สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

การเตรียมและวิเคราะห์สมบัติของฟิล์มบาง อินเดียม-ทินออกไซด์โดยวิธีโซล-เจล

T107747

นายชนะ ประพฤทธิ์วงศ์
นางสาววิชชุพร ศรีรักษา
นางสาวอุทัยรัตน์ อุทัย

เลขหมู่ 621.7
ส274ก
เลขทะเบียน 107747
วัน,เดือน,ปี 10 พ.ค. 2553
b 12210602
i

โครงงานพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต
ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2548

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Preparation and Characterization of Indium tin oxide thin film (ITO) Properties by Sol-Gel Process

Mr. Chana Prapruddivongs
Miss Wichuporn Sriraksa
Miss Uthairat Uthai

A Special Project Submitted in Partial Fulfillment of the Requirement for the Degree of Bachelor of Science

Department of Chemistry
Faculty of Science
King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang

Academic Year 2005

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โครงงานพิเศษ เรื่อง การเตรียมและวิเคราะห์สมบัติของสารละลายออกไซด์ของอินเดียม-ทิน โดยวิธีโซล-เจล

นักศึกษา นายชนะ ประพฤทธิ์วงศ์

นางสาววิชชุพร ศรีรักษา

นางสาวอุทัยรัตน์ อุทัย

ภาควิชา เคมี

สาขาวิชา เคมีอุตสาหกรรม

อาจารย์ที่ปรึกษา ดร.สามารถ คงทวีเลิศ

ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง อนุมัติให้โครงสร้างพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต

คณะกรรมการตรวจสอบ	ลายมือชื่อ
ประธานกรรมการ รศ.ดร.สมศักดิ์ วรมงคลชัย	.....
กรรมการ ดร.นราธิป วิทยากร	.....
กรรมการ ดร.สามารถ คงทวีเลิศ	.....

.....

(ผศ.ดร.ประยงค์ ดวงดี)

หัวหน้าภาควิชา

ลิขสิทธิ์ของภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โครงงานพิเศษ	การเตรียมและวิเคราะห์สมบัติของสารละลายออกไซด์ของอินเดียม-ทิน โดยวิธีโซล-เจล	
นักศึกษา	นายชนะ	ประพฤทธิ์วงศ์
	นางสาววิชชุพร	ศรีรักษา
	นางสาวอุทัยรัตน์	อุทัย
ภาควิชา	เคมี	คณะวิทยาศาสตร์
สาขาวิชา	เคมีอุตสาหากรรม	
ปีการศึกษา	2548	
อาจารย์ที่ปรึกษา	ดร.สามารถ	คงทวีเดิศ

บทคัดย่อ

โครงงานพิเศษนี้เป็นการเตรียมและศึกษาสมบัติของแผ่นฟิล์มบางอินเดียมทินออกไซด์ที่เตรียมโดยวิธีโซล-เจล โดยใช้อินเดียมคลอไรด์ ($InCl_3$) และทินคลอไรด์ ($SnCl_2.2H_2O$) ในสารละลายอะซิติลอะซิโตนเป็นสารตั้งต้น โดยในการทดลองนี้ฟิล์มบางของอิเดียมทินออกไซด์เตรียมโดยใช้อัตราส่วนโดยโมลของอินเดียมคลอไรด์ต่อทินคลอไรด์เท่ากับ 9:1 7:3 และ 1:1 และทำการขึ้นรูป 20 และ 25 ชั้นด้วยเทคนิคการจุ่มเคลือบบนตัวรองรับที่เป็นแก้วโบโรซิลิเกต จากนั้นทำการเผาที่อุณหภูมิ 700°C จะได้สมบัติที่แตกต่างกันได้แก่ สมบัติทางกายภาพ ความเป็นผลึกและสมบัติทางแสงของฟิล์มบางที่ได้ ถูกตรวจสอบด้วยเทคนิคการเลี้ยวเบนด้วยรังสีเอ็กซ์ (X-ray diffraction ; XRD) และกล้องจุลทรรศน์แบบส่องกราด (Scanning Electron Microscope; SEM) ผลที่ได้มีความสอดคล้องกันคือพบวัฏภาคที่เป็นสัณฐานและมีสารเจือปนอยู่มาก ที่สัดส่วนอินเดียมต่อทินเท่ากับ 7:3 และ 1:1 จากภาพถ่าย SEM พบว่าพื้นผิวมีความขรุขระและไม่สม่ำเสมอ แต่ที่สัดส่วน 9:1 พบฟิล์มที่มีโครงสร้างมีความเป็นผลึกสูง พื้นผิวเรียบ และมีความสม่ำเสมอมากกว่า จากการศึกษาสมบัติทางแสงด้วยเครื่องยูวีวิซิเบิล สเปกโตโฟโตมิเตอร์ (UV-visible spectrophotometer) ค่าสัมประสิทธิการส่องผ่านต่ำที่สุด และเพิ่มมากขึ้นที่สัดส่วน 1:1 7:3 และ 9:1 ตามลำดับ และผลของจำนวนชั้นที่เพิ่มขึ้นจะทำให้ค่าสัมประสิทธิ์การส่องผ่านของแสงลดลงตามลำดับ ค่าแถบพลังงาน(energy gab, E_g) ที่คำนวณได้จากการตรวจสอบด้วยการเลี้ยวเบนของรังสีเอ็กซ์พบว่า ที่สัดส่วนอินเดียมต่อทิน 7:3 จะให้ค่าพลังงานต่ำที่สุด และเพิ่มมากขึ้นที่สัดส่วน1:1 และ 9:1 ตามลำดับโดยที่ค่าช่องว่างของแถบพลังงานไม่ขึ้นกับจำนวนชั้นในการเคลือบ ค่าความต้านทานทางไฟฟ้าที่วัดได้พบว่าที่สัดส่วนอินเดียมต่อทินเท่ากับ 7:3 1:1 และ 9:1 มีค่าความต้านทานทางไฟฟ้าลดลงตามลำดับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Special Project Title	Preparation and Characterization of Indium tin oxide thin film (ITO)Properties by Sol-Gel Process
Name	1. Mr. Chana Prapruddivongs 2. Miss Wichuporn Sriraksa 3. Miss Uthairat Uthai
Department	Chemistry Faculty of Science
Program	Industrial Chemistry
Academic Year	2005
Special Project Advisor	Dr.Samart Kongtavelert

Abstract

This special project is the preparation and studying indium tin oxide thin film by Sol- Gel method ; Indium trichloride and Tin chloride dehydrate in acetylacetone here use as precursors. In this experiment, indium tin oxide thin film were prepared by various mole ratio of Indium trichloride and Tin chloride dehydrate ,9:1 7:3 and 1:1, then 20, 25 time of thin layer films were prepared by dip-coating technique on borosilicate glass substrate. The physical property, crystallinity and optical property of calcined thin film were investigated by X-Ray Diffraction (XRD) and Scanning Electron Microscope (SEM) technique. The corresponding result indicated the highly impurity and amorphous phase at 7:3 and 1:1 ratio and the surface roughness was also found by SEM micrograph. In contradictory, for 9:1 film the high crystallization and more homogeneous film were formed. From the result of optical property by UV-visible spectrophotometer was shown the increasing of percent transmittance from 1:1, 7:3 and 9:1 ratio respectively and the percent transmittance was decreased while amount surface layer was increased. The value of energy gab which is calculated from result of x-ray was shown the bottom at 7:3 ratio and increasing at 1:1 and 9:1 ratio respectively. The value of energy gab was not depend on amount of surface. The result of electricity measurement was found to decrease value of resisting of the film with indium and tin ratio as 7:3, 1:1, 9:1 respectively.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

โครงงานพิเศษนี้สามารถลุล่วงไปได้ด้วยดีด้วยความกรุณาของ ดร.สามารถ คงทวีเลิศ ที่ให้คำปรึกษา คำแนะนำทางวิชาการที่ดี ตลอดจนอำนวยความสะดวกในด้านเครื่องมือและอุปกรณ์ อีกทั้งอุปการะทุนสนับสนุนตลอดการทดลอง

ขอขอบคุณ ดร.นราธิป วิทยากร ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ที่ให้คำปรึกษา ให้ความช่วยเหลือในด้านการวิเคราะห์โดยใช้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด

ขอขอบคุณ รศ.ดร.วิษนุ เพชรภา ภาควิชาฟิสิกส์ประยุกต์ คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ให้คำปรึกษาและความช่วยเหลือด้านการวิเคราะห์ด้วยเครื่องยูวีวิซิเบิล สเปกโตรโฟโตเมทรี

ขอขอบคุณภาควิชาเคมี สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบังที่อำนวยความสะดวกในการใช้ห้องปฏิบัติการทดลอง

ขอขอบคุณนายไชยวัฒน์ โชควัฒน์วิกุล นักศึกษาปริญญาตรี คณะวิทยาศาสตร์ สาขาเคมีอุตสาหกรรม-เครื่องมือวิเคราะห์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ขอขอบคุณ บิดา มารดา ญาติพี่น้องและเพื่อน ๆ ทุกคน ที่ช่วยเป็นกำลังใจในการปฏิบัติโครงงานพิเศษนี้จนสำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

นายชนะ ประพฤทธิ์วงศ์
นางสาววิชชุพร ศรีรักษา
นางสาวอุทัยรัตน์ อุทัย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	ก
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	ข
กิตติกรรมประกาศ	ค
สารบัญ	ง
สารบัญตาราง	ฉ
สารบัญรูป	ช
บทที่ 1 บทนำ	
1.1 ความเป็นมาของงานวิจัย	1
1.2 จุดประสงค์ของงานทดลอง	2
1.3 ขอบเขตของงานวิจัย	2
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	2
บทที่ 2 ทฤษฎีและหลักการ	
2.1 สมบัติและโครงสร้างของอินเดียมออกไซด์	3
2.2 ความรู้ทั่วไปเกี่ยวกับอินเดียมทินออกไซด์	3
2.3 สมบัติทางการดูดกลืนแสงของสารกึ่งตัวนำ	4
2.4 การเตรียมฟิล์มบางโดยกระบวนการโซล-เจล	5
2.5 การขึ้นรูปฟิล์มบางโดยวิธีอื่นๆ	13
2.6 การประยุกต์ใช้งานของอินเดียมทินออกไซด์	13
2.7 การวิเคราะห์สมบัติของฟิล์มบางโดยเทคนิคต่างๆ	
2.7.1 การวิเคราะห์โดยเทคนิคการเลี้ยวเบนด้วยรังสีเอกซ์	16
2.7.2 กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด	21
2.8 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	25
บทที่ 3 วิธีดำเนินการวิจัย	
3.1 สารเคมีที่ใช้ในการทดลอง	27
3.2 อุปกรณ์และเครื่องมือ	27
3.3 วิธีการทดลอง	
3.3.1 ขั้นตอนการเตรียมโซล-เจลของอินเดียมทินออกไซด์	28
3.3.2 วิธีการเตรียมแผ่นแก้วรองรับ	28
3.3.3 วิธีการขึ้นรูปฟิล์มของอินเดียมทินออกไซด์	29

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ(ต่อ)

หน้า

บทที่ 4 ผลการทดลองและอภิปรายผล

4.1 ลักษณะของฟิล์มบางอินเดียมทินออกไซด์ที่เตรียมได้ 32

4.2 วิเคราะห์โดยเทคนิคการเลี้ยวเบนด้วยรังสีเอกซ์ 33

4.3 ผลการตรวจสอบลักษณะทางกายภาพของฟิล์มบางอินเดียมทินออกไซด์ที่ได้จากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบเลื่อนกราด 34

4.4 ผลที่ได้จากการวัดฟิล์มบาง ITO ด้วยเครื่องยูวีวิซิเบิล สเปกโตรสโครปี

4.4.1 ผลของสัดส่วนระหว่างอินเดียมและทินต่อสัมประสิทธิ์การส่องผ่านของแสงของฟิล์มบางอินเดียมทินออกไซด์ที่ปลูกโดยวิธีจุ่มเคลือบ 35

4.4.2 ผลของจำนวนชั้นในการเคลือบต่อสัมประสิทธิ์การส่องผ่านของแสงของฟิล์มบางอินเดียมทินออกไซด์ที่ปลูกโดยวิธีจุ่มเคลือบ 36

4.4.3 ผลจากการศึกษาค่าสัมประสิทธิ์การส่องผ่านแสงเพื่อคำนวณหาค่าแถบพลังงานต้องห้าม 38

4.4.4 ผลของจำนวนชั้น ในการเคลือบต่อค่าแถบพลังงานต้องห้ามของฟิล์มบางอินเดียมทินออกไซด์ที่ปลูกโดยวิธีจุ่มเคลือบ 39

4.4.5 ผลของสัดส่วนระหว่างอินเดียมต่อทินกับค่าแถบพลังงานต้องห้ามของฟิล์มบางอินเดียมทินออกไซด์ที่ปลูกโดยวิธีจุ่มเคลือบ 40

4.5 ผลที่ได้จากการวัดฟิล์มบาง ITO ด้วยเครื่องวัดความต้านทานไฟฟ้าโดยวิธี 2 ขั้ว 41

บทที่ 5 สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการทดลอง 44

5.2 ข้อเสนอแนะ 45

เอกสารอ้างอิง 46

ภาคผนวก 48

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

หน้า

ตารางที่ 3.1 อัตราส่วนระหว่างอินเดียมต่อทิน (% โดยโมล) 28

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป

หน้า

รูปที่ 2.1 โครงสร้างของอินเดียมทินออกไซด์ 3

รูปที่ 2.2 ลักษณะของโครงสร้างแถบพลังงานแบบง่ายของสารชนิดต่างๆ 4
(ก) ฉนวน (ข) สารกึ่งตัวนำ (ค) ตัวนำ

รูปที่ 2.3 กระบวนการเตรียมแบบโซล- เจล 5

รูปที่ 2.4 ลำดับขั้นตอนต่าง ๆของกระบวนการเตรียมโซล-เจล แบบ 7
(ก) พอลิเมอร์ และ (ข) คอลลอยด์

รูปที่ 2.5 การเปลี่ยนแปลงสถานะของโซลในรูปแบบต่าง ๆในกระบวนการโซล-เจล 8

รูปที่ 2.6 รูปแบบของผลึกที่เป็นผลมาจากอุณหภูมิ 9

รูปที่ 2.7 ขอบเขตของค่า พีเอช ในการไฮโดรไลซิส 10

รูปที่ 2.8 อัตราการละลายและความสัมพันธ์ของเวลาของการเกิดเจลที่เป็นฟังก์ชัน 10
ของค่าพีเอช

รูปที่ 2.9 ขั้นตอนการเกิดเป็นโครงสร้างของพวกโลหะอินทรีย์ในสารละลาย 12

รูปที่ 2.10 โครงสร้างทั่วไปของจอภาพ OLED 13

รูปที่ 2.11 จอ LCD แบบPassive matrix 14

รูปที่ 2.12 Thin-Film-Transistor or active matrix displays 15

รูปที่ 2.13 จอ LCD แบบ Active matrix 15

รูปที่ 2.14 หลักการทำงานทั่วไปของเซลล์แสงอาทิตย์ 16

รูปที่ 2.15 ลักษณะของการตรวจสอบวัฏภาคและแบบจำลองสำหรับการพิสูจน์ 18
กฎของแบรกก์

รูปที่ 2.16 การวิเคราะห์วัฏภาคโครงสร้างผลึกในสารตัวอย่างเทียบกับฐานข้อมูล 19
มาตรฐานของสารตัวอย่างที่เป็นฟิล์มและผงละเอียด

รูปที่ 2.17 การวิเคราะห์วัฏภาคองค์ประกอบในสารตัวอย่างเชิงปริมาณของสาร 20
ตัวอย่างที่เป็นแผ่นฟิล์มและผงละเอียด

รูปที่ 2.18 การวิเคราะห์หาความเครียดระดับจุลภาคซึ่งสามารถคำนวณจากความกว้าง 20
ของพีกการเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์

รูปที่ 2.19 หน่วยควบคุมอุณหภูมิHTK16 ซึ่งถูกใช้ร่วมกับเครื่อง 21
เอกซ์เรย์ดิฟแฟรกโตมิเตอร์

รูปที่ 2.20 การเกิดอันตรกิริยาระหว่างอิเล็กตรอนปฐมภูมิกับตัวอย่าง 23

รูปที่ 2.21 ส่วนประกอบพื้นฐานของ SEM 25

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป(ต่อ)

	หน้า
รูปที่ 3.1 แสดงเครื่องจุ่มเคลือบ	29
รูปที่ 3.2 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิและเวลาในการเผาฟิล์มของอินเดียมทินออกไซด์	30
รูปที่ 4.1 ฟิล์มบางอินเดียมทินออกไซด์หลังเผาที่อุณหภูมิ 700 องศาเซลเซียส	32
รูปที่ 4.2 ภาพเอกซเรย์ดิฟแฟรกชันของฟิล์มบางอินเดียมทินออกไซด์ (ก) และผงอินเดียมทินออกไซด์ (ข) โดยเตรียมจากเทคนิคการไทเทรตแบบตกตะกอนที่มีสัดส่วนของอินเดียมต่อทิน ต่าง ๆ กัน แล้วนำไปเผาที่ 700 องศาเซลเซียส	33
รูปที่ 4.3 ภาพ SEM แสดงลักษณะทางกายภาพผิวหน้าของฟิล์มบางเมื่อเผาที่อุณหภูมิ 700 องศาเซลเซียสโดยมีสัดส่วนของอินเดียมต่อทินเป็น (ก) 1:1 (ข) 7:3 และ (ค) 9:1 ตามลำดับ	34
รูปที่ 4.4 (ก) กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าการส่องผ่านของแสงกับความยาวคลื่นของฟิล์มบาง ITO ที่ปลูกโดยวิธีจุ่มเคลือบความหนา 25 ชั้น	35
รูปที่ 4.4 (ข) กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าการส่องผ่านของแสงกับความยาวคลื่นของฟิล์มบาง ITO ที่ปลูกโดยวิธีจุ่มเคลือบความหนา 30 ชั้น	36
รูปที่ 4.4 (ค) กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าการส่องผ่านของแสงกับความยาวคลื่นของฟิล์มบาง ITO ที่ปลูกโดยวิธีจุ่มเคลือบสัดส่วน 7:3	36
รูปที่ 4.4 (ง) กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าการส่องผ่านกับความยาวคลื่นของฟิล์มบาง ITO ที่ปลูกโดยวิธีจุ่มเคลือบสัดส่วน 9:1	37
รูปที่ 4.4 (จ) กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างสัมประสิทธิ์การดูดกลืนกำลังสอง $(\alpha h\nu)^2$ กับพลังงานโฟตอน($h\nu$) ของฟิล์มบางITOที่เตรียมโดยวิธีจุ่มเคลือบ	38
รูปที่ 4.4 (ฉ) กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าแถบพลังงานต้องห้ามกับความหนาของวิธีจุ่มเคลือบที่สัดส่วนอินเดียมต่อทินเท่ากับ 7:3	39
รูปที่ 4.4 (ช) กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าแถบพลังงานต้องห้ามกับความหนาของวิธีจุ่มเคลือบที่สัดส่วนอินเดียมต่อทินเท่ากับ 9:1	39
รูปที่ 4.4 (ซ) กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าแถบพลังงานต้องห้ามกับสัดส่วนอินเดียมต่อทินต่างๆ ของวิธีจุ่มเคลือบที่ความหนา 30 ชั้น	40

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป(ต่อ)

หน้า

รูปที่ 4.5 (ก) กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความต้านทานกับกระแสของ วิธีจุ่มเคลือบที่สัดส่วน อินเดียมต่อทินเท่ากับ 1:1 ซึ่งมีค่าความต้านทานแผ่น คือ 5.6364 $k\Omega cm^{-2}$ 41

รูปที่ 4.5 (ข) กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความต้านทานกับกระแสของ วิธีจุ่มเคลือบที่สัดส่วน อินเดียมต่อทินเท่ากับ 7:3 ซึ่งมีค่าความต้านทานแผ่น คือ 114.9210 $k\Omega cm^{-2}$ 42

รูปที่ 4.5 (ค) กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความต้านทานกับกระแสของ วิธีจุ่มเคลือบที่สัดส่วน อินเดียมต่อทินเป็น 9:1 ซึ่งมีค่าความต้านทานแผ่น คือ 1.8151 $k\Omega cm^{-2}$ 42

รูปที่ 4.5 (ง) กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความต้านทานแผ่นกับอัตราส่วนต่างๆ 43

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ความเป็นมาของงานวิจัย

ปัจจุบันสิ่งประดิษฐ์สารกึ่งตัวนำเป็นที่รู้จักกันอย่างแพร่หลาย โดยสิ่งประดิษฐ์เหล่านี้สร้างขึ้นจาก สารกึ่งตัวนำ สารเหล่านี้มีสมบัติเฉพาะ ซึ่งในอดีตจนถึงปัจจุบันได้มีการศึกษาค้นคว้า และพัฒนาเกี่ยวกับการสังเคราะห์สารกึ่งตัวนำเนื่องจากมีสมบัติด้านต่าง ๆ เช่น สมบัติทางแสงและสมบัติทางไฟฟ้า สารตั้งต้นที่นำมาใช้มีอยู่ด้วยกันหลายรูปแบบ และมีกระบวนการเตรียมได้หลายวิธี ซึ่งวิธีโซล-เจลเป็นวิธีหนึ่งที่น่าสนใจ

