุกจุดของสารตั้งต้นห่างจากแผ่นรองรับเมื่อวัดเป็นเส้นตรงเท่ากัน ความ

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

แตกต่างของอุณหภูมิทุกจุดเท่ากัน ทำให้อัตราการตกสะสมของซิงก์ออกไซด์มีค่าค่อนข้างจะสม่ำเสมอ เส้นนาโนที่ได้จึงมีขนาดและการเรียงตัวที่ค่อนดีอัตราส่วนระหว่างเปอร์เซ็นต์อะตอมของออกซิเจนและสังกะสีพบว่ามีอัตราส่วนที่ค่อนข้างใกล้เคียงกัน เกือบทุกตัวอย่างที่มีปริมาณออกซิเจนน้อยกว่าสังกะสีโดยเฉพาะเงื่อนไขที่สามและหกที่มีปริมาณอะตอมออกซิเจนน้อยมากซึ่งเงื่อนไขที่สามและหกมีอัตราการไหลของอาร์กอนสูงสุดกล่าวคือ 3 ลิตรต่อนาที ปริมาณออกซิเจนที่น้อยในสองตัวอย่างนี้น่าจะเป็นผลมาจากอัตราการไหลของอาร์กอนที่มากทำให้ปริมาณออกซิเจนที่อยู่ในระบบเมื่อเวลาผ่านไปมีค่าน้อยลงเมื่อเทียบกับเงื่อนไขอื่น ปริมาณออกซิเจนที่น้อยกว่าสังกะสีสอดคล้องเป็นอย่างดีกับผลที่ได้จากการวัดการเปล่งแสง (IL) ที่บ่งบอกว่าผลิตภัณฑ์ที่ได้มีจำนวนอะตอมออกซิเจนขาดหายไป และเมื่อพิจารณาเงื่อนไขทั้งหมดพบว่าเงื่อนไขที่สามให้ผลิตภัณฑ์ที่ดีที่สุด ดังนั้นตำแหน่งแผ่นรองรับควรวางห่างจากสารตั้งต้น 5 มิลลิเมตร และกำลังไฟฟ้าสูงสุดเท่ากับ 240 วัตต์ เพื่อให้ซิงก์ออกไซด์ที่ได้มีลักษณะเป็นแท่ง มีการกระจายตัวสม่ำเสมอ และมีลักษณะการเรียงตัวตั้งฉากกับ แผ่นรองรับมากที่สุด

4.2 สรุปเงื่อนไขที่ดีที่สุดในการสังเคราะห์เส้นใยนาโนซิงก์ออกไซด์โดยวิธีการตกสะสมด้วยการเผาด้วยกระแสไฟฟ้า

1.) สารตั้งต้นต้องเป็นแกรไฟต์เกรดอุตสาหกรรมผสมกับซิงก์ออกไซด์เกรดอุตสาหกรรม อัตราส่วน 60:40 %wt อัดสารตั้งต้นให้เป็นแท่ง ผิวหน้าของสารตั้งต้นต้องขัดด้วยกระดาษทรายจนเรียบเพื่อให้ทุกส่วนของผิวหน้าสารตั้งต้นห่างจากแผ่นรองรับเท่ากัน

2.) แผ่นรองรับต้องเคลือบด้วยทองและผ่านกระบวนการให้ความร้อนภายใต้บรรยากาศของอาร์กอนและไฮโดรเจนจนกลายเป็นอนุภาคนาโนทอง

3.) ระยะห่างระหว่างผิวของสารตั้งต้นกับแผ่นรองรับเท่ากับ 5 มิลลิเมตร

4.) อัตราการไหลของก๊าซอาร์กอนเท่ากับ 3 ลิตรต่อนาที

5.) กำลังไฟฟ้าสูงสุดเท่ากับ 240 วัตต์ และอัตราการให้กำลังไฟฟ้าเป็นไปตามตารางที่ 4.1

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

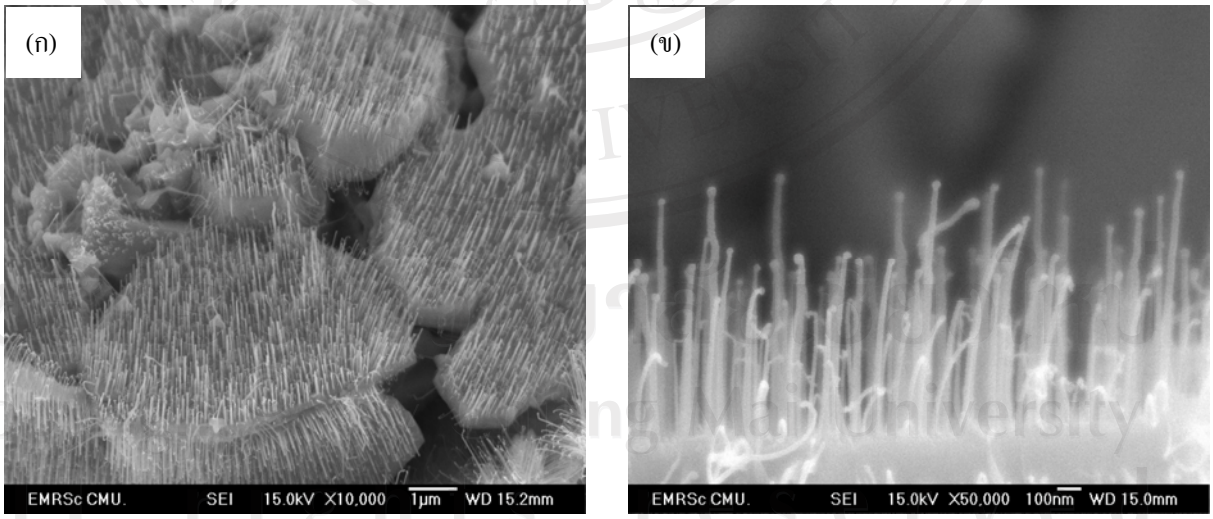
4.3 เส้นใยนาโนซิงก์ออกไซด์ที่สังเคราะห์โดยการระเหิดด้วยวิธีคาร์โบเทอร์มอล

4.3.1 การทดลองเปรียบเทียบความหนาของทองและเวลาที่ใช้ในการเผา

เงื่อนไขคือใช้แกรไฟต์เกรดอุตสาหกรรมผสมกับซิงก์ออกไซด์เกรดอุตสาหกรรมในอัตราส่วน 60:40%wt ให้น้ำหนักรวมของสารมีค่าเท่ากับ 1 กรัม วางสารไว้บน alumina boat และวางไว้ที่ตำแหน่งกึ่งกลางของเตา แผ่นรองรับถูกเคลือบด้วยทองให้มีความหนาสองค่า คือ 6.6 นาโนเมตร และ 9.4 นาโนเมตร (รูปที่ 31 ภาคผนวก ข) ผ่านการเตรียมตามขั้นตอน 3.1.1(4) วางแผ่นรองรับให้ห่างจากกึ่งกลางเตาเป็นระยะเท่ากับ 11 เซนติเมตร อุณหภูมิที่ใช้ในการเผามีค่าเท่ากับ 1,100 องศาเซลเซียส เวลาที่ใช้ในการเผาที่ 1,100 องศาเซลเซียสมีค่าเท่ากับ 30 นาทีและ 40 นาที จากนั้นปล่อยให้เตาเย็นลงจนถึงอุณหภูมิ 350 องศาเซลเซียส จึงนำผลิตภัณฑ์จากการเผาออกจากเตา การเผากระทำภายใต้บรรยากาศของอาร์กอน โดยอัตราการไหลของอาร์กอนเท่ากับ 25 มิลลิลิตรต่อนาที ผลที่ได้มีดังต่อไปนี้

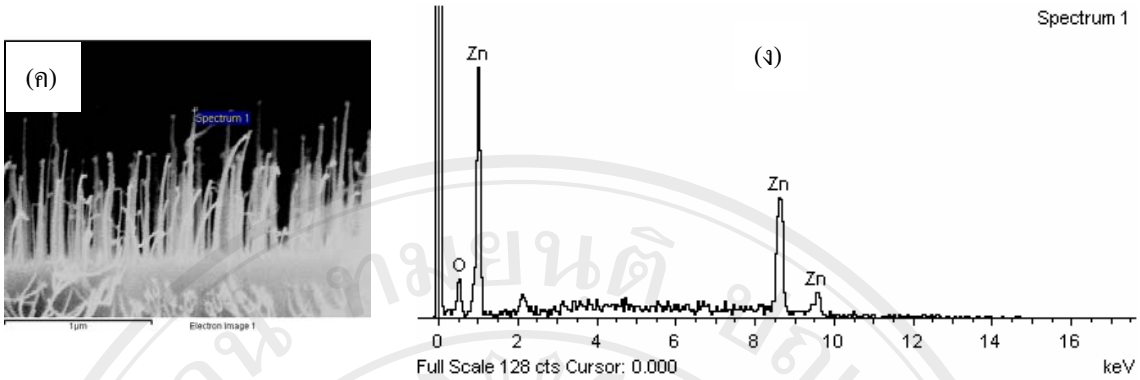
1) ลักษณะเฉพาะของเส้นใยนาโนซิงก์ออกไซด์เมื่อใช้ความหนาของทองเท่ากับ 6.6 นาโนเมตร hold ไว้ที่ 1,100 องศาเซลเซียสเป็นเวลานาน 30 นาที หลังจากนั้นนำตัวอย่างออกที่ 350 องศาเซลเซียส

เมื่อนำสารผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการสังเคราะห์ไปวิเคราะห์หาลักษณะและสเปกตรัมองค์ประกอบธาตุด้วยเทคนิค SEM, EDS และ IL ผลที่ได้เป็นดังรูป 4.21



รูปที่ 4.21 ภาพถ่าย SEM ของเส้นใยนาโนที่สังเคราะห์ได้ที่กำลังขยาย (ก) 10,000 เท่า และ (ข) 50,000 เท่า

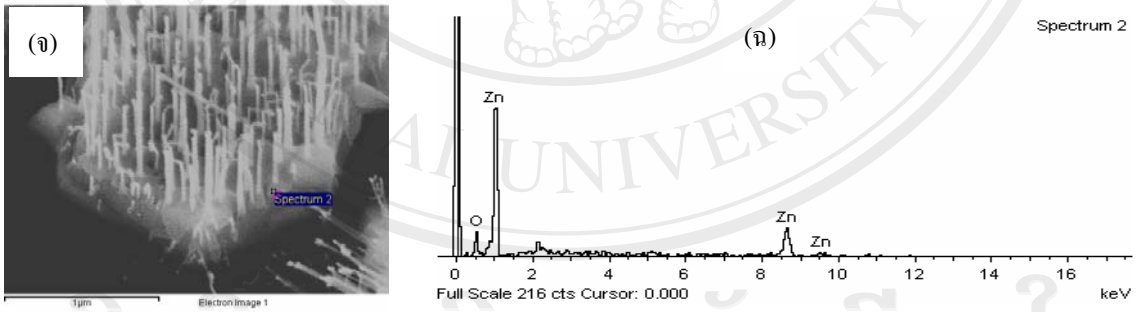
ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved



รูปที่ 4.21 (ค) และ (ง) แสดงจุดที่ใช้วิเคราะห์องค์ประกอบธาตุ และกราฟวิเคราะห์องค์ประกอบธาตุของเส้นใยนาโนที่สังเคราะห์ได้ ตามลำดับ

ตารางที่ 4.21 แสดงปริมาณธาตุองค์ประกอบของเส้นใยนาโนในรูปที่ 4.21 (ค)

Element	Weight%	Atomic%
O K	2.94	11.03
Zn K	97.06	88.97
Totals	100.00	

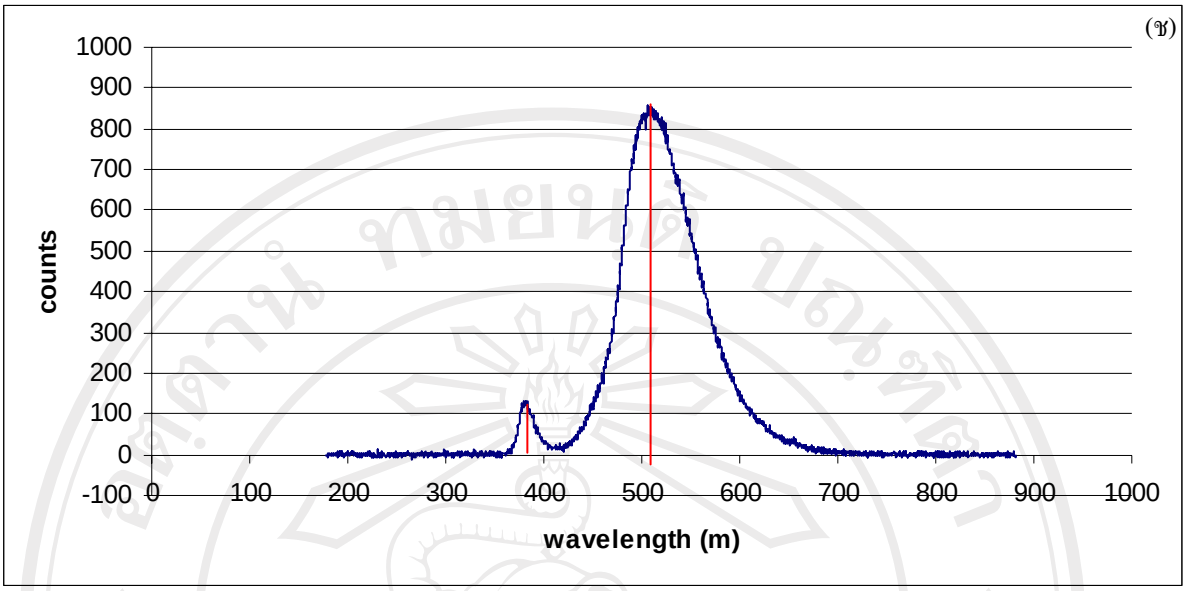


รูปที่ 4.21 (จ) และ (ฉ) แสดงจุดที่ใช้วิเคราะห์องค์ประกอบธาตุ และกราฟวิเคราะห์องค์ประกอบธาตุของเส้นใยนาโนที่สังเคราะห์ได้ ตามลำดับ

ตารางที่ 4.22 แสดงปริมาณธาตุองค์ประกอบของเส้นใยนาโนในรูปที่ 4.21 (จ)

