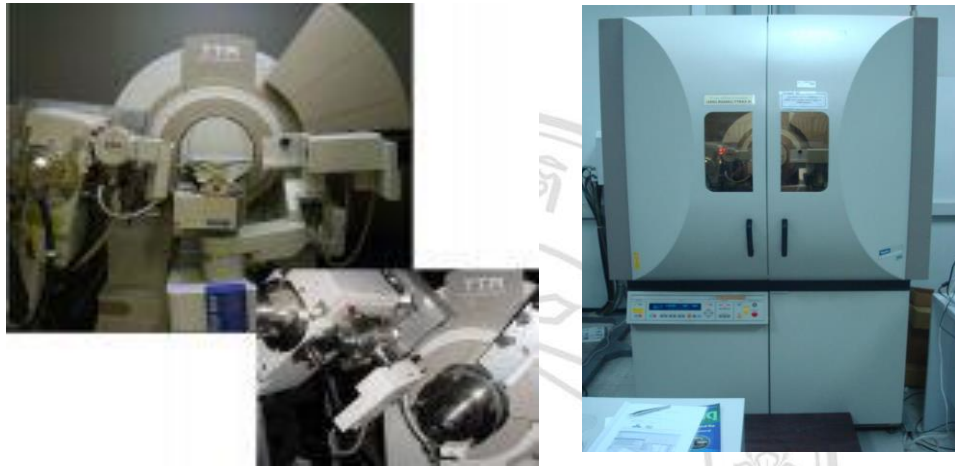


## ภาคผนวก ก

เครื่องมือที่ใช้ในการวิเคราะห์อนุภาคผงและฟิล์มตอบสนอง  
เครื่องทดสอบการเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์



รูป 4.35 เครื่องทดสอบการเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์

กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด



รูป 4.36 เครื่องทดสอบกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดและการวิเคราะห์ปริมาณธาตุ

เครื่องฉาบผิวด้วยทอง (Sputter) รุ่น SPI-MODULE™ Sputter Coater ของบริษัท SPI supplies  
Division of Structure Probe ประเทศสหรัฐอเมริกา



รูป 4.37 เครื่องฉาบผิวด้วยทอง (Sputter) รุ่น SPI-MODULE™ Sputter Coater

การถ่ายภาพด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องผ่าน



รูป 4.38 กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องผ่าน

สเปกโทรสโกปีของอนุภาคอิเล็กทรอนิกส์ที่ถูกปลดปล่อยด้วยรังสีเอกซ์



รูป 4.39 เครื่องทดสอบสเปกโทรสโกปีของอนุภาคอิเล็กทรอนิกส์ที่ถูกปลดปล่อยด้วยรังสีเอกซ์

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่  
Copyright© by Chiang Mai University  
All rights reserved

## ภาคผนวก ข

### ตัวอย่างการคำนวณ TEM

ระนาบรูปแบบการเลี้ยวเบนของอิเล็กตรอนของจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องผ่าน (TEM) ของผงละเอียดนาโนทินไดออกไซด์เจือด้วยอินเดียมปริมาณร้อยละ 1 โดยน้ำหนัก

$$\text{โดยที่ } \lambda L = 24.9630 \text{ mm}\text{\AA}$$

$$R = 7.75 \text{ mm}$$

$d$  = ระยะห่างระหว่างระนาบผลึก (interplanar spacing) (ต้องการหา)

จากสูตรการคำนวณ

$$\lambda L = Rd$$

$$24.9630 \text{ mm}\text{\AA} = (7.75 \text{ mm})(d)$$

$$d = \frac{24.9630 \text{ mm}\text{\AA}}{7.75 \text{ mm}}$$

$$d = 3.321 \text{ \AA}$$

หลังจากนั้นนำค่า  $d$  ที่ได้คือ  $3.321 \text{ \AA}$  ไปเปรียบเทียบกับ JCPDS หมายเลข 77-447 :  $\text{SnO}_2$  พบว่ามีค่าใกล้เคียงกับ  $3.3487 \text{ \AA}$  ซึ่งเป็นระนาบ (1 1 0)

ตารางที่ 4.2 สรุปการคำนวณระนาบรูปแบบการเลี้ยวเบนของอิเล็กตรอนของอนุภาคนาโนทินไดออกไซด์บริสุทธิ์

$\lambda L$ (mm $\text{\AA}$ )	R (mm)	d ( $\text{\AA}$ )	ระนาบ	ชนิดของธาตุ
24.9630	7.25	3.443	(1 1 0)	$\text{SnO}_2$
24.9630	9.25	2.698	(1 0 1)	$\text{SnO}_2$
24.9630	10.625	2.349	(2 0 0)	$\text{SnO}_2$
24.9630	14.00	1.783	(2 1 1)	$\text{SnO}_2$
24.9630	22.5	1.109	(3 3 0)	$\text{SnO}_2$

ตารางที่ 4.3 สรุปการคำนวณระนาบรูปแบบการเลี้ยวเบนของอิเล็กตรอนของอนุภาคนาโนทินไดออกไซด์ที่เจือด้วยอินเดียมร้อยละ 0.5 โดยน้ำหนัก

