



ภาคผนวก

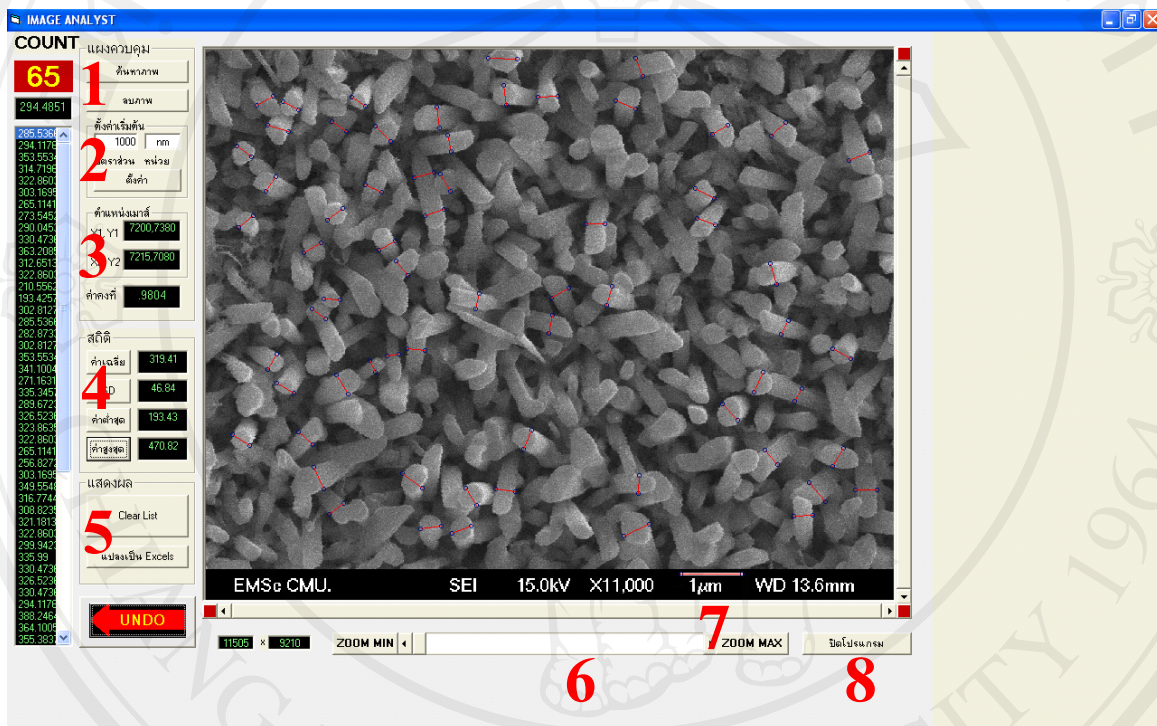
ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่

Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ภาคผนวก ก

การวัดขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเส้นลวดนาโนซิงก์ออกไซด์

การวัดขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเส้นลวดนาโนซิงก์ออกไซด์ สามารถวัดขนาดได้โดยการใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์ image analyst ที่ได้เขียนขึ้นมาวัดผลจากภาพถ่ายของ FE-SEM ซึ่งลักษณะของโปรแกรมที่ใช้ในการวัดเส้นผ่านศูนย์กลางเส้นลวดนาโนซิงก์ออกไซด์นั้นแสดงดังในรูปที่ ก-1