Element	Weight%	Atomic%
O K	8.08	26.43
Zn K	91.92	73.57
Totals	100.00	

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved



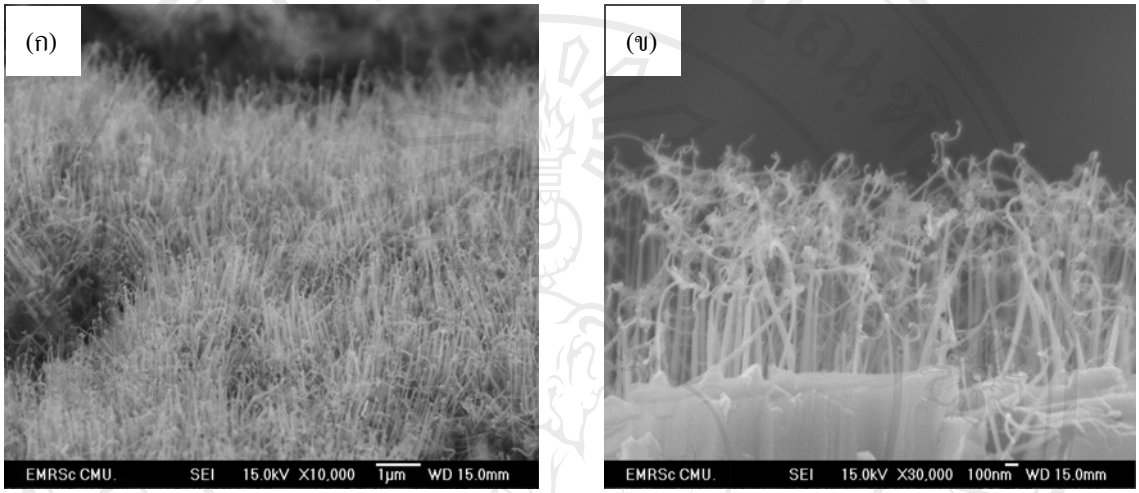
รูปที่ 4.21 (ช) แสดงเส้นสเปคตรัมที่ได้จากการวัดโดยเทคนิค IL

จากรูปที่ 4.21 (ก) และ (ข) พบว่าผลิตภัณฑ์ที่สังเคราะห์ได้มีลักษณะเป็นแท่งที่มีขนาดของเส้นผ่าศูนย์กลางอยู่ในช่วงประมาณ 15-30 นาโนเมตร (รูปที่ 21 ในภาคผนวก ก) โดยมีค่าเฉลี่ยของเส้นผ่าศูนย์กลางเท่ากับ 24 นาโนเมตร และมีส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 3.43 นาโนเมตร ในการวิเคราะห์ด้วยเทคนิค EDS 2 บริเวณ คือบริเวณตรงฐาน และบริเวณตรงเส้น พบองค์ประกอบหลักของทั้งสองบริเวณ ออกซิเจนและสังกะสี ดังตารางที่ 4.21 และ 4.22 รูปที่ 4.21 (ช) แสดงความยาวคลื่นของแสงที่เปล่งออกมาเมื่อผลิตภัณฑ์ที่สังเคราะห์ได้ถูกกระตุ้นด้วยไอออนของไฮโดรเจนลบพลังงาน 25 keVจะเห็นได้ว่ามีความยาวคลื่นที่ปล่อยออกมาสองค่าคือ 380 นาโนเมตร และ 510 นาโนเมตร โดยที่แสงความยาวคลื่น 510 นาโนเมตร (สีเขียว) มีความเข้มสูงที่สุด การที่แสงสีเขียวที่เปล่งออกมามีความเข้มสูงเนื่องมาจากผลิตภัณฑ์ซิงก์ออกไซด์ที่สังเคราะห์ได้ขาดออกซิเจน (Oxygen vacancies)

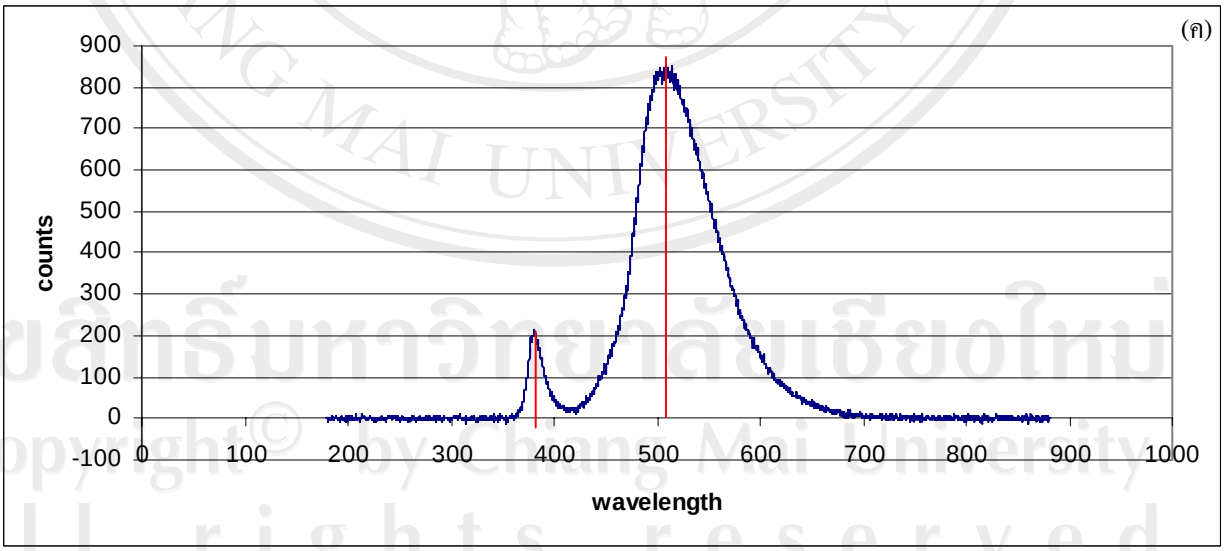
ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

2) ลักษณะเฉพาะของเส้นใยนาโนซิงก์ออกไซด์เมื่อใช้ความหนาของทองเท่ากับ 6.6 นาโนเมตร hold ไว้ที่ 1,100 องศาเซลเซียสเป็นเวลานาน 40 นาที หลังจากนั้นนำ ตัวอย่าง ออกที่ 350 องศาเซลเซียส

เมื่อนำสารผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการสังเคราะห์ไปวิเคราะห์หาลักษณะและสเปกตรัมองค์ประกอบธาตุด้วยเทคนิค SEM, IL ผลที่ได้เป็นดังรูป 4.22



รูปที่ 4.22 ภาพถ่าย SEM ของเส้นใยนาโนที่สังเคราะห์ได้ที่กำลังขยาย (ก) 10,000 เท่า และ (ข) 30,000 เท่า



รูปที่ 4.22 (ค) แสดงเส้นสเปคตรัมที่ได้จากการวัดโดยเทคนิค IL

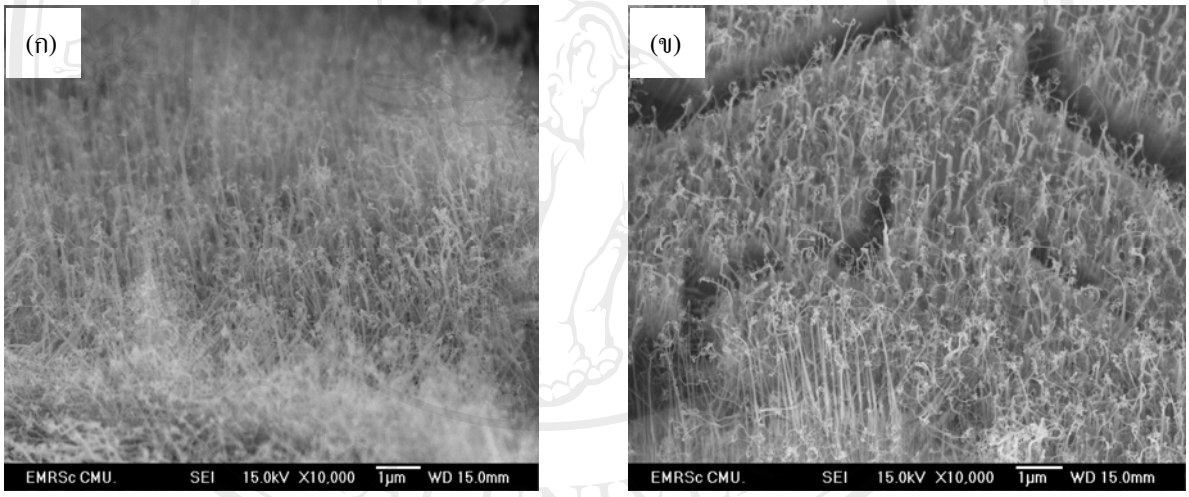
จากรูปที่ 4.22 (ก) และ (ข) พบว่าผลิตภัณฑ์ที่สังเคราะห์ได้มีลักษณะเป็นเส้นที่มีขนาดของเส้นผ่าศูนย์กลางอยู่ในช่วงประมาณ 25-45 นาโนเมตร (รูปที่ 22 ในภาคผนวก ก) โดยมีค่าเฉลี่ยของเส้นผ่าศูนย์กลางเท่ากับ 35 นาโนเมตร และมีส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 4.97 นาโนเมตร รูปที่

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

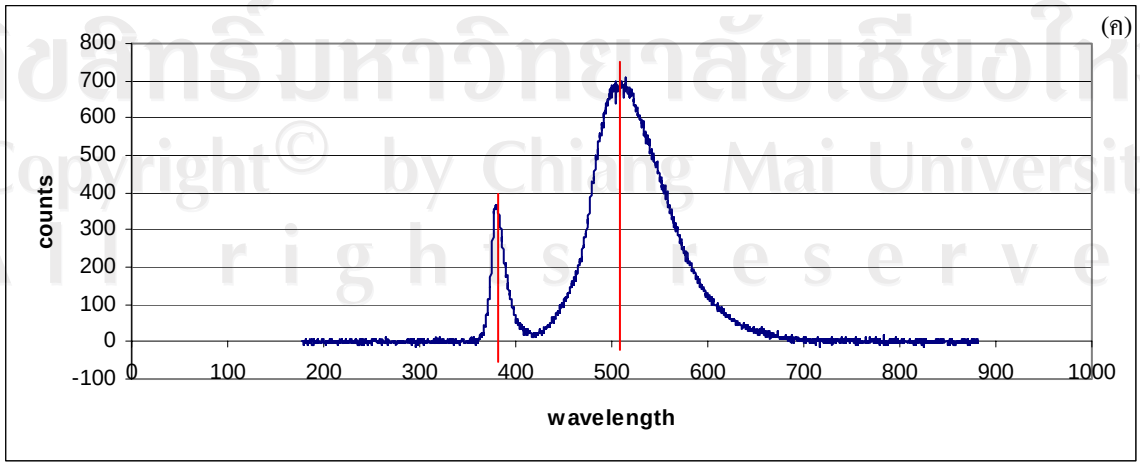
4.22 (ค) แสดงความยาวคลื่นของแสงที่เปล่งออกมาเมื่อผลิตภัณฑ์ที่สังเคราะห์ได้ถูกกระตุ้นด้วยไอออนของไฮโดรเจนลบพลังงาน 25 keV จะเห็นได้ว่ามีความยาวคลื่นที่ปล่อยออกมาสองค่าคือ 380 นาโนเมตร และ 510 นาโนเมตร โดยที่แสงความยาวคลื่น 510 นาโนเมตร (สีเขียว) มีความเข้มสูงที่สุด การที่แสงสีเขียวที่เปล่งออกมามีความเข้มสูงเนื่องมาจากผลิตภัณฑ์ซิงก์ออกไซด์ที่สังเคราะห์ได้ขาดออกซิเจน (Oxygen vacancies)

3) ลักษณะเฉพาะของเส้นใยนาโนซิงก์ออกไซด์เมื่อใช้ความหนาของทองเท่ากับ 9.4 นาโนเมตร hold ไว้ที่ 1,100 องศาเซลเซียสเป็นเวลานาน 30 นาที หลังจากนั้นนำ ตัวอย่าง ออกที่ 350 องศาเซลเซียส

เมื่อนำสารผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการสังเคราะห์ไปวิเคราะห์หาลักษณะและสเปกตรัมองค์ประกอบธาตุด้วยเทคนิค SEM และ IL ผลที่ได้เป็นดังรูป 4.23



รูปที่ 4.23 (ก) และ (ข) ภาพถ่าย SEM ของเส้นใยนาโนที่สังเคราะห์ได้ที่กำลังขยาย 10,000 เท่า



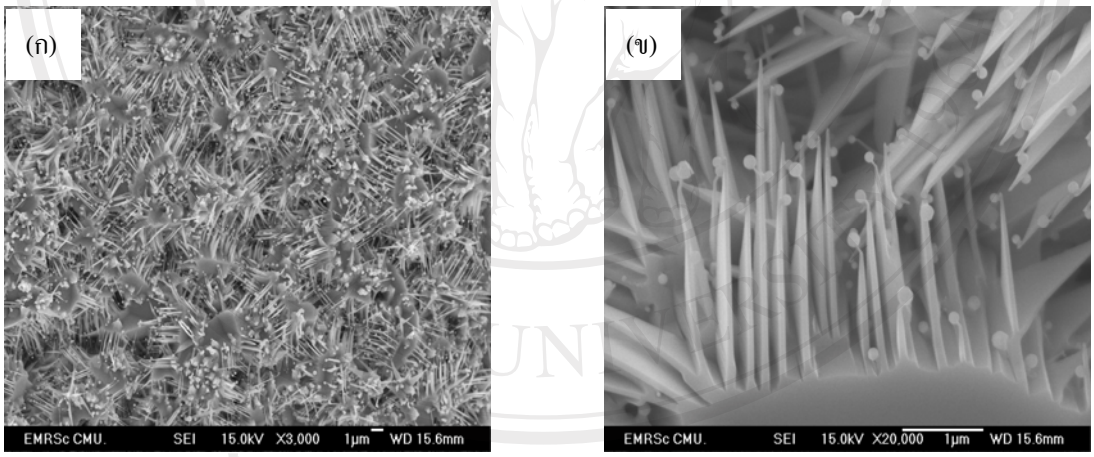
รูปที่ 4.23 (ค) แสดงเส้นสเปคตรัมที่ได้จากการวัดโดยเทคนิค IL