$\lambda L$ (mmÅ)	R (mm)	d (Å)	ระนาบ	ชนิดของธาตุ
24.9630	7.5	3.328	(1 1 0)	SnO <sub>2</sub>
24.9630	9.5	2.627	(1 0 1)	SnO <sub>2</sub>
24.9630	11.0	2.269	(2 0 0)	SnO <sub>2</sub>
24.9630	14.25	1.751	(2 1 1)	SnO <sub>2</sub>

ตารางที่ 4.4 สรุปการคำนวณระนาบรูปแบบการเลี้ยวเบนของอิเล็กตรอนของอนุภาคกราฟีน

$\lambda L$ (mmÅ)	R (mm)	d (Å)	ระนาบ	ชนิดของธาตุ
24.9630	7.5	3.328	(0 0 2)	Graphene, C
24.9630	16.5	1.512	(1 0 3)	Graphene, C

ตารางที่ 4.5 สรุปการคำนวณระนาบรูปแบบการเลี้ยวเบนของอิเล็กตรอนของอนุภาคนาโนทินไดออกไซด์บริสุทธิ์ที่เจือด้วยอินเดียมปริมาณร้อยละ 0.5 โดยน้ำหนัก ผลมกราฟีนในปริมาณร้อยละ 0.1 โดยน้ำหนัก

$\lambda L$ (mmÅ)	R (mm)	d (Å)	ระนาบ	ชนิดของธาตุ
24.9630	7.75	3.221	(0 0 2)	Graphene, C
24.9630	11.75	2.124	(2 1 0)	SnO <sub>2</sub>
24.9630	13	1.920	(1 0 1)	Graphene, C
24.9630	18.75	1.331	(2 0 2)	SnO <sub>2</sub>
24.9630	20.75	1.203	(3 2 1)	SnO <sub>2</sub>

ตารางที่ 4.6 สรุปการคำนวณระนาบรูปแบบการเลี้ยวเบนของอิเล็กตรอนของอนุภาคนาโนทินไดออกไซด์ที่เจือด้วยอินเดียมปริมาณร้อยละ 0.5 โดยน้ำหนัก ผสมกราฟีนในปริมาณร้อยละ 0.5 โดยน้ำหนัก

$\lambda L$ (mmÅ)	R (mm)	d (Å)	ระนาบ	ชนิดของธาตุ
24.9630	8.0	3.120	(0 0 2)	Graphene, C
24.9630	11.5	2.170	(2 0 0)	SnO <sub>2</sub>
24.9630	13.25	1.884	(1 0 2)	Graphene, C
24.9630	14.5	1.721	(2 1 1)	SnO <sub>2</sub>
24.9630	16.5	1.512	(1 0 3)	Graphene, C
24.9630	18.75	1.331	(2 0 2)	SnO <sub>2</sub>
24.9630	21.0	1.188	(4 0 0)	SnO <sub>2</sub>

ตารางที่ 4.7 สรุปการคำนวณระนาบรูปแบบการเลี้ยวเบนของอิเล็กตรอนของอนุภาคนาโนทินไดออกไซด์ที่เจือด้วยอินเดียมปริมาณร้อยละ 0.5 โดยน้ำหนัก ผสมกราฟีนในปริมาณร้อยละ 2 โดยน้ำหนัก

$\lambda L$ (mmÅ)	R (mm)	d (Å)	ระนาบ	ชนิดของธาตุ
24.9630	7.75	3.221	(0 0 2)	Graphene, C
24.9630	11.75	2.124	(2 1 0)	SnO <sub>2</sub>
24.9630	14.25	1.751	(2 1 1)	SnO <sub>2</sub>
24.9630	16.5	1.512	(1 0 3)	Graphene, C
24.9630	18.75	1.331	(2 0 2)	SnO <sub>2</sub>
24.9630	21.0	1.188	(4 0 0)	SnO <sub>2</sub>

ตารางที่ 4.8 สรุปการคำนวณระนาบรูปแบบการเลี้ยวเบนของอิเล็กตรอนของอนุภาคนาโนทินไดออกไซด์บริสุทธิ์ที่เจือด้วยอินเดียมปริมาณร้อยละ 0.5 โดยน้ำหนัก ผสมกราฟีนในปริมาณร้อยละ 5 โดยน้ำหนัก

$\lambda L$ (mmÅ)	R (mm)	d (Å)	ระนาบ	ชนิดของธาตุ
24.9630	7.75	3.221	(1 1 0)	SnO <sub>2</sub>
24.9630	14.0	1.783	(2 1 1)	SnO <sub>2</sub>
24.9630	16.25	1.536	(1 0 3)	Graphene, C
24.9630	19.25	1.296	(2 1 2)	SnO <sub>2</sub>

ตารางที่ 4.9 ค่าพลังงานยึดเหนี่ยว ของอนุภาคนาโนทินไดออกไซด์ที่เจือด้วยอินเดียม ที่สังเคราะห์โดยวิธีเฟลมสเปรย์ไพโรลิซิสและหลังจากผ่านการทดสอบแก๊สแล้วที่ทำการวิเคราะห์ด้วยเทคนิคสเปกโทรสโกปีของอนุภาคอิเล็กตรอนที่ถูกปลดปล่อยด้วยรังสีเอกซ์

สารประกอบ	เลขออกซิเดชัน	ระดับชั้นพลังงาน	พลังงานยึดเหนี่ยว		
			In	O	Sn
In	In <sup>0</sup>	3d <sub>5/2</sub>	443.7	-	-
			451.4	-	-
			443.5	-	-
			451.4	-	-
In <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	In <sup>3+</sup> , O <sup>2-</sup>	3d <sub>3/2</sub>	444.6	-	-
			452.6	-	-
			444.5	-	-
			452.2	-	-
	O <sup>2-</sup> , In <sup>3+</sup>	1s	-	530.6	-
			-	530.4	-

SnO <sub>2</sub>	Sn <sup>4+</sup> , O <sup>2-</sup>	3d <sub>5/2</sub>	-	-	486.7
			-	-	486.2
		3d <sub>3/2</sub>	-	-	495.2
			-	-	494.6
	O <sup>2-</sup> , In <sup>3+</sup>	1s	-	531.7	-
			-	531.5	-

ตารางที่ 4.10 แสดงค่าพลังงานยึดเหนี่ยว ของตัวรับรู้อนุภาคนาโนทินไดออกไซด์ที่เจือด้วยอินเดียม และโพลดด้วยกราฟีนหลังจากผ่านการทดสอบแก๊สทำการวิเคราะห์ด้วยเทคนิคสเปกโทรสโกปีของอนุภาคอิเล็กทรอนิกส์ที่ถูกปลดปล่อยด้วยรังสีเอกซ์

สารประกอบ	เลขออกซิเดชัน	ระดับชั้นพลังงาน	พลังงานยึดเหนี่ยว	
			C	O
C-C	C <sup>4+</sup> , C <sup>4+</sup>	1s	285.0	-
C-OH	C <sup>4+</sup> , O	1s	285.9	-
		1s	-	531.9
	1s	-	533.4	
	1s	-	532.8	
	1s	-	534.6	
	1s	285.8	-	
C=O	C <sup>4+</sup> , O <sup>2-</sup>	1s	286.9	-
		1s	286.6	-
	1s	-	531.4	

## ประวัติผู้เขียน

- ชื่อ-นามสกุล** นางสาว ขนิษฐา อินยาวิลิต
- วัน เดือน ปี เกิด** 6 กรกฎาคม พ.ศ. 2533
- ประวัติการศึกษา** ปีการศึกษา 2549 สำเร็จการศึกษาระดับมัธยมศึกษาตอนต้น จากโรงเรียนห้างฉัตรวิทยา จังหวัดลำปาง  
ปีการศึกษา 2551 สำเร็จการศึกษาระดับมัธยมศึกษาตอนปลาย สายวิทย์-คณิต จากโรงเรียนห้างฉัตรวิทยา จังหวัดลำปาง  
ปีการศึกษา 2552 วิทยาศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาวัสดุศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่  
ปีการศึกษา 2556 วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวัสดุศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
- ทุนการศึกษา** ปีการศึกษา 2555 ได้รับทุนสนับสนุนการวิจัยปริญญาโท ปีการศึกษา 2555 โครงการสร้างปัญญาวิทย์ ผลิตนักเทคโนโลยี สำนักงานวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ ในหลักสูตรบัณฑิต สาขาวิชาวัสดุศาสตร์  
ระหว่างปีการศึกษา 2556 ถึง 2558 ได้รับทุนสนับสนุนการศึกษาระดับบัณฑิตศึกษา โครงการทุนสถาบันบัณฑิตวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีไทย สำนักงานวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ ตลอดเวลาการศึกษาในหลักสูตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวัสดุศาสตร์
- ผลงานตีพิมพ์** K. Inyawilert, A. Wisitsora-at, A. Tuantranont, P. Singjai, S. Phanichphant, C. Liewhirana, "Ultra-rapid VOCs sensors based on sparked-In<sub>2</sub>O<sub>3</sub> sensing films," Sensors and Actuators B, Vol. 192, 2014, 745–754.  
K. Inyawilert, A. Wisitsoraat, C. Sriprachaubwong, A. Tuantranont, S. Phanichphant, C. Liewhiran, "Rapid ethanol sensor based on electrolytically-exfoliated graphene-loaded flame-made In-doped SnO<sub>2</sub> composite film," Sensors and Actuators B, Vol. 209, 2015, 40–45.

**ประสบการณ์** (Oral presentations) รูปแบบภาษาอังกฤษในหัวข้อ “Sensing of Ethanol Vapor by Spiked-In<sub>2</sub>O<sub>3</sub> Sensing Films” ในงาน The 8<sup>th</sup> Asian Meeting on Ferroelectric (AMF-8), December 9–14, 2012, Amari Orchid Hotel, Pattaya, Thailand.

**อื่นๆ** ได้รับรางวัลนักเรียนที่มีผลการเรียนดี คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ โดยได้ลำดับชั้น 3.87



ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่  
Copyright© by Chiang Mai University  
All rights reserved