รูปที่ ก-1 โปรแกรม image analyst ที่ใช้ในการวิเคราะห์

ส่วนประกอบของโปรแกรม Image Analyst

หมายเลข 1 ใช้ในการค้นหาภาพที่ต้องการวิเคราะห์ ไฟล์ภาพต้องนามสกุล *.bmp

หมายเลข 2 สำหรับตั้งค่าเริ่มต้นในหน่วย nm. จากสเกลอ้างอิงในหมายเลข 7

หมายเลข 3 ตำแหน่งเมาส์ที่ใช้ในการเลือกตำแหน่งที่ต้องการวัด

หมายเลข 4 สถิติในการวิเคราะห์ข้อมูลที่ทำกรวัด

หมายเลข 5 สำหรับทำการสร้างรายการที่วิเคราะห์ และแปลงข้อมูลเป็น Microsoft

Exel

หมายเลข 6 ปุ่มสำหรับเลือกมุมมอง zoom in และ zoom out

หมายเลข 7 สเกลอ้างอิงจากภาพถ่าย FE-SEM

หมายเลข 8 ปุ่มสำหรับปิดโปรแกรม

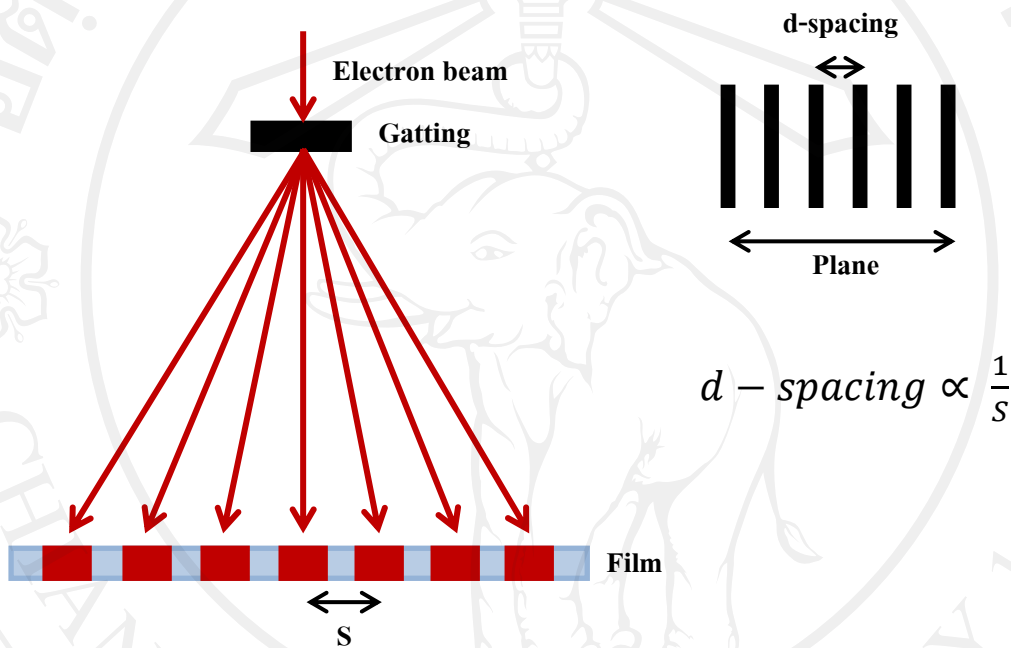
ขั้นตอนการวิเคราะห์ข้อมูล

1. เปิดโปรแกรม image analyst
2. กดปุ่ม “ค้นหาภาพ” เลือกภาพที่ต้องการวิเคราะห์ ไฟล์นามสกุล *.bmp
3. พิจารณา สเกลอ้างอิงของรูปภาพ ใช้เมาส์คลิก ที่สเกลอ้างอิงหัว-ท้าย และทำการตั้งค่าเริ่มต้นในหน่วย nm เช่น สเกลอ้างอิง 1 μm เมื่อใช้เมาส์คลิกแล้ว ให้ใส่ค่าเริ่มต้น 1000 nm เป็นต้น
4. ทำการวัดขนาดที่ต้องการ โดยการใส่เมาส์ปุ่มซ้ายคลิกเป็นจุดเริ่มต้น และเมาส์ปุ่มขวาเป็นจุดสุดท้ายที่ต้องการวัด
5. ทำตั้งขั้นตอนที่ 4 ตามจำนวนครั้งที่ต้องการวิเคราะห์
6. เมื่อครบจำนวนครั้งที่ต้องการวิเคราะห์ ให้กดปุ่ม “แปลงเป็น Excel” เพื่อแปลงข้อมูลที่ได้เก็บเป็นไฟล์ Excel
7. ข้อมูลที่ได้จะมี ค่าที่วัดในแต่ละครั้ง, ค่าเฉลี่ย, ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน, ค่ามากที่สุดและค่าน้อยที่สุด

ภาคผนวก ข

เทคนิคการวิเคราะห์โครงสร้างด้วยกล้อง TEM

อิเล็กตรอนดิฟแฟรคชันที่ได้จากการวิเคราะห์ด้วยกล้อง TEM เกิดจากคลื่นของอิเล็กตรอนที่ผ่านช่องว่างของอะตอม หรือความยาวแลตทิซ, d-spacing ทำให้เกิดจุดมืด หรือจุดสว่างบนฉากรองรับหรือฉาก หรือเป็นสมบัติที่เรียกว่าอนุภาคมีสมบัติเป็นคลื่น ดังรูปที่ ข-1



รูปที่ ข-1 แสดงการจำลองคลื่นอิเล็กตรอนที่ยิงผ่านเกรตติงแล้วเกิดการแทรกสอดที่ฉาก

จากรูปที่ ข-1 จะเห็นว่าเกิดจุดมืดจุดสว่างที่ฉาก ซึ่งในทฤษฎีการแทรกสอดของแสงจะพบได้ว่า จุดระหว่างจุดสว่าง, S จะแปรผกผันกับค่า d-spacing ของผลึก ดังนั้นเมื่อทำการคำนวณกลับจะได้ว่า

$$d\text{-spacing} = \text{ค่าคงที่ของกล้อง/ระยะห่างระหว่างจุด}$$

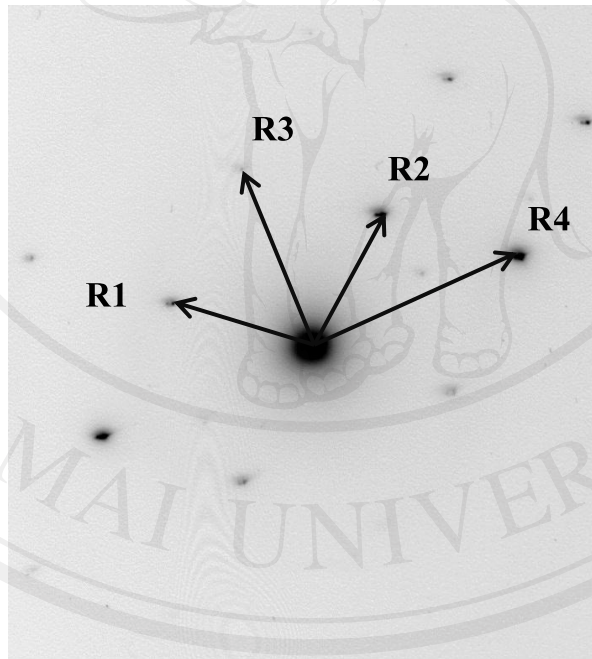
โดยที่ค่าคงที่ของกล้องแสดงดังตารางที่ ข-1 ซึ่งค่าคงที่นั้นจะขึ้นอยู่กับระยะห่างระหว่างระหว่างวัตถุและฉากที่รับภาพ ยกตัวอย่างในงานวิจัยนี้ใช้ค่า 100 cm ซึ่งจะให้ค่าคงที่ 24.9630 mm. Å เป็นต้น