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

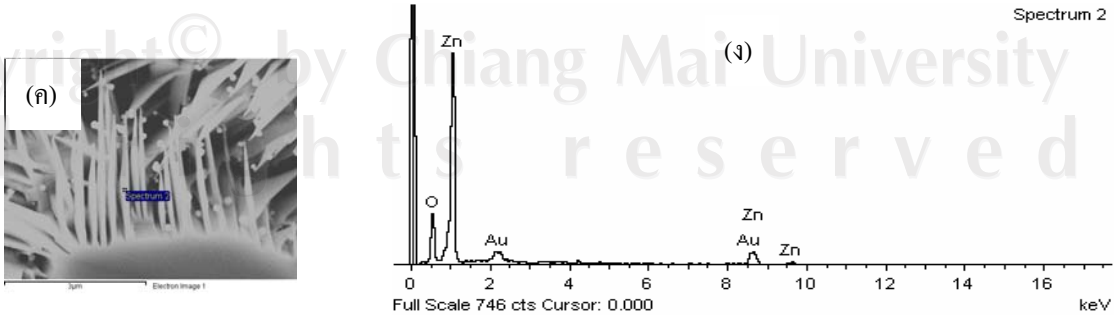
จากรูปที่ 4.23 (ก) และ (ข) พบว่าผลิตภัณฑ์ที่สังเคราะห์ได้มีลักษณะเป็นเส้นที่มีขนาดของเส้นผ่าศูนย์กลางอยู่ในช่วงประมาณ 15-35 นาโนเมตร (รูปที่ 23 ในภาคผนวก ก) โดยมีค่าเฉลี่ยของเส้นผ่าศูนย์กลางเท่ากับ 23 นาโนเมตร และมีส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 4.07 นาโนเมตร รูปที่ 4.23 (ค) แสดงความยาวคลื่นของแสงที่เปล่งออกมาเมื่อผลิตภัณฑ์ที่สังเคราะห์ได้ถูกกระตุ้นด้วยไอออนของไฮโดรเจนลบพลังงาน 25 keV จะเห็นได้ว่ามีความยาวคลื่นที่ปล่อยออกมาสองค่าคือ 380 นาโนเมตร และ 510 นาโนเมตร โดยที่แสงความยาวคลื่น 510 นาโนเมตร (สีเขียว) มีความเข้มสูงที่สุด การที่แสงสีเขียวที่เปล่งออกมามีความเข้มสูงเนื่องมาจากผลิตภัณฑ์ซิงก์ออกไซด์ที่สังเคราะห์ได้ขาดออกซิเจน (Oxygen vacancies)

4) ลักษณะเฉพาะของเส้นใยนาโนซิงก์ออกไซด์เมื่อใช้ความหนาของทองเท่ากับ 9.4 นาโนเมตร hold ไว้ที่ 1,100 องศาเซลเซียสเป็นเวลานาน 40 นาที หลังจากนั้นนำ ตัวอย่าง ออกที่ 350 องศาเซลเซียส

เมื่อนำสารผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการสังเคราะห์ไปวิเคราะห์หาลักษณะและสเปกตรัมองค์ประกอบธาตุด้วยเทคนิค SEM, EDS และ IL ได้ผลเป็นดังรูป 4.24



รูปที่ 4.24 ภาพถ่าย SEM ของเส้นใยนาโนที่สังเคราะห์ได้ที่กำลังขยาย (ก) 3,000 เท่า และ (ข) 20,000 เท่า

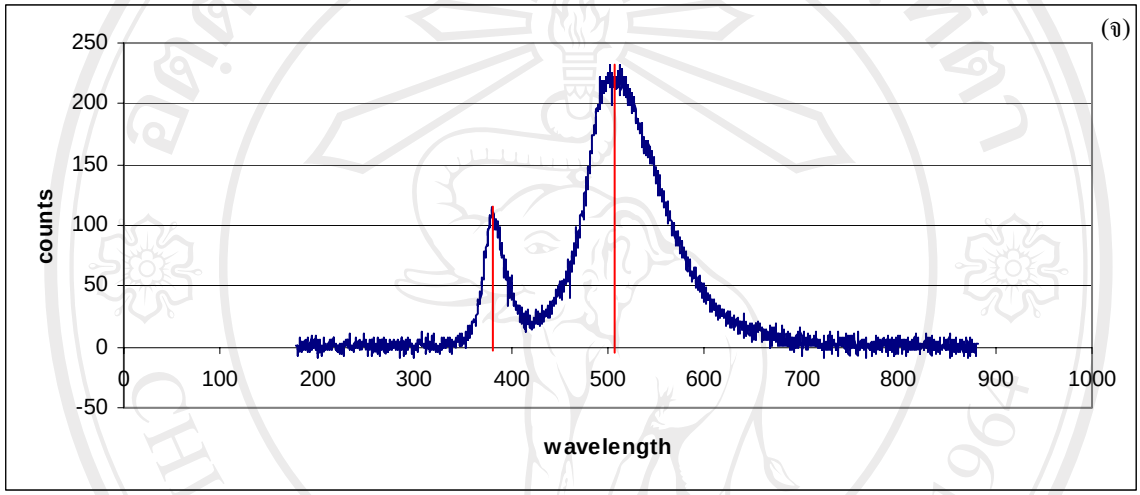


รูปที่ 4.24 (ค) และ (ง) แสดงจุดที่ใช้วิเคราะห์องค์ประกอบธาตุ และกราฟวิเคราะห์องค์ประกอบธาตุของเส้นใยนาโนที่สังเคราะห์ได้ ตามลำดับ

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ตารางที่ 4.23 แสดงปริมาณธาตุองค์ประกอบของเส้นใยนาโนในรูปที่ 4.24 (ค)

Element	Weight%	Atomic%
O K	32.46	66.26
Zn K	67.54	33.74
Totals	100.00	



รูปที่ 4.24 (จ) แสดงเส้นสเปคตรัมที่ได้จากการวัดโดยเทคนิค IL

จากรูปที่ 4.24 (ก) และ (ข) พบว่าผลิตภัณฑ์ที่สังเคราะห์ได้มีลักษณะเป็นแผ่นที่มีขนาดความหนาของแผ่นในช่วงประมาณ 40-100 นาโนเมตร (รูปที่ 24 ในภาคผนวก ก) โดยมีค่าเฉลี่ยของเส้นผ่าศูนย์กลางเท่ากับ 68 นาโนเมตร และมีส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 14.25 นาโนเมตร ในการวิเคราะห์แท่งนาโนด้วยเทคนิค EDS พบองค์ประกอบหลักของผลิตภัณฑ์ที่สังเคราะห์ได้คือ ออกซิเจนและสังกะสี ดังตารางที่ 4.23 รูปที่ 4.24 (จ) แสดงความยาวคลื่นของแสงที่เปล่งออกมาเมื่อผลิตภัณฑ์ที่สังเคราะห์ได้ถูกกระตุ้นด้วยไอออนของไฮโดรเจนลบพลังงาน 25 keV จะเห็นได้ว่ามีความยาวคลื่นที่ปล่อยออกมาสองค่าคือ 380 นาโนเมตร และ 510 นาโนเมตร โดยที่แสงความยาวคลื่น 510 นาโนเมตร (สีเขียว) มีความเข้มสูงที่สุด การที่แสงสีเขียวที่เปล่งออกมามีความเข้มสูงเนื่องมาจากผลิตภัณฑ์ซิงก์ออกไซด์ที่สังเคราะห์ได้ขาดออกซิเจน (Oxygen vacancies)

<u>สรุปผลการทดลองที่ 4.3.1</u>

เมื่อเปลี่ยนระบบเป็นเตาเผา ซึ่งเป็นระบบปิดที่ค่อนข้างสมบูรณ์ วางแผ่นรองรับไว้ตรงที่ปลายเตา (ทางออกของแก๊ส) และปล่อยแก๊สอาร์กอนให้ไหลเข้าไปตรงปลายเตาอีกด้านหนึ่ง (ทางเข้าของ

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

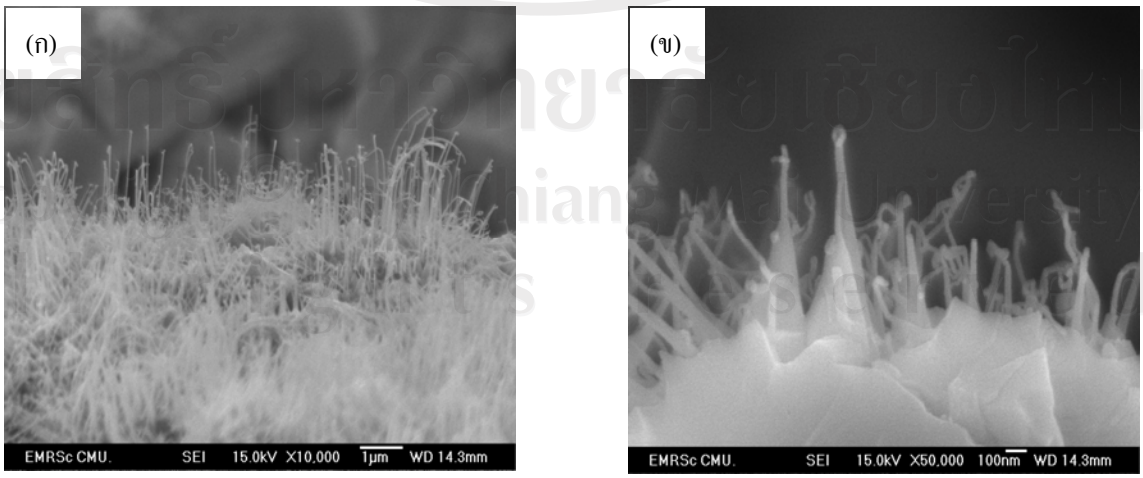
แก๊ส) โดยสารตั้งต้นวางอยู่ตรงกลางเตา อุณหภูมิที่ใช้เผาวัดที่กลางเตาเท่ากับ 1,100 องศาเซลเซียส ปล่อยก๊าซอาร์กอนไหลเข้าไประบบอย่างเบาๆ ทำให้ไอสารที่เกิดขึ้นกระทบกับแผ่นรองรับโดยตรง กระบวนการเกิดขึ้นอย่างช้าๆ และไอสารตกสะสมที่แผ่นรองรับด้วยอัตราสม่ำเสมอมากขึ้น จะทำให้ผลิตภัณฑ์ซิงก์ออกไซด์มีการเรียงตัวเป็นระเบียบ และขึ้นในลักษณะตั้งฉากกับแผ่นรองรับค่อนข้างมาก โดยเฉพาะอย่างยิ่งในเงื่อนไขที่ 1, 2 และ 3 เส้นผ่าศูนย์กลางอยู่ในช่วงของ 10-100 นาโนเมตร ผลจากการวัดองค์ประกอบธาตุ (EDS) พบว่าอัตราส่วนเปอร์เซ็นต์จำนวนอะตอมของสังกะสีมากกว่าออกซิเจน ซึ่งสอดคล้องกับผลที่ได้จากการวัดการเปล่งแสง (IL) ที่บ่งบอกว่าผลิตภัณฑ์ที่ได้ขาดอะตอมออกซิเจน

4.3.2 การทดลองเปรียบเทียบอุณหภูมิที่นำสารออกจากเตา

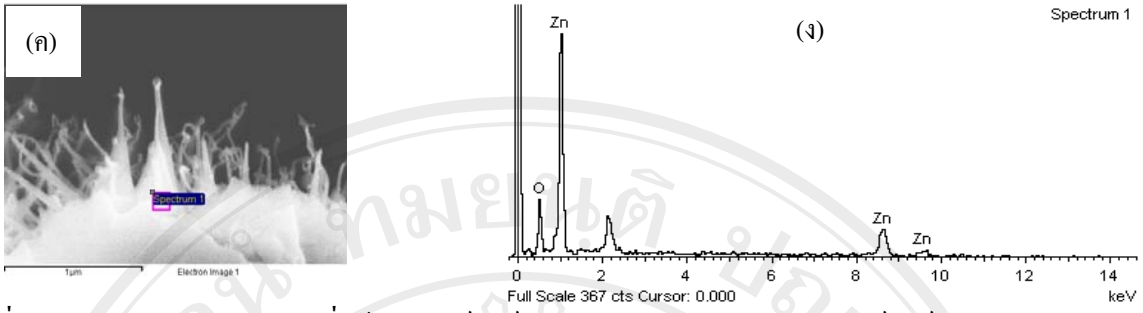
เงื่อนไขคือใช้แกรไฟต์เกรดอุตสาหกรรมผสมกับซิงก์ออกไซด์เกรดอุตสาหกรรมในอัตราส่วน 60:40%wt ให้น้ำหนักรวมของสารมีค่าเท่ากับ 1 กรัม วางวารไว้บน alumina boat และวางไว้ที่ตำแหน่งกึ่งกลางของเตา แผ่นรองรับถูกเคลือบด้วยทองให้มีความหนา และผ่านการเตรียมตามขั้นตอน 3.1.1.4 วางแผ่นรองรับห่างจากกึ่งกลางเตาเป็นระยะเท่ากับ 11 เซนติเมตร อุณหภูมิที่ใช้ในการเผามีค่าเท่ากับ 1100 องศาเซลเซียส การเผาทำเหมือนการทดลองชุดที่ห้าทุกประการ แต่ว่าการทดลองนี้เปลี่ยนอุณหภูมิที่เอา ตัวอย่าง ออก จาก 350 เป็น 400 และ 450 องศาเซลเซียส ผลที่ได้มีดังต่อไปนี้

1) ลักษณะเฉพาะของเส้นใยนาโนซิงก์ออกไซด์เมื่อใช้ความหนาของทองเท่ากับ 6.6 นาโนเมตร hold ไว้ที่ 1,100 องศาเซลเซียสเป็นเวลานาน 30 นาที หลังจากนั้นนำ ตัวอย่าง ออกที่ 400 องศาเซลเซียส

เมื่อนำสารผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการสังเคราะห์ไปวิเคราะห์หาลักษณะและสเปกตรัมองค์ประกอบธาตุด้วยเทคนิค SEM และ EDS ผลที่ได้เป็นดังรูป 4.25