ในปัจจุบันกระบวนการเตรียมแบบโซล-เจล (Sol-gel) เป็นกระบวนการเตรียมเชิงเคมีประเภทหนึ่งที่ได้รับความนิยมอย่างสูง เนื่องจากเป็นเทคนิคที่มีประสิทธิภาพสูง และได้ผลที่ดีคือได้สารที่มีอนุภาคขนาดนาโนเมตรและมีความสม่ำเสมอ ของผลิตภัณฑ์ที่ได้ ตัวอย่าง เช่น ตะกอนผง และ ฟิล์มบาง นอกจากนี้ยังสามารถนำไปดัดแปลงประยุกต์ใช้งานในการผลิตวัสดุได้หลายรูปแบบเช่น การผลิตสารเร่งปฏิกิริยา (catalysts) ตัวดูดซับ (adsorbents) แผ่นฟิล์มบาง (thin films) การฉาบผิววัสดุ (coatings) เชื้อเพลิงนิวเคลียร์ (nuclear fuels) แผ่นกรองและเส้นใยเซรามิกแก้วชนิดพิเศษ ผงขัดวัสดุชีวภาพ (biomaterials) ซึ่งวิธีโซลเจลมีกระบวนผลิตฟิล์มให้มีขนาดบางและมีความหนาแน่นสูงทำให้การนำไปใช้งานมีประสิทธิภาพสูงกระบวนการในการขึ้นรูปเป็นฟิล์มบางที่นิยมใช้กันอย่างแพร่หลายมีหลายวิธีเช่น วิธีสปัตเตอริง (Sputtering) การพ่นแยกสลายด้วยความร้อน(Spray pyrolysis) CVD (Chemical Vapor Deposition) และ หล่อแผ่นบาง (Tape Casting)

ในที่นี้เป็นการเจือสารเคมี ระหว่างอินเดียมคลอไรด์และทินคลอไรด์ โดยมีสมบัติเป็นสารกึ่งตัวนำ ด้วยวิธี โซล-เจล ซึ่งเตรียมมาจากสารตั้งต้นคือ อินเดียมไตรคลอไรด์ และทินไดคลอไรด์ไดไฮเดรตในสารละลายอะซิติลอะซิโตน การที่เลือกใช้สารประกอบคลอไรด์เนื่องจากมีราคาถูกกว่าและเตรียมได้ง่ายกว่า สารประกอบพวกแอลคอกไซด์อินเดียมทินออกไซด์เป็นฟิล์มบาง ITO และขึ้นรูปแผ่นฟิล์มโดยใช้วิธีจุ่มเคลือบ (dip coating) เนื่องจากเป็นวิธีที่ง่าย สะดวก ประหยัด ไม่ยุ่งยาก สามารถเคลือบฟิล์มของ ITO ได้พื้นที่ขนาดใหญ่ ใช้ต้นทุนต่ำ เหมาะแก่การใช้ในระดับอุตสาหกรรม สมบัติของฟิล์มบางที่เตรียมได้ได้แก่ สมบัติทางแสงเช่นโครงสร้างของผลึกเชิงจุลภาค การดูดกลืนแสงของสารกึ่งตัวนำ และสมบัติทางไฟฟ้าเช่น สภาพนำไฟฟ้าเนื่องจากอิเล็กตรอนและโฮล สภาพความต้านทานจำเพาะ

จากที่ได้กล่าวมาจะพบว่า ฟิล์มบาง ITO สามารถนำไปดัดแปลงประยุกต์ใช้งาน เนื่องจากมีสมบัติพิเศษ มีค่าความต้านทานทางไฟฟ้าที่ต่ำ มีเสถียรภาพทางเคมีที่สูง ค่าความโปร่งแสงสูงที่ความยาวคลื่นที่ช่วงวิซิเบิล ฟิล์มบาง ITO ที่ได้จะเกิดพันธะที่แข็งแรงกับตัวรองรับและไม่สามารถทำลายได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อใช้งานแล้ว สามารถนำมาใช้เป็นอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ จอภาพ OLED ทำมอนิเตอร์LCD แบบ Passive matrix และ แบบ Active matrix (TFT LCD Monitor) อุปกรณ์เกี่ยวกับทางด้านแสง ทำเซลล์สุริยะ(Solar Cell) ใช้ทำอิเล็กโทรด ใช้เป็นส่วนประกอบของไมโครชิพ ใช้เป็นขั้วไฟฟ้าโปร่งแสง ทำเป็นวงจรทางไฟฟ้า ใช้ทำหน้าต่างรถยนต์และ อื่น ๆ

จากที่ได้กล่าวไปแล้วข้างต้น การเตรียมแผ่นฟิล์มบางของอินเดียมทินออกไซด์โดยใช้กระบวนการโซล-เจล และกระบวนการขึ้นรูปฟิล์มบางโดยวิธีจุ่มเคลือบ และศึกษา ผลของอุณหภูมิแคลไซน์ ต่อการก่อเกิดวัฏภาคในฟิล์มบาง และสมบัติอื่นๆของฟิล์มบางที่เตรียมได้ เป็นการวิจัยที่พัฒนา ขึ้นเพื่อลดต้นทุนในการผลิตฟิล์มของ ITO เพื่อการนำไปประยุกต์ต่อไปในภาคอุตสาหกรรมที่จะผลิตฟิล์มที่มีต้นทุนต่ำลงต่อไป

1.2 จุดประสงค์ของงานวิจัย

1. ศึกษาวิธีการเตรียมอินเดียมทินออกไซด์โดยวิธีโซลเจลและหาภาวะที่เหมาะสมในการทดลอง
2. ศึกษาการขึ้นรูปฟิล์มของอินเดียมทินออกไซด์โดยวิธีการจุ่มเคลือบ (coated-dip)
3. ศึกษาสมบัติของอินเดียมทินออกไซด์ในรูปของฟิล์มบาง (thin film)

1.3 ขอบเขตงานวิจัย

1. ศึกษาผลของอุณหภูมิแคลไซน์ที่มีต่อการก่อเกิดวัฏภาคของฟิล์มบางอินเดียมทินออกไซด์
2. ศึกษาผลของความหนาของฟิล์มบางที่ได้จากกระบวนการจุ่มเคลือบ
3. ศึกษาสมบัติเฉพาะของฟิล์มบางอินเดียมทินออกไซด์ที่เตรียมได้

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. ทราบถึงวิธีการเตรียมอินเดียมทินออกไซด์โดยกระบวนการโซล-เจล
2. ทราบถึงอัตราส่วนที่เหมาะสมในการสังเคราะห์ผงอินเดียมทินออกไซด์
3. ทราบถึงโครงสร้างผลึกของอินเดียมทินออกไซด์ที่อัตราส่วนแตกต่างกัน
4. ทราบถึงวิธีการขึ้นรูปฟิล์มของอินเดียมทินออกไซด์ด้วยวิธีการจุ่มเคลือบ (coated-dip)
5. เพื่อเป็นแนวทางในการพัฒนาและประยุกต์ใช้ทางด้านอุตสาหกรรม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2

ข้อมูลโครงการ

1.การออกแบบภาพประกอบ

ภาพประกอบ (Illustration) ความหมายของภาพประกอบตามพจนานุกรม พจนานุกรมอังกฤษ-ไทย (ฉบับใหม่) A NEW ENGLISH-THAI DICTIONARY ILLUSTRATION vt.

1. การใช้ภาพหรือตัวอย่าง ให้อรรถาธิบาย : Illustrate a lesson with picture ใช้ภาพมาอธิบายบทเรียนบทหนึ่ง Illustrate by charts and diagrams ใช้ภาพมาอธิบาย

2. ใช้ภาพแทรกอาทิมาประดับ (หนังสือหรือหนังสือพิมพ์) an illustrated magazine นิตยสารที่มีภาพแทรก ILLUSTRATION n. การอธิบาย,การใช้ภาพอธิบายภาพประกอบ

ขอบข่ายของงานและคำจำกัดความของภาพประกอบนี้เป็นสิ่งไม่ชัดเจน ไม่มีข้อจำกัดสามารถเปลี่ยนแปลงได้ ส่วนหนึ่งของคำจำกัดความ สามารถที่จะแบ่งแยกภาพประกอบออกจากจุดอื่นซึ่งคำจำกัดความที่มีความชัดเจนที่สุดของคำว่าภาพประกอบ (ถึงแม้ว่ามันจะไม่ครบทุกสิ่งทุกอย่างและมีข้อสังเกตว่าได้ร่วมงานที่มิได้เป็นภาพประกอบเอาไว้ด้วย) คือ เป็นผลผลิตของการสร้างจินตภาพในหลากหลายรูปแบบมาจนถึงปัจจุบัน ซึ่งได้มีการใช้ระบบการพิมพ์ โดยปกติขั้นตอนนี้จะมีส่วนเกี่ยวข้องทางเศรษฐกิจในด้านจินตภาพของนักเขียนภาพประกอบนั้น ผู้ว่าจ้างจะเป็นผู้ให้แนวความคิดในด้านองค์ประกอบของจินตภาพหลักง่ายๆเริ่มจากการแยกภาพประกอบออกจากการวาดภาพ หรือ การระบายสี ซึ่งเป็นพื้นฐานในเบื้องต้นของการสร้างภาพประกอบ ในการแลกเปลี่ยนความคิด เกี่ยวกับปัญหาลูกค้าและการดำเนินการในสิ่งที่ได้รับมอบหมายมา ซึ่งนักเขียนภาพประกอบจะต้องผลิตงานที่มีการเผยแพร่ออกสู่สารธารณะชนทั่วไป สิ่งเหล่านี้พบได้ในงานออกแบบเลขณศิลป์ (GRAPHIC DESIGN),พานิชศิลป์ (COMMERCIAL ART), จิตกรรม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

{DRAWING), ภาพเขียนสี (PAINTING), ภาพประกอบ (ILLUSTRATION), วิจิตรศิลป์ (FINE ART) ฯลฯ

สรุป ภาพประกอบ หมายถึง ภาพประกอบที่ใช้กับงานประเภทสิ่งพิมพ์ (Publication) ชนิดต่างๆ แทบทุกประเภท เช่น

- โปสเตอร์,หนังสือ
- งานโฆษณาต่างๆ เช่น Bill Board , Bus side , Bus back , Magazine

1.1 ประวัติความเป็นมาของภาพประกอบ

จุดมุ่งหมายของทัศนศิลป์ทุกสาขาก็เพื่อที่จะสร้างภาพ แต่หากภาพที่สร้างขึ้นนั้นใช้เพื่อบอกล่าวข้อมูลข่าวสาร ภาพศิลปะนั้นโดยปกติเรียกกันว่า "ภาพประกอบ" ศิลปะกับภาพประกอบเรื่อง แยกออกจากกันไม่ได้ การเขียนภาพประกอบเรื่อง ต้องอาศัยทักษะทางศิลปะเป็นอันมาก ภาพประกอบจัดเป็นศิลปะเพื่อการพาณิชย์ เพราะเหตุนี้ลักษณะและเนื้อหาของภาพประกอบเรื่องจึงขึ้นอยู่กับความต้องการทางสังคมและเศรษฐกิจ

ภาพประกอบเรื่องใช้เป็นเครื่องมือในการบรรยายประกอบสมุดบันทึก และหนังสือมาตั้งแต่โบราณกาล หนังสือม้วน (ม้วนแทนที่จะเย็บเป็นเล่ม) ของอียิปต์ เช่น บุค-ออฟ-เดอะ-เดด (Book of the Dead) และราเมสสัม พาไรรัส (Ramessum Papyrus) เข้าใจกันว่าเขียนขึ้น 1,900 ปีก่อน คริสตกาล ศิลปะที่ใช้บรรยายเนื้อความในสมุดบันทึก ถือว่าเป็นต้นตำรับของภาพประกอบเรื่องของหนังสือปัจจุบัน แต่เดิมการตกแต่งและบรรยายเนื้อความของหนังสือมักจะเป็นเรื่องราวทางศาสนา เขียนกันในสำนักสงฆ์ หนังสือบทสวด และสมุดบันทึก ที่เด่นดังเห็นจะได้แก่ ชื่อ เทรรีชเสอรส์ (Tres Riches Heures) ของ ดุค เดอ เบอรี (Duc De Berry) ซึ่งเป็นหลักฐานที่แสดงถึงความชำนาญในการสร้างชีวิตชีวา ของภาพประกอบเรื่อง โดยปกตินิยมเขียนบนหลังลูกวัว โดยใช้สีฝุ่น (Tempera)

ช่างเขียนภาพประกอบโดยปกติแล้ว มักพยายามหาโอกาสที่จะใช้เครื่องมือ เครื่องกลไกเข้าช่วยเพื่อช่วยเสริมทักษะและขยายของเขตของงานเหตุผลข้อหนึ่ง อาจเป็นเพราะว่าภาพประกอบเรื่องมักเป็นภาพเชิงวิเคราะห์หรือภาพบรรยาย โดยเฉพาะอย่างยิ่งในวิชา วิทยาศาสตร์ ภูมิศาสตร์ แพทย์ศาสตร์ และสถาปัตยกรรมศาสตร์ ศิลปินชาวกรีกและชาวโรมันได้เห็นความจำเป็นของการเขียนภาพประกอบเรื่อง และมีความรู้ความเข้าใจเกี่ยวกับ ภาพทัศนศิลป์ (Perspective) แต่อย่างไรก็ตามตราบจนถึงสมัย เรเนอร์ซองซ์ กว่าที่หลักการทำภาพทัศนศิลปะได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เข้าใจกันถูกต้องอย่างแท้จริง ทฤษฎีของ ฟิลิปโป บรูเนอเลสซิ (Filippo Brunelleschi) ช่วยปฏิรู งานศิลปะและการเขียนภาพประกอบเรื่องทางช่างศิลปิน อละช่วยเขียนภาพประกอบเรื่อง ลีโอนาโด ดาวินชี (Leonado Da Vinci) และ อัลเบรซท์ ดูร์ (Albrecht Durer) เป็นผู้วางมาตราฐานอย่างกวดขันในการสังเกตและความกระจ่างชัดของรายละเอียดสำหรับการเขียนแบบทางช่าง และสถาปัตยกรรม ความต้องการช่างเขียนภาพประกอบเรื่องทางช่าง ซึ่งมีความยุ่งยากซับซ้อนได้ขยายตัวออกมากขึ้น โดยเฉพาะอย่างยิ่งนับตั้งแต่มีวิวัฒนาการทางอุตสาหกรรม ในศตวรรษที่ 18 แม้กระทั่งทุกวันนี้ อันเป็นยุคของอิเล็กโทรนิค และคอมพิวเตอร์ ช่างเขียนภาพประกอบเรื่องทางช่างยังต้องอาศัยความสันทัดที่เคยใช้กันตั้งแต่สมัยโรมัน ความสามารถที่จะสังเกตและจะถ่ายทอดสิ่งที่เห็นเป็นสามมิติที่แม่นยำ

1.1.1 ภาพประกอบในหนังสือ

การเขียนภาพประกอบเรื่องในหนังสือ เริ่มขึ้นเมื่อสมัยศตวรรษที่ 15 ด้วยการพิมพ์บล็อค ในสมัยนี้ภาพประกอบเรื่องและเนื้อความ แกะด้วยมือบนไม้อยู่บนหน้าเดียวกัน แม่พิมพ์แกะไม้สมัยแรก ๆ ที่หลงเหลืออยู่คือ วัชรสูตร (Diamond Sutra) ของจีนทำขึ้น 686 ปี หลังคริสตกาล การคิดแท่นพิมพ์แบบเคลื่อนไหวได้ในปลายศตวรรษที่ 15 แม้จะปีนเพียงรุ่นแรกๆ ไม่สะดวกกับการใช้งานมากนักก็ช่วยให้การเขียนภาพประกอบเรื่องได้ขยายตัวออกไปอีก การใช้แม่พิมพ์แกะไม้ค่อยๆ ลดความนิยมลงไปจนถึงศตวรรษที่ 16-17 เมื่อการกัดแม่พิมพ์ด้วยกรด (Etching) และการขุดบนแผ่นทองเหลืองมีบทบาท แต่ช่างเขียนภาพประกอบเรื่องในสมัยแรกๆ เช่น โฮลเบน (Holbein) และดูร์ (Durer) ยังคงใช้เทคนิคทั้งสองคู่กัน ในช่วงศตวรรษที่ 16-17 นี้ ศิลปะการทำภาพประกอบเรื่องเริ่มแพร่กระจายไปทั่วยุโรป ช่างเขียนภาพประกอบเรื่องที่มีฝีมือ ที่มีอิทธิพลมากในยุคนั้นคือชาวฝรั่งเศส ชื่อ กีออฟฟอย ทอรี่ (Geottroy tory) ซึ่งเป็นผู้ที่ให้ความสนใจกับส่วนต่างๆของหน้าหนังสือภาพประกอบเรื่อง เนื้อความและกรอบนอก โดยพยายามทำให้เป็นงานศิลปะไปทั้งหน้าในระยะเดียวกัน ในประเทศญี่ปุ่น หมู่ช่างยูคิโยอิ (Ukiyo C School) ได้คิดเทคนิคการทำภาพพิมพ์ไม้สอดสีขึ้น

การเขียนภาพประกอบในหนังสือ เพิ่มความหรูหรามากขึ้นในศตวรรษที่ 17 ภาพที่ปรากฏขึ้นในหน้าหนังสือจะเป็นภาพขนาดใหญ่ของสถาปัตยกรรมและโครงสร้างงานที่ติดอยู่ในแนวหน้า ในศตวรรษที่ 18 เป็นงานศิลปินชาวฝรั่งเศส เช่น ฟรังซัว บูเชร์ (Francois Boucher) และฌอนแบบทิส โอเดร (Jean Bapiste Oudry)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การแก้ปัญหาทางเทคนิคบรรลุผลสำเร็จเมื่อปี 1796 เมื่อชาวเยอรมัน ชื่อ อลัวส์ เสเนเพลเดอร์ (Alois Senefelder) ได้คิดวิธีพิมพ์ลึกขึ้นได้ ก่อนหน้านั้นการพิมพ์ทำได้โดยการยกผิวหน้าแม่พิมพ์ให้นูนขึ้น อาบด้วยหมึก แล้วกดบนกระดาษทำให้เกิดรอยพิมพ์ การพิมพ์ขึ้นอยู่กับทฤษฎีที่ว่าน้ำไม่ปนกับน้ำมัน วิธีนี้เป็นวิธีแรกในการพิมพ์ภาพบนแผ่นราบซึ่งหมายถึง เราพิมพ์ภาพจากแผ่นเรียบ แทนที่จะพิมพ์จากรอยนูนเหมือนก่อน หนังสือเล่มแรกที่มีชื่อโดยใช้วิธีนี้ คือ หนังสือชื่อเฟาสท์ (Faust) ฉบับของ เดอลาครัวส์ (Delacroix) ซึ่งพิมพ์เมื่อปี ค.ศ.1828

ในประเทศอังกฤษ ช่างเขียนภาพประกอบเรื่องที่ใช้แม่พิมพ์ที่มีชื่อเสียงในศตวรรษที่ 19 คือ วิลเลียม เบลค (William Blake) อาศัยหลายวิธีและลักษณะชวนฝันให้เด่นในวงการศิลปะและการเขียนภาพประกอบเรื่อง เขายังได้คิดวิธีการของเขาเอง โดยใช้กรดกัดผิวหน้าออก ซึ่งวิธีนี้ไม่เป็นที่นิยมหลังจากเขาตาย อย่างไรก็ตามการแกะแม่พิมพ์ด้วยไม้ยังคงเป็นหลักในทางช่างเขียนภาพประกอบเรื่อง โดยเฉพาะอย่างยิ่งอุตสาหกรรมการผลิตหนังสือนิตยสารที่กำลังเป็นที่นิยมแพร่หลาย ช่วงปี ค.ศ.1830 และ 1840 มีข้อสังเกตอยู่อย่างหนึ่งว่า นักเขียนที่มีชื่อเสียงในสมัยนั้น เช่น ชาร์ล คิดเคนส์ (Charles Dickens) และภายหลัง อีมิล โซลา (Emile Zola) ในฝรั่งเศสตีพิมพ์ผลงานในนิตยสาร โดยมีภาพประกอบเรื่องเป็นตอนๆ

ใน ค.ศ.1851 มีการคิดวิธีสอดสีขึ้น หนังสือของเอดมุนต์ อีแวนส์ (Eamund Evants) ใช้ช่างเขียนภาพประกอบในหนังสือ อย่างไรก็ตามวิธีนี้ใช้เวลานานและราคาสูง การเขียนภาพประกอบเรื่องสีขาว ดำ ยังคงทำกันอยู่เป็นส่วนใหญ่ ในหมู่ช่างเขียนประกอบเรื่อง หนังสือนิตยสาร เช่น อิลลัส เดรเทค ลอนดอนนิวส์ (Illustrated London News) ซึ่งเป็นหนังสือแนวหน้าแสดงภาพประกอบเรื่องที่แสดงถึงความพยายามของช่างเขียนภาพประกอบเรื่อง ในอันที่ใช้ภาพขาวดำเพื่อแสดงภาพที่เหมือนจริง

ในศตวรรษที่ 20 ภาพถ่ายเริ่มเข้ามาในอาณาจักรของการเขียนภาพประกอบเรื่อง และมีผลกระทบอย่างรุนแรงต่อการทำภาพประกอบเรื่อง ภาพประกอบเรื่องในรูปถ่ายในหนังสือตีพิมพ์เป็นครั้งแรกเมื่อปี ค.ศ.1880 ภาพถ่ายชี้ให้เห็นถึงวิธีการในการสร้างภาพให้เหมือนของจริง และก่อให้เกิดการแยกตัวของศิลปะ ช่างเขียนภาพประกอบเรื่องกลุ่มหนึ่งพยายามสร้างภาพให้เหมือนภาพถ่ายและพยายามให้เหมือนของจริงมากขึ้นทุกๆที กับอีกกลุ่มหนึ่งที่พยายามเลี่ยงความจริงไปสู่ความฝัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในศตวรรษที่ 19 มีการหันกลับไปสู่การแกะไม้ซึ่งจะเห็นได้จากงานของ เอดมุนด์ เบริน เจนส์ (Edwmund Burn Jones) และภายหลังในงานของ โอเบอ เบียดสลี (Aubrey Beardsley) อาร์ท โนโว (Art Nouveau) การได้เข้ามามีบทบาทในการเขียนภาพประกอบเรื่องในตอนนี้ เช่น ในงานของ ชาลส์ เรนนี แมคอนทอสซ์ (Charles Rennie Mackinhoh) และยังมีบทบาทในการทำภาพประกอบโปสเตอร์โฆษณา

ในด้านเทคนิค ช่วงศตวรรษที่ 19 ได้มีการคิดค้นเครื่องกลและกระบวนการพิมพ์และการคิดค้นสีสำหรับการพิมพ์ภาพประกอบเรื่อง เช่น การพิมพ์โคบอลต์ และแคดเมียม สีที่คิดขึ้นใหม่เข้าไปเพิ่มสเปกตัมของสี สีเหล่านี้เกิดจากการสร้างเม็ดสีจากการปฏิวัติอุตสาหกรรม