ตารางที่ ข-1 ค่าคงที่ของกล้อง TEM

L (cm)	L (mm. Å)
40	10.2442
60	15.5430
80	20.2530
100	24.9630
120	29.6730

จุด d-spacing ที่ได้บนฟิล์มเกิดจากภาพ 3 มิติ ดังนั้นการวิเคราะห์หาโครงสร้างจากอิเล็กตรอนดิฟแฟรกชัน จึงมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

1. กำหนดจุด R1, R2, R3 และ R4 รอบจุดกลางของอิเล็กตรอนดิฟแฟรกชันแสดงดังรูปที่ ข-2



รูปที่ ข-2 แสดงตัวอย่างการกำหนดเวกเตอร์ R1, R2, R3 และ R4

2. วัดระยะห่างระหว่างจุด จะได้ขนาดของ R1, R2, R3 และ R4 ในหน่วย มิลลิเมตร แล้วทำการคำนวณหา d-spacing จากค่าคงที่ของกล้องจะได้

ตารางที่ ข-2 แสดงค่าเวกเตอร์ และค่า d-spacing ที่คำนวณได้

เวกเตอร์	ระยะห่าง (mm)	d-spacing (Å)
R1	9.6	2.60
R2	10.2	2.44
R3	12.5	1.99
R4	15.1	1.65

3. จากค่า d-spacing ที่ได้นำไปเปรียบเทียบกับตาราง JCPDS เพื่อหาระนาบที่เป็นไปได้ของ R1, R2, R3 และ R4 ตามตารางที่ ข-3

ตารางที่ ข-3 แสดงตาราง JCPDS ของสารซิงก์ออกไซด์ (36-1451)

ZnO Zinc Oxide	d (Å)	Int	hkl
Sys. Hexagonal	2.814	57	100
a = b = 3.24982 Å	2.603	44	002
c = 5.02661 Å	2.4759	100	101
	1.9111	23	102
	1.6247	32	110
	1.4771	29	103
	1.4072	4	200

4. เมื่อได้ระนาบที่เป็นไปได้ของแต่ละเวกเตอร์จากตารางที่ ข-3 แล้ว ให้กระจายระนาบที่เป็นไปได้ทั้งหมดของแต่ละเวกเตอร์ ซึ่งจะได้อ้างอิงตารางที่ ข-4

ตารางที่ ข-4 แสดงระนาบที่เป็นไปได้ของแต่ละเวกเตอร์

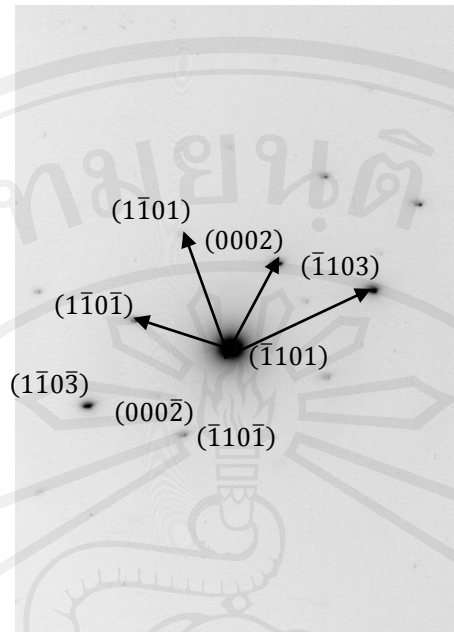
เวกเตอร์	d-spacing (Å)	ระนาบจากตาราง ข-3 ที่เป็นไปได้ (hkl)	ระนาบที่เป็นไปได้ (hkil)
R1	2.60	(101)	(10-11), (1-101), (0-111), (01-11), (-1011), (-1101), (10-1-1), (1-10-1), (0-11-1), (01-1-1), (-101-1) และ (-110-1)
		(100)	(10-10), (1-100), (01-10), (0-110), (-1100) และ (-1010)
		(002)	(0002) และ (000-2)
		(101)	(10-11), (1-101), (0-111), (01-11), (-1011), (-1101), (10-1-1), (1-10-1), (0-11-1), (01-1-1), (-101-1) และ (-110-1)
R2	2.44	(100)	(10-10), (1-100), (01-10), (0-110), (-1100) และ (-1010)
		(002)	(0002) และ (000-2)
		(102)	(10-12), (1-102), (01-12), (0-112), (-1012), (-1102), (10-1-2), (1-10-2), (01-1-2), (0-11-2), (-101-2) และ (-110-2)
R3	1.99	(101)	(10-11), (1-101), (0-111), (01-11), (-1011), (-1101), (10-1-1), (1-10-1), (0-11-1), (01-1-1), (-101-1) และ (-110-1)
		(110)	(11-20), (1-210), (-2110), (-1-120), (-12-10) และ (2-1-10)
		(110)	(11-20), (1-210), (-2110), (-1-120), (-12-10) และ (2-1-10)
		(102)	(10-12), (1-102), (-1102), (-1012), (01-12), (0-112), (10-1-2), (1-10-2), (-110-2), (-101-2), (01-1-2) และ (0-11-2)
R4	1.65	(103)	(10-13), (1-103), (01-13), (0-113), (-1103), (-1013), (10-1-3), (1-10-3), (01-1-3), (0-11-3), (-110-3) และ (-101-3)