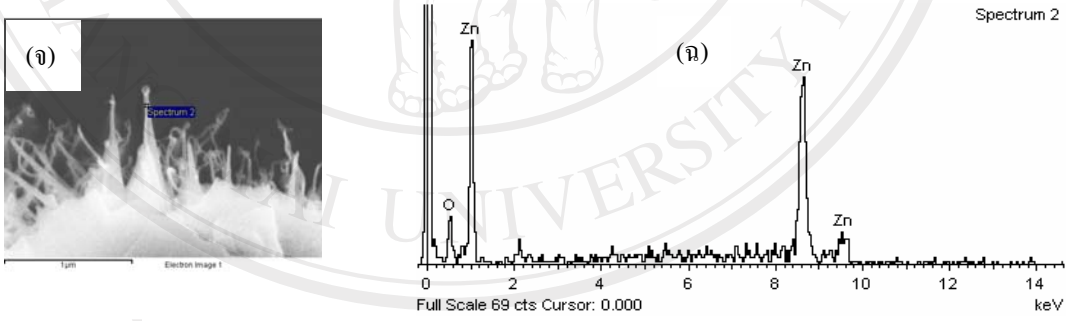
รูปที่ 4.25 ภาพถ่าย SEM ของเส้นใยนาโนที่สังเคราะห์ได้ที่กำลังขยาย (ก) 50,000 เท่า และ (ข) 50,000 เท่า



รูปที่ 4.25 (ค) และ (ง) แสดงจุดที่ใช้วิเคราะห์องค์ประกอบธาตุ และกราฟวิเคราะห์องค์ประกอบธาตุของเส้นใยนาโนที่สังเคราะห์ได้ ตามลำดับ

ตารางที่ 4.24 แสดงปริมาณธาตุองค์ประกอบของเส้นใยนาโนในรูปที่ 4.25 (ค)

Element	Weight%	Atomic%
O K	14.73	41.38
Zn K	85.27	58.62
Totals	100.00	

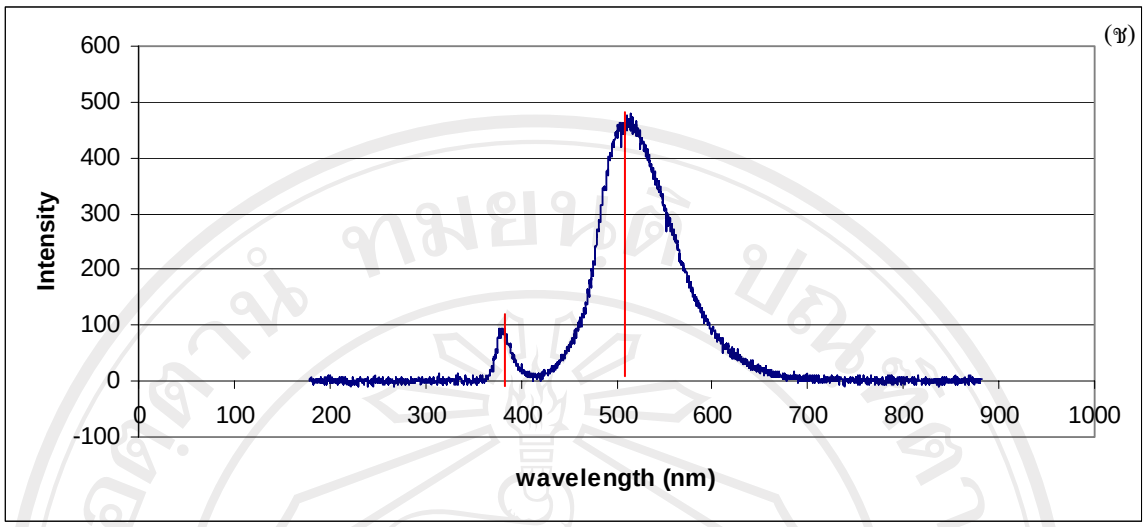


รูปที่ 4.25 (จ) และ (ฉ) แสดงจุดที่ใช้วิเคราะห์องค์ประกอบธาตุ และกราฟวิเคราะห์องค์ประกอบธาตุของเส้นใยนาโนที่สังเคราะห์ได้ ตามลำดับ

ตารางที่ 4.25 แสดงปริมาณธาตุองค์ประกอบของเส้นใยนาโนในรูปที่ 4.25 (จ)

Element	Weight%	Atomic%
O K	2.67	10.07
Zn K	97.33	89.93
Totals	100.00	

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved



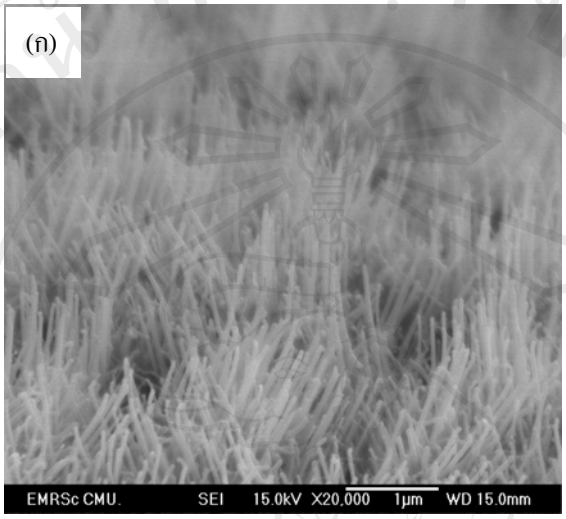
รูปที่ 4.25 (ช) แสดงเส้นสเปคตรัมที่ได้จากการวัดโดยเทคนิค IL

จากรูปที่ 4.25 (ก) และ (ข) พบว่าผลิตภัณฑ์ที่สังเคราะห์ได้มีลักษณะเป็นแท่งที่มีขนาดของเส้นผ่าศูนย์กลางอยู่ในช่วงประมาณ 40-65 นาโนเมตร (รูปที่ 25 ในภาคผนวก ก) โดยมีค่าเฉลี่ยของเส้นผ่าศูนย์กลางเท่ากับ 51 นาโนเมตร และมีส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 6.3 นาโนเมตร ในการวิเคราะห์ด้วยเทคนิค EDS ได้ทำการวิเคราะห์อยู่ 2 บริเวณ คือ ตรงฐาน (รูปที่ 4.25 ค) และตรงเส้นนาโน (รูปที่ 4.25 จ) พบองค์ประกอบหลักของทั้งสองบริเวณคือ ออกซิเจนและสังกะสี ดังตารางที่ 4.24 และ 4.24 รูปที่ 4.25 (ช) แสดงความยาวคลื่นของแสงที่เปล่งออกมาเมื่อผลิตภัณฑ์ที่สังเคราะห์ได้ถูกกระตุ้นด้วยไอออนของไฮโดรเจนลบพลังงาน 25 keV จะเห็นได้ว่ามีความยาวคลื่นที่ปล่อยออกมาสองค่าคือ 380 นาโนเมตร และ 510 นาโนเมตร โดยที่แสงความยาวคลื่น 510 นาโนเมตร (สีเขียว) มีความเข้มสูงที่สุด การที่แสงสีเขียวที่เปล่งออกมามีความเข้มสูงเนื่องมาจากผลิตภัณฑ์ซิงก์ออกไซด์ที่สังเคราะห์ได้ขาดออกซิเจน (Oxygen vacancies)

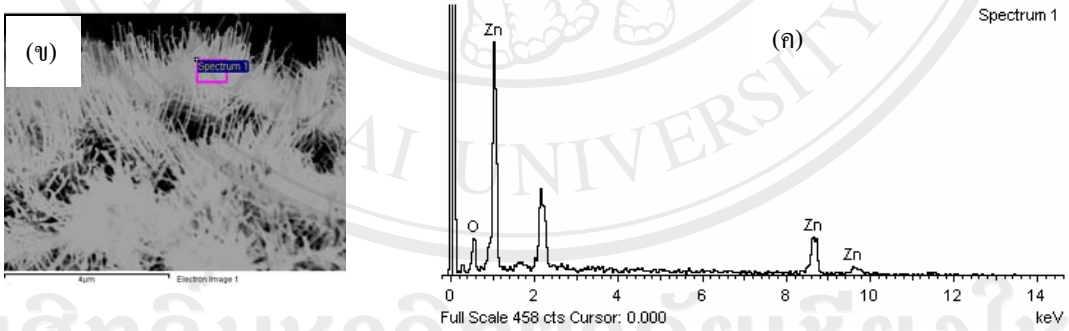
ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

2) ลักษณะเฉพาะของเส้นใยนาโนซิงก์ออกไซด์เมื่อใช้ความหนาของทองเท่ากับ 6.6 นาโนเมตร hold ไว้ที่ 1,100 องศาเซลเซียสเป็นเวลานาน 40 นาที หลังจากนั้นนำ ตัวอย่าง ออกที่ 400 องศาเซลเซียส

เมื่อนำสารผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการสังเคราะห์ไปวิเคราะห์หาลักษณะและสเปกตรัมองค์ประกอบธาตุด้วยเทคนิค SEM, EDS และ IL ผลที่ได้เป็นดังรูป 4.26



รูปที่ 4.26 (ก) ภาพถ่าย SEM ที่กำลังขยาย 20,000 เท่า ของเส้นใยนาโนที่สังเคราะห์ได้

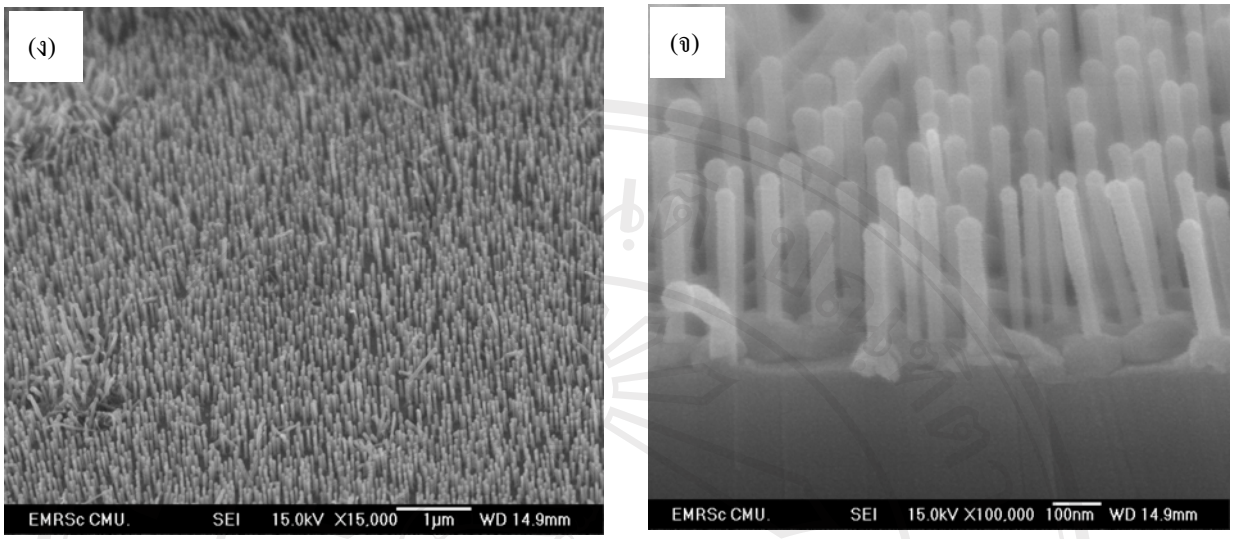


รูปที่ 4.26 (ข) และ (ค) แสดงบริเวณที่ใช้วิเคราะห์องค์ประกอบธาตุ และกราฟวิเคราะห์องค์ประกอบธาตุของเส้นใยนาโนที่สังเคราะห์ได้ ตามลำดับ

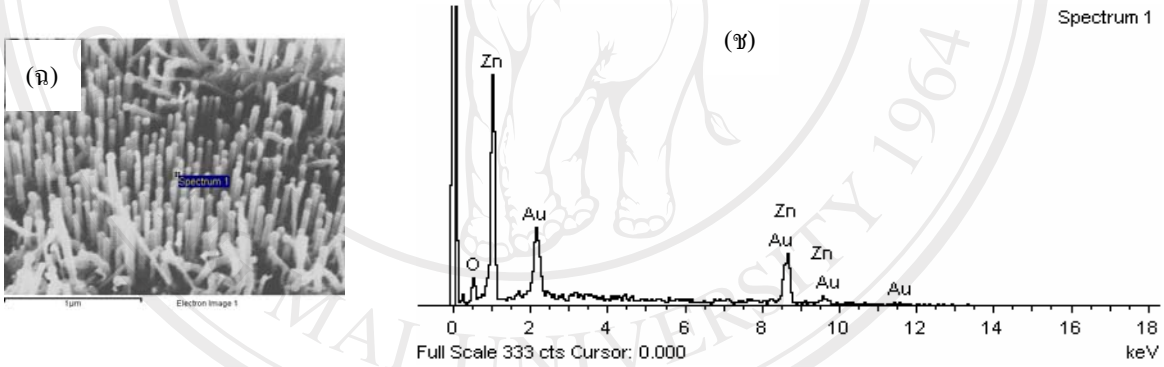
ตารางที่ 4.26 แสดงปริมาณธาตุองค์ประกอบของเส้นใยนาโนในรูปที่ 4.26 (ข)

Element	Weight%	Atomic%
O K	8.05	26.34
Zn K	91.95	73.66
Totals	100.00	

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved



รูปที่ 4.26 ภาพถ่าย SEM ของเส้นใยนาโนที่สังเคราะห์ได้ที่กำลังขยาย (ง) 15,000 เท่า และ (จ) 100,000 เท่า