สิ่งที่รุดหน้าไป คือ เทคนิคการแยกสี ช่วยให้พิมพ์ภาพแม่นยำตามภาพเดิมการแยกสีออกเป็นแผ่นสกรีนแล้วพิมพ์ทับกัน ทำให้สีมีเงา ช่างเขียนภาพประกอบเรื่อง 2 คน ที่มีชื่อเสียงที่ใช้เทคนิคการแยกสี คือ อาเธอร์ แรคแมน (Arthur Ruckman) และ เอดมอนด์ ดูเลค ทั้งสองอาศัยสีน้ำเป็นหลัก ภายหลังเมื่อมีการนำเทคนิคใหม่ๆ เข้ามาใช้ในการแยกสี จึงมีการพิมพ์แยกสีเกิดขึ้น ช่วยให้ช่างเขียนภาพใช้สื่ออย่างอื่นเข้ามาในการแยกสี

นิตยสารช่วยขยายตัวการเขียนภาพประกอบเรื่องให้แพร่หลายขึ้นในอเมริกา นอร์แมน รอคเวล (Norman Rockwell) ใช้สีน้ำมันเป็นหลักในการเขียนภาพประกอบเรื่องในนิตยสาร Saturday Evening Post

ระหว่าง ค.ศ. 1920 และ ค.ศ. 1930 รอคเวล เขียนภาพประกอบเหมือนจริง มีช่างเขียนภาพเรื่องหลายคนที่เดินตามแนวทางของรอคเวล สิ่งเหล่านี้ชี้ให้เห็นถึงอิทธพลของการภาพถ่ายที่มีต่อการเขียนภาพประกอบเรื่อง

1.1.2 ภาพโฆษณาและภาพโปสเตอร์

การเขียนภาพโฆษณา เป็นอีกด้านหนึ่งที่ขยายงานของช่างเขียนภาพประกอบออกไปแม้ว่าหนังสือ ลอนดอน กาเซ็ทท์ (London Gazette) จะพิมพ์ใบแทรกโฆษณาตั้งแต่ปี ค.ศ. 1666 นานจนกระทั่งกลางศตวรรษที่ 19 การโฆษณาโดยเฉพาะในนิตยสารหนังสือพิมพ์รายวัน และภาพโปสเตอร์ จะเข้ามามีบทบาทในชีวิตประจำวัน การโฆษณาเป็นผลสืบเนื่องมาจากการขยายตัวของงานพาณิชย์ และอุตสาหกรรม ซึ่งมีแรงกระตุ้นมาจากการปฏิวัติอุตสาหกรรม อันเป็นผลทำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ให้เกิด การแข่งขันทางการค้า ในปัจจุบันภาพยนตร์ทีวี ได้ช่วยขยายงานภาพเขียนประกอบเรื่องให้ขยายตัวกว้างไกลออกมาอีก

ประสิทธิภาพของภาพเขียน และโอกาสที่จะใช้ภาพเป็นสื่อของโปสเตอร์ กลายเป็นเครื่องมืออันสำคัญในงานโฆษณา งานโปสเตอร์สมัยแรกๆเป็นใบปลิว มีตัวอักษรและลวดลายกลายเป็นที่นิยมแพร่หลายเมื่อมีการคิดวิธีพิมพ์ลึกขึ้นได้ อองรี เดอ ทูลูส เลอเทรค (Henri De Toulouse Lautrec) จัดเป็นงานช่างเขียนโปสเตอร์ใหญ่คนแรกของงานเขียนโปสเตอร์แนวสมัยใหม่ งานโปสเตอร์ของเลคเทรค เช่น Ambassador in Paris ได้ชี้ให้เห็นถึงความชำนิชำนาญเกี่ยวกับเทคนิคการพิมพ์ลึก และเป็นผู้ที่มีสายตาแหลม นอกจากนี้ยังได้กลายเป็นเทคนิคในการโฆษณา เช่น ทำให้เกิดภาพมีตัวอักษรน้อย และพยายามให้ตัวอักษรสอดคล้องโยงคล้องจองกับภาพ

ภาพโปสเตอร์ถูกใช้ได้หลายทาง นอกจากการโฆษณาการค้าแล้ว ก็ยังใช้กับโฆษณาชวนเชื่อทางการเมืองด้วย ภาพโปสเตอร์การเมืองติดตามฝาผนังตามกำแพงทั่วเมือง ปารีสในสมัยปฏิวัติฝรั่งเศส และภาพของ เช กูวารา (Che Guevara) แสดงออกถึงความไม่พอใจของคนกลุ่มหนุ่มๆ ในยุค ค.ศ. 1960

ใน 30 กว่า ปี ที่ ล่วงมา ภาพโปสเตอร์ได้ขยายตัวไปอีกอย่างกว้างขวาง โดยช่างเขียนภาพประกอบ เช่น แอนดี วอร์โอล (Andy Warhol) และ มิลตัน กราเสอร์ (Milton Glasea) ทั้งสองได้นำแนวความคิด และทักษะการออกแบบ และความเข้าใจถึงผลกระทบของภาพ ถึงปัจจุบันนี้การโฆษณาส่งผลกระทบถึงแทบทุกองศาของชีวิต ในขณะที่ความต้องการขยายตัวออก เทคโนโลยีช่วยให้ปัญหาที่ยุ่งยากซับซ้อนง่ายขึ้น ช่วยในการพิมพ์ การแยกสีครบทุกสี ซึ่งทุกวันนี้ไม่แพงมาก จนกระทั่งหนังสือพิมพ์รายวัน นิตยสารพิมพ์แพร่ทั่วไป และถือเป็นเรื่องธรรมดา

กราฟิกหนังโดยเฉพาะอย่างยิ่งหนังการ์ตูน เป็นอีกทางหนึ่งของงานช่างเขียนภาพประกอบเรื่องในปัจจุบัน ซึ่งขยายตัวไปมากขึ้น ควบคู่ไปกับการแพร่หลายของโทรทัศน์

ในสมัยแรกๆ ของการเขียนภาพประกอบเรื่อง งานวิจิตรศิลป์และงานเขียนภาพประกอบเรื่องแยกออกจากกันไม่ได้ เช่น งานของ ดูร์ เป็นที่น่าสนใจที่ว่าภาพโปสเตอร์ทุกวันนี้ไม่ได้เป็นเพียงภาพประกอบที่ไม่ได้ข้อมูลข่าวสาร หรือ โฆษณาสินค้าเท่านั้น แต่กลายเป็นศิลปะในตัวเอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาพโปสเตอร์ที่ไม่ได้โฆษณาสินค้า ทุกวันนี้แพร่หลายและราคาไม่แพง และกลายเป็นของใช้สอยเพื่อตกแต่งอาคารที่อยู่อาศัย

แม้ว่าจะมีการขยายตัวของการเขียนภาพประกอบเรื่อง และความรุดหน้าของเทคโนโลยีของวัตถุ รวมทั้งกระบวนการทำกราฟิก บทบาทของช่างประกอบเรื่อง หาได้เปลี่ยนแปลงไปจากเดิมไม่ คือส่วนหนึ่งของช่างเขียนภาพประกอบเรื่อง ยังคงเป็นเครื่องมือของนักธุรกิจที่ทำงานเพื่อเกร็งกำไร แต่เรื่องนี้ก็ไม่ได้เป็นเรื่องสำคัญ ตราบใดที่ศิลปินได้สร้างสรรค์งานที่ตนรักด้วยใจอันเป็นอิสระ

สรุป

ในช่วงศตวรรษที่ 20 ที่ผ่านมาที่มีรูปแบบต่างๆ เหล่านั้น ก็ได้เป็นสำคัญของวิชาชีพนี้มาตั้งแต่ตอนปลายของทศวรรษที่ 1890 รูปแบบของ Illustration ก็มีมากมายหลายแบบเป็นผลมากจากการรวบรวมรูปแบบต่างๆของ Illustration ในยุคแรกเริ่ม รวมกับการทดลองเทคนิค Reproduction แบบเก่าและการศึกษาผลงานในอดีต

การพัฒนาเทคนิคส่วนบุคคลและการค้นพบวิธีใหม่ๆ จากการวาด รวมกับการนำสื่อหลายๆ แห่ง มาผสมผสานกัน จึงเปรียบได้เป็นหลักสำคัญของ Illustration ในปัจจุบัน แต่ทั้งนี้ก็ยังไม่ทิ้งเทคนิควิธีดั้งเดิมไปเสียทีเดียว

1.2 ความสำคัญของภาพประกอบ

ภาพประกอบที่หลายคนจะนึกออก คือ ภาพประกอบตามนิตยสารบันเทิงเป็นส่วนใหญ่ จริงๆแล้วภาพประกอบไม่ได้เฉพาะเจาะจงใช้ในนิตยสาร หรือ หนังสือ เท่านั้น ยังรวมไปถึงงาน Commercial

1.2.1 หน้าที่ของภาพประกอบ

บางคนอาจไม่ให้ความสำคัญกับภาพประกอบมากนัก เพราะคิดว่ามีเพียงตัวอักษร ก็สามารถเล่าเรื่องทั้งหมดได้ (การมีความหมายในตัวของมันเอง) ที่จริงแล้วภาพประกอบมีประโยชน์หลายอย่าง คือ ภาพประกอบสามารถเปลี่ยนจากสิ่งที่เป็น Realistic หรือ ภาพที่ตรงกับเนื้อเรื่องให้ตรงกับความต้องการได้ และช่วยในการถ่ายทอดความรู้สึก อารมณ์ รวมถึงบรรยากาศได้ ภาพประกอบมีทั้งภาพเหมือนจริง เหนือจริง การ์ตูน ฯลฯ จึงไม่มีคำว่าภาพประกอบเป็นลักษณะใด แต่การจะเลือกลักษณะใดนั้น ขึ้นอยู่กับจุดประสงค์เป็นสำคัญ หน้าที่สำคัญประการหนึ่งของ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาพประกอบ คือ เพื่อสร้างหรือดึงดูดความสนใจ และนับเป็นตัวสร้างบรรยากาศทั้งหมดด้วย โดยปกติภาพประกอบจะมีบทบาทหน้าที่ดังนี้

1. เพื่อแสดงประกอบกับเรื่องราว ข่าวสารต่างๆ ที่นำเสนอให้เกิดความรู้สึก ความเข้าใจคล้อยตามวัตถุประสงค์ของการสื่อสารที่มุ่งหวังไว้ คือ
- เพื่อประกอบการอธิบายความรู้
- เพื่ออธิบายความคิดรวบยอด
-เพื่อการอ้างอิงแทนสิ่งที่ปรากฏจริง
-เพื่อประกอบข้อมูลทางสถิติ
2. เพื่อการดึงดูดความสนใจ
3. สื่อความหมายเกี่ยวกับเนื้อหาและผลที่อาจเกิดขึ้นได้
4. ช่วยให้สินค้า หนังสือมีสีสันขึ้น เป็นการประชาสัมพันธ์ตัวสินค้า
5. กระตุ้นความสนใจของผู้อ่านต่อเนื้อหานั้น
6. ช่วยอธิบายในส่วนที่เป็นความคิด ความรู้สึก และสิ่งที่เป็นนามธรรม

ภาพประกอบ Illustration ขึ้นอยู่กับจุดประสงค์ (Concept) และกลุ่มเป้าหมายเป็นหลัก แต่งาน Illustration นี้จะหลากหลายในด้านเทคนิค และ วิธีการซึ่งจะใช้เป็นองค์ประกอบหลัก (Composition) เข้าช่วยเป็นอย่างมาก ส่วนแนวความคิดได้มาจาก การผสมผสานและการดัดแปลงจากสิ่งต่างๆ ที่เราเคยพบเคยเห็น เคยได้ยินจากผลงานต่างๆและสิ่งที่อยู่รอบตัว

Creative Illustration ภาพประกอบการสร้างสรรค์

ถ้าในการออกแบบสิ่งพิมพ์หนังสือประเภทต่างๆ มีเพียงตัวอักษรที่ปราศจากภาพประกอบการสื่อสารต่างๆ คงไม่มีประสิทธิภาพมากนัก ภาพประกอบอาจหมายถึง ภาพวาด ภาพเขียน ภาพพิมพ์ ภาพถ่าย ภาพแอร์บรัชก็ได้ ทั้งนี้ต้องพิจารณาทั้งลักษณะและรูปแบบให้เหมาะสมกับการสื่อสาร ตัวสื่อ การพิมพ์ และกลุ่มเป้าหมาย

1.3 ความแตกต่างระหว่างภาพประกอบ (Illustration) กับวิจิตรศิลป์ (Fine art)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาพประกอบ - ถูกใช้เพื่อวัตถุประสงค์ตามที่กำหนดไว้ โดยมีวัตถุประสงค์ (Subject) เป็นตัวกำหนด มีเนื้อหาก่อนแล้วจึงมีภาพประกอบ เนื้อหานั้นภายหลังทำขึ้นเพื่อการโฆษณา ดึงดูดให้ผู้อ่าน ผู้ดูสนใจในตัวสินค้า

วิจิตรศิลป์ - Idea เป็นตัวกำหนด วิจิตรศิลป์สร้างงานด้วยความอิสระ ไม่เป็นการลอกเลียน ไม่มีวัตถุประสงค์ทางการค้ากำหนด ตัวศิลปินจะสร้างจินตนาการ (Image) ขึ้นมา

สรุปความแตกต่างระหว่างภาพประกอบกับวิจิตรศิลป์ ดังนี้

ภาพประกอบ

1. ภาพประกอบจัดเป็น ศิลปะเพื่อการพาณิชย์
2.ภาพประกอบเรื่องมักเป็นภาพเชิงวิเคราะห์หรือบรรยายได้
3.การสร้างสรรค์งานมีแนวความคิด Idea เป็นตัวกำหนด

มีข้อโต้แย้งว่าการทำงานเพื่อการพาณิชย์ไม่สามารถเรียกผู้สร้างภาพประกอบ (Illustration) ว่าเป็นศิลปิน (Artist) โดยเฉพาะการเป็นศิลปินนั้น การทำงานไม่สนใจเรื่องเงินแต่อย่างไรก็ตาม การหาเลี้ยงชีพโดยความสามารถการถ่ายทอดจินตนาการออกมาเป็นรูปภาพโดยใช้ทักษะที่เหมาะสม ก็เป็นลักษณะของศิลปิน อยู่เพียงแต่ว่าศิลปะที่ออกมานั้นดีหรือไม่ สิ่งที่สำคัญคือความคิดสร้างสรรค์ ที่สมบูรณ์แบบจะอยู่ภายในจิตใจของ (Illustration) ผู้สร้างตลอดไป

1.4 ประเภทของภาพประกอบ

ภาพประกอบถูกแบ่งออกเป็นลักษณะของการสร้างสรรค์ ดังนี้

1.ภาพลักษณะเหมือนจริง ภาพที่ออกแบบให้เหมือนจริงนี้ได้มาจาการศึกษาจากธรรมชาติทั้งสิ้น ภาพที่เห็นจะมีลักษณะเหมือนจริงจับต้องได้ ดูมีชีวิตให้เสน่ห์ของความจริงตามธรรมชาติ ผู้สร้างต้แงรู้จักโครงสร้างของธรรมชาติไม่ว่าจะเป็น คน สัตว์ สิ่งของต่างๆอย่างดีและถูกต้อง

2.ลักษณะสร้างสรรค์และจินตนาการ ภาพในจินตนาการนั้นจะมีลักษณะที่ต่างจากลักษณะเหมือนจริงซึ่งอาจจะผิดเพี้ยนหรือต่อเติมขึ้นเกินความจริงได้ ภาพเหล่านี้เราสร้างขึ้นมาจากจินตนาการส่วนตัวที่สมมุติขึ้น ซึ่งอาจจะไม่มีตัวตนอยู่เลยจริงๆก็ได้

3.ลักษณะรูปทรงเลขาคณิต ภาพลักษณะเหล่านี้เป็นภาพที่ถูกสร้างสรรค์ขึ้น โดยใช้รูปทรงเรขาคณิตเข้ามามีบทบาทในภาพเป็นส่วนใหญ่ ภาพที่ได้มีลักษณะเป็นเรขาคณิต

4.ลักษณะภาพสัตว์ การวาดภาพประเภทนี้จะต้องศึกษาลักษณะของสัตว์แต่ละประเภทตั้งแต่รูปร่าง รูปทรงในลักษณะเหมือนจริงก่อนแล้วจึงค่อยเปลี่ยนแปลงเป็นในแบบต่างๆทั้งในลักษณะที่เหมือนจริง จินตนาการ หรือ สัญลักษณ์ก็ได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.ลักษณะแบบสัญลักษณ์ภาพที่ได้จะใช้เพื่อเป็นสื่อแทนความหมายตรงๆ ที่ได้ ต้องการจะแสดงออกมาให้เห็นอย่างชัดแจ้ง

ในงานภาพประกอบนั้นเราสามารถแบ่งประเภทของงานภาพประกอบออกเป็น 4 ประเภทด้วยกัน

1.ภาพประกอบในหน้านิตยสารและในหนังสือพิมพ์ (Editorial) เราสามารถพบภาพประกอบประเภทนี้ได้ตามนิตยสาร เช่น ภาพประกอบเรื่อง ภาพประกอบบทความต่างๆ ในส่วนหนังสือพิมพ์นั้นส่วนมากจะเป็นภาพประกอบในบทความในคอลัมน์ต่างๆ

2.ภาพประกอบในหนังสือต่างๆ (Book) ภาพประกอบชนิดนี้จะเป็นภาพเฉพาะของหนังสือประเภทนั้นไปเลย เช่น หนังสือในการทำอาหาร ก็จะเป็นภาพประกอบที่เกี่ยวข้องกับการทำอาหารทั้งหมด หรือ หนังสือการดูนก ภาพประกอบในนั้นก็จะเป็นภาพที่เกี่ยวกับนกทั้งหมด

3.ภาพประกอบโฆษณา (Advertising) ภาพประกอบชนิดนี้จะถูกสร้างขึ้นมา เพื่อใช้ในการโฆษณาประชาสัมพันธ์ต่างๆ

4.ภาพประกอบเฉพาะกิจ (Institutional) ส่วนภาพประกอบชนิดนี้ จะเป็นภาพที่ถูกสร้างขึ้นมา เพื่อใช้ในงานเฉพาะกิจเท่านั้น เช่น โปสเตอร์ส่งเสริมการรณรงค์ต่างๆ หรือ ภาพประกอบสถาบันต่างๆสร้างขึ้นมาเพื่อใช้ในงานสถาบันของตน หรือ เป็น Anaul report ประจำปีของสถาบัน

ฉะนั้นนักวาดภาพประกอบที่ดีจึงต้องใช้ความสามารถเฉพาะตัวที่ชำนาญ เพื่อตีความเนื้อเรื่องให้แตกและแสดงออกมาเป็นภาพประกอบในลักษณะที่เป็นตัวของตัวเองให้ตรงกับสื่อให้มากที่สุด จึงจะนับว่าประสบความสำเร็จในการเป็นนักวาดประกอบ

2.การออกแบบหนังสือ

2.1 จุดเริ่มต้นของหนังสือ

เริ่มจากการที่มนุษย์รู้จักบันทึกตัวอักษรลงบนกระดูก-หิน ต่อมาวิวัฒนาการมาใช้ Codex (ใบไม้หน้ากว้างนำมาตากแห้งและเขียน) Sumerian & Babylon ต่อมาวิวัฒนาการนำเยื่อของต้นกก Papyrus มาตากแห้งและใช้แทนกระดาษทำเป็นม้วน Scrolls และสัตว์ที่ฟอกและกัดสีตากแห้ง Rome & Egypt หนังสือปรากฏเป็นรูปร่าง ในศตวรรษที่ 8 ยุค Byzonfine (manuscript) ใช้สำหรับบันทึกข้อความทางศาสนาเป็นส่วนใหญ่ (ด้วยการเขียนและวาดรูปประกอบ) เมื่อเริ่มมีระบบการพิมพ์อย่างง่ายๆ เกิดขึ้นจึงมีการพัฒนาเทคนิคในการจัดทำอย่างพิถีพิถัน การออกแบบตกแต่ง/การเข้าเล่ม ในปี 1535

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในปี 1815 มีการคิดค้นประดิษฐ์เครื่องพิมพ์ด้วยเครื่องจักร ตามมาด้วยเครื่องผลิตกระดาษในปี 1835 ทำให้มีการผลิตหนังสือเป็นจำนวนมาก (mass production) เป็นไปได้ง่ายขึ้น 1890 มีการคิดประดิษฐ์ Typo อย่างเป็นจริงเป็นจัง บ้างคิดประดิษฐ์ขึ้นใหม่ในแนวทางของตนเอง (William Morris) บ้างนำ Type เดิมของ 17-18 Century มาฟื้นฟูและพัฒนาให้มีมาตรฐานดีขึ้น ทำให้การพิมพ์หนังสือก้าวหน้าไปมาก

ต้น ศตวรรษที่ 20 ธุรกิจการจัดทำหนังสือกลายเป็นธุรกิจใหญ่มีการคิดประดิษฐ์ Book Jacket มีการแบ่งแยกอาชีพ/ตำแหน่งหน้าที่และระบบความรับผิดชอบอย่างชัดเจนระหว่าง Typographer/designer/printer ด้วยการพัฒนาอุตสาหกรรมธุรกิจโฆษณา/Graphic/นิตยสารและโทรทัศน์ ทำให้ Book Jacket ต้องปรับตัวให้เข้ากับยุคสมัย หน้าปกมีลักษณะคล้ายงานโฆษณาและมีการออกแบบต่างประเภทต่างๆ ของหนังสือชัดเจนยิ่งขึ้นมีการจัดทำหนังสือเด็ก ซึ่งมีการแข่งขันกันอย่างสูง โดยเฉพาะการใช้เทคนิคการใช้ภาพประกอบและเทคนิคต่างๆ ซึ่งภายหลังสิ่งดังกล่าวได้กลายเป็นจุดขายสำคัญสำหรับหนังสือประเภทนี้ Art book & graphic book เริ่มมีบทบาทต่อผู้บริโภค เนื่องด้วยความสะดวกในการผลิตและการพิมพ์ ทำให้เป็นที่นิยมแพร่หลายมาก