5. เมื่อได้ระนาบที่เป็นไปได้ทั้งหมดของแต่ละเวกเตอร์ แล้วหาความสัมพันธ์ของแต่ละเวกเตอร์
พิจารณาจากรูปที่ ข-2 จะได้ความสัมพันธ์ของเวกเตอร์

$$R1 + R2 = R3$$

$$-R1 + R2 = R4$$

6. เมื่อพิจารณาความสัมพันธ์ตามตารางที่ ข-4 จะได้ R1, R2, R3 และ R4 คือ 1-10-1, 01-1-1, 10-1-2 และ -12-10 ตามลำดับ ซึ่งจะนำไปตามสมการความสัมพันธ์ แสดงได้ดังรูปที่ ข-3



รูปที่ ข-3 แสดงระนาบที่เกิดจากอิเล็กทรอนิกส์แฟรกชัน

7. เมื่อได้ระนาบของแต่ละเวกเตอร์แล้ว ทำการตรวจสอบความถูกต้องโดยการวัดมุมระหว่างเวกเตอร์ $R_1 \wedge R_2$, $R_1 \wedge R_3$ และ $R_1 \wedge R_4$ เปรียบเทียบกับผลจากการคำนวณ ถ้าค่าที่ได้แตกต่างกันน้อยกว่า 2 องศา ถือว่าข้อมูลที่วิเคราะห์ได้นั้นถูกต้อง

ภาคผนวก ค

เทคนิคการวิเคราะห์โครงสร้างผลึกด้วย XRD

ตารางแสดงระนาบผลึกดัชนีมิลเลอร์ ของผลึก ZnO พร้อมทั้งแสดงค่ามุมการเลี้ยวเบนรังสีเอ็กซ์ ที่เป็นค่ามาตรฐาน แสดงดังตารางที่ ค-1

ตารางที่ ค-1 ค่ามุมมาตรฐาน ของ XRD ของผลึกซิงก์ออกไซด์

ระนาบ			$\lambda = 1.54 \text{ \AA}$
h	k	l	2θ
1	0	0	31.80
0	0	2	34.47
1	0	1	36.29
1	0	2	47.60
1	1	0	56.66
1	0	3	62.95
2	0	0	66.45
1	1	2	68.03
2	0	1	69.17

จากการทดลองได้ทำการวิเคราะห์ชิ้นงานที่เงื่อนไข sample g, sample h, sample i และ ZnO powder ซึ่งได้ผลดังรูปที่ 4.3.5 และจากการวิเคราะห์สามารถอ่านค่ามุมได้ดังตารางที่ ค-2

ตารางที่ ค-2 ค่ามุมที่อ่านได้จากผล XRD ของชิ้นงานที่เงื่อนไขต่างๆ

d_{hkl}	2θ			
	sample g	sample h	sample i	ZnO powder
d_{100}	31.79	31.66	31.57	31.85
d_{002}	34.39	34.30	34.19	34.51
d_{101}	36.34	36.20	36.35	36.35
d_{102}	47.51	47.47	47.47	47.62
d_{110}	56.68	56.49	56.44	56.69
d_{103}	62.92	62.80	62.82	62.93
d_{200}	66.31	-	-	66.43
d_{112}	-	-	-	68.02
d_{201}	-	-	-	69.17

การคำนวณหาค่าคงที่แลตทิซ (lattice constant) จากค่ามุมที่อ่านได้ในตารางที่ ค-2 สามารถคำนวณได้ โดยมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

ค่าคงที่
ยกตัวอย่างมุมที่คำนวณ 31.79

ความยาวคลื่น = 1.54 Å

$$\theta = \frac{31.79}{2} = 15.895$$

จากสมการ

$$2d \sin \theta = n\lambda$$

แทนค่าจะได้ว่า

$$d = \frac{1.54 \times 10^{-10}}{2 \times \sin 15.895} = 2.81 \text{ Å} \quad ; n=1$$

จากสมการโครงสร้างเฮกซะโกนอล

$$\frac{1}{d^2} = \frac{4}{3} \left(\frac{h^2 + hk + k^2}{a^2} \right) + \frac{l^2}{c^2}$$