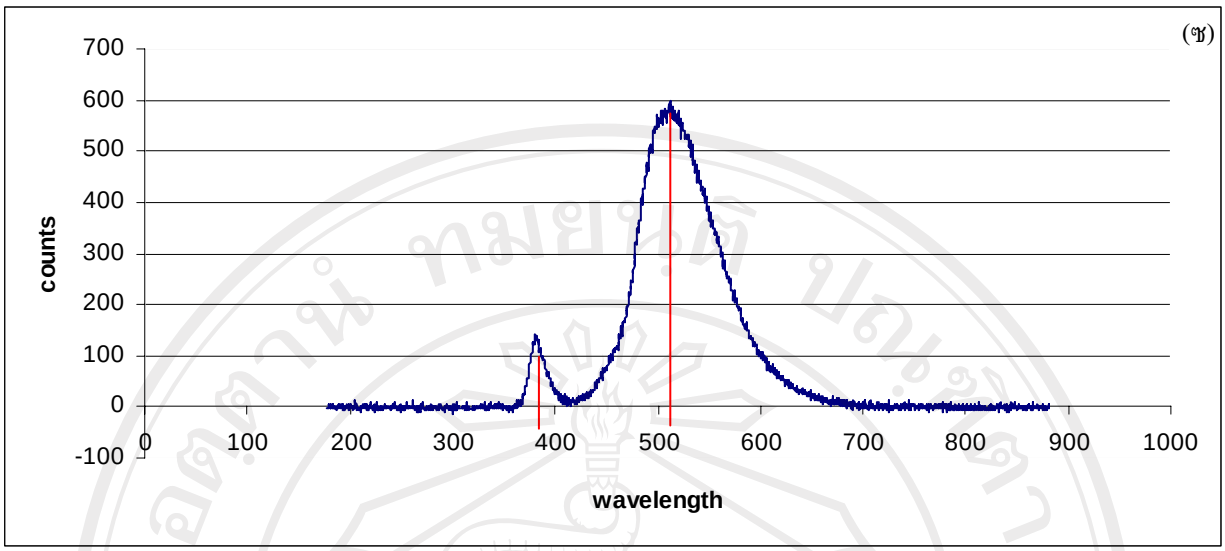


รูปที่ 4.26 (ฉ) และ (ช) แสดงจุดที่ใช้วิเคราะห์องค์ประกอบธาตุ และกราฟวิเคราะห์องค์ประกอบธาตุของเส้นใยนาโนที่สังเคราะห์ได้ ตามลำดับ

ตารางที่ 4.27 แสดงปริมาณธาตุองค์ประกอบของเส้นใยนาโนในรูปที่ 4.26 (ฉ)

Element	Weight%	Atomic%
O K	7.32	24.41
Zn K	92.68	75.59
Totals	100.00	

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved



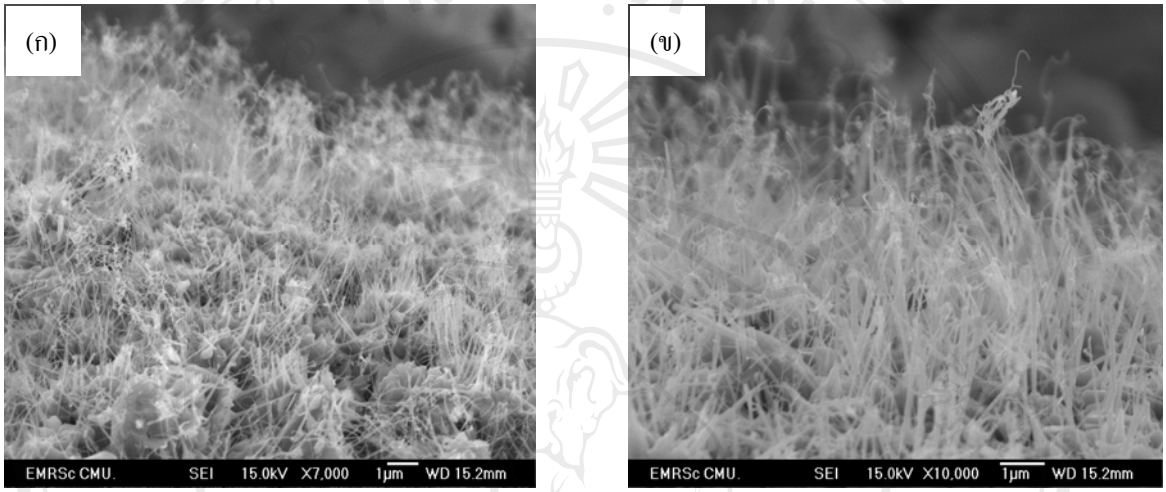
รูปที่ 4.26 (ซ) แสดงเส้นสเปคตรัมที่ได้จากการวัดโดยเทคนิค IL

จากรูปที่ 4.26 (ก) 4.26 (ง) และ 4.26 (จ) พบว่าผลิตภัณฑ์ที่สังเคราะห์ได้มีลักษณะเป็นแท่ง มีขนาดของเส้นผ่าศูนย์กลางอยู่ในช่วงประมาณ 30-55 นาโนเมตร (รูปที่ 26 ในภาคผนวก ก) โดยมีค่าเฉลี่ยของเส้นผ่าศูนย์กลางเท่ากับ 44 นาโนเมตร และมีส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 4.2 นาโนเมตร ในการวิเคราะห์แท่งนาโนด้วยเทคนิค EDS พบองค์ประกอบหลักของผลิตภัณฑ์ที่สังเคราะห์ได้คือ ออกซิเจนและสังกะสี ดังตารางที่ 4.26 และ 4.27 รูปที่ 4.26 (ซ) แสดงความยาวคลื่นของแสงที่เปล่งออกมาเมื่อผลิตภัณฑ์ที่สังเคราะห์ได้ถูกกระตุ้นด้วยไอออนของไฮโดรเจนลบพลังงาน 25 keV จะเห็นได้ว่ามีความยาวคลื่นที่ปล่อยออกมาสองค่าคือ 380 นาโนเมตร และ 510 นาโนเมตร โดยที่แสงความยาวคลื่น 510 นาโนเมตร (สีเขียว) มีความเข้มสูงที่สุด การที่แสงสีเขียวที่เปล่งออกมามีความเข้มสูงเนื่องมาจากผลิตภัณฑ์ ซิงก์ออกไซด์ที่สังเคราะห์ได้ขาดออกซิเจน (Oxygen vacancies)

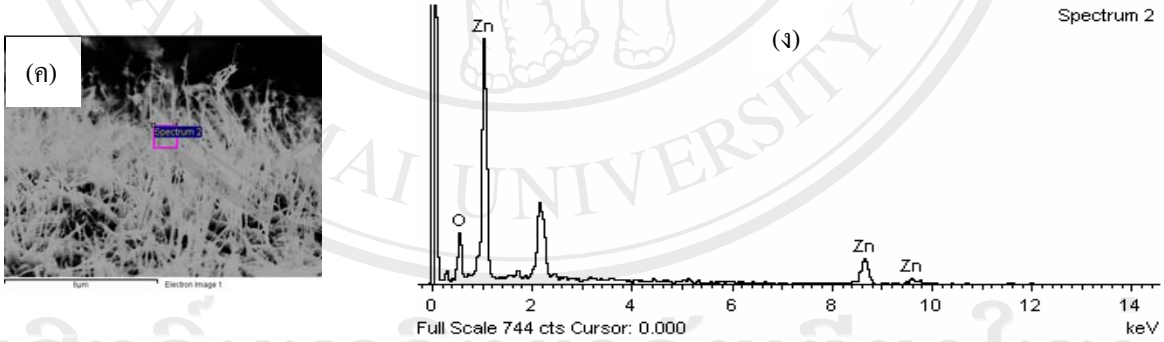
ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

3) ลักษณะเฉพาะของเส้นใยนาโนซิงก์ออกไซด์เมื่อใช้ความหนาของทองเท่ากับ 9.4 นาโนเมตร hold ไว้ที่ 1,100 องศาเซลเซียสเป็นเวลานาน 30 นาที หลังจากนั้นนำ ตัวอย่าง ออกที่ 400 องศาเซลเซียส

เมื่อนำสารผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการสังเคราะห์ไปวิเคราะห์หาลักษณะและสเปกตรัมองค์ประกอบธาตุด้วยเทคนิค SEM, EDS และ IL ผลที่ได้เป็นดังรูป 4.27



รูปที่ 4.27 ภาพถ่าย SEM ของเส้นใยนาโนที่สังเคราะห์ได้ที่กำลังขยาย (ก) 7,000 เท่า และ (ข) 10,000 เท่า

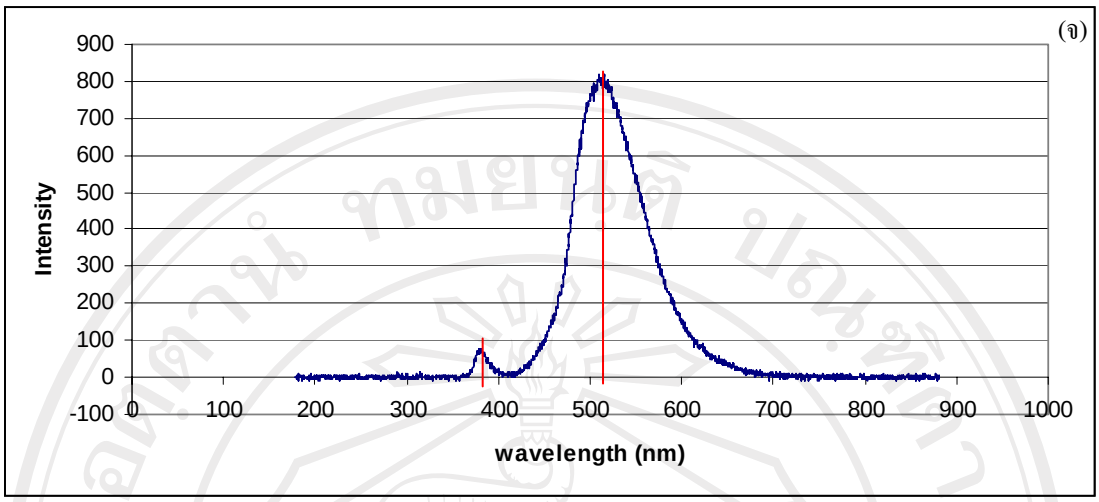


รูปที่ 4.27 (ค) และ (ง) แสดงบริเวณที่ใช้วิเคราะห์องค์ประกอบธาตุ และกราฟวิเคราะห์องค์ประกอบธาตุของเส้นใยนาโนที่สังเคราะห์ได้ ตามลำดับ

ตารางที่ 4.28 แสดงปริมาณธาตุองค์ประกอบของเส้นใยนาโนในรูปที่ 4.27 (ค)

Element	Weight%	Atomic%
O K	15.23	42.34
Zn K	84.77	57.66
Totals	100.00	

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved



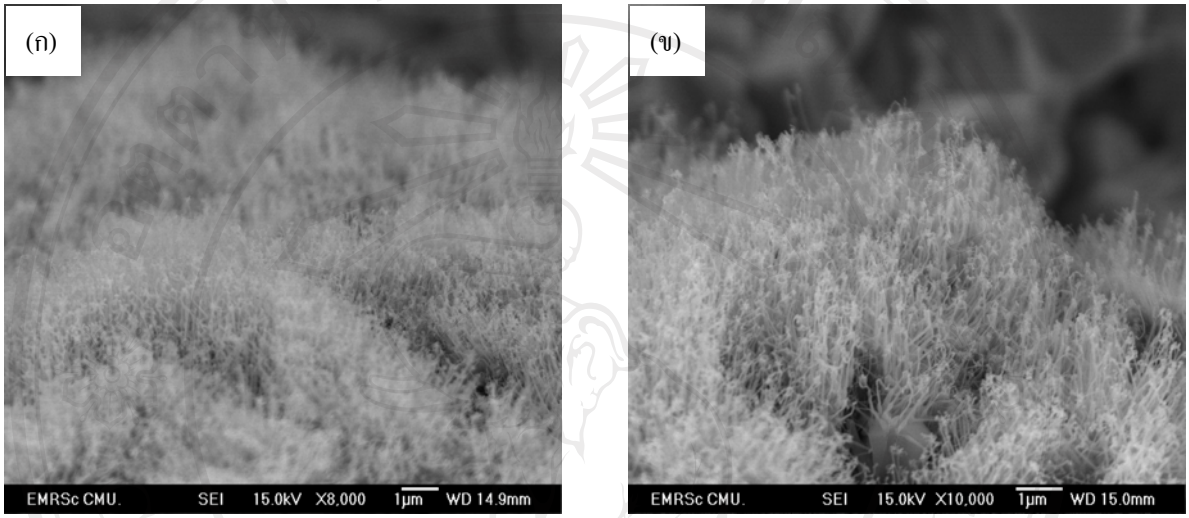
รูปที่ 4.27 (จ) แสดงเส้นสเปคตรัมที่ได้จากการวัดโดยเทคนิค IL

จากรูปที่ 4.27 (ก) และ (ข) พบว่าผลิตภัณฑ์ที่สังเคราะห์ได้มีลักษณะเป็นเส้น มีขนาดของเส้นผ่าศูนย์กลางอยู่ในช่วงประมาณ 70-120 นาโนเมตร (รูปที่ 27 ในภาคผนวก ก) โดยมีค่าเฉลี่ยของเส้นผ่าศูนย์กลางเท่ากับ 100 นาโนเมตร และมีส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 12.11 นาโนเมตร ในการวิเคราะห์แท่งนาโนด้วยเทคนิค EDS พบองค์ประกอบหลักของผลิตภัณฑ์ที่สังเคราะห์ได้คือ ออกซิเจน และสังกะสี ดังตารางที่ 4.28 รูปที่ 4.27 (จ) แสดงความยาวคลื่นของแสงที่เปล่งออกมาเมื่อผลิตภัณฑ์ที่สังเคราะห์ได้ถูกกระตุ้นด้วยไอออนของไฮโดรเจนลบพลังงาน 25 keV จะเห็นได้ว่ามีความยาวคลื่นที่ปล่อยออกมาสองค่าคือ 380 นาโนเมตร และ 510 นาโนเมตร โดยที่แสงความยาวคลื่น 510 นาโนเมตร (สีเขียว) มีความเข้มสูงที่สุด การที่แสงสีเขียวที่เปล่งออกมามีความเข้มสูงเนื่องมาจากผลิตภัณฑ์ ซิงก์ออกไซด์ที่สังเคราะห์ได้ขาดออกซิเจน (Oxygen vacancies)

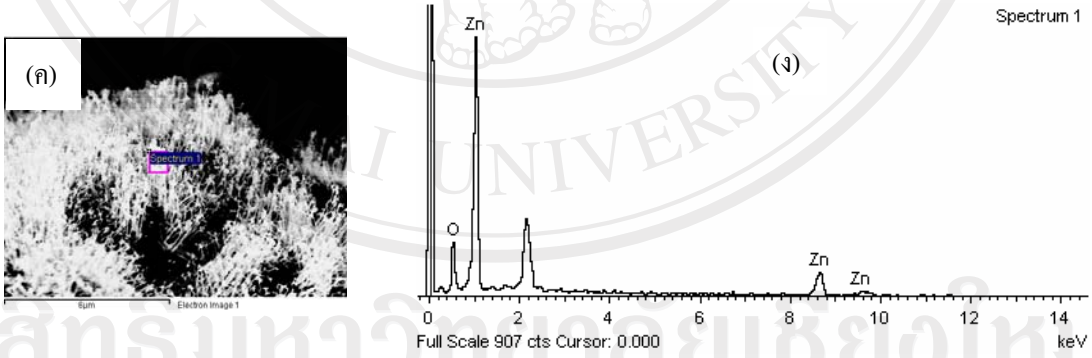
ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