2.2 ประเภทหนังสือ

1. นวนิยาย/บทประพันธ์
2. บทกวี โครงกลอน
3. สารานุกรม/พจนานุกรม
4. วิชาการ
5. Agendas/Diary (มีวันที่)
6. หนังสือเด็ก
7. หนังสือเฉพาะเรื่อง เช่น ศิลปะ / การปรุงอาหาร / ธรรมชาติ / Graphic design / เพลง / ฯลฯ / Travel
8. Notebook (ไม่มีวันที่)
9. หนังสือภาพ (ภาพถ่ายล้วน)
10. หนังสือ Promotion (สำหรับการค้า)
11. หนังสือเฉพาะกิจ (ในโอกาสต่างๆ)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

12. Art book (จัดทำโดยศิลปินเอง มิใช่เพื่อการค้าส่วนใหญ่จะเป็น hand-made และใช้เวลาค่อนข้างมาก มีเวลาสูง

2.3 ข้อคำนึงในการทำหนังสือ

- ตีความ และบ่งชี้เนื้อหาของหนังสือได้อย่างถูกต้อง Interpret & Indicate การบ่งชี้ต้องถูกต้องชัดเจนตามวัตถุประสงค์
- ต้องน่าสนใจและเพลิดเพลินแก่ผู้อ่าน Interesting & Pleasing
- เนื้อหาในแต่ละประเภทมี Character ที่มีลักษณะเฉพาะตัวซึ่งจะต้องการจะตีความและแยกแยะลักษณะของงานอาจเป็นงานที่แสดงออกในเรื่องนั้นชัดเจน หรือเงียบนิ่งแสดงออกน้อยมากก็ได้
- To communicate intrems that will reach the subconscious levels of the viewer's mind สื่อสารในระดับลึก ไม่ถึงความรู้สึกและอารมณ์ มากกว่าที่จะสร้างผลในระดับตื้นคือความคิด / หลักการและเหตุผลต่างๆ

ผู้อ่านส่วนมากมิได้สนใจการออกแบบหนังสือ แต่หนีไม่พ้นจากผลที่เกิดจาส่วนประกอบที่

สร้าง Character และ mood

- นักออกแบบควรหาข้อมูลและเข้าใจพื้นฐานทางอารมณ์ของผู้อ่านเพื่อที่จะช่วยสร้างบรรยากาศ และ อารมณ์ที่สอดคล้องกับงานของผู้แต่ง
- ลักษณะทางกายภาพของหนังสือมีคุณค่าการแสดงความรู้สึกช่วยสร้าง Character และอารมณ์ต่อเนื่อง
- หนาบอบบาง-หนาหนัก / รื่นรมย์-เคร่งเครียด / ใหญ่-เล็ก / เรียบง่าย-ซับซ้อน / หนา-บาง สายตาย่อมมีปฏิกิริยา และความรู้สึกต่างกัน ระหว่างหนังสือรูปร่างสี่เหลี่ยมจัตุรัสเล่มหนาและหนังสือบางเล่มยาวสูง
- ความคิดสร้างสรรค์ไม่ควรขัดแย้งกับระบบการผลิต/การค้า หรือ เนื้อหาที่สำคัญแต่ควรจะกลมกลืนเป็นอันหนึ่งอันเดียวกันกับทุกอย่าง
- สร้าง Concept ที่เห็นว่าเหมาะสมกันเนื้อหาและอยู่ในความเป็นไปได้หลังจากศึกษาเนื้อหาแล้วปล่อยให้ความคิดว่างเปล่าสักระยะ รวบรวมทุกสิ่งทุกอย่างจาก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ประสบการณ์ (ที่เกี่ยวข้องกับเนื้อหา) อาจจะเป็นในความคิดหรืออาจจะเป็นข้อมูลที่สัมผัสได้ก็ได้ เช่น ภาพ / เสียง / กลิ่น / texture / บุคคล / สถานที่ / มุมมอง / คำศัพท์ / สี / อื่นๆ

- หลังจากนั้นค่อยกลั่นกรอง / หยิบเลือก หรือนำสิ่งต่างๆ มารวมกันเป็นสิ่งใหม่ Unique จุดประสงค์เพื่อสร้างภาพลักษณ์ชัดเจนสำหรับหนังสือที่สำเร็จเป็นรูปเล่มแล้ว ในทุกรายละเอียด

2.4 อุปกรณ์ 3 อย่าง ที่ได้ผลปลุกเร้าอารมณ์ของผู้อ่าน

2.4.1 สัญลักษณ์ (Symbolism)

- การใช้เครื่องหมาย-สัญลักษณ์ อย่างจินตนาการในรูปแบบที่สร้างสรรค์ ให้มีความหมายและความสำคัญสำหรับหนังสือ
- ควรคำนึงถึงเนื้อหา ในการใช้สัญลักษณ์หากเนื้อหาบรรยายชัดเจนอยู่แล้วก็ไม่จำเป็นต้องใช้ Symbolism ที่ชัดเจนเข้ามาช่วยก็ได้
- Symbolism ที่ใช้ไม่จำกัดว่าจะเกี่ยวข้องกับสิ่งใด โดยเฉพาะมันอาจเกี่ยวข้องกับ Subject (เนื้อหา) หรือ อารมณ์ / บรรยากาศ plot / บุคลิกลักษณะของตัวละคร หรือผู้ประพันธ์เอง
- จุดประสงค์ของ Symbolism เพื่อแนะนำข้อมูลอันสำคัญของเนื้อหาแก่ผู้อ่านเสริมให้หนังสือนั้นมีที่ตรงตามและเน้นย้ำใจความสำคัญของผู้แต่ง
- รูปแบบของ Symbolism เป็นไปได้หลากหลายอาทิเช่นรูปแบบภาพประกอบแบบกราฟิกประเภทต่างๆ สามารถช่วยเล่าเรื่อง/ให้ข้อมูล/และตกแต่ง
- สัดส่วนของหนังสือสามารถจัดอยู่ในกลุ่ม Symbolism ได้เช่นกัน
- ระยะห่าง/การเว้นช่อง/การจัดวางตำแหน่งของภาพประกอบก็มีความหมายเช่นกัน
- การใช้ตัวอักษรจัดเป็น Symbolism ประเภทหนึ่ง เพราะ Type ไม่เป็นเพียงแต่แนะนำ Character เฉพาะเท่านั้น Type ยังสามารถสื่อความหมายอีกด้วย เมื่อนำมาประกอบเข้าเป็นคำ
- ระมัดระวังการใช้ Type ไม่ควรให้มากจนสับสนเกินไป
- หนังสือบทกวี Poets เป็นอีกประเภทหนึ่งที่ต้องใช้ Symbolism อย่างเหมาะสมด้วยการศึกษาและวิเคราะห์เนื้อหา แล้วตีความอย่างละเอียด เพราะหนังสือประเภทนี้ไม่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

นิยมใช้ภาพถ่ายหรือ Illustration ที่บ่งบอกสิ่งใดสิ่งหนึ่ง หรือจำกัดจินตนาการขิงผู้อ่านจนเกินไป

2.4.2 สี (Color)

- เป็นส่วนประกอบทาง Graphic ที่มีพลังมากที่สุด สามารถสื่อสารโดยตรงต่อผู้อ่าน ในระดับจิตใจได้สำนึกส่วนลึก และอารมณ์ มีความสำคัญพอๆกับการเลือกใช้ Typography
- สี มีประโยชน์ในการสร้างบรรยากาศ และ อารมณ์
- เนื้อหาแต่ละประเภทจะเหมาะกับการใช้สีประเภทต่างๆ ไม่เหมือนกัน
- สีบางสี หรือคู่สี บางลักษณะ มีความเกี่ยวโยงเฉพาะ และแตกต่างออกไปแต่ละวัฒนธรรมท้องถิ่น เช่น สีของเครื่องแบบนักเรียน / ธงชาติ / บริษัทองค์กร / กลุ่มคนต่างๆ / ฯลฯ
- คำถามในการเลือกใช้สี ควรจะเป็น "ความเหมาะสมกับเนื้อหาหรือไม่" หรือ "ใช้แล้วน่าสนใจหรือไม่" มากกว่าที่จะเป็น "ทำไม"

สีในด้านความหมาย

สีแดง – ในเชิงจิตวิทยา ให้ความรู้สึกถึง ความรุนแรง ท้าทาย เคลื่อนไหว ความมีชีวิตชีวา ความตื่นเต้นเร้าใจ เป็นสีที่แสดงถึงชีวิต กำลังใจ ความหวัง ความมีจิตใจโอบอ้อมอารี และความแข็งแรงทรหด

- ในเชิงสัญลักษณ์ หมายถึง ความรัก ความปรารถนา เช่น ดอกกุหลาบสีแดง และ วันวาเลนไทน์ ในประเทศจีน หมายถึง ความรักที่มอบให้แก่กัน ในเครื่องหมายจราจร หมายถึง อันตราย เป็นสีความมั่งคั่ง อุดมสมบูรณ์และอำนาจ เช่น สีของราชวงศ์ในสมัยโรมัน ที่รัสเซียสีแดงคือ สีแห่งโชคลาภ เป็นสัญลักษณ์ของผู้นำ และเป็นสีแห่งธาตุไฟ

สีส้ม – ในเชิงจิตวิทยา ให้ความรู้สึกความร้อนความอบอุ่น ความสดใสมีชีวิตชีวา อันมาจากอิทธิพลของสีแดง ความคึกคะนอง การปลดปล่อย การระวัง ความกระฉับกระเฉง กระตุ้นให้เกิดความกระตือรือร้น ความใจกว้างโอบอ้อมอารี และชอบเข้าสังคม

- ในเชิงสัญลักษณ์ หมายถึง การแข่งขัน ความมีสติปัญญา และความคิดสร้างสรรค์ที่ได้มา จากสีเหลืองผสมอยู่ ชาวจีนและญี่ปุ่นถือว่าเป็นสีแห่งความรัก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

สีเหลือง – ในเชิงจิตวิทยา ให้ความรู้สึกถึงความเบิกบาน สดชื่น แจ่มใส ชีวิตใหม่ ความสุกสว่าง ความร่าเริง ความมั่งคั่ง ความเจริญรุ่งเรือง และความร่ำรวย

- ในเชิงสัญลักษณ์ หมายถึง สีของนักคิดและนักปรัชญา สีแห่งความมีสติปัญญา เฉียบแหลม เป็นตัวแทนแห่งการเดินทาง ของวิญญาณและความศรัทธา เป็นสีของกษัตริย์ในโลกตะวันออก ในทางพระพุทธศาสนา หมายถึง ความเจิดจ้าและปัญญา

สีเขียว – ในเชิงจิตวิทยา ให้ความรู้สึกสงบเงียบ ร่มรื่น การผ่อนคลาย การพักผ่อน ความสุขุมเยือกเย็น

- ในเชิงสัญลักษณ์ หมายถึง ความหวังและการมีชีวิตใหม่ การงอกงาม ความอุดมสมบูรณ์ ความปลอดภัย

สีฟ้า – ในเชิงจิตวิทยา ให้ความรู้สึกถึง ความปลอดโปร่ง ความสบาย ความอิสระเสรี ความคิดสร้างสรรค์และจิตนาการไร้ขอบเขต

- ในเชิงสัญลักษณ์ หมายถึง ความปลอดภัย ความสันติ และการช่วยเหลือแบ่งปัน เช่น สีขององค์การสหประชาชาติ สีของความสะอาด เช่น สี ขององค์การอาหารและยา

สีคราม – ในเชิงจิตวิทยา ให้ความรู้สึกสงบเยือกเย็น ขจัดความรู้สึกมืนงงและอารมณ์สับสน สามารถลดความหดหู่ของจิตใจ และสามารถควบคุมความโกรธได้

- ในเชิงสัญลักษณ์ หมายถึง สีแห่งนักร้องและกวี เป็นสีแห่งความทรงเกียรติ ความถูกต้องยุติธรรม การควบคุมอารมณ์ การทำงานที่เกี่ยวกับจิต และ งานที่ต้องใช้ความคิดสร้างสรรค์

สีม่วง – ในเชิงจิตวิทยา ให้ความรู้สึกมีเสน่ห์ ลึกลับ น่าค้นหา แสดงถึงอารมณ์รัก ความเศร้า ความผิดหวัง จากความรัก เชื่อกันว่าสีม่วงกระตุ้นความรู้สึกและการตื่นตัว

- ในเชิงสัญลักษณ์ หมายถึง พลัง ความมีอำนาจ สีม่วงแดงเป็นสีของกษัตริย์ในสมัยอียิปต์ต่อเนื่องมาถึงสมัยโรมัน นอกจากนั้นยังเป็นสีชุดของพระสังฆราช อีกความหมายหนึ่ง คือ สีแห่งความผูกผัน บ่งบอกถึงการสนับสนุน ส่งเสริมก่อให้เกิดแรงบันดาลใจ และความจริงใจ ดังเช่นสีม่วงอ่อนอันเป็นสัญลักษณ์ขององค์การลูกเสือโลก

สีดำ – ในเชิงจิตวิทยา ให้ความรู้สึกมืด สกปรก ลึกลับ ความสิ้นหวัง จุดจบ ความตาย ความเชื่อความลับ ทารุณ โหดร้าย ความเศร้า ความหนักแน่น เข้มแข็ง อดทน มีพลัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
81156

- ในเชิงสัญลักษณ์ หมายถึง ความชั่วร้าย ในทางคริสต์ศาสนา หมายถึง ซาตาน อาถรรพ์ เวทมนต์ ไสยศาสตร์ ความลุ่มหลง มัวเมา ความตาย

สีขาว – ในเชิงจิตวิทยาให้ความรู้สึก บริสุทธิ์ สะอาด สดใส เบาบาง อ่อนโยน เปิดเผย

- ในเชิงสัญลักษณ์ หมายถึง การเกิด ความดีงาม ความศรัทธา ความหวัง ความห่วงใย เอื้ออาทร จริงใจ แต่บางกรณี อาจหมายถึง ความอ่อนแอ พ่ายแพ้

สีชมพู – ในเชิงจิตวิทยา ให้ความรู้สึกอบอุ่น อ่อนโยน นุ่มนวล น่ารัก อ่อนหวาน ความสดใส

- ในเชิงสัญลักษณ์ หมายถึง ความรักของมนุษย์ โดยเฉพาะ หนุ่มสาว เป็นสีของความเอื้ออาทร

สีทอง – ในเชิงจิตวิทยา ให้ความรู้สึก หรูหรา โอ่อ่ามีราคาสูงค่า สิ่งสำคัญ

- ในเชิงสัญลักษณ์ หมายถึง มักใช้แสดงถึงคุณค่า ราคา สิ่งของหายาก ความสำคัญ ความสูงส่ง สูงศักดิ์ ความศรัทธาสูงสุด ในศาสนาพุทธ หรือ เป็นสีกายของพระพุทธรูป

2.4.3 พื้นผิว (Texture)

แบ่งออกเป็น 2 ประเภท

1. Sight – สัมผัสได้ด้วยตา

2. Touch - สัมผัสได้ด้วยมือและความรู้สึก

- คำนึงถึงความเลือกใช้ Texture หากเลือกใช้ Texture เป็นจุดเด่นมากกว่า Typo และ Color แล้ว Texture ที่เลือกใช้ควรจะเป็นสื่อความหมายได้ชัดเจน

- กระดาษที่ใช้พิมพ์เป็น Texture อย่างหนึ่งและมีให้เลือกมากมาย ไม่ว่าจะเป็น เรียบมัน สะท้อนแสง หรือ หยาบด้านมี Texture คล้ายกระดาษ Fine arts

- Endpaper อาจมีให้เลือกจำกัด แต่สามารถพิมพ์สีหรือสร้างลวดลาย Texture เพิ่มเติมได้

- หน้าปกอาจใช้พลาสติกมันวาว / หนังแท้- เทียม /หรือนำผ้าคลุมปกหนังสือ ซึ่งมีให้เลือกตั้งแต่เนื้อหยาบ ไปจนถึงเนื้อแพร-ไหม

- การใช้วิธี embossing ดุนนูน หรือ blank stamping เซาะร่องเป็นวิธีที่น่าสนใจ แต่จะได้ผลดี หรือไม่ ขึ้นอยู่กับวัสดุที่รองรับ effect นั้นๆ ว่าจะคลายตัวหรืออยู่ตัวได้ดี

- เนื้อหาต่างๆ อาจบ่งชี้และต้องการใช้ Texture ที่แตกต่างออกไปตัวอย่าง เช่น

เนื้อหาเกี่ยวกับเครื่องจักรอุตสาหกรรม - เรียบเป็นมันเงาคล้ายโลหะ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เนื้อหาเกี่ยวกับธรรมชาติและการเกษตร	-	มี Texture ของสันใยธรรมชาติ
เนื้อหาเกี่ยวกับการล่องเรือ	-	ใช้ผ้าใบที่มีลักษณะคล้ายผ้าใบเรือ
เนื้อหาเกี่ยวกับการจัดแก้ว	-	ใช้พลาสติกใสแวววาวมีลักษณะคล้ายแก้ว

- การใช้ Texture ควรคำนึงถึงความกลมกลืนกับองค์ประกอบและความรู้สึกของหนังสือเป็นอันดับแรก และ ไม่ควรขัดแย้งกับการใช้ Symbolism และ Color

2.5 ปกหนังสือ

มี 5 จุดประสงค์

2.5.1 Construction เพื่อโครงสร้างที่แข็งแรง แบ่งออกเป็น 2 ประเภท คือ

- การรวมหน้ากระดาษไว้ด้วยกัน นอกจากจะทำการเย็บด้วยด้าย , เย็บแล้วstaple , ติดกาว แล้วนั้น การเข้าปกก็สามารถทำให้หนังสือเป็นเล่มทำได้แข็งแรงยิ่งขึ้น ซึ่งก็แล้วแต่ประเภทของหนังสือ เช่น perfect binding ซึ่งไม่มีการเย็บด้วยด้าย ก็สามารถสอดใส่หน้ากระดาษเพิ่มเติมภายหลังได้ หรือ Spiral nire หรือ Plaslic comb ที่สามารถทำได้ในปริมาณมากแต่ราคาประหยัด และ Saddle - Stick ที่เหมาะสมกับ Pamphlets Side-Wire-Sticking ที่แข็งแรงจะถูกที่สุด
- Endpapers หนังสือที่มีความหนามากและพิมพ์บนกระดาษชั้นดีเนื้อหนา ย่อมมีน้ำหนักมากเป็นธรรมดา ดังนั้น จึงต้องการกระดาษ Endpapers ที่มีความแข็งแรง เหนียว ทนทาน พอที่จะติดตัวเนื้อหาหนังสือกับส่วนปกได้ Endpapers ควรเป็นกระดาษที่มีความหนา (118 gram ขึ้นไปเป็นอย่างน้อย) มีหลายชนิดให้เลือกและนอกจากนี้ยังสามารถใช้กระดาษ เนื้อเดียวกันกับหนังสือแต่มีความหนามากกว่าพิมพ์และทำมาเป็น Endpapers ก็ได้

2.5.2 Protection เพื่อป้องกันหนังสือส่วนใน ปกจะต้องทนทานต่อการปิดจอ,ฝุ่นผง การฉีก และการชน กระทบกระแทกต่างๆ ซึ่งขึ้นอยู่กับปัจจัยต่อไปนี้

- Caver material เพื่อความทนทานต่อการเปิด-ปิด อยู่เสมอ ซึ่งจะแล้วแต่ประเภท และการใช้งานหนังสือ เช่น หนังสือตำราเรียนที่ถูกเปิดอ่านอยู่เสมอ ก็ควรที่จะแข็งแรงกว่าหนังสือที่ระลึกที่จะถูกนำมาใช้เฉพาะบางโอกาส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เพื่อป้องกันรอยเปื้อน เช่น หนังสือ Cookbook ที่จะถูกเปิดใช้ในครัวอยู่แล้ว ย่อมจะมีการเปรอะเปื้อน จึงควรใช้วัสดุที่การเช็ดออกหรือป้องกันรอยเปื้อนได้ เช่น Coated Paper กระดาษเคลือบมัน ชนิดต่างเพื่อป้องกันการขูดขีดและกระแทก จึงควรใช้กระดาษปกที่มีความหนาพอสมควร หรือ เสริมโครงสร้างด้วยบอร์ดชนิดต่างๆ ที่มีการป้องกันการขูดขีดและกระแทก จึงควรใช้กระดาษปกที่มีความหนาพอสมควร หรือ เสริมโครงสร้างด้วยบอร์ด ที่มีความทนทานไม่บิดงอง่าย เมื่อโดนแรงอัด หรือ แม้กระทั่งโดนความชื้น

- Boards ป้องกันการกระทบกระแทก โดยเฉพาะการตกหล่นซึ่งจะเกิดรอยถาวรที่สันและมุม แก้ปัญหาได้โดยเสริมปกด้วยบอร์ดชนิดต่างๆ บอร์ดชนดหนาย่อมป้องกันและรับแรงกระทบได้ดีกว่าบอร์ดชนิดบาง

- Headbands แผ่นเสริมที่สัน เพื่อป้องกันการฉีกขาด ในเวลาที่ดึงสันหนังสือออกมาจากหิ้ง ควรใช้บอร์ดชนิดเดียวกันกับปก และยังป้องกันแรงกดที่มาจากด้านบนได้อีกด้วย

- Edge stain การทำสีที่ขอบ (ด้าน 3 ด้าน ที่ไม่ใช่สัน) เพื่อป้องกันรอยเลอะจากฝุ่นและมือ การทำสีส่วนใหญ่จะทำด้านบนเพื่อปกปิดรอยหมองคล้ำจากฝุ่นผง แต่อาจทำสีทุกด้านก็ได้เพื่อความงดงาม