จากตารางที่มุมนี้เป็นระนาบของ (100) ทำการแทนค่าจะได้

$$a = 3.25 \text{ Å}$$

ในการทำงานเดียวกันที่มุมอื่นๆ ก็จะได้ผลดังตารางที่ ค-3

ตารางที่ ค-3 แสดงค่าความยาวแลตทิตที่ระนาบต่างๆ

d_{hkl}	sample g			sample h			sample i			ZnO powder		
	a (Å)	b (Å)	c (Å)	a (Å)	b (Å)	c (Å)	a (Å)	b (Å)	c (Å)	a (Å)	b (Å)	c (Å)
d_{100}	3.25	-	-	3.26	-	-	3.27	-	-	3.24	-	-
d_{002}	-	-	5.21	-	-	5.22	-	-	5.24	-	-	5.19
d_{101}	3.24	-	5.21	3.25	-	5.22	3.26	-	5.24	3.24	-	5.19
d_{102}	3.24	-	5.21	3.25	-	5.22	3.22	-	5.24	3.25	-	5.19
d_{110}	3.24	3.24	-	3.25	3.25	-	3.26	3.26	-	3.24	3.24	-
d_{103}	3.23	-	5.21	3.23	-	5.22	3.20	-	5.24	3.26	-	5.19
d_{200}	3.24	-	-	-	-	-	-	-	-	3.25	-	-
d_{112}	-	-	-	-	-	-	-	-	-	3.25	3.25	5.19
d_{201}	-	-	-	-	-	-	-	-	-	3.25	-	5.19
เฉลี่ย	3.24	3.24	5.21	3.248	3.25	5.22	3.242	3.26	5.24	3.247	3.25	5.19

ภาคผนวก ง

ผลงานทางวิชาการ

- นำเสนอผลงานแบบบรรยาย (oral presentation) ในการประชุมวิชาการระดับนานาชาติ

“1st ASEAN PLUS THREE GRADUATE RESEARCH CONGRESS (AGRC 2012)”

จัดโดย บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ จัดระหว่างวันที่ 1-2 มีนาคม 2555 ณ โรงแรมดิเอ็มเพรส อำเภอเมืองเชียงใหม่ จังหวัดเชียงใหม่

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

Growth of ZnO Nanowires by Oxidation of Zn in Acetone Vapor

Kunakorn Palawong^{a*}, Atcharawon Gardchareon^{ab}, Duangmanee Wongratanaphisan^{ab}, Surachet Phadungthitidhada^{ab}, Auttasit Tubtimtae^c and Supab Choopun^{ab**}

^a Department of Physics and Materials Science, Faculty of Science, Chiang Mai University, Chiang Mai 50200, Thailand

^b ThEP Center, CHE, 328 Si Autthaya Rd., Ratchathewi, Bangkok 10400, Thailand

^c Department of Physics, Faculty of Liberal Arts and Science, Kasetsart University Kamphaengsaen Campus, Nakorn Pathom 73140, Thailand

Abstract

In this work, We synthesized the size-controlled ZnO nanowires were growth by oxidation of Zn layer in acetone vapor ambient at low pressure with temperature of 850°C. The Zn films were deposited on FTO glass substrate by thermal evaporation. The ZnO nanowires were characterized by field emission scanning electron microscopy (FE-SEM), transmission electron microscopy (TEM), X-ray diffraction and UV-vis spectroscopy for morphology, crystal structure, optical properties, respectively. The diameter of ZnO nanowires was found to depend on thickness of Zn layer and acetone vapor flow rate. The ZnO nanowires had diameter ranging from 45 to 319 nm. Also, the largest energy gap of ZnO nanowires was found to be 3.20 eV. In addition, The growth mechanism of ZnO nanowires on the FTO substrate was discussed.

Keywords

ZnO nanowires; FTO glass; Zn layer; acetone

Introduction

One-dimensional nanostructure materials such as nanorods or nanowires have caught interest due to their unique physical properties and potential applications in nanodevice. ZnO has a wide band gap of 3.37 eV and an excitation binding energy of about 60 meV. Applications of ZnO nanowires arrays have been demonstrate in nanolaser [1], nanogenerators [2], nanosensors [3], light-emitting diodes (LEDs) [4], field emitters [5], gas sensors [6] and dye-sensitized solar cells (DSSCs) [7]. ZnO nanowires can be prepared by various techniques such as chemical vapor deposition (CVD) [8-10], metal-organic chemical vapor deposition (MOCVD) [11], electrochemical deposition [12] and aqueous solution method [13].

In this paper, we have used chemical vapor deposition (CVD) method to prepare ZnO nanowires on FTO glass substrate. This method has advantages on

low production cost, easy handling, high efficiency and high crystal quality [5]. We report growth, characterized morphology and optical properties of ZnO nanowires by chemical vapor deposition on FTO glass substrates in presence of acetone vapor.

Experimental

To clean and remove surface contamination on the substrate, FTO glass was sonicated in antiseptic and acetone solution for 15 minutes each. Next, FTO glass was coated with a thin layer of Zn powder by evaporation technique. The thickness of Zn layer was controlled by weights of Zn powder at 0.5g. Then, ZnO nanowires arrays were grown in a tube furnace by chemical vapor deposition (CVD) technique.