4) ลักษณะเฉพาะของเส้นใยนาโนซิงก์ออกไซด์เมื่อใช้ความหนาของทองเท่ากับ 9.4 นาโนเมตร hold ไว้ที่ 1,100 องศาเซลเซียสเป็นเวลานาน 40 นาที หลังจากนั้นนำ ตัวอย่าง ออกที่ 400 องศาเซลเซียส

เมื่อนำสารผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการสังเคราะห์ไปวิเคราะห์หาลักษณะและสเปกตรัมองค์ประกอบธาตุด้วยเทคนิค SEM, EDS และ IL ผลที่ได้เป็นดังรูป 4.28



รูปที่ 4.28 ภาพถ่าย SEM ของเส้นใยนาโนที่สังเคราะห์ได้ที่กำลังขยาย (ก) 8,000 เท่า และ (ข) 10,000 เท่า

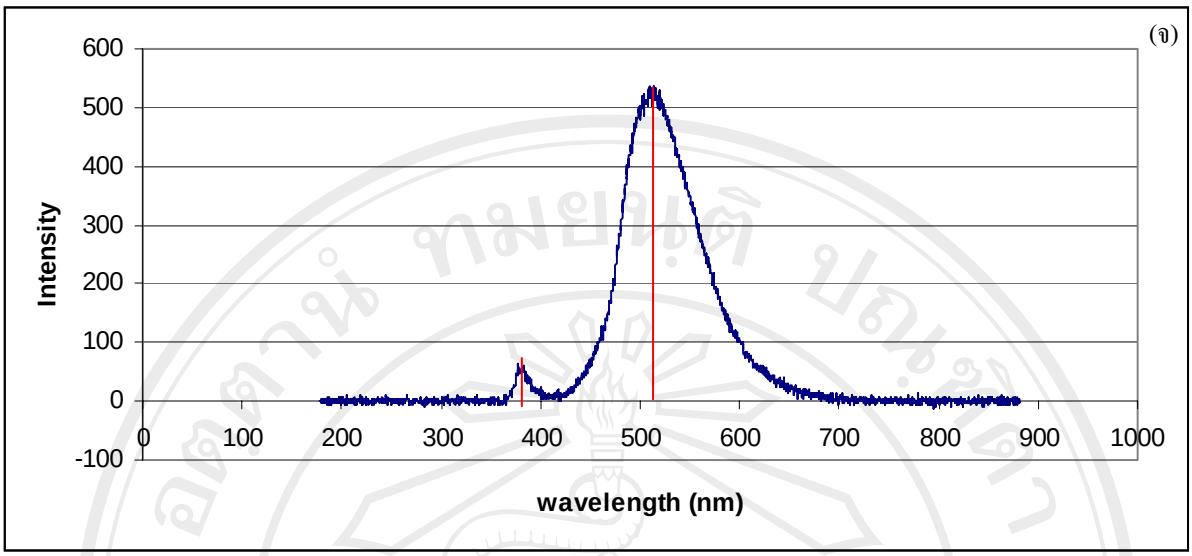


รูปที่ 4.28 (ค) และ (ง) แสดงบริเวณที่ใช้วิเคราะห์องค์ประกอบธาตุ และกราฟวิเคราะห์องค์ประกอบธาตุของเส้นใยนาโนที่สังเคราะห์ได้ ตามลำดับ

ตารางที่ 4.29 แสดงปริมาณธาตุองค์ประกอบของเส้นใยนาโนในรูปที่ 4.28 (ค)

Element	Weight%	Atomic%
O K	17.52	46.47
Zn K	82.48	53.53
Totals	100.00	

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved



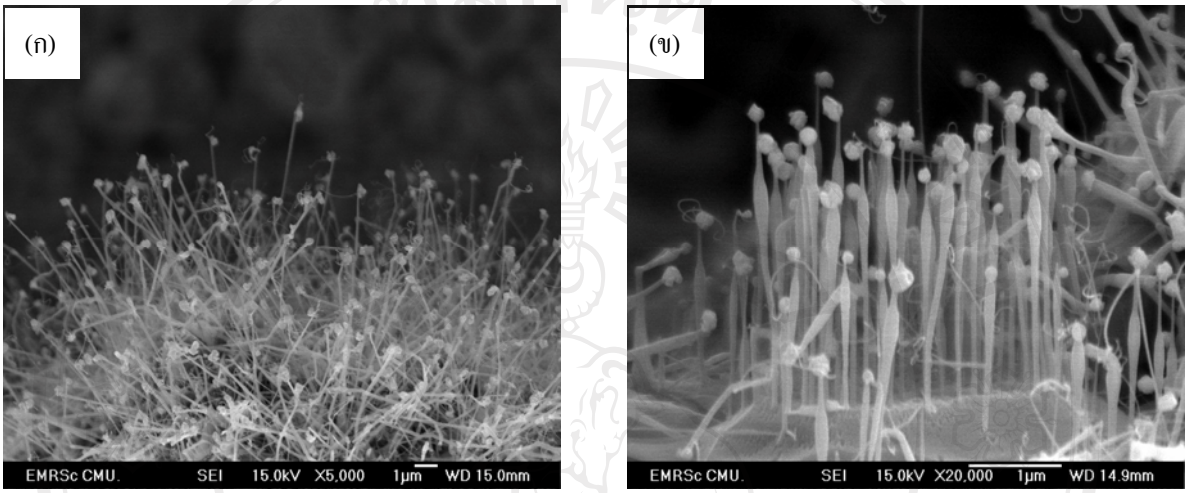
รูปที่ 4.28 (จ) แสดงเส้นสเปคตรัมที่ได้จากการวัดโดยเทคนิค IL

จากรูปที่ 4.28 (ก) และ (ข) พบว่าผลิตภัณฑ์ที่สังเคราะห์ได้มีลักษณะเป็นเส้น มีขนาดของเส้นผ่าศูนย์กลางอยู่ในช่วงประมาณ 30-50 นาโนเมตร (รูปที่ 28 ในภาคผนวก ก) โดยมีค่าเฉลี่ยของเส้นผ่าศูนย์กลางเท่ากับ 39.5 นาโนเมตร และมีส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 4.85 นาโนเมตร ในการวิเคราะห์แท่งนาโนด้วยเทคนิค EDS พบองค์ประกอบหลักของผลิตภัณฑ์ที่สังเคราะห์ได้คือ ออกซิเจนและสังกะสี ดังตารางที่ 4.29 รูปที่ 4.28 (จ) แสดงความยาวคลื่นของแสงที่เปล่งออกมาเมื่อผลิตภัณฑ์ที่สังเคราะห์ได้ถูกกระตุ้นด้วยไอออนของไฮโดรเจนลบพลังงาน 25 keV จะเห็นได้ว่ามีความยาวคลื่นที่ปล่อยออกมาสองค่าคือ 380 นาโนเมตร และ 510 นาโนเมตร โดยที่แสงความยาวคลื่น 510 นาโนเมตร (สีเขียว) มีความเข้มสูงที่สุด การที่แสงสีเขียวที่เปล่งออกมามีความเข้มสูงเนื่องมาจากผลิตภัณฑ์ ซิงก์ออกไซด์ที่สังเคราะห์ได้ขาดออกซิเจน (Oxygen vacancies)

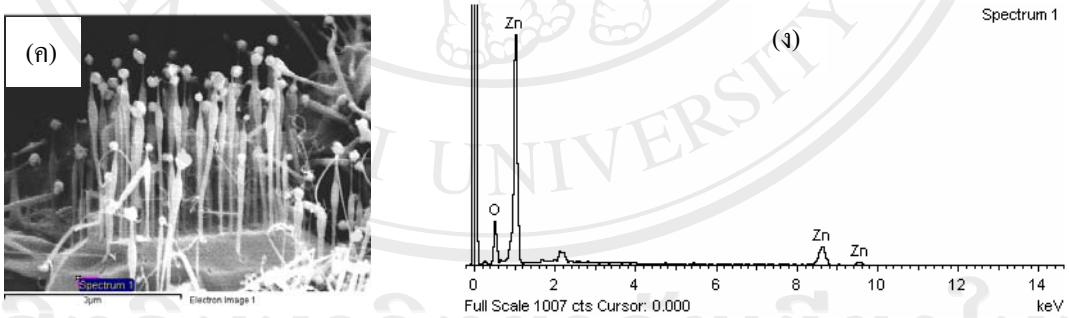
ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

5) ลักษณะเฉพาะของเส้นใยนาโนซิงก์ออกไซด์เมื่อใช้ระยะของทองเท่ากับ 9.4 นาโนเมตร hold ไว้ที่ 1,100 องศาเซลเซียสเป็นเวลานาน 30 นาที หลังจากนั้นนำ ตัวอย่าง ออกที่ 450 องศาเซลเซียส

เมื่อนำสารผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการสังเคราะห์ไปวิเคราะห์หาลักษณะและสเปกตรัมองค์ประกอบธาตุด้วยเทคนิค SEM, EDS และ IL ผลที่ได้เป็นดังรูป 4.29



รูปที่ 4.29 ภาพถ่าย SEM ของเส้นใยนาโนที่สังเคราะห์ได้ที่กำลังขยาย (ก) 5,000 เท่า และ (ข) 20,000 เท่า

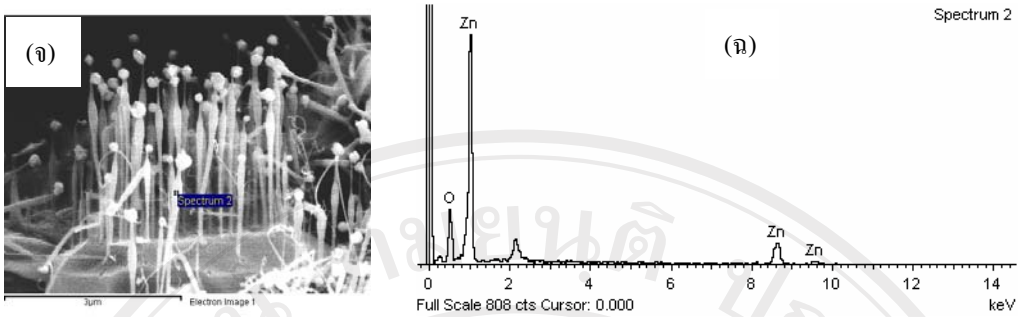


รูปที่ 4.29 (ค) และ (ง) แสดงจุดที่ใช้วิเคราะห์องค์ประกอบธาตุ และกราฟวิเคราะห์องค์ประกอบธาตุของเส้นใยนาโนที่สังเคราะห์ได้ ตามลำดับ

ตารางที่ 4.30 แสดงปริมาณธาตุองค์ประกอบของเส้นใยนาโนในรูปที่ 4.29 (ค)

Element	Weight%	Atomic%
O K	17.04	45.63
Zn K	82.96	54.37
Totals	100.00	

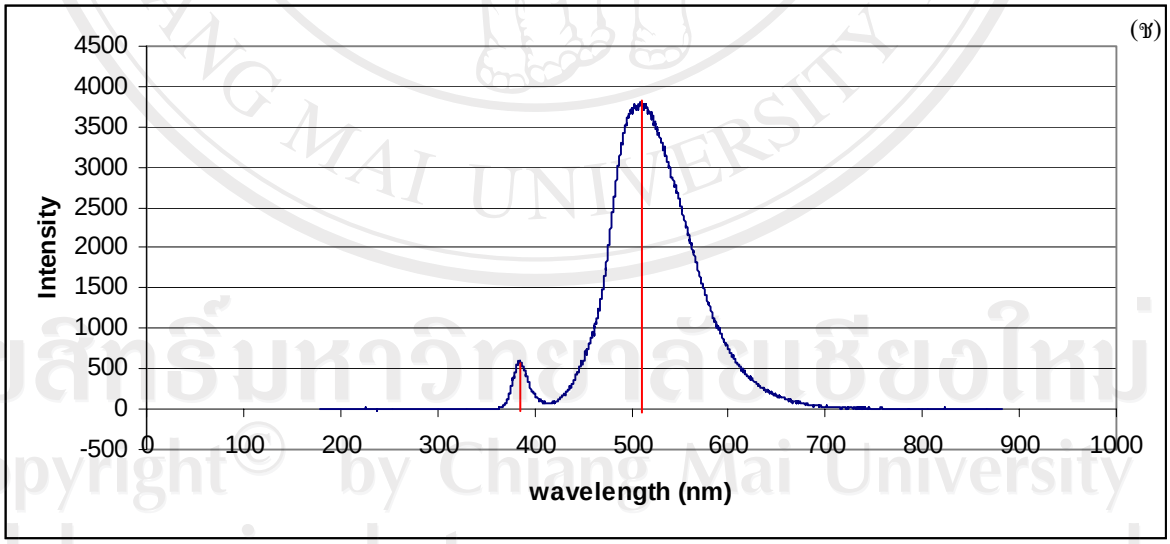
ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved



รูปที่ 4.29 (จ) และ (ฉ) แสดงจุดที่ใช้วิเคราะห์องค์ประกอบธาตุ และกราฟวิเคราะห์องค์ประกอบธาตุของเส้นใยนาโนที่สังเคราะห์ได้ ตามลำดับ

ตารางที่ 4.31 แสดงปริมาณธาตุองค์ประกอบของเส้นใยนาโนในรูปที่ 4.29 (จ)