- Jacket ปกนอกของหนังสือ ถ้าตัวปกจริงแข็งแรงอยู่แล้ว ก็อาจใช้ Jacket เพื่อสำหรับประโยชน์ทางด้านโฆษณาประชาสัมพันธ์แทน แต่ถ้าหากปกมีความแข็งแรงน้อย Jacket ก็ย่อมทำหน้าที่เป็นตัวช่วยเสริมความแข็งแรงของปกเล่มนั้นๆ Jacket ควรมีความหนาตั้งแต่ 104 -118 grams ขึ้นไปสำหรับเนื้อกระดาษ อาจจะเป็น Coated Paper หรือใช้ Plastic Laminating ก็ได้และถ้าต้องให้ Jacket คงทนไม่เป็นรอยยับง่ายให้เสริมความยาวด้านบนและล่างของ Jacket ด้วยการเพิ่มความยาวออกไป 2-3 นิ้ว แล้วพับส่วนนั้นเข้าไปด้านในให้เสมอกันกับปก โดยสรุปแล้ว หน้าที่ของ book jacket มีอยู่ 2 ประการ คือ ห่อหุ้มปกมิให้เป็นรอย และเก็บรักษาปกให้ดูใหม่อยู่เสมอในขณะที่อยู่ร้านหนังสือและในโรงงาน

2.5.3 Identification บ่งบอกชื่อของหนังสือ ซึ่งจะมีรูปแบบ 2 รูปแบบ คือ จัดวางหนังสือเป็นแนวขนานกับสัน และวางตรงข้ามกับเส้น ซึ่งเป็นไปได้ทั้ง 2 แบบ แล้วแต่ความนิยม แต่ควรจัดวางให้อ่านได้จากด้านบน – ลงสู่ด้านล่าง และไม่ควรใช้ตัวอักษรประเภท Italic หรือ Script เป็นอย่างยิ่งสำหรับสันเพราะจะทำให้อ่านยากมากยิ่งขึ้น

2.5.4 Attraction ดึงดูดความสนใจ ในการ Display และเมื่อวางบนร้านหนังสือในร้าน ภาพประกอบ (ภาพถ่ายและภาพวาด) หรือ Abstract Pattern อาจเป็นตัวดึงดูดความสนใจให้แก่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หนังสือได้ดีกว่าชื่อหนังสือก็ได้ แล้วแต่ความเหมาะสม หากแต่ Design นั้นต้องดึงดูดความสนใจให้ผู้ดูมองพิจารณาพอควรจนทราบ ชื่อผู้แต่งและชื่อหนังสือนอกจากนั้น ยังต้องพิจารณาถึงการแข่งขันอันสูงในตลาดปัจจุบัน ในขณะที่หนังสือหลายเล่มวางอยู่บนหิ้งหนังสือในร้านเดียวกัน แต่ละเล่มจะต้องเรียกร้องความสนใจให้ผู้ดูเปิดอ่านได้ ขั้นตอนนี้เรียกว่า effectiveness ซึ่งเป็นสิ่งที่สำคัญอย่างยิ่ง หนังสือที่เป็นผู้ประพันธ์ที่มีชื่อเสียง ต้องเน้นชื่อผู้แต่งเป็นสำคัญ และสามารถใช้ Typographic ประกอบกันกับสัญลักษณ์ทางการฟิกที่มีความหมายทั้ง Visual และ Poetic เข้ามาประกอบกัน เพื่อให้ตัวอักษรและภาพสอดคล้องกันมากยิ่งขึ้นก็ได้

2.5.5 Expression ให้พิจารณาสิ่งต่อไปนี้ เช่น ชื่อ หนังสือ Cooking for beginners ที่ต้องการให้ผู้อ่านทราบและเปิดดูเนื้อหาได้ทันทีก็ควรใช้ Typographic เป็นหลักสำหรับปก ส่วนหนังสือ Out of the blue ที่เป็นชื่อเนื้อหาเกี่ยวกับ Romance ก็ย่อมที่จะต้องให้ภาพประกอบมาสร้างจินตนาการให้ผู้อ่านทราบถึงเนื้อหาและดึงดูดความสนใจ และผู้อ่านจะตัดสินคุณค่าของหนังสือเล่มนั้น โดยคร่าวๆจากปกที่เห็นเป็นสิ่งแรก

ปกหนังสือควรสะท้อนและอธิบายคร่าวๆถึงรายละเอียดของเนื้อหา ที่จะเป็นส่วนสำคัญสำหรับการขายการออกแบบปกให้ได้ผลดีควรจะคำนึงถึงสิ่งต่อไปนี้

- Subject เนื้อหา การออกแบบควรให้เหมาะสมกับประเภทของเนื้อหา แต่ควรจะบ่งชี้เฉพาะเจาะจงรายละเอียดถึงเนื้อหาภายใน ไม่ควรครอบคลุมรายละเอียดเนื้อหามากเกินไป

- Illustration ภาพประกอบ (ภาพถ่าย,ภาพวาด,line arts ฯลฯ) ภาพส่วนใหญ่จะมาจากภายในหนังสือหรือจากที่อื่นแต่ควรให้เหมาะสมกับเนื้อหา ภาพปกควรเป็นลักษณะการแนะนำรายละเอียดหรือ เจาะรายละเอียดของเนื้อหาที่สำคัญมาเสมอและควรตระหนักไว้ว่า ปกหนังสือคือ Poster ขนาดย่อมนั้นเอง

- Typography การจัดวางตัวอักษร คำนึงการจัดวางที่สร้าง Unity และความเป็นอันหนึ่งอันเดียวกัน และให้ตระหนักไว้ว่า Harmony ไม่เป็นเพียงที่จะสร้าง Unity,Contract ก็สามารถสร้าง Unity ได้เช่นกัน

- Material การเลือกใช้วัสดุ ที่ดีและมีพื้นผิวที่น่าสนใจ และเหมาะสมกับหนังสือย่อมเพิ่มคุณค่าและสร้างความน่าสนใจให้กับหนังสือได้มาก แต่ต้องคำนึงถึงเรื่องงบประมาณและความคงทนเป็นหลักสำคัญด้วย

- Color เลือกใช้สีให้เหมาะและสอดคล้องกันระหว่างภาพและตัวอักษร สำหรับกรณีที่หนังสือเล่มนั้นไม่มีปก (book jacket) แต่ถ้าหากหนังสือเล่มนั้นมี 2 ปก คือ book jacket (ซึ่ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เปรียบเสมือน Promotion piece ห่อหุ้มอยู่ภายนอก) และปกในซึ่งเป็นส่วนหนังสือจริงๆ การออกแบบ book jacket และปกจริงนั้น ควรคำนึงถึงความกลมกลืนเป็นหนึ่งเดียวกัน ไม่ว่าจะเป็นโทนสี,ตัวอักษร หรือ Illustration

2.6 ชนิดของกระดาษ

- Newsprint ใช้สำหรับการพิมพ์หนังสือพิมพ์หรือใบปลิว ใบเสร็จรับเงินสีจะจืดจาง เมื่อถูกแสงแดด เนื่องจากประกอบด้วยสาร Lignin ที่ห่อหุ้มและบรรจุอยู่ในเส้นใยของกระดาษ

- Mechanical สำหรับพิมพ์ offset/นิตยสาร/Uaflet ประกอบไปด้วยเยื่อไม้ และสารเคมีที่ทำให้มีความแข็งแรงมากว่าประเภทแรก

- Woodfree มีความเหนียวแน่นและขาวกระจ่าง ผลิตสำหรับงานพิมพ์ทั่วไป และ Stationery กระดาษถ่ายเอกสารและนิตยสาร ดูดซับสีได้ดี ตัวอย่างเช่น กระดาษที่เรียกว่า "Bond" กระดาษที่ใช้สำหรับ Stationery และ Bank กระดาษถ่ายเอกสารขาวดำทั่วไป (ความหนา 70 แกรม หรือน้อยกว่า)

- Cartridge papers มีเนื้อเหนียว และมีความแข็งแรง ใช้สำหรับการผลิตกล่องมีตั้งแต่เนื้อเรียบจนถึงเนื้อหยาบ

- Board มีขอบเขตการใช้กว้างขวางตั้งแต่ทำปกหนังสือจนถึงการผลิตบรรจุภัณฑ์ มีทั้งไม่เคลือบมันที่ผิวกระดาษ (ความหนาเริ่มที่ 160 gram) บอร์ดที่มีความหนามากประกอบด้วย 2-3 แผ่นประกอบเข้าด้วยกัน

- Anligne กระดาษที่มีความหยาบทั่วไป ส่วนใหญ่จะเป็นกระดาษที่ทำด้วยมือ โดยมิได้ผ่านเครื่องใช้สำหรับพิมพ์หนังสือ แต่ไม่เหมาะสมสำหรับงานพิมพ์ที่ต้องการรายละเอียดสูง

- Coated papers (Art papers) เคลือบมันทั้งสองหน้า ด้วย China Clay และผ่านการรีดให้เรียบมันโดยลูกกลิ้ง ใช้สำหรับ offset และ halftone หรืองานพิมพ์ที่ต้องการคุณภาพสูง

- กระดาษ Art ที่มีเนื้อด้าน (Maffart) ก็มีการผลิตระบบเดียวกันแต่ผ่ายลูกกลิ้งที่มีไว้ให้ สำหรับผิวเรียบเท่านั้น

- Blade Coated คือ กระดาษ Art ที่มีเนื้อระหว่างมันและเรียบ

- Chromo เคลือบมันเพียงด้านเดียว ใช้สำหรับ Poster,Printing,Proaf,Book jacket และฉลากของบรรจุภัณฑ์

- Cast Coated เคลือบมันสะท้อนแสงมากที่สุด สำหรับบรรจุภัณฑ์ และ Present

- Plastic paper ทำจากพลาสติก ใช้ทำแผนที่ นามบัตร ฯลฯ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.7 เทคนิคการจัดวาง

เทคนิคการจัดวาง Illustration ภาพถ่าย และ Line arts : Contrast & Variety

1. Large picture with small ones.
2. Square picture with silhouettes.
3. Long oblongs with squarish oblong.
4. Photographes with line drawing or engraving.
5. Dark picture with hight ones.
6. Close-ups with panoramas.
7. Curving subjects with angular subjects.
8. Crowded areas with blank areas.
9. Old subjects with new subjects.
10. Quiet pictures with active ones.
11. Color with monochrome
12. Formal with informal

Caption คำบรรยาย ควรมีลักษณะทั่วไปที่ Contract กับ Text มีหมายเลขให้ชัดเจน อาจมีขนาดตัวอักษรที่เล็กกว่า Text

2.8 ส่วนประกอบของหนังสือ

2.8.1 Casem aking and blocking

- Case กล่องถูกทำขึ้นต่างหาก ประกอบด้วย กระดาษแข็งปกหน้า สัน ปกหลัง ต่อกัน และหุ้มด้วยกระดาษ ผ้า และหนัง ติดด้วยกาว
- Blocking การพิมพ์ (stamp) โดยใช้แม่พิมพ์ (Brass) ที่ถูกทำให้ร้อนและวางทาบลงบนแผ่น Foil metallic หรือ Color Foil ที่อยู่บนหนังสืออีกที
- Round Comer มุมบนโค้ง จัดทำขึ้นตอนการตัดและเขียนหนังสือ โดยใช้ใบมีดทำมุมโค้งกดลงไปบนเนื้อกระดาษ
- Lamination ติดฟิล์มเนื้อใสลงบนงานพิมพ์ (Celluloseacetate) และ Oriented polypropyleme สำหรับงานที่ไม่ต้องการรอยแตกเมื่อพับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- Edge Color การทำสีที่สัน ทำโดยการพ่นสีลงบนกองหนังสือจากด้านข้างโดยตรง 90 องศา ความห่าง 1 ฟุต ทำด้วยมือหรือด้วยเครื่อง ขอบทองทำด้วยการปิดทองโดยวิธีเดียวกับการปิดทองทั่วไปในงาน Art หรือใช้สีทอง (Foil) ทาลงบนสันด้วยเครื่องก็ได้ วิธีเดียวกับ Foil Stamping

2.8.2 Trant malter

Trant malter ส่วนหน้าของหนังสือ

Little page (ปกใน) ควรถูกออกแบบก่อนส่วนอื่นๆ และจะต้องกลมกลืนเป็นอย่างดีกับการจัดวางรูปแบบของ Text ภายในเล่ม หน้าที่ของปกในจะเป็นการทำความเข้าใจ และดึงดูดความสนใจสู่เนื้อหา และยังต้องคงความเป็น Unity เดียวกันกับหนังสือ ส่วนใหญ่ปกในจะถูกจัดวางให้อยู่หน้าขวา สำหรับส่วนที่สำคัญที่สุด แต่ไม่จำเป็นเสมอไปที่ภาพประกอบหรือ Text บางส่วนจะพาดเลยไปสู่หน้าซ้ายไม่ควรโดดเด่นเกินไป

ส่วนประกอบของปกใน

Title	-	ชื่อหนังสือ
Author	-	ผู้ประพันธ์
Subtitle	-	พาดหัวรอง
Credits	-	ผู้แปล,บรรณาธิการ,นักวาดภาพประกอบ,ผู้เขียนเกริ่นนำ
Imprint	-	ผู้พิมพ์
Colophon	-	สัญลักษณ์ของผู้จัดพิมพ์
Date	-	วันที่จัดพิมพ์
Quotation	-	ถ้อยคำที่ถูกยกมาจากการวิจารณ์หนังสือเล่มนั้นๆ
Illustration	-	ภาพประกอบ
Ad card	-	รายชื่อหนังสือเล่มอื่นของผู้ประพันธ์หรือของผู้จัดพิมพ์

- Copyright ชื่อผู้พิมพ์,ผู้ออกแบบ ฯลฯ ความสำคัญจะเท่ากับ Caption ตัวอักษรอาจถูก set ให้เล็กลง หรือ ใหญ่ขึ้น แล้วแต่ความสำคัญของหน่วย ควรให้ความสำคัญกับความกลมกลืน เป็น Direction เดียวกันกับส่วนอื่นๆ

- Dedication คำอุทิศ มักจะถูกจัดวางอยู่ตรงหน้าตรงข้ามกับ Copyright หรือ หน้าแรกสุด ให้ความสำคัญกับชื่อผู้ถูกอุทิศให้ โดยการใช้ Type ที่แตกต่างแต่ไม่ควรมีขนาดใหญ่จนเกินไป อาจจัดวางตรงกลาง เสมอซ้าย หรือเสมอขวา แล้วแต่การจัด Column ของหนังสือส่วนใน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- Acknowledgments คำขอบคุณ เป็นหน้าที่ผู้แต่งแสดงความขอบคุณ คล้าย ๆ กับหน้าอุทิศ ขนาดของ Type จะค่อนข้างเล็ก ขนาดเดียวกันกับ Copyright ถ้ามีบรรทัดยาวอาจมีการเน้นความสำคัญของ Headline แต่ถ้าบรรทัดสั้นก็ไม่ต้องเน้น

- Preface & Foreword คำนำ พื้นฐานของผู้แต่ง หรือ ความคิดเห็นของนักวิจารณ์ ที่เกี่ยวกับหนังสือเล่มนั้นๆ Introduction การแนะนำ คำอธิบายชี้แจงรายละเอียดเกี่ยวกับเนื้อหา ซึ่งจะดูคล้ายกับเนื้อหาจริง แต่ Designer ควรจัดให้มีความแตกต่าง เพื่อกันความสับสน ควรจัดคำนำให้อยู่ก่อนสารบัญ / Type ขนาดเดียวกับ Text / Headline เหมือนกันกับเนื้อเรื่องด้านใน

- Contents สารบัญ เป็นเครื่องมือชั้นยอดสำหรับผู้อ่าน จะแก้ปัญหาสำหรับการค้นหาเนื้อหาการจัดหมวดหมู่เนื้อหา และการโฆษณาเนื้อหาด้านในทางด้านรายละเอียด

- ถ้าจัดสารบัญไม่ลงใน 1 หน้า ก็ควรจัดอยู่ในหน้าคู่เดียวกัน ไม่ควรจัดข้ามคู่หน้าถัดไป เพื่อขจัดปัญหาการพลิกไปพลิกมา ทำให้เห็นรายละเอียดไม่ชัดเจน

- เลขหน้าควรจัดให้เห็นเด่นชัด และอยู่ในระดับเดียวกันกับเนื้อหาในส่วนนั้น และระยะห่างระหว่างหัวข้อเรื่องกับเนื้อหาไม่ควรมากจนเกินไป จะทำให้สับสนได้ง่าย ซึ่งอาใช้เส้นต่างๆ เข้ามาช่วยเชื่อมสายตา สารบัญจะต้องอยู่ด้านหน้าของหนังสือเท่านั้น

- List of illustration คำบรรยายภาพ การจัดวางคล้ายคลึงกันกับสารบัญ และไม่ควรแยกคู่หน้า ผู้อ่านจะมองหาหมายเลขหน้าที่มีภาพประกอบที่ต้องการข้อมูลในส่วนนี้ และจะมองหาภาพเองก่อนจะอ่านรายละเอียด คำบรรยายภาพจะมีภาพเล็กๆ คล้าย Thumbnail print ของภาพนั้นๆ อยู่ด้วยก็ได้ เพื่อง่ายต่อการค้นหาข้อมูล

2.8.3 Backmalter ส่วนหลังของหนังสือ ส่วนใหญ่จะประกอบด้วย

- Appendix หรือ Appendices (take your choices) อาจเป็นตัวอักษร,ข้อความList,บทความ ,charts, ภาพและคำพูดหรือสิ่งใดก็ตามที่สนับสนุนเนื้อหา เนื้อหาของ Appendix จะเริ่มตั้งแต่บทความง่ายๆ ไปจนถึงข้อความทางวิชาการที่ซับซ้อน ควรจัดให้อ่านง่ายๆ และจัดลำดับให้เป็นหมวดหมู่ตามประเภทต่างๆ ของข้อมูล

- Note เป็นข้อมูลที่น่าสนใจสำหรับนักวิจัยที่สนใจข้อมูลเฉพาะด้าน มากกว่าที่จะเป็นข้อมูลสำหรับผู้อ่านทั่วไป ควรจัดให้อ่านง่าย และเน้นหัวข้อต่างๆ เพื่อความสะดวกในการหาข้อมูล

- Bibliography หนังสืออ่านประกอบมีลำดับดังนี้

ชื่อผู้แต่ง ชื่อหนังสือ ชื่อผู้พิมพ์ ที่อยู่ ปีที่จัดพิมพ์ อาจจัดให้มีขนาดเล็กลงได้ ถ้ามีจำนวนมาก แต่ถ้ามีจำนวนไม่มากนัก ก็สามารถจัดให้มีขนาดเท่ากันกับ Text ทั่วไปได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- Glossary การจัดลำดับเช่นเดียวกันกับ Dictionary หรือเรียงลำดับตามตัวอักษร และแยกหมวดหมู่เฉพาะอักษร ควรเน้นคำศัพท์ที่ต้องการจะอธิบายให้แตกต่างจากคำอธิบายด้วยวิธีการต่างๆ เช่น ขนาด/สี/Type/etc.

- Index ดรรชนี การจัดเรียงข้อมูล ตามตัวอักษร เพื่อที่ผู้อ่านจะหาข้อมูลนั้นจะได้ทราบหมายเลขหน้าที่ตีพิมพ์ข้อมูลนั้นๆ ไม่ควรจัดให้ตัวอักษรใหญ่เท่า Text แต่ก็ไม่ควรให้มีขนาดที่เล็กจนเกินไป และ Column ไม่ควรกว้างเกินไป

- Colophon ชื่อผู้พิมพ์และผู้ผลิต ที่ควรจะอยู่ท้ายสุดของเล่ม อาจเป็น Trademark และที่อยู่ของโรงพิมพ์/วันที่/ฯลฯ และอาจเป็นข้อความเกี่ยวกับรายละเอียดของการออกแบบหนังสือเล่มนั้นจะมีหรือไม่มีก็ได้ เพราะข้อมูลดังกล่าวอาจไปรวมกันในหน้า Title page หรือ Copyright ที่อยู่ด้านหน้าอยู่แล้ว

3. ข้อมูลเรื่อง "หลงกลิ่นกัญชา"

หลงกลิ่นกัญชา คืองานเขียนที่คุณรงค์ ให้คำจำกัดความว่าเป็นแนวเซไม-ฟิคชั่น อาร์ติเกิ้ล (คืองานเขียนในลักษณะที่มีสองอารมณ์ผสานกัน) ซึ่งผู้เขียนได้เดินทางไปซานฟรานซิสโกเพื่อเยือนถิ่นฮิปปี้ในช่วงเวลาที่เป็นยุคของบุปผาชนเบ่งบานและส่งอิทธิพลแผ่กระจายไปทั่วโลก แต่การเดินทางมาไคลของกระแสฮิปปี้นั้นทำให้ประเทศห่างไกลอย่างเช่นประเทศไทยเกิดการเข้าใจในคำว่าฮิปปี้กันผิดๆ ไปต่างๆนาๆ

"หลงกลิ่นกัญชา" นิยายกึ่งสารคดี ที่ "รงค์ วงษ์สวรรค์ ศิลปินแห่งชาติ สาขาวรรณศิลป์ ประจำปี 2538 มีเจตจำนงแสดงให้เห็นถึง วิถีชีวิตของฮิปปี้ หรือบุปผาชน แห่งเมือง แซนแฟรนซิสโก ประเทศสหรัฐอเมริกา ในท่วงทีที่เข้าใจ และเห็นอกเห็นใจ ว่าชนพิเศษกลุ่มนี้ มิใช่มนุษย์ไร้สาระ แม้จะหลงผิด หรือใช้ชีวิตอย่างผิดพลาด โดยเฉพาะการเสพกัญชา-ยาเสพติด (ของต้องห้ามในแง่กฎหมาย) แต่เนื้อแท้แล้ว พวกเขาล้วนพยายาม แสวงหา "ความหลุดพ้น" ของชีวิตเช่นปุถุชนทั่วไป เพียงแต่ท่าที ที่แสดงออกมา ในรูปของการเบื่อหน่ายชีวิต ไม่แยแสต่อสังคม ที่เร่งรุดพัฒนาความเจริญ จนกลืนกินจิตวิญญาณของมนุษย์ เสียจนกลายร่างเป็นมนุษย์จักรกล ไปหมดแล้ว จึงพากันหันหลัง ให้กับกฎเกณฑ์สังคม เพื่ออยู่ในโลกส่วนตัว ที่มีความรักสงบ เป็นเครื่องหล่อเลี้ยง มีกัญชา และยาเสพติดอื่นๆ เป็น "พาหนะ" นำไปสู่โลกอุดมคติ หรือโลกแห่งความฝันของตน

"หลงกลิ่นกัญชา" งานเปลือยชีวิตบุปผาเล่มนี้ "รงค์ วงษ์สวรรค์ ได้เสนอแง่มุม ที่ใครต่อใครมองข้าม แล้วพานทึกทักด่วนว่า บุปผาชนเป็นกลุ่มชนไร้ค่า-ขยะสังคม เพื่อจะได้ ปรับเปลี่ยนโลกทัศน์ และเข้าอกเข้าใจ ชนกลุ่มนี้มากยิ่งขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากการตีพิมพ์ "หลงกลิ่นกัญชา" ครั้งล่าสุดในปีพ.ศ. 2545 คุณรงค์ได้ให้เหตุผลของการประพันธ์หนังสือเล่มนี้ไว้ว่า

"หลงกลิ่นกัญชา ผมกลับมานั่งเขียนที่กรุงเทพฯ ตอนนั้นผมเห็นว่ากรุงเทพเกิดอันตรายขึ้นแล้ว คือเพื่อนนักหนังสือพิมพ์ก็เข้าใจคำว่าฮิปปี้ผิด นักการเมืองสมัยนั้น ถนอม, ประภาส เห็นคนไว้ผมยาวก็บอกว่าเป็นฮิปปี้ นุ่งกางเกงขาดๆก็ว่าฮิปปี้ ไม่เรียบร้อย ไม่ได้ถามเลยว่านุ่งขาดๆ เพราะไม่มีเงินจะซื้อ หรือว่านุ่งขาดเพราะเอามีดโกนมากรีด...

ผมเหห็นว่าอย่างนี้มันไม่เป็นธรรมกับฮิปปี้ ไม่เป็นธรรมกับนักต่อสู้ จึงเขียนหนังสือเล่มนี้ขึนมา เขาเป็นนักต่อสู้กับทุนนิยม ต่อสู้กับอเมริกาที่เป็นนักขูดรีด เบียดเบียนพวกมนุษย์ด้วยกัน ฮิปปี้ต้องอายุ 30 ปีขึ้นไป ต้องเรียนมหาลัย คุณสมบัติต้องเป็นลูกเศรษฐี ไม่ต้องรวยมากก็ได้ แต่ต้องมีอุดมการณ์ในการช่วยกันขัดขวางพ่อแม่ ที่ประสบความสำเร็จมาจากอุตสาหกรรม...

พวกฮิปปี้จริงๆแล้วเป็นนักคิดหลายสาขาปรัชญาด้วยซ้ำไป รวมทั้งศาสนาพุธด้วย แต่บังเอิญศาสนสพุธที่แผ่ไปถึงฮิปปี้นั้นไม่ใช่หินยาน แต่เป็นมหายาน หนักไปทางเซน และก็วัชรยานทางทิเบต

ผมเป็นหนึ่งในขบวนการฮิปปี้ กัญชา หรือเซ็กซ์ เป็นส่วนประกอบ แต่แท้จริงเราเรียกร้องแม้กระทั่งการพูดที่เป็นเสรี ซึ่งในอเมริกาไม่มีครับ อย่าคิดว่ามี อย่านึดว่ามีแต่ประเทศไทยของคุณกับผมเท่านั้น ในอเมริกานั่นแหละ ถ้าพูดไม่เข้าหูนักการเมืองก็โดนฆ่าเหมือนกัน

รงค์ วงษ์สวรรค์
มุมกาแฟร้านนายอินทร์ ท่าพระจันทร์
14 กรกฎาคม 2542"

"หลงกลิ่นกัญชา" ได้ถูกตีพิมพ์ครั้งแรกปีพ.ศ. 2512 ครั้งที่สอง พ.ศ. 2533 และครั้งล่าสุดคือพ.ศ. 2545 โดยครั้งนี้ได้มีการเพิ่มเนื้อหาบางส่วน มีการเปลี่ยนปกใหม่เพื่อให้เข้ากับยุคสมัยที่เปลี่ยนแปลง แต่ยังคงภาพประกอบเดิม

4. ข้อมูลเกี่ยวกับ "ฮิปปี้"

ยุค 1960 ของอเมริกา ถูกเรียกว่ายุค "บุปผาชน" (Flower people) หรือวัยรุ่นเรียกตัวเองว่า บุปผาชน (Flower children) ในอดีตประวัติศาสตร์ชาติอเมริกันหลังสงครามโลกครั้งที่ 2 กรรมกร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

และชาวไร่ชาวนาพัฒนาตนเองขึ้นมาเป็นชนชั้นกลางของประเทศได้ เพราะการขายผลผลิตการเกษตรหลังสงครามที่ยากแค้นแสนเข็ญกันทั้งโลก เมื่อมีรายได้ดีขึ้นความเป็นอยู่ก็ดีขึ้น พลังสำคัญที่ยกมาตรฐานครอบครัวกรรมกรให้ขึ้นมาเท่าเทียมคนชั้นกลางของอเมริกันก็คือบรรดาแม่บ้านหรือภรรยานั้นเอง จากการเป็นสมาชิกสมาคมครูและผู้ปกครอง ทำกิจกรรมที่เป็นประโยชน์แก่ชุมชน ดูแลลูกอย่างใกล้ชิดและทำงานไกล้ชิดกับคนชั้นกลาง ความมั่งคั่งของยุคนี้เปิดโอกาสให้วัยรุ่นฟุ่มเฟือยมากขึ้น กำเนิดแฟชั่นของตนตามรสนิยมที่แตกต่าง ทำให้เกิดวัฒนธรรมวัยรุ่น (YOUTH CULTURE) นับตั้งแต่การแต่งกายจนถึงการพฤติกรรมประจำวัน เติบโตขึ้นเป็นผลผลิตของชนชั้นกลางที่ไม่เคยเผชิญกับสงครามและความขาดแคลน ทำให้เกิดความเบื่อหน่ายในการหลงไหลลัทธิวัตถุนิยม(MATERIALISM)ของพ่อแม่ จึงเกิดการต่อต้านขึ้น เพราะแรงกดดันจากสงครามเวียดนามที่ฆ่าชีวิตคนหนุ่มสาวอย่างยืดเยื้อและต่อต้านค่านิยมของบรรพบุรุษพิวริแตน ที่ถือเอาการทำงานหนัก ความก้าวหน้าในชีวิต การเคารพกฎหมายระเบียบวินัย ยึดมั่นอยู่กับครอบครัวและนับถือตนเองในฐานะคนผิวขาวเชื้อสายแซกกอน

หนุ่มสาวในยุคนี้ต่างพากันปลีกตัวออกนอกระเบียบของสังคมเดิม จนได้ชื่อว่าพวก "ฮิปปี้" (hippies) หนุ่มสาวที่ต่อต้านสังคมที่เรียกตัวเองว่าบุปผาชนเหล่านี้ หันเข้าหายาเสพติดและดนตรีเป็นสื่อที่ระบาดทั่วโลก ยาเสพติดนิยมกันในหมู่ปัญญาชน เพราะทำให้เกิดความเคลิ้มฝันทำให้ผู้เสพคิดว่าตัวเองกำลังเกิด "มโนธรรมใหม่" (ที่ต่อต้านวัฒนธรรมดั่งเดิม) ทำให้เกิดความสนุกสนานและคลายความเครียด พวกฮิปปี้ไม่สนใจการเมืองเพราะถือว่าไม่จริงใจต่อกัน พวกเขาเรียกร้องความรัก ความซื่อสัตย์ ความเปิดเผย และความเป็นอิสระ ซึ่งถือว่าหาไม่ได้จากสังคม จึงเกิดการต่อต้านวัฒนธรรมสลัดกฎเกณฑ์ทางเพศสัมพันธ์ยึดถือค่านิยมใหม่ที่เชื่อว่า หญิงและชายมีสิทธิอันชอบธรรมที่จะแสวงหาผู้ที่เข้ากับตนได้ในทางเพศสัมพันธ์ และยอมรับความวิปริตทางเพศอย่างออกหน้าออกตา

ปี1969 ใกล้สิ้นทศวรรษ สภาพความเป็นอยู่ของพวกบุปผาชนเลวร้ายลง กลายเป็นคนข้างถนน (STREET PEOPLE) มีชีวิตร่อนเร่พเนจร และก่อความรุนแรงที่ท้าทายกฎหมาย จนสังคมประณามว่า "ต่ำทราม ยังไม่โต นึกถึงแต่ตนเอง และไร้ความรับผิดชอบอย่างเห็นแก่ตัว" ปี 1970 สถานะการคลายความตึงเครียด หลังสงคราเวียดนามยุติ การต่อสู่เพื่อสิทธิมนุษยชนก็อ่อนกำลังลง ชุมชนของฮิปปี้ จึงอันตรธานไป เมื่อมีเจเนอเรชั่นใหม่ที่มีคุณภาพเข้ามาแทนที่

ในขณะเดียวกันที่ประเทศไทย การก้าวจากวัฒนธรรมดั่งเดิมของตนเอง สู่วัฒนธรรมใหม่ (MODERNNITY) ที่ต่างยอมรับกันอย่างเปิดเผย และยอมรับอิสระเสรีในการดำเนินชีวิตและอิสระทางเพศ ธรรมชาติคนไทยอ่อนไหวจึงรับไวต่อสิ่งเราสัญชาตญาณดิบของมนุษย์ความชั่วทำง่ายกว่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความดี เพราะอำนาจฝ่ายต่ำของมนุษย์กระตุ้นง่ายกว่า มันมาพร้อมกับวัฒนธรรมความบันเทิงทั้งหลายที่เข้าถึงคนได้เร็วกว่า สิ่งที่เรารับจากฝรั่งจะเป็นด้านลบมากกว่าด้านดีที่จะต้องมีเวลาในการสะสม การรับแต่ด้านลบอย่างรวดเร็ว จนกลายเป็นเรื่องปกติในสังคม "จากวัฒนธรรมนอก" (SPIRITUAL POLLUTION) กลายเป็น "วัฒนธรรมใหม่ " (MODERNIT) ที่ห่างไกลบรรพบุรุษเข้าไปทุกที

ด้วยพื้นฐานทางสังคม และวัฒนธรรมที่ต่างกัน เราอยู่กันอย่างประเทศที่อุดมสมบูรณ์และสงบสุขมานาน มีอิทธิพลส่งถึงระบบวิธีคิดในการดำเนินชีวิตจึงคนละแบบ หนุ่มสาวที่แยกตัวกันออกมาแสวงโลกภายนอกจึงแตกต่างกัน หนุ่มสาวชาวอเมริกันออกมาต่อต้านสังคมและครอบครัวเพราะ ได้รับผลกระทบจากสงครามเวียดนาม จึงเกิดการประท้วงสังคมอเมริกัน รวมถึงโครงสร้างระบบสังคมโลกด้วยเพราะถือเป็นพันธะที่จะปฏิรูปสังคมของโลกให้บริสุทธิ์ผุดผ่องของไทยเรา หนุ่มสาวนิยมใช้ยากระตุ้น และสิ่งเสพย์ติดเป็นแฟชั่น เพื่อความสนุกสนานบันเทิงเริงใจ คนรุ่นนี้สุขสบายในช่วงที่บ้านเมืองไม่มีปัญหาใหญ่ร้ายแรง และเศรษฐกิจเติบโตเต็มที่ จึงไม่ผ่านกระบวนการปลูกผังจิตสำนึกให้มีโลกทัศน์และวิธีคิดที่จะมองปัญหาบ้านเมืองเป็นเรื่องของตัวเอง

5. กลุ่มเป้าหมาย

เยาวชนและผู้รักการอ่านวรรณกรรมอายุตั้งแต่ 18 ปีขึ้นไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่2
ทฤษฎีและหลักการ

สารกึ่งตัวนำแต่ละชนิดจะมีโครงสร้างผลึกที่แตกต่างกันขึ้นอยู่กับการจัดเรียงตัวของอะตอมที่อยู่ภายในโครงผลึก การที่มีโครงสร้างผลึกที่แตกต่างกันนี้ทำให้สารกึ่งตัวนำมีสมบัติที่แตกต่างกัน เช่น สมบัติการนำไฟฟ้า สมบัติการดูดกลืนแสง เป็นต้น

2.1 สมบัติและของอินเดียมออกไซด์ (Indium oxide)

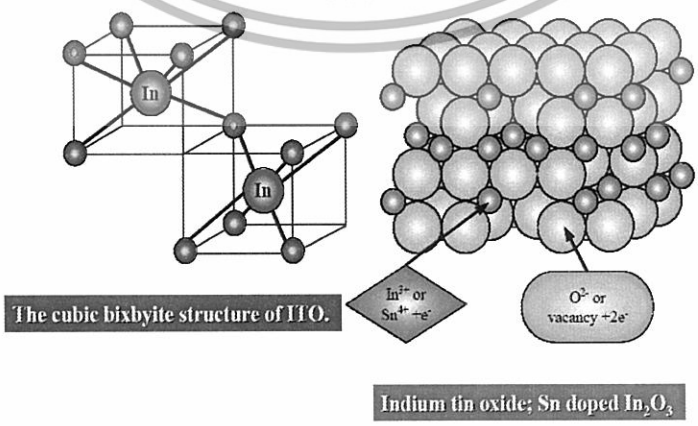
อินเดียมออกไซด์ (Indium oxide) มีสมบัติที่เหมาะสมในการนำมาทำเป็นอิเล็กโทรดเนื่อง จากมีสมบัติดังนี้

1. สมบัติการส่องผ่านของแสงสูงในช่วงวิซิเบิล (high optical transmittance)
2. ความต้านทานทางไฟฟ้าต่ำ (low electric resistivity)
3. เสถียรต่อปฏิกิริยาเคมีสูง (chemical stability)

แต่เนื่องจากอินเดียมมออกไซด์ (Indium oxide) มีลักษณะโครงสร้างแบบคิวบิก ซึ่งมีความเสถียรสูงทำให้สามารถนำไฟฟ้าในทุกทิศทางได้ดี แต่ข้อเสียคือทำให้ควบคุมทิศทางการส่งผ่านของไฟฟ้าได้ยาก วิธีการปรับปรุงคือ นำสารประกอบออกไซด์ที่มีสมบัติใกล้เคียงกับอินเดียมออกไซด์ (Indium oxide) มาใส่สารตัวเติม (doped) ในการทดลองนี้ใช้ทินออกไซด์ ส่งผลให้โครงสร้างของอินเดียมออกไซด์เกิดการบิดเบี้ยวไปจากเดิมเล็กน้อย จึงทำให้ทิศทางการส่งผ่านไฟฟ้ามีความเจาะจงมากขึ้น

2.2 ความรู้ทั่วไปเกี่ยวกับอินเดียมทินออกไซด์

2.2.1 โครงสร้างของอินเดียมทินออกไซด์



รูปที่ 2.1 โครงสร้างของอินเดียมทินออกไซด์ (ITO) [8]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2.2 สมบัติที่สำคัญของอินเดียมทินออกไซด์

1. จุดหลอมเหลวประมาณ 1900 องศาเซลเซียส

2.อินเดียมทินออกไซด์มีลักษณะเป็นสีเหลืองอ่อนถึงน้ำตาลขึ้นกับองศาการเกิดออกซิเดชัน

3. ความหนาแน่นของผลึกประมาณ 7.14 g/cm^3

4. สมบัติการส่องผ่านของแสงสูงในช่วงวิซิเบิล (high optical transmittance)

5. ความต้านทานทางไฟฟ้าต่ำ (low electric resistivity)

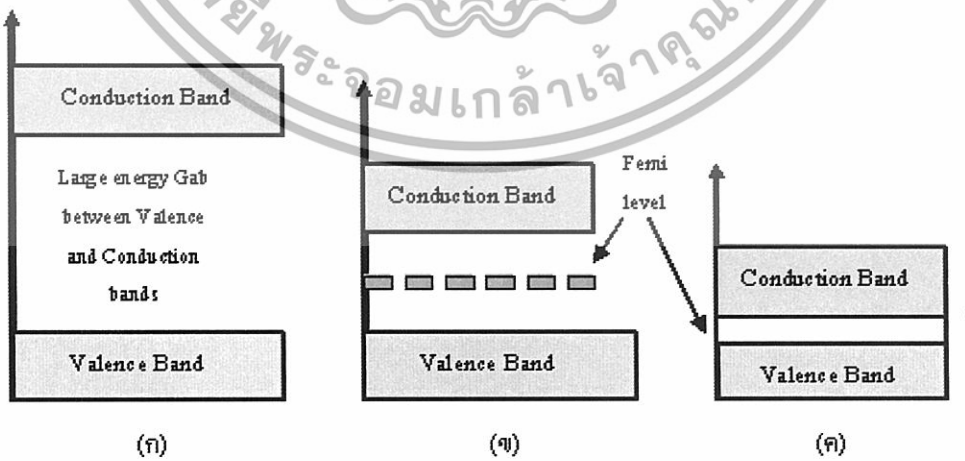
6. เสถียรต่อปฏิกิริยาเคมีสูง (chemical stability)

7. มีทิศทางการส่งผ่านทางไฟฟ้าที่แน่นอนกว่าอินเดียมออกไซด์ เนื่องจากอินเดียมทินออกไซด์มีโครงสร้างเป็นแบบ bixbyite-type cubic เป็นลักษณะโครงสร้างคิวบิกที่บิดเบี้ยวไปจากเดิมเล็กน้อยเพราะโครงสร้างอินเดียมออกไซด์ Sn^{4+} เข้าไปแทนที่อินเดียมในบางส่วน จึงเป็นผลให้โครงสร้างผลึกแบบคิวบิกของอินเดียมออกไซด์เกิดการบิดเบี้ยวไปจากเดิมแต่ไม่บิดเบี้ยวจนไม่เป็นโครงสร้างเดิม จากโครงสร้างดังกล่าวส่งผลให้ทิศทางการส่งผ่านทางไฟฟ้ามีความเจาะจงและแน่นอนมากขึ้น

2.3 สมบัติทางการดูดกลืนแสงของสารกึ่งตัวนำ

การศึกษาสมบัติเชิงแสงของสารกึ่งตัวนำ จะทำให้เราทราบถึงลักษณะโครงสร้างแถบพลังงานและขนาดของช่องว่างแถบพลังงานหรือแถบพลังงานต้องห้าม(Energy gap;E_g) และในบทนี้จะกล่าวถึงนิยามการเกิดสีของผลึกเท่านั้น

2.3.1 การเกิดสีของผลึก



รูปที่ 2.2 ลักษณะของโครงสร้างแถบพลังงานแบบง่ายของสารชนิดต่าง ๆ [15]

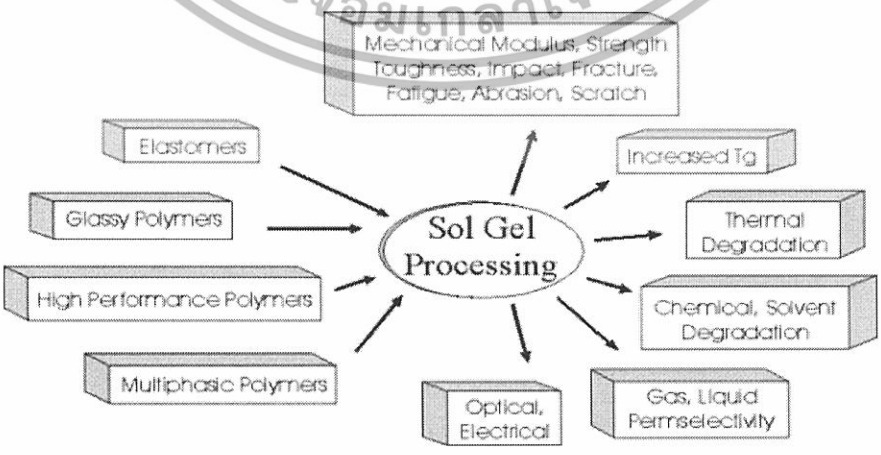
(ก) ฉนวน (ข) สารกึ่งตัวนำ (ค) ตัวนำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยทั่วไปนิยมใช้ลักษะของโครงสร้างแถบพลังงานในการแบ่งแยกชนิดของสารต่างๆ เป็นฉนวน สารกึ่งตัวนำหรือตัวนำ ลักษณะของโครงสร้างแถบพลังงานแบบง่ายดังที่แสดงไว้ในรูปที่2.2 ซึ่งประกอบไปด้วยแถบวาเลนซ์(valence band) สำหรับฉนวนที่อุณหภูมิห้องและสารกึ่งตัวนำที่อุณหภูมิศูนย์องศาสัมบูรณ์ จะมีอิเล็กตรอนอยู่เต็มและยังมีแรงทางไฟฟ้าสถิตคูลอมบ์ยึดเหนี่ยวไว้ ส่วนตัวนำจะยังคงมีที่ว่างอยู่เล็กน้อย และแถบนำ (conduction band) จะว่างสำหรับฉนวนที่อุณหภูมิห้องและกึ่งตัวนำที่อุณหภูมิศูนย์องศาสัมบูรณ์ ส่วนตัวนำมีอิเล็กตรอนอิสระบางส่วนแล้ว ระหว่างแถบวาเลนซ์และแถบนำจะไม่มีอิเล็กตรอนอยู่เลย เรียกบริเวณนี้ว่า " บริเวณต้องห้าม (forbidden region หรือ forbidden gap)" ซึ่งจะเรียกขนาดความกว้างของช่องว่างนั้นว่า "ช่องว่างแถบพลังงานหรือแถบพลังงานต้องห้าม(Energy gap;E_g)" ขนาดของ E_g นำมาใช้แบ่งแยกสารชนิดต่างๆ นั่นเอง เช่น ฉนวนจะมี $E_g > 3$ eV สารกึ่งตัวนำจะมี $E_g < 3$ eV ส่วนตัวนำมีแถบวาเลนซ์และแถบนำซ้อนเหลื่อมกันอยู่ ที่จุดสูงสุดของแถบวาเลนซ์จะเรียกว่า " ขอบของการดูดกลืนพื้นฐาน(fundamental edge หรือ band edge)" ซึ่งบอกขนาดด้วยค่า E_g นั่นเอง นอกจากนี้ค่า E_g ยังเป็นตัวกำหนดคุณสมบัติเชิงฟิสิกส์ต่างๆ ของสาร ตลอดจนการมีสีของผลึกด้วย การมีสีของผลึก อิเล็กตรอนไม่สามารถดูดกลืนพลังงานโฟตอนเพื่อจะย้ายสถานะพลังงานจากจุดสูงสุดของแถบวาเลนซ์ไปยังจุดต่ำสุดของแถบนำได้ หรืออิเล็กตรอนไม่ถูกกระตุ้นนั่นเอง ดังนั้นพลังงานโฟตอนในย่านความยาวคลื่นนั้นจะถูกส่งผ่านออกจากผลึก ทำให้เราสามารถมองเห็นผลึกเป็นสีต่างๆ ตามความยาวคลื่นย่านนั้น

2.4 การเตรียมฟิล์มบางโดยกระบวนการโซล-เจล (Sol-gel)

กระบวนการเตรียมแบบโซล-เจล (Sol-gel) เป็นกระบวนการเตรียมเชิงเคมี สามารถเตรียมได้จากวัสดุอิลาสโตเมอร์ พอลิเมอร์ จนได้สมบัติ ค่ามอดูลัส ความแข็งแรงกระแทก ความแข็งแรงโค้งงอ การสลายตัวทางความร้อน การสลายตัวทางเคมี สมบัติทางแสงที่ดีขึ้นเหมาะแก่การนำไปประยุกต์ใช้ต่อไป (รูปที่ 2.3)



รูปที่ 2.3 กระบวนการเตรียมแบบโซล- เจล [11]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การเตรียมแผ่นฟิล์มบางด้วยวิธีโซล-เจล (Sol-gel) เป็นกระบวนการเตรียมเชิงเคมีประเภทหนึ่งที่ได้รับความนิยมอย่างสูง เนื่องจากเป็นเทคนิคที่มีประสิทธิภาพสูงในการผลิตชิ้นงานที่มีคุณภาพ และนอกจากนี้ยังสามารถนำไปประยุกต์ใช้งานในการผลิตวัสดุได้หลายรูปแบบเช่น การผลิตสารเร่งปฏิกิริยา (catalysts) ตัวดูดซับ (adsorbents) แผ่นฟิล์มบาง (thin films) การฉาบผิววัสดุ (coatings) เชื้อเพลิงนิวเคลียร์ (nuclear fuels) แผ่นกรองและเส้นใยเซรามิกแก้วชนิดพิเศษ ผงขัดวัสดุชีวภาพ (biomaterials) ต่าง ๆในที่นี้จะกล่าวเฉพาะการเตรียมแผ่นฟิล์มบาง

คำว่า โซล-เจล เป็นคำที่มีลักษณะเฉพาะตัว และเกี่ยวโยงกับเทคนิคต่าง ๆ มากมายที่สามารถนำมาใช้เพื่อเตรียมสารที่มีความบริสุทธิ์สูงจากข้อมูล http://www.cerac.com ในทางการค้าของบริษัท CERACเตรียม $91In_2O_3$-$9SnO_3$ ที่มีความบริสุทธิ์สูงถึงร้อยละ 99.99โดยโมลและ $90In_2O_3$-$10SnO_3$ เตรียมได้ที่ความบริสุทธิ์ร้อยละ 99.99 โดยน้ำหนัก [11]

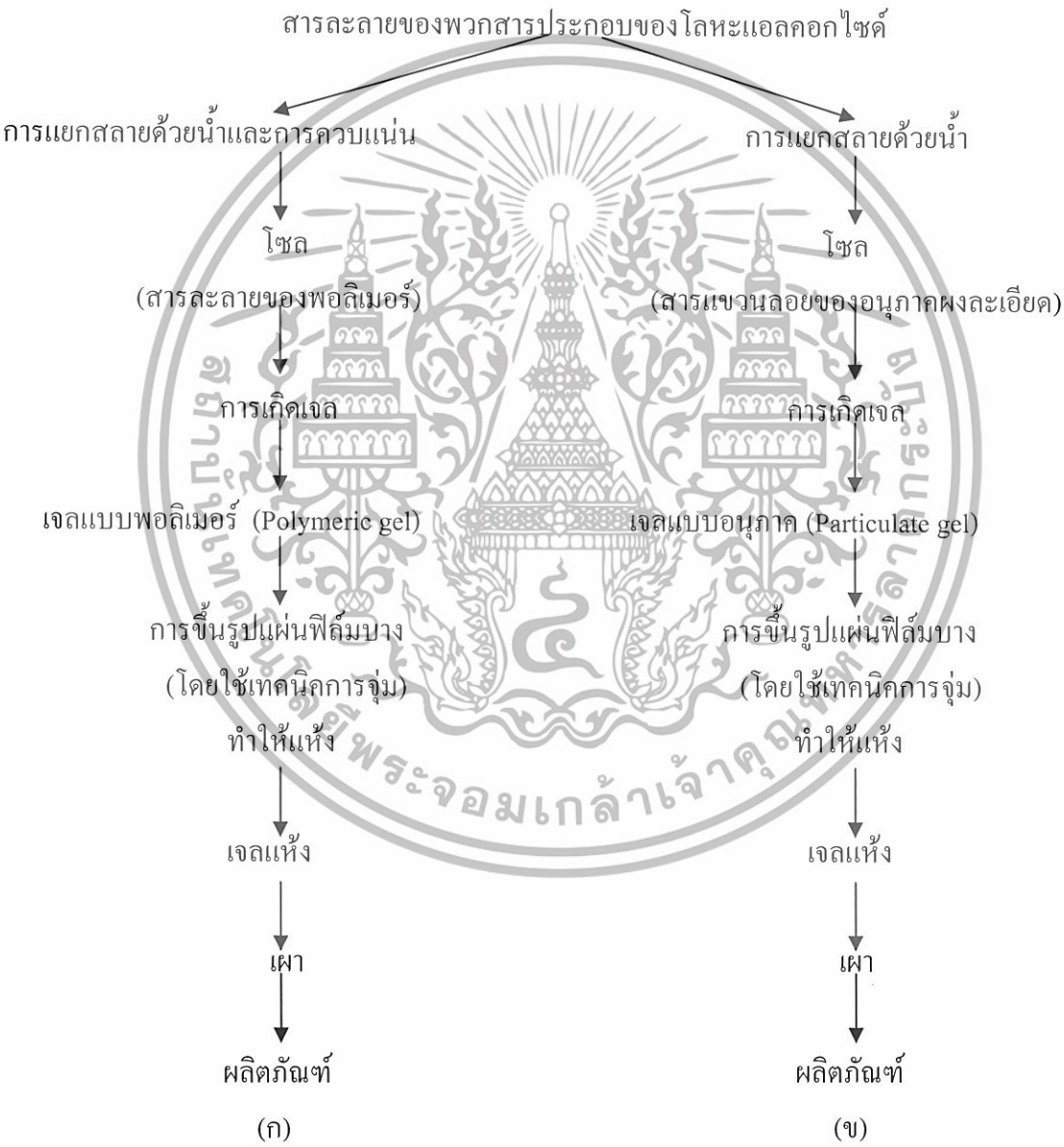
เทคนิคโซล-เจล ประกอบด้วยขั้นตอนหลักต่อไปนี้

เตรียม โซล จากการผสมสารตั้งต้นที่มีขนาดอนุภาคเล็กกว่า 0.1 ไมโครเมตร ชนิดต่าง ๆ ในปริมาณที่เหมาะสมลงในของเหลวแล้วทำให้อนุภาคเหล่านี้มีการกระจายตัวไปทั่วของเหลวอย่างเสถียร (มีสภาพเป็นคอลลอยด์แบบเสถียร) ทำการเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นด้วยการระเหยของเหลวบางส่วนออกไป หรือปล่อยทิ้งไว้เป็นเวลานานหรือมีการเติมสารนำไฟฟ้า (electrolyte) ที่เหมาะสมลงไป เพื่อเหนี่ยวนำให้เกิดการสร้างพันธะที่เชื่อมต่อกันเป็นโครงข่ายต่อเนื่องในสามมิติคล้ายคลึงกับกระบวนการเกิดพอลิเมอร์ ซึ่งจะทำให้ตัวโซลมีความหนืดมากขึ้นเรื่อย ๆ จนกลายเป็น เจล (มวลกึ่งแข็ง)กระบวนการที่คล้ายกับการเกิดพอลิเมอร์ (polymerization) ซึ่งจะเป็นกลไกสำคัญที่คอยควบคุมการยึดเกาะกันขององค์ประกอบทางเคมี และช่วยป้องกันไม่ให้เกิดมีการแยกออกไปกองอยู่ด้านใดด้านหนึ่งมากเกินไป ในการเกิดเจล (gelation) อาศัยกลไกการแยกสลายด้วยน้ำ (hydrolysis) และกลไกการควบแน่น (condensation) เป็นสำคัญ ทำการระเหยของเหลวที่อยู่ในตัวเจลออกไป (dehydration) ความแข็งแรงของตัวเจลจะช่วยป้องกันไม่ให้อะตอมย้ายตำแหน่งหรือหลุดแยกออกไปจากกันในระหว่างที่มีการทำให้เจลแห้ง จึงช่วยให้สามารถรักษาความสม่ำเสมอและเป็นเนื้อเดียวกันในระดับโมเลกุลให้คงอยู่ได้ นอกจากนี้การกำจัดของเหลวออกไปจากตัวเจลภายใต้ภาวะวิกฤตยวดยิ่ง (supercritical) หรือภาวะวิกฤตเกิน (hypercritical) ทำให้ไม่มีการหดตัวของเจลที่แห้งแล้วจึงไม่มีการเกาะกลุ่มก้อนแน่นขนาดใหญ่เกิดขึ้น จึงมีความเปราะสามารถบดย่อยเจลที่แห้งแล้วให้กลายเป็นผงละเอียดได้ง่าย (สามารถใช้ลูกบดพลาสติกในการบดย่อยได้) เกิดโอกาสที่จะมีการปนเปื้อนเนื่องจากการบดย่อยมีน้อยและสามารถทำการเผาเจลที่ปราศจากน้ำให้เปลี่ยนไปเป็นสารประกอบตามต้องการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

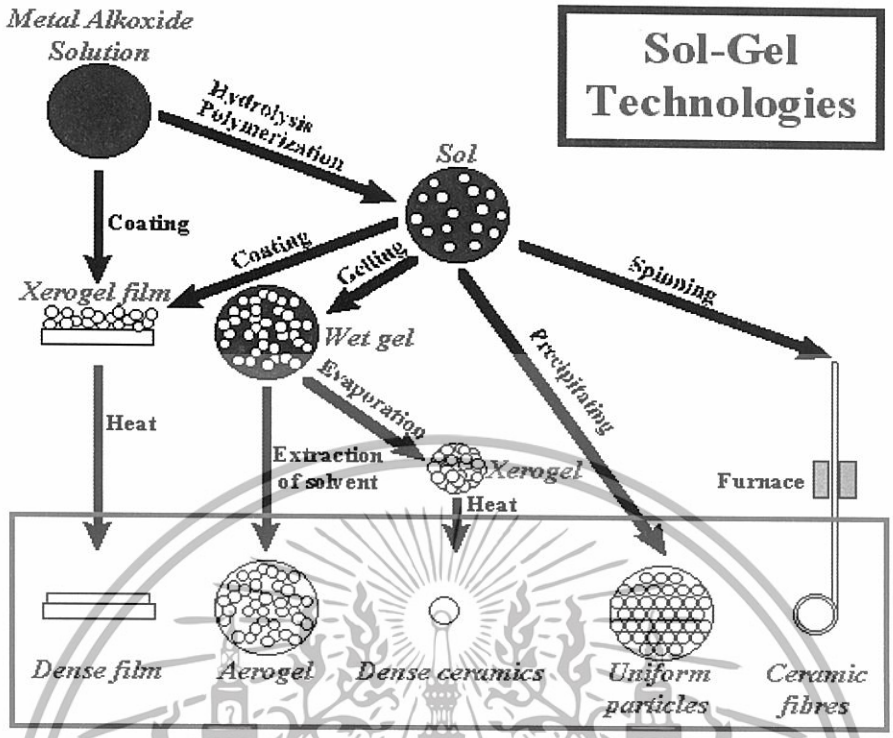
แผ่นฟิล์มบางที่เตรียมได้โดยวิธีการโซล-เจลจะมีฟิล์มที่มีขนาดอนุภาคเล็กละเอียดมาก ประมาณ 20-50 นาโนเมตร และมีพื้นที่ผิวหน้ามาก การเผาทำให้ผลึกเกิดการแน่นตัวจึงสามารถกระทำได้ด้วยการใช้อุณหภูมิไม่สูงมาก

การจัดแบ่งประเภทของวิธีการเตรียมแบบโซล-เจลนั้นสามารถกระทำได้โดยพิจารณาจากการเลือกโซล หรือสารละลายมาใช้เป็นสารตั้งต้นดังแสดงได้ด้วยไดอะแกรมพื้นฐานของขั้นตอนการเตรียมแบบพอลิเมอร์ และแบบคอลลอยด์ในรูปที่ 2.4



รูปที่ 2.4 ลำดับขั้นตอนต่าง ๆของกระบวนการเตรียมด้วยเทคนิคโซล-เจล แบบ [19]
(ก) พอลิเมอร์ และ (ข) คอลลอยด์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.5 การเปลี่ยนแปลงสถานะของโซลในรูปแบบต่างๆในกระบวนการโซล-เจล [11]

จากรูปที่ 2.5 จะอธิบายได้ว่า

1. สารละลายของสารประกอบแอลคอกไซด์เมื่อนำมาเคลือบโดยยังไม่ได้ผ่านกระบวนการใดๆจะเรียกว่าซีโรเจล (Xerogel) เป็นเจลที่ยังไม่สามารถนำไปทำการขึ้นรูปใดๆได้ต้องนำไปผ่านกระบวนการต่อไปก่อน ในรูปนี้จะมีการนำไปให้ความร้อนมีเวลาในการจัดเรียงตัวให้เกาะกันมากขึ้นและแน่นขึ้นกลายเป็นฟิล์มความหนาแน่นสูง (Dense film) ที่มีลักษณะแข็งคล้ายเซรามิกซ์

2. สารละลายของสารประกอบแอลคอกไซด์เมื่อมีการผ่านกระบวนการแยกสลายด้วยน้ำหรือที่คล้ายกับการเกิดพอลิเมอร์ จะเกิดการกำจัดน้ำออกไปกลายเป็นโซล เมื่อ โซลไปขึ้นรูปด้วยวิธีต่าง ๆก็จะได้ผลิตภัณฑ์ที่มีรูปแบบไม่เหมือนกัน

2.1 ถ้านำโซลไปเคลือบจะได้ฟิล์มของซีโรเจล (Xerogel)

2.2 ถ้านำมาผ่านกระบวนทำโซลให้กลายเป็นเจล (Gelling) จะได้เจลที่อิ่มตัวด้วยน้ำ (Wet gel)

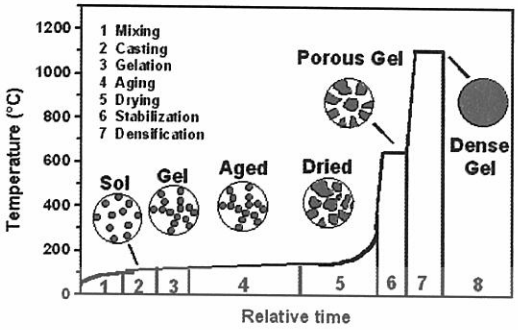
2.2.1 นำไปแยกต่อด้วยการระเหยจะได้ซีโรเจล (Xerogel) ที่รวมกันเป็นกลุ่มก้อนให้ความร้อนจะได้เซรามิกซ์ที่มีความหนาแน่นสูง

2.2.2 นำเจลที่อิ่มตัวด้วยน้ำ (wet gel) แล้วนำไปกำจัดน้ำโดยการสกัดสารละลายออกได้แอโรเจล (Aerogel)

2.3 ทำการตกตะกอนของโซลจะได้อนุภาคที่มีขนาดสม่ำเสมอ (Uniform particle)

2.4 นำโซลที่ได้ไปสปิน (spinning) ให้ความร้อนจะได้เส้นใยเซรามิกซ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

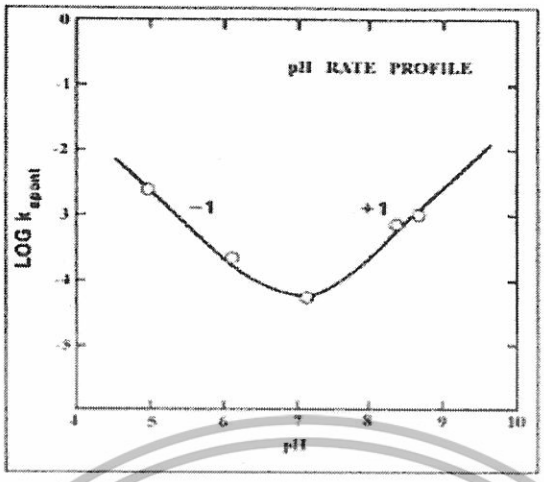


รูปที่ 2.6 รูปแบบของผลึกที่เป็นผลมาจากอุณหภูมิ [11]

จากรูปที่ 2.6 แสดงถึงอุณหภูมิที่มีผลต่อรูปแบบของผลึก ถ้าทำที่อุณหภูมิประมาณ 200 องศาเซลเซียส จะเกิดกระบวนการเปลี่ยนแปลงจากโซล(Sol) กลายเป็นเจล (Gel) และเจลที่ผ่านการบ่มเพาะ (Aged) จะกลายเป็นเจลที่แห้ง (Dried) ขึ้นกับระยะเวลาที่ใช้และถ้าให้อุณหภูมิประมาณ 750 องศาเซลเซียสจะเกิดเจลที่มีรูพรุน (Porous Gel) ถ้าให้อุณหภูมิสูงขึ้นถึงประมาณ 1100 องศาเซลเซียสจะเกิดเจลที่มีความหนาแน่นสูง (Dense Gel)

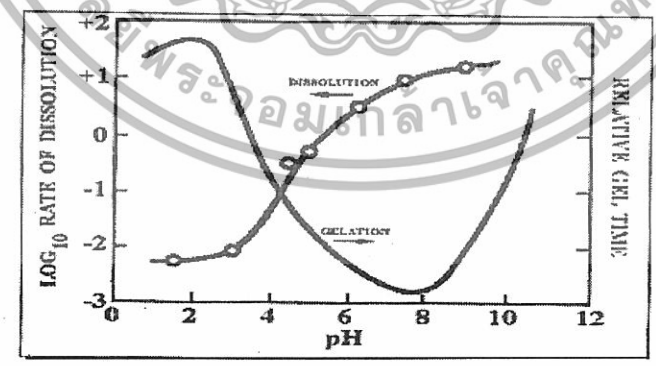
ในการเลือกสารละลายนั้น ส่วนใหญ่จะเลือกพวกสารละลายของสารประกอบโลหะอินทรีย์ เช่น โลหะแอลคอกไซด์ ที่อยู่ในแอลกอฮอล์ที่เหมาะสม โดยที่โลหะแอลคอกไซด์เหล่านี้จะมีสูตรทั่วไปว่า $M(OR)_x$ ซึ่งอาจจะได้มาจากพวกไฮดรอกไซด์ของโลหะ $M(OH)_x$ หรืออาจจะมาจากพวกแอลกอฮอล์ (ROH) ที่มี R เป็นสารในกลุ่มแอลคิลที่มีโลหะ เข้าไปอยู่แทนที่ของไฮดรอกซิลโปรตอน โดยอาศัยการกวนให้เข้ากันอย่างสม่ำเสมอภายใต้อุณหภูมิที่สูงกว่าอุณหภูมิห้องเพียงเล็กน้อย (ปกติจะใช้อุณหภูมิประมาณ 50-90 องศาเซลเซียส) และจะต้องมีความเข้มข้นของตัวทำปฏิกิริยาและค่าพีเอชของสารละลายที่เหมาะสม จากตัวอย่างการวิจัยที่แสดงการศึกษาถึงผลของตัวแปร ดังนี้ อัตราส่วนที่ใช้ คือ In : Sn 90 : 10 , 70 : 30 และ 50 : 50 จะส่งผลต่อสมบัติ เช่นความหนา ความต้านทานและค่าพีเอช เป็นอีกปัจจัยหนึ่งที่ส่งผลต่อปฏิกิริยาที่เกิดขึ้น ค่าพีเอชในการแยกสลายด้วยน้ำ ดังเช่นกระบวนเกิดพอลิเมอร์ (polymerization) ค่าพีเอชจะแบ่งเป็นสามส่วนคือ พีเอชน้อยกว่า 2 พีเอช 2-7 และ พีเอชมากกว่า 7 ส่งผลดังรูปที่ 2.7

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.7 ขอบเขตของค่า พีเอช (pH rate) ในการHydrolysis [19]

ผลของความเข้มข้นของตัวเร่งปฏิกิริยา โดยทั่วไปปฏิกิริยาการแยกสลายด้วยน้ำจะพบว่าเป็นปฏิกิริยาอันดับหนึ่ง (first-order) แต่เมื่อความเข้มข้นมากขึ้นจะเพิ่มเป็นปฏิกิริยาอันดับสอง (second-order)และถ้าตัวเร่งเป็นเบสในปฏิกิริยาการแยกสลายด้วยน้ำจะเกิดปฏิกิริยาช้ากว่าตัวเร่งที่เป็นกรด ส่วนช่วงปฏิกิริยาการควบแน่น อัตราการเปิดวงของการเกิดพอลิเมอร์และการเติมมอนอเมอร์ขึ้นกับพีเอชจะต่ำกว่าพีเอช 2 อัตราการเกิดปฏิกิริยาการควบแน่นจะขึ้นกับสัดส่วนความเข้มข้นของโปรตอน พีเอช 2-6 อัตราการเกิดจะขึ้นกับสัดส่วนความเข้มข้นของไฮดรอกไซด์ พีเอชประมาณ 7 ในปฏิกิริยาการเกิดพอลิเมอร์จะเหมือนกับในช่วง พีเอช 2-6 ดังรูปที่2.8



รูปที่2.8 อัตราการละลายและความสัมพันธ์ของเวลาของการเกิดเจลที่เป็นฟังก์ชั่นของค่าพีเอช [19]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ต้องการให้มีอัตราการเกิดปฏิกิริยาที่ช้าเนื่องจากเวลานานจะทำให้เกิดการกระจายตัวที่ดี และได้สัดส่วนของอินเดียมและทินเป็นสัดส่วนตามที่ต้องการ ค่าพีเอชที่เลือกใช้จึงจำเป็นต้องเลือกให้สอดคล้องกับอัตราการเกิดปฏิกิริยา เพื่อที่ขั้นการแยกด้วยน้ำและขั้นการควบแน่นสามารถที่จะเกิดได้อย่างสมบูรณ์ ต้องเลือกจุดที่เหมาะสมคือช่วงประมาณพีเอช 2-3 ถ้าเลือกค่าพีเอชที่เป็นเบสจะเกิดการตกตะกอนไม่เกิดเป็นเจลไม่สามารถนำไปทำการขึ้นรูปได้

จึงจำเป็นต้องทำให้เกิดปฏิกิริยาการแยกสลายด้วยน้ำ (hydrolysis) และการควบแน่น (condensation) แล้วได้สายโซ่พอลิเมอร์ออกมายกตัวอย่างเช่นในกรณีที่ใช้พวกโลหะที่มีเวเลนซ์อิเล็กตรอนเท่ากับสอง (M^{2+}) อาจจะเกิดปฏิกิริยาขึ้นดังนี้

การแยกสลายด้วยน้ำ

$$M\text{-}O\text{-}R + H_2O \longrightarrow M\text{-}OH + R\text{-}OH \qquad (2.1)$$

การควบแน่นด้วยน้ำ

$$M\text{-}O\text{-}H + HO\text{-}M \longrightarrow M\text{-}O\text{-}M + H_2O \qquad (2.2)$$

การควบแน่นด้วยแอลกอฮอล์

$$M\text{-}O\text{-}R + HO\text{-}M \longrightarrow M\text{-}O\text{-}M + R\text{-}OH \qquad (2.3)$$

การเกิดเป็นพอลิเมอร์ทำได้โดยอาศัยกลไกการแยกสลายด้วยน้ำและการควบแน่น โดยกลไกการแยกสลายด้วยน้ำจะเกิดขึ้นก่อนแล้วกลไกการควบแน่นทั้งของแอลกอฮอลล์และจะเกิดขึ้นพร้อมกัน ถ้าสภาวะนั้นมีทั้งน้ำและแอลกอฮอลล์ แต่กลไกของการควบแน่นด้วยแอลกอฮอลล์จะมีอัตราการเกิดช้ากว่าการควบแน่นด้วยน้ำซึ่งอัตราเร็วของปฏิกิริยาจะมีผลต่อสัดส่วนของพอลิเมอร์หลังจากกลไกการควบแน่น แล้วเกิดมีการต่อเชื่อมข้ามสายจนเกิดการพันกันเป็นโครงข่ายสามมิติ ทำให้สารผสมมีความหนืดสูงมากขึ้นเรื่อยๆ จนเข้าสู่สภาพที่เรียกว่า เจล นั่นเอง

สารละลายเริ่มต้นสามารถเตรียมมาจากลักษณะทางเคมีได้หลายรูปแบบ เช่น สารละลายของสารประกอบระหว่างสารอินทรีย์กับโลหะ (metallo-organic) สารละลายพวกพอลิเมอร์ (polymeric) และสารละลายพวกไอออนิก เป็นต้น ซึ่งรูปแบบทางเคมีของสารตั้งต้นที่เลือกใช้จะเป็นตัวแปรสำคัญที่คอยกำหนดลักษณะเฉพาะทางกายภาพของเจลที่เกิดขึ้นมา เช่น ลักษณะโครงสร้าง และการแจกแจงของความหนาแน่นภายในโครงข่ายของเจลเป็นต้น (รูปที่ 2.9)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การเกิดโครงสร้างลักษณะต่างๆ กันดังรูปสามารถอธิบายได้ดังนี้

1. โครงข่ายอนุภาค (particle network)

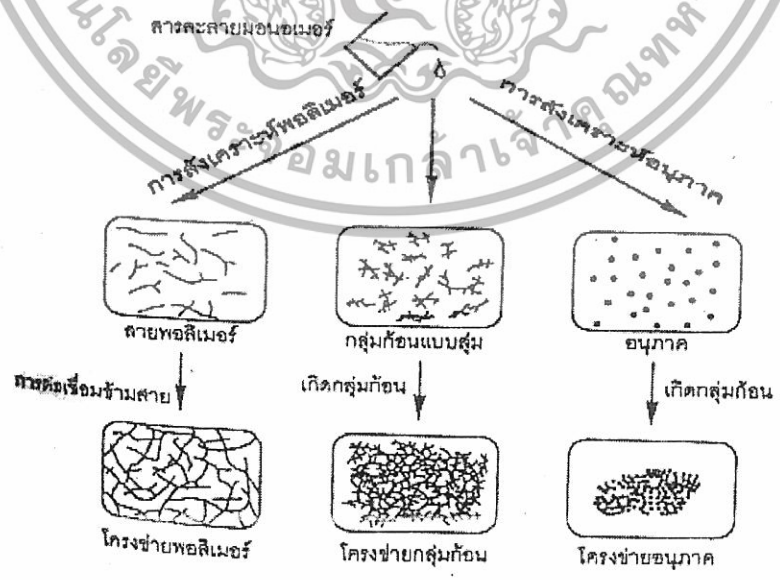
เป็นโครงข่ายที่มีการแจกแจงของความหนาแน่นสูง และไม่สม่ำเสมอตลอดแนวเกิดขึ้นจากการเกาะกลุ่มกันของอนุภาค โดยมีลักษณะทางเคมีของพื้นผิวอนุภาคเป็นตัวกำหนดสมบัติการแขวนลอย และลักษณะโครงสร้างของการเกาะกันของอนุภาคด้วยเช่นกัน เนื่องจากจะส่งผลโดยตรงต่ออัตราการเกาะกลุ่มกันของอนุภาค และขนาดของแต่ละกลุ่มอนุภาคที่จะเกิดขึ้น

2. โครงข่ายกลุ่มก้อน (aggregate network)

เป็นโครงข่ายที่มีการแจกแจงของความหนาแน่นต่ำ และมีความไม่สม่ำเสมอตลอดแนวเกิดขึ้นจากการรวมกันของกระจุกอนุภาคเป็นหย่อมๆ เป็นกรณีที่เกิดขึ้นในการเตรียมสารละลายภายใต้สภาวะที่มีของแข็งตกตะกอนออกมาเป็นอนุภาคที่มีขนาดเล็กมากๆ (เนื่องมีความอิ่มตัวยวดยิ่งสูง) ทำให้อนุภาคเกิดการจับตัวกันเป็นกลุ่มก้อนขึ้นในระหว่างที่กำลังมีการตกตะกอนและจะได้โครงข่ายที่มีความแข็งแรงสูงเกิดขึ้น

3. โครงข่ายพอลิเมอร์ (polymer network)

เป็นโครงข่ายที่มีการแจกแจงของความหนาแน่นต่ำ และมีความสม่ำเสมอตลอดแนวเกิดขึ้นจากการต่อเชื่อมข้ามสาย (crosslinking polymers) ของพวกพอลิเมอร์ที่มีไอออนของโลหะที่ต้องการปนอยู่ ในบางกรณีจะมีการใช้พวกพอลิเมอร์อินทรีย์ที่ประกอบด้วยชุดของพันธะโลหะกับออกซิเจนเป็นแกนกลาง



รูปที่ 2.9 ขั้นตอนการเกิดเป็นโครงสร้างของพวกโลหะอินทรีย์ในสารละลาย [19]

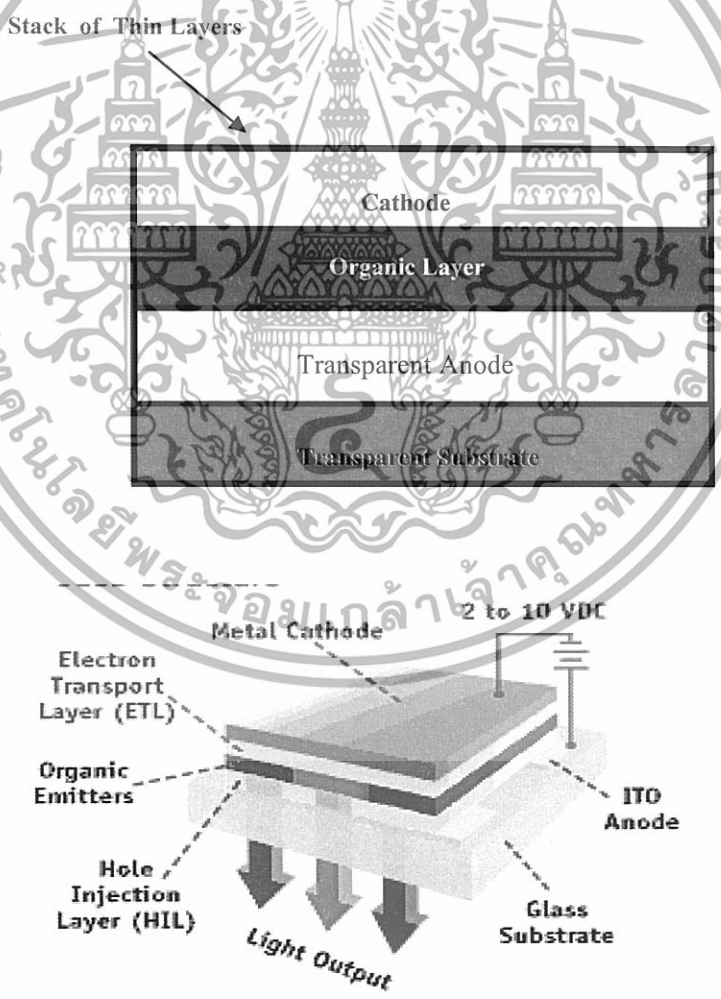
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.5 การขึ้นรูปฟิล์มบางโดยวิธีอื่นๆ

เทคนิคที่ใช้ในการเคลือบฟิล์มบางที่นิยมและแพร่หลาย มีหลายวิธีซึ่งมีบางส่วนมีหลักการที่เหมือนกันและต่างกัน ตัวอย่างที่ ใช้ในการขึ้นรูปฟิล์มบางได้แก่ วิธีสปัตเตอริง (Sputtering) วิธีการพ่นแยกสลายด้วยความร้อน (Spray pyrolysis) วิธีCVD (Chemical Vapor Deposition) วิธีการหล่อแผ่นบาง (Tape Casting)

2.6 การประยุกต์ใช้งานของอินเดียมทินออกไซด์

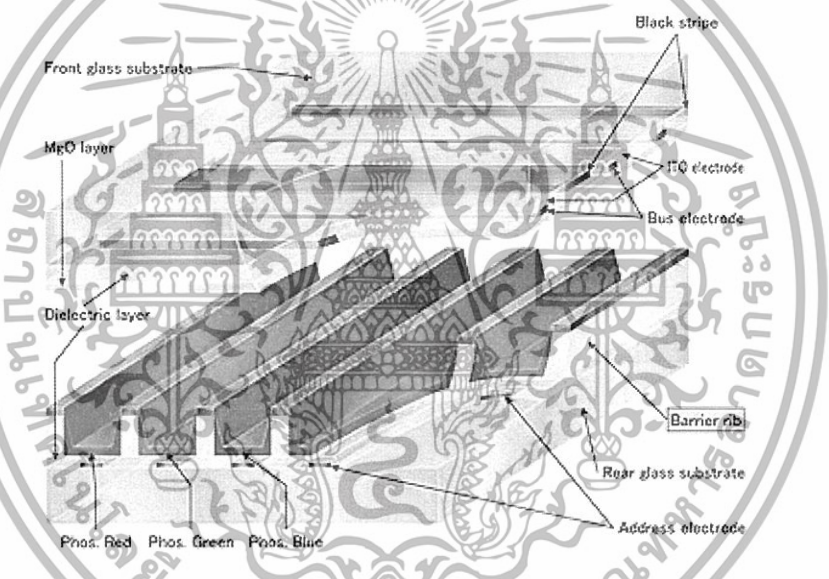
1. ใช้ในการทำจอภาพ OLED โดยฟิล์มบางอินเดียมทินออกไซด์นั้นจะทำหน้าที่เป็นแอโนดโดยถูกเคลือบอยู่ที่ชั้นหน้าสุดของกระจก ถัดจากนั้นจะเป็นชั้นของสารอินทรีย์ซึ่งชั้นแรกจะทำจากอะโรมาติกไดเอมีน ส่วนชั้นที่สองจะเป็น metal chelate complex ซึ่งจะเป็นชั้นที่ทำการปลดปล่อยแสงออกมา และในชั้นสุดท้ายจะเป็นแคโทดที่ทำจากแมกนีเซียมและเงิน (รูปที่ 2.10)



รูปที่ 2.10 โครงสร้างทั่วไปของจอภาพ OLED [12]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

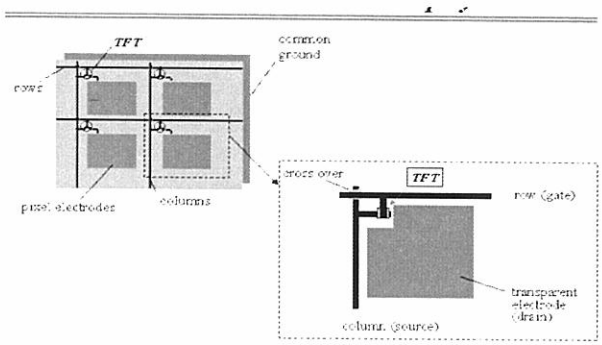
2. ใช้ในการทำมอนิเตอร์ LCD แบบ Passive matrix โดยเริ่มจากชั้นแก้ว 2 ชั้น ที่เรียกว่าตัวรองรับ(Substrate)โดยชั้นหนึ่งจะเป็นการสร้างคอลัมน์(Column) ส่วนอีกชั้นจะเป็นการสร้างแถว (Row) ซึ่งสร้างมาจากวัสดุนำไฟฟ้าที่โปร่งใสซึ่งมักจะเป็น Indium-Tin Oxide แถวกับคอลัมน์จะถูกเชื่อมต่อเข้ากับวงจรไฟฟ้า ที่ทำหน้าที่ควบคุมว่าเมื่อใดแรงดันไฟฟ้า จะถูกจ่ายให้กับแถว หรือคอลัมน์ใด คริสตัลเหลวก็จะถูกประกบเป็นแซนด์วิชกับชั้นตัวรองรับ แล้วฟิล์มหักเหแสงจะถูกเพิ่มเข้าไปในแต่ละด้านของตัวรองรับ เวลาที่จะให้พิกเซลใด ๆ ส่องแสงสว่างออกมา วงจรไฟฟ้าก็จะทำการจ่ายแรงดันไฟฟ้ามายังคอลัมน์ที่ต้องการ แล้วทำการเชื่อมกราวด์ (Ground) กับแถวที่ต้องการ ผลก็คือกระแสไฟฟ้าจะไหลได้ครบวงจรพอดี ส่งผลให้คริสตัลเหลว ณ จุดนั้นคลายการบิดตัว(รูปที่ 2.11)



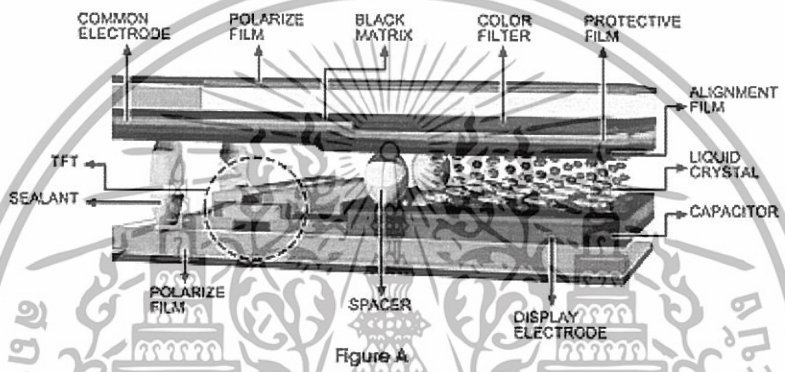
รูปที่ 2.11จอ LCD แบบPassive matrix [12]

3. ใช้ในการทำมอนิเตอร์ LCD แบบ Active matrix (TFT LCD Monitor) จะใช้ทรานซิสเตอร์ชนิดฟิล์มบาง (Thin Film Transistor - TFT) โดยทำจากฟิล์มบางอินเดียมทินออกไซด์ ซึ่งทำหน้าที่เป็นตัวสวิซชิ่งทรานซิเตอร์และตัวเก็บประจุ(รูปที่ 2.12 และ 2.13)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.12 Thin-Film-Transistor or active matrix displays



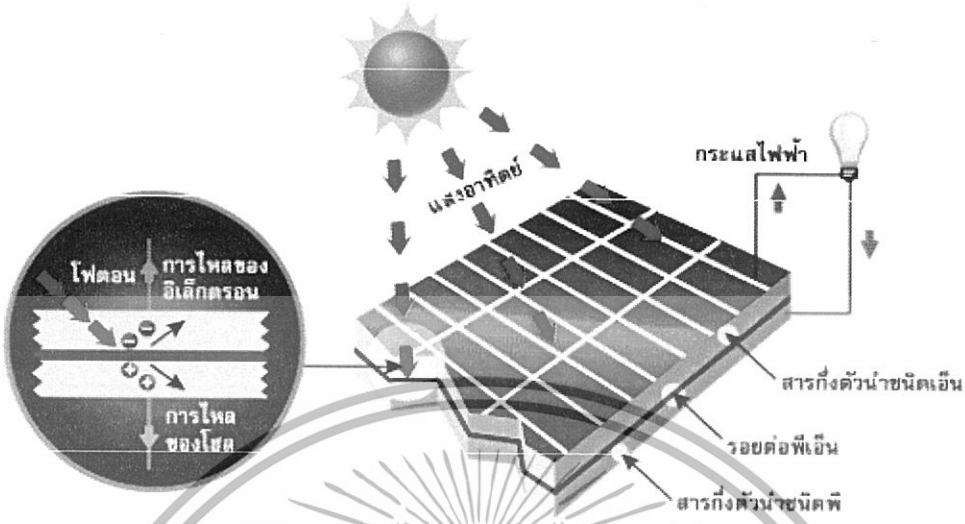
รูปที่ 2.13 จอ LCD แบบ Active matrix [12]

4. ใช้ในการทำเซลล์แสงอาทิตย์ (Solar Cell) โดยใช้เป็นขั้วลบของเซลล์แสงอาทิตย์

หลักการทำงานทั่วไปของเซลล์แสงอาทิตย์

เมื่อมีแสงอาทิตย์ตกกระทบเซลล์แสงอาทิตย์ จะเกิดการสร้างพาหะนำไฟฟ้าประจุลบและบวกขึ้น ได้แก่ อิเล็กตรอนและ โฮล โครงสร้างรอยต่อพีเอ็นจะทำหน้าที่สร้างสนามไฟฟ้าภายในเซลล์ เพื่อแยกพาหะนำไฟฟ้าชนิดอิเล็กตรอนไปที่ขั้วลบ และพาหะนำไฟฟ้าชนิดโฮลไปที่ขั้วบวก (ปกติที่ฐานจะใช้สารกึ่งตัวนำชนิดพี ขั้วไฟฟ้าด้านหลังจึงเป็นขั้วบวก ส่วนด้านรับแสงใช้สารกึ่งตัวนำชนิดเอ็น ขั้วไฟฟ้าจึงเป็นขั้วลบ) ทำให้เกิดแรงดันไฟฟ้าแบบกระแสตรงที่ขั้วไฟฟ้าทั้งสอง เมื่อต่อให้ครบวงจรไฟฟ้าจะเกิดกระแสไฟฟ้าไหลขึ้น(รูปที่ 2.14)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.14 หลักการทำงานทั่วไปของเซลล์แสงอาทิตย์ [12]

การประยุกต์ใช้งานอื่นๆของอินเดียมทินออกไซด์

ใช้ในการทำไมโครชิพ

ใช้เป็นขั้วไฟฟ้าโปร่งแสง

ใช้ในอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์และอุปกรณ์ที่ใช้ในงานด้านแสง

ใช้ในการทำหน้าต่างรถยนต์อีกด้วย

2.7 การวิเคราะห์สมบัติของฟิล์มบางโดยเทคนิคต่างๆ

2.7.1 การวิเคราะห์โดยเทคนิคการเลี้ยวเบนด้วยรังสีเอกซ์

เมื่อปี ค.ศ.1895 W.C. Rontgen ได้ค้นพบรังสีเอกซ์ (X-rays) ซึ่งเป็นสเปกตรัมของการแผ่รังสีแม่เหล็กไฟฟ้าช่วงหนึ่ง มีความยาวคลื่นอยู่ในช่วง 0.1-100 อังสตรอม หรือเท่ากับ 0.01-10 นาโนเมตร แต่ที่ใช้ในทางเคมีวิเคราะห์จะอยู่ในช่วง 0.07-0.2 นาโนเมตร รังสีเอกซ์จัดว่าเป็นแหล่งพลังงานที่สำคัญในการศึกษาทางวิทยาศาสตร์หลาย ๆ ด้าน การเกิดอันตรกิริยาของรังสีเอกซ์กับสสารนั้นก่อให้เกิดปรากฏการณ์ต่าง ๆ เช่น เกิดการเปล่งแสงบางชนิด (emission) การดูดกลืน (absorption) การกระเจิง (scattering) หรือเกิดการเลี้ยวเบน (diffraction) เป็นต้น ซึ่งเป็นลักษณะเฉพาะของแต่ละสารที่สามารถนำมาใช้ในการวิเคราะห์ทางเคมีได้ดังนี้ คือ

เอกสารนี้สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

1. ใช้วิเคราะห์หาองค์ประกอบของธาตุต่าง ๆ ในสารทั้งในเชิงคุณภาพและปริมาณ

2. ใช้ศึกษาโครงสร้างอิเล็กทรอนิกส์ ซึ่งสามารถให้ข้อมูลเกี่