In the process, Zn powder as a source prepared in a ceramic boat was placed at the center of the tube furnace at 850°C. FTO glass substrate with Zn layer

*M.Sc., Faculty of Science, Chiang Mai University, e-mail address : phystae@windowslive.com

**Asst.Prof., Faculty of Science, Chiang Mai University, e-mail address : supab99@gmail.com

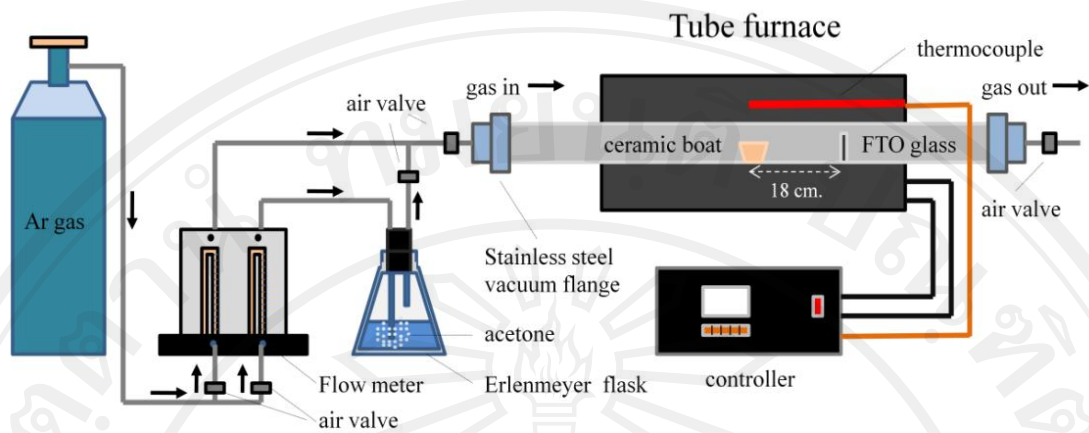


Figure 1 Tube furnace system for growth ZnO nanowires

was placed at 18 cm from Zn powder source with the temperature of 530°C under Ar gas atmosphere with the flow rate of 1 L/min in the tube furnace for 5 minutes in order to remove O₂ residual out from the tube furnace. After that, the valves were closed to prevent Zn vapor leaking out from the system. When the temperature reached 850 °C, the valves were opened and 0.5 L/min Ar gas was flown with different flow rates of acetone vapor of 12.5, 25 and 50 sccm (Standard Cubic Centimeters per Minute) for 15

minutes in the tube furnace. Next, the valves were closed for 15 minutes for the initial chemical vapor between Zn and acetone reactions. After this process, the valves were opened and another Ar gas with 0.5 L/min flow rate was filled for 30 minutes to remove O₂ out from the tube furnace, then the reaction was stopped for the tube furnace cooling down to room temperature. Finally, the samples were annealed in air at 500 °C for 2 hours to remove carbon contamination.

Results and Discussion

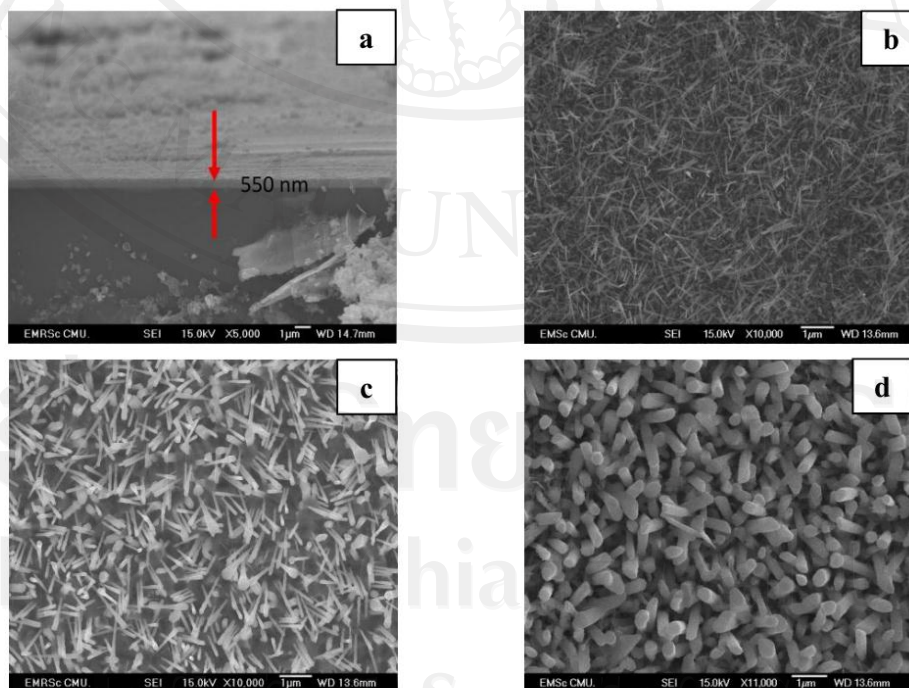


Figure 2 (a) Cross-sectional FE-SEM image of Zn layer deposited from Zn powder of 0.5g. (b-d) FE-SEM images of ZnO nanowires for acetone flow rates of 12.5, 25 and 50 sccm, respectively

FE-SEM cross-sectional image for the first step of Zn layer coated on FTO substrate with Zn powder of 0.5 g was shown in Figure 1a. The thickness of Zn layer was 550 nm. The second step, ZnO nanowires were grown on the Zn film-coated substrate with different acetone flow rate of 12.5, 25 and 50 sccm. The diameters of ZnO nanowires with different acetone flow rate of 12.5, 25 and 50 sccm exhibited various diameters of ZnO nanowires of 45, 81 and 319 nm (Figure 1b-1d), respectively. The larger diameters of ZnO nanowires with increasing acetone flow rate can be explained in terms of supersaturation ratio, and the increase of acetone flow rate induced the enhancement of O_2 partial pressure in ZnO atom, leading to enlarge the diameter of ZnO nanowires [14].

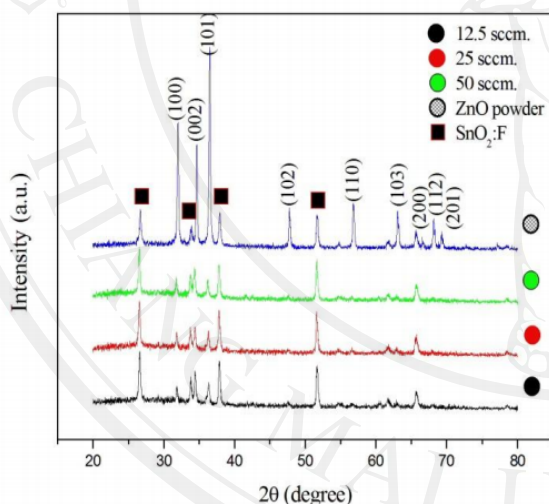


Figure 3 XRD patterns of ZnO nanowires and ZnO powder

XRD patterns of the samples with different acetone flow rate were shown in Figure 3 and can be mainly indexed to hexagonal structure of bulk ZnO (JCPDS file no. 89-1397) with lattice parameter $a = 3.253\text{Å}$ and $c = 5.213\text{Å}$. The SnO_2 peaks at $2\theta = 26.59^\circ$, 33.88° , 37.96° , and 51.78° were also observed due to the FTO glass substrate. It can be confirmed that the different acetone flow rate remain perform

the ZnO nanowires on substrate with out contamination incorporated in the samples.

Selected area electron diffraction (SAED) pattern and TEM image were shown in Figure 4a and 4b. SAED showed spot pattern indicating single crystalline property and can be indexed to hexagonal structure of ZnO nanowires of (JCPDS file no. 89-1397) $(1\bar{1}0\bar{1})$, $(1\bar{1}01)$, (0002) and $(\bar{1}103)$, which is consistent with the d-spacing of 2.47, 2.47, 2.60 and 1.47 Å, respectively (JCPDS file no. 89-1397). Moreover, from trace analysis it was found that the growth direction of ZnO nanowires is along $(1\bar{1}01)$ direction.

The d-spacing was indexed to hexagonal structure of bulk ZnO (JCPDS file no. 89-1397) $(1\bar{1}0\bar{1})$, $(1\bar{1}01)$, (0002) and $(\bar{1}103)$, respectively.

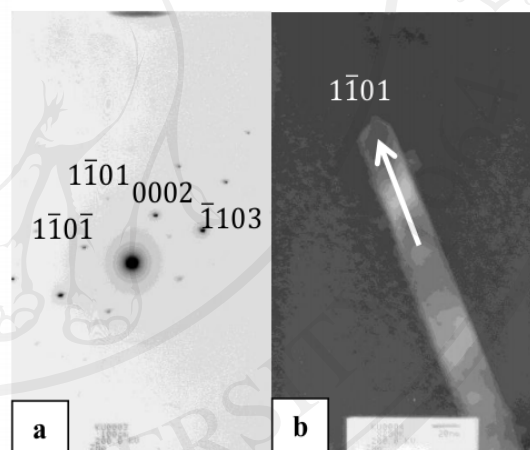


Figure 4 (a) selected area electron diffraction pattern of ZnO nanowire and (b) TEM image.

Figure 5a showed absorbance spectra obtained from UV-visible spectroscopy. The absorption edges with increasing of acetone flow rates are slightly shifted to longer wavelengths ($\sim 380\text{-}400\text{ nm}$). This range exhibited the excitonic excitation peaks of ZnO signals (Shown in inset)

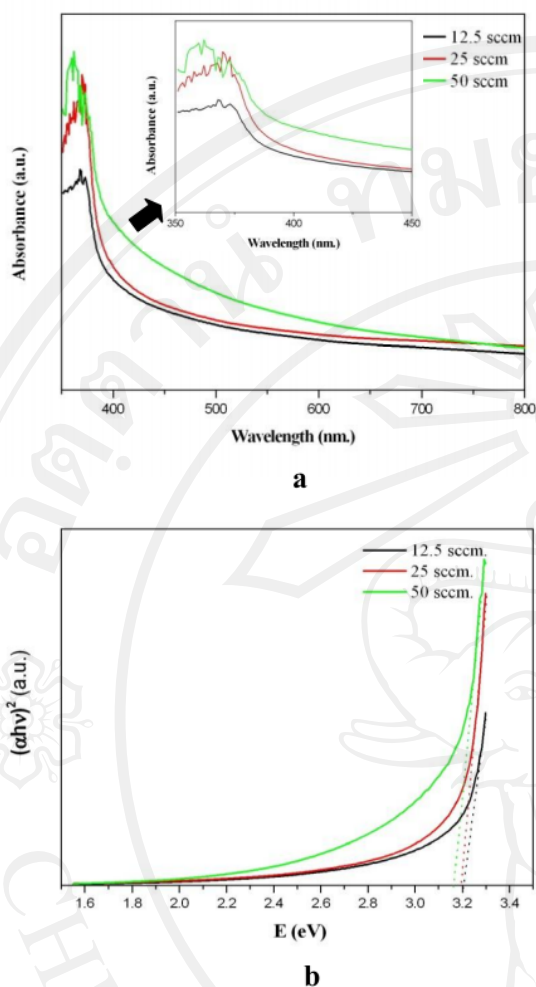


Figure 5 (a) absorbance spectra of ZnO nanowires obtained from UV-visible spectroscopy (b) The plot of $(\alpha h\nu)^2$ and energy of light source for energy gap determination.

The energy gaps can be determined from the plot of $(\alpha h\nu)^2$ and energy of light source as shown in Figure 5b. The obtained energy gaps were 3.20, 3.19 and 3.16 eV for acetone flow rates of 12.5, 25 and 50 sccm, respectively. The values of energy gap corresponded with previous work [15]. The small variation of energy gaps as a function of acetone flow rate may due to variation of the nanowire size. The increase of ZnO nanowires size attributed to the narrower energy gap of ZnO nanowires due to the tunable absorption in ZnO nanowire structure of the quantum confinement effect [16-18].

Conclusion

We have successfully synthesized the ZnO nanowires on Zn layer coated FTO glass substrates by oxidation techniques in acetone vapor. XRD confirmed that ZnO nanowires were grown on FTO glass substrate under different acetone flow rate with contamination-free structures. Also, FE-SEM and TEM micrographs indicated that the average diameter of ZnO nanowires increased when acetone flow rate increased with the growth direction along [102]. The small variation of energy gaps as a function of acetone flow rate was observed and maybe due to variation of the nanowires sizes.

References

- [1] M. H. Huang, S. Mao, H. Feick, H. Yan, Y. Wu, H. King, et al. *Science* 2001; 292: 1897.
- [2] X. D. Wang, J. H. Song, J. Liu, Z. L. Wang. *Science* 2007; 316: 102.
- [3] X. D. Wang, C.J. Summers, Z. L. Wang. *Nano Lett* 2004; 4: 423.
- [4] X. W. Sun, J. Z. Huang, J. X. Wang, Z. Xu. *Nano Lett* 2008; 8: 1219.
- [5] X. D. Wang, C. J. Summers, Z. L. Wang. *Adv Mater.* 2007; 19: 1627.
- [6] J. B. K. Law, J. T. L. Thong. *Nanotechnology*.2008; 19: 205502.
- [7] M. Law, L. E. Greene, J. C. Johnson, R. Saykally, P. Yang. *Nat Mater.* 2005; 4: 455.
- [8] H.Y. Lu, S.Y. Chu, S.H. Cheng. *J. Cryst. Growth.* 2005; 274: 506–511.
- [9] P. Yang, H. Yan, S. Mao, R. Russo, J. Johnson, R. Saykally, N. Morris, J. Pham, R. He, H.J. Choi. *Adv. Funct. Mater.* 2002; 12: 323–331.
- [10] Y. C. Kong, D. P. Yu, B. Zhang, W. Fang, S. Q. Feng. *Appl. Phys. Lett.* 2001; 78: 407–409.
- [11] S. W. Kim, S. Fujita. *Appl. Phys. Lett.* 2005; 86: 153119–153122.

- [12] S. P. Anthony, J. I. Lee, J. K. Kim. Appl. Phys. Lett. 2007;90: 103107.
- [13] L. E. Greene, B. D. Yuhas, M. Law, D. Zitoun, P. Yang. Inorg Chem. 2006; 45: 7535.
- [14] C. Ye, X. Fang, Y. Hao, X. Teng, L. Zhang, J. Phys. Chem. B. 2005; 109: 1975
- [15] M. C. Jeong, B. Y. Oh, W. Lee, J. M. Myoung. Journal of Crystal Growth. 2004; 268: 149–154.
- [16] H. J. Xiang, J. L. Yang, J. G. Hou and Q. S. Zhu. Appl. Phys. Lett. 2006; 89: 223111.
- [17] A. J. Read, R. J. Needs, K. J. Nash, L. T. Canham, P. D. J. Calcott and A. Qteish. Phys. Rev. Lett. 1992; 69: 1232.
- [18] X. Zhao, C. M. Wei, L. Yang and M. Y. Chou. Phys. Rev. Lett. 2004; 92: 236805.

ประวัติผู้เขียน

ชื่อ-สกุล	นายคุณากร พลวงษ์
วัน เดือน ปีเกิด	16 สิงหาคม 2528
ประวัติการศึกษา	<ul style="list-style-type: none"> - สำเร็จการศึกษาระดับประถมศึกษาจากโรงเรียนพนาลัยวิทยาเสริม ต.แวง อ.โพนทอง จ.ร้อยเอ็ด ปีการศึกษา 2540 - สำเร็จการศึกษาระดับมัธยมศึกษาตอนต้นจากโรงเรียนจุฬารัตนราชวิทยาลัย มุกดาหาร ต.หนองหอย อ.เมือง จ.มุกดาหาร ปีการศึกษา 2543 - สำเร็จการศึกษาระดับมัธยมศึกษาตอนปลายจากโรงเรียนจุฬารัตนราชวิทยาลัย มุกดาหาร ต.หนองหอย อ.เมือง จ.มุกดาหาร ปีการศึกษา 2546 - สำเร็จการศึกษาปริญญาตรี สาขาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น ปีการศึกษา 2550
ประสบการณ์	<p>ผู้ช่วยวิจัยการสกัดซิลิกาและซิลิกอนจากแกลบ โดยใช้พลังงานแสงอาทิตย์ ภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น</p>