Element	Weight%	Atomic%
O K	18.74	48.51
Zn K	821.26	51.49
Totals	100.00	



รูปที่ 4.29 (ช) แสดงเส้นสเปคตรัมที่ได้จากการวัดโดยเทคนิค IL

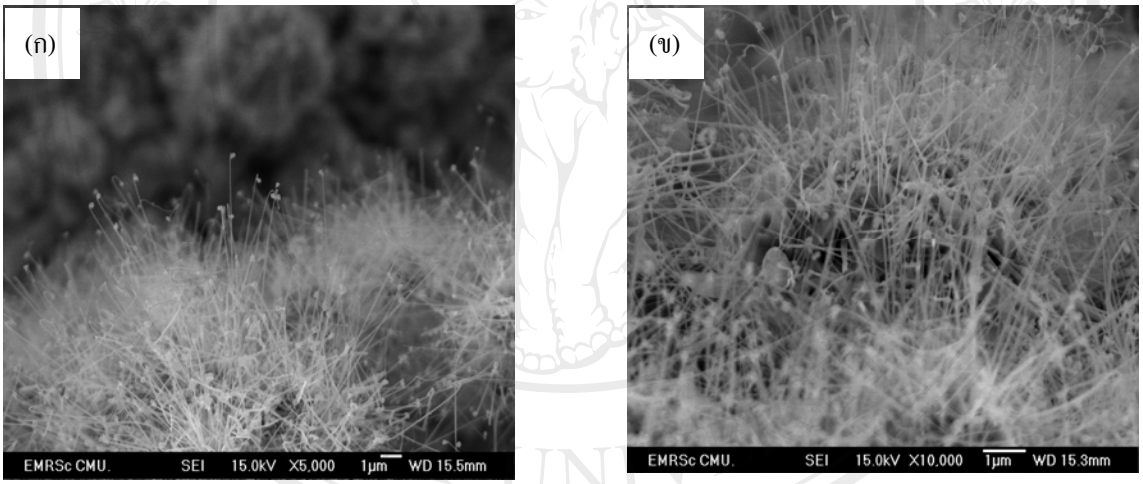
จากรูปที่ 4.29 (ก) และ (ข) พบว่าผลิตภัณฑ์ที่สังเคราะห์ได้มีลักษณะเป็นเส้น มีขนาดของเส้นผ่าศูนย์กลางอยู่ในช่วงประมาณ 90-140 นาโนเมตร (รูปที่ 29 ในภาคผนวก ก) โดยมีค่าเฉลี่ยของเส้นผ่าศูนย์กลางเท่ากับ 114 นาโนเมตร และมีส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 13.06 นาโนเมตร ใน

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

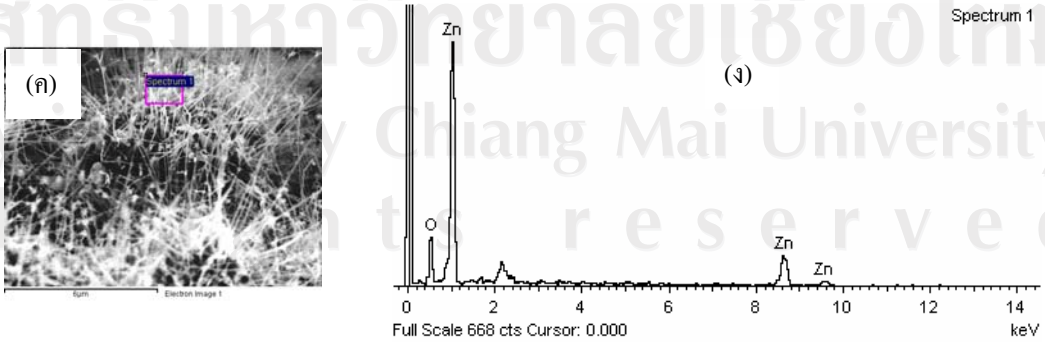
การวิเคราะห์ด้วยเทคนิค EDS 2 บริเวณพบว่า องค์ประกอบหลักของผลิตภัณฑ์ที่สังเคราะห์ได้คือ ออกซิเจนและสังกะสี ดังตารางที่ 4.30 และ 4.31 รูปที่ 4.29 (ช) แสดงความยาวคลื่นของแสงที่เปล่งออกมาเมื่อผลิตภัณฑ์ที่สังเคราะห์ได้ถูกกระตุ้นด้วยไอออนของไฮโดรเจนลบพลังงาน 25 keV จะเห็นได้ว่ามีความยาวคลื่นที่ปล่อยออกมาสองค่าคือ 380 นาโนเมตร และ 510 นาโนเมตร โดยที่แสงความยาวคลื่น 510 นาโนเมตร (สีเขียว) มีความเข้มสูงที่สุด การที่แสงสีเขียวที่เปล่งออกมามีความเข้มสูงเนื่องมาจากผลิตภัณฑ์ ซิงก์ออกไซด์ที่สังเคราะห์ได้ขาดออกซิเจน (Oxygen vacancies)

6) ลักษณะเฉพาะของเส้นใยนาโนซิงก์ออกไซด์เมื่อใช้ความหนาของทองเท่ากับ 9.4 นาโนเมตร hold ไว้ที่ 1,100 องศาเซลเซียสเป็นเวลานาน 40 นาที หลังจากนั้นนำ ตัวอย่าง ออกที่ 450 องศาเซลเซียส

เมื่อนำสารผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการสังเคราะห์ไปวิเคราะห์หาลักษณะและสเปกตรัมองค์ประกอบธาตุด้วยเทคนิค SEM, EDS และ IL ผลที่ได้เป็นดังรูป 4.30



รูปที่ 4.30 ภาพถ่าย SEM ของเส้นใยนาโนที่สังเคราะห์ได้ที่กำลังขยาย (ก) 5,000 เท่า และ (ข) 10,000 เท่า

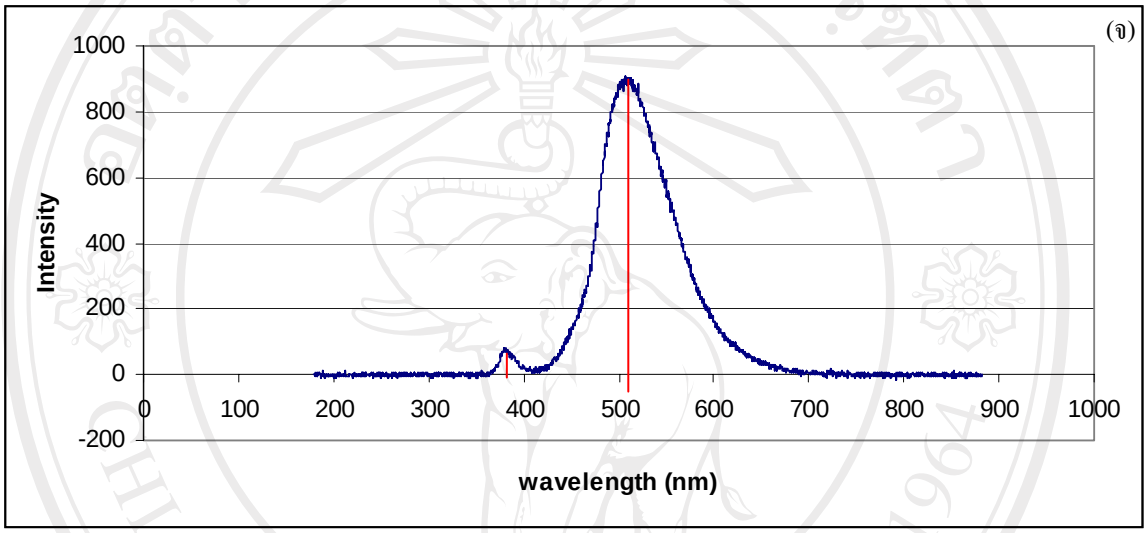


รูปที่ 4.30 (ค) และ (ง) แสดงบริเวณที่ใช้วิเคราะห์องค์ประกอบธาตุ และกราฟวิเคราะห์องค์ประกอบธาตุของเส้นใยนาโนที่สังเคราะห์ได้ ตามลำดับ

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ตารางที่ 4.32 แสดงปริมาณธาตุองค์ประกอบของเส้นใยนาโนในรูปที่ 4.30 (ค)

Element	Weight%	Atomic%
O K	12.60	37.06
Zn K	87.40	62.94
Totals	100.00	



รูปที่ 4.30 (จ) แสดงเส้นสเปคตรัมที่ได้จากการวัดโดยเทคนิค IL

จากรูปที่ 4.30 (ก) และ (ข) พบว่าผลิตภัณฑ์ที่สังเคราะห์ได้มีลักษณะเป็นเส้น มีขนาดของเส้นผ่าศูนย์กลางอยู่ในช่วงประมาณ 40-80 นาโนเมตร (รูปที่ 30 ในภาคผนวก ก) โดยมีค่าเฉลี่ยของเส้นผ่าศูนย์กลางเท่ากับ 56 นาโนเมตร และมีส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 9.7 นาโนเมตร ในการวิเคราะห์แท่งนาโนด้วยเทคนิค EDS พบองค์ประกอบหลักของผลิตภัณฑ์ที่สังเคราะห์ได้คือ ออกซิเจนและสังกะสี ดังตารางที่ 4.32 รูปที่ 4.30 (จ) แสดงความยาวคลื่นของแสงที่เปล่งออกมาเมื่อผลิตภัณฑ์ที่สังเคราะห์ได้ถูกกระตุ้นด้วยไอออนของไฮโดรเจนลบพลังงาน 25 keV จะเห็นได้ว่ามีความยาวคลื่นที่ปล่อยออกมาสองค่าคือ 380 นาโนเมตร และ 510 นาโนเมตร โดยที่แสงความยาวคลื่น 510 นาโนเมตร (สีเขียว) มีความเข้มสูงที่สุด การที่แสงสีเขียวที่เปล่งออกมามีความเข้มสูงเนื่องมาจากผลิตภัณฑ์ ซิงก์ออกไซด์ที่สังเคราะห์ได้ขาดออกซิเจน (Oxygen vacancies)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

สรุปผลการทดลองชุดที่ 4.3.2

ใช้เตาเผาสาร วางแผ่นรองรับไว้ตรงที่ปลายเตา (ทางออกของแก๊ส) และปล่อยแก๊สอาร์กอนให้ไหลเข้าไปตรงปลายเตาอีกด้านหนึ่ง (ทางเข้าของแก๊ส) โดยสารตั้งต้นวางอยู่ตรงกลางเตา อุณหภูมิที่ใช้เผาวัดที่กลางเตาเท่ากับ 1,100 องศาเซลเซียส ผลิตภัณฑ์ซิงก์ออกไซด์มีการเรียงตัวเป็นระเบียบ และขึ้นในลักษณะตั้งฉากกับแผ่นรองรับในเงื่อนไขที่ 2 และ 5 เส้นผ่าศูนย์กลางอยู่ในช่วงของ 30-140 นาโนเมตร โดยเฉพาะอย่างยิ่งผลิตภัณฑ์ที่ได้ในเงื่อนไขที่สอง ลักษณะซิงก์ออกไซด์ที่สังเคราะห์ได้มีการเรียงตัวอย่างเป็นระเบียบ เรียงตัวในแนวตั้งฉากกับแผ่นรองรับ และมีขนาดที่ค่อนข้างสม่ำเสมอ จึงเป็นเงื่อนไขดีที่สุดที่เราต้องการ ผลจากการวัดองค์ประกอบธาตุ (EDS) พบว่าอัตราส่วนเปอร์เซ็นต์จำนวนอะตอมของสังกะสีมากกว่าออกซิเจนอยู่เล็กน้อย แต่ในผลิตภัณฑ์ตัวอย่างที่สามมีปริมาณสังกะสีมากกว่าออกซิเจนจำนวนมาก ผลการวัดอัตราส่วนเปอร์เซ็นต์จำนวนอะตอมที่พบโดยเทคนิค EDS สอดคล้องเป็นอย่างดีกับผลที่ได้จากการวัดการเปล่งแสง (IL) ที่บ่งบอกว่าผลิตภัณฑ์ที่ได้ขาดอะตอมออกซิเจน ในการทดลองชุดที่หกได้มีการตัดเงื่อนไขการทดลองที่ใช้ความหนาของทองเท่ากับ 6.6 นาโนเมตร และอุณหภูมิที่นำตัวอย่างออกเท่ากับ 450 องศาเซลเซียสออกไป เนื่องจากว่าผลิตภัณฑ์ที่สังเคราะห์ได้มีลักษณะเป็นก้อนกลมไม่เป็นเส้น ผู้เขียนจึงไม่ได้ทำการวิเคราะห์ผลิตภัณฑ์ที่ได้

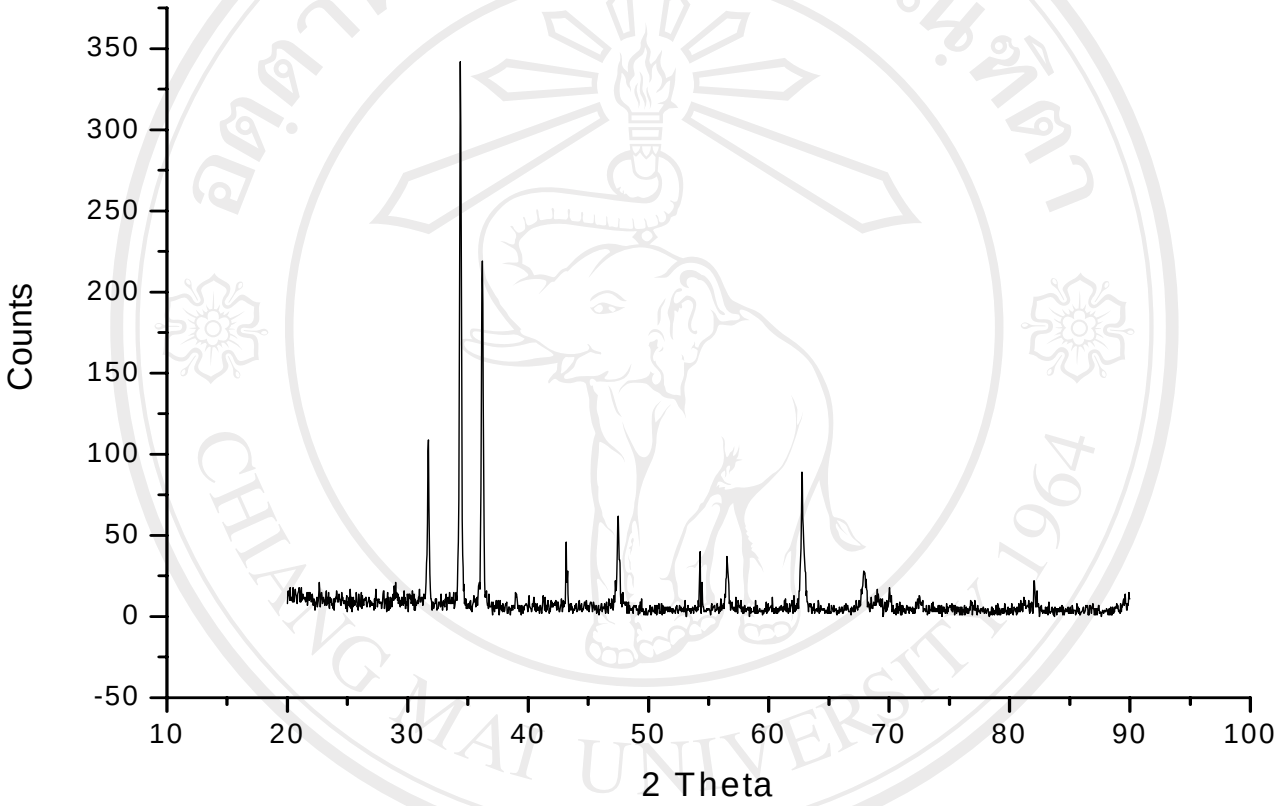
4.4 สรุปเงื่อนไขที่ดีที่สุดในการสังเคราะห์เส้นใยนาโนซิงก์ออกไซด์โดยการระเหิดด้วยวิธีคาร์โบเทอร์มอล

1) สารตั้งต้นคือ แกรไฟต์เกรดอุตสาหกรรม ผสมกับ ซิงก์ออกไซด์เกรดอุตสาหกรรม ด้วยอัตราส่วน 60:40 %wt หนัก 1 กรัม บดให้เข้ากัน
2) แผ่นรองรับเคลือบด้วยทองหนา 6.6 นาโนเมตร และผ่านกระบวนการให้ความร้อนภายใต้บรรยากาศของอาร์กอนและไฮโดรเจนจนกลายเป็นอนุภาคนาโนทอง
3) ระยะระหว่างสารตั้งต้นกับแผ่นรองรับเท่ากับ 11 เซนติเมตร โดยสารตั้งต้นวางที่กลางเตา
4) อัตราการไหลของอาร์กอนเท่ากับ 25 มิลลิลิตรต่อนาที
5) อุณหภูมิที่ใช้เผาเท่ากับ 1,100 องศาเซลเซียส และเผาด้วยเวลา 40 นาที
6) นำผลิตภัณฑ์ออกที่อุณหภูมิ 400 องศาเซลเซียส

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

4.5 การตรวจสอบหาสารประกอบและโครงสร้างผลึกของเส้นใยนาโนที่สังเคราะห์ได้จากเงื่อนไขที่ 4.3.2(2) ด้วยเทคนิค XRD

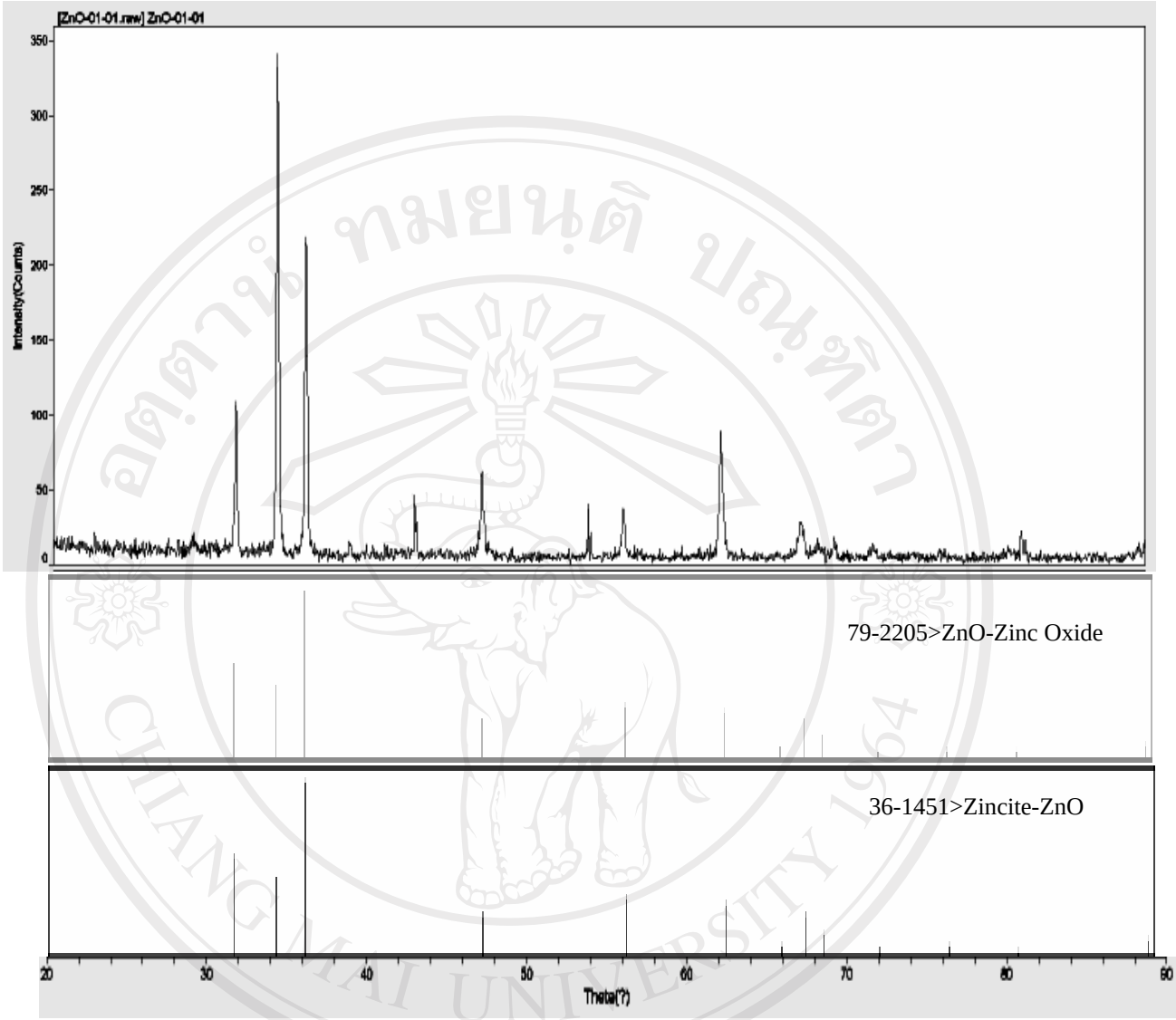
เมื่อนำแท่งนาโนที่สังเคราะห์ได้จากเงื่อนไข 4.3.2(2) มาวิเคราะห์หาโครงสร้างผลึกด้วยเทคนิค XRD ได้ผลดังรูปที่ 4.31



รูปที่ 4.31 แสดงรูปแบบการเลี้ยวเบนของรังสีเอ็กซ์

เมื่อนำเส้นสเปคตรัมที่ได้มาเปรียบเทียบกับข้อมูลมาตรฐานการเลี้ยวเบนของรังสีเอ็กซ์ (JCPDS – PDF) ได้ผลดังรูปที่ 4.32

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved



รูปที่ 4.32 แสดงผลที่ได้จากการเทียบข้อมูลมาตรฐาน (JCPDS – PDF) ของซิงก์ออกไซด์

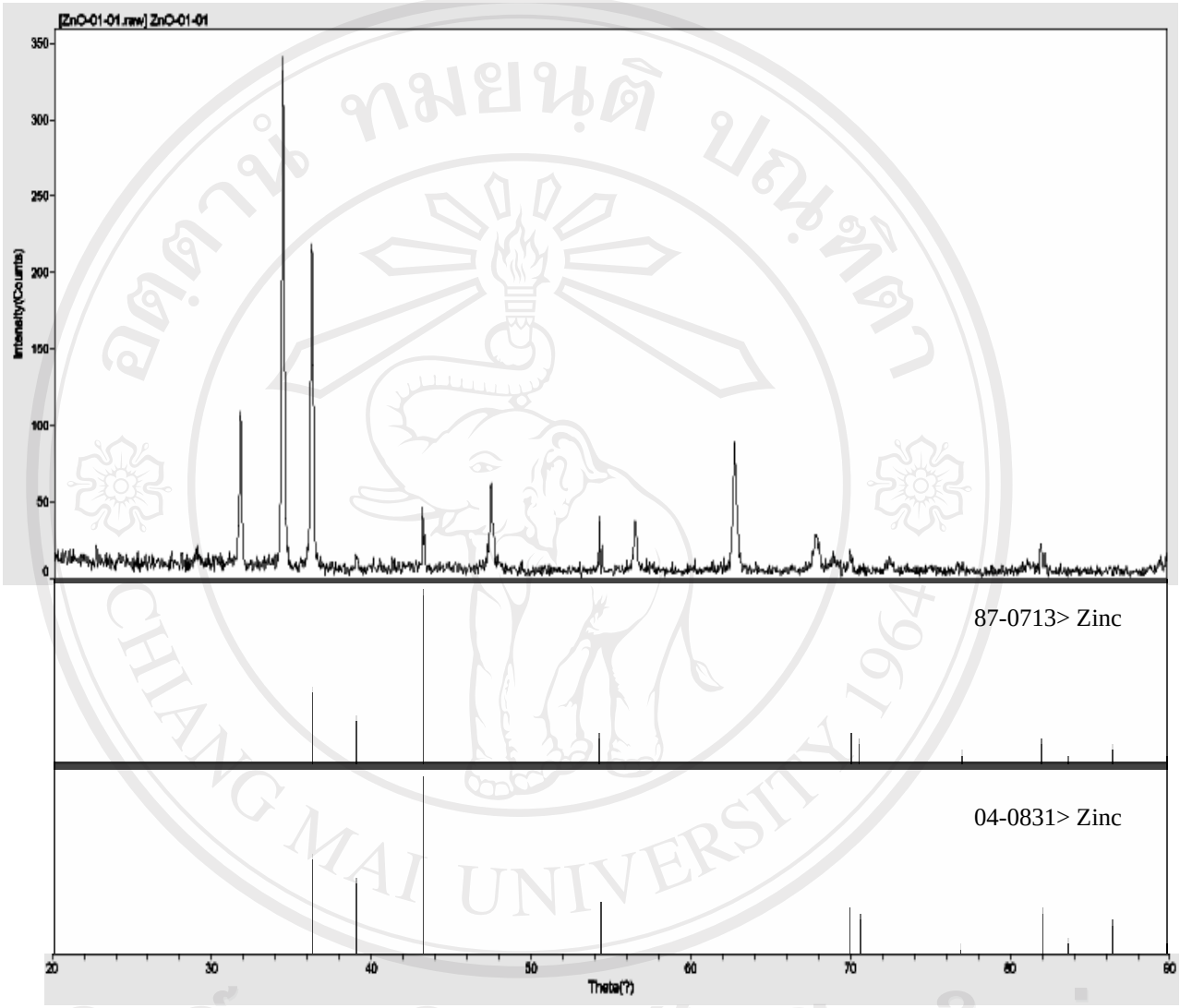
เมื่อเปรียบเทียบสเปคตรัมมาตรฐานชุดแรก (79-2205>ZnO-Zinc Oxide) กับผลที่ได้พบตำแหน่งที่ตรงกันดังต่อไปนี้

ตารางที่ 4.33 แสดงค่ามุม 2θ(deg) กับค่า h k l ของข้อมูลมาตรฐาน JCPDS – PDF เลขที่ 79-2205>ZnO-Zinc Oxide ที่ตรงกับผลการทดลองที่ได้

มุม 2θ(deg)	ค่า h k l	มุม 2θ(deg)	ค่า h k l
31.64	100	56.48	110
34.24	002	62.68	103
36.16	101	67.8	112
47.4	102		

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

จากรูปที่ 4.34 จะพบว่ามีพีคบางพีคที่ไม่ตรงกับข้อมูลมาตรฐานของซิงก์ออกไซด์ ซึ่งเมื่อสืบค้นเพิ่มเติมพบว่าพีคที่เหลือไปตรงกับพีคมาตรฐานของสังกะสี ดังรูป 4.33



รูปที่ 4.33 แสดงผลที่ได้จากการเทียบข้อมูลมาตรฐาน (JCPDS – PDF)

เมื่อเปรียบเทียบสเปคตรัมมาตรฐานชุดแรก (87-0713>Zinc) กับผลที่ได้พบตำแหน่งพีคที่ตรงกัน ดังต่อไปนี้

ตารางที่ 4.34 แสดงค่ามุม 2θ(deg) กับค่า h k l ของข้อมูลมาตรฐาน JCPDS – PDF เลขที่ 87-0713> Zinc ที่ตรงกับผลการทดลองที่ได้

มุม 2θ(deg)	ค่า h k l	มุม 2θ(deg)	ค่า h k l
36.16	002	54.24	102
38.92	100	70.76	110
43.24	101	82	112

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

จากการตรวจสอบกับข้อมูลมาตรฐานการเลี้ยวเบนของรังสีเอ็กซ์พบว่าผลิตภัณฑ์ที่ได้มีองค์ประกอบสารอยู่สองส่วนปนกันคือซิงก์ออกไซด์และสังกะสี ในส่วนของแท่งนาโนซิงก์ออกไซด์โดยปรกติแล้วแท่งนาโนซิงก์ออกไซด์ที่ขึ้นตั้งฉากกับแผ่นรองรับเมื่อนำไปตรวจสอบด้วยเทคนิค XRD จะพบแค่ระนาบ 002 และ 004 ท่านั้น [12] แต่เมื่อนำผลิตภัณฑ์ที่สังเคราะห์จากเงื่อนไข 4.3.2(2) ไปตรวจวัดด้วยเทคนิค XRD จะพบว่าระนาบ 002 ความสูงของพีคมากที่สุดและก็มียังมีพีคของระนาบอื่นๆ ที่สามารถตรวจวัดได้ โดยพีคที่ได้ก็จะมีความสูงต่ำลงมา ที่เป็นเช่นนี้อาจจะอธิบายได้ว่าแท่งซิงก์ออกไซด์ที่สังเคราะห์ได้มีลักษณะที่ค่อนข้างจะเกิดตั้งฉากกับแผ่นรองรับในบางบริเวณเท่านั้น แต่บางบริเวณก็เกิดขึ้นในลักษณะที่ไม่ตั้งฉากกับแผ่นรองรับ และอาจจะมีบางบริเวณที่สังกะสีไม่จับกับอะตอมของออกซิเจนเลย จึงทำให้สามารถตรวจวัดเจอพีคของสังกะสี ส่วนรายละเอียดของข้อมูลซิงก์ออกไซด์และสังกะสีจากข้อมูลมาตรฐาน JCPDS – PDF มีอยู่ที่ภาคผนวก ค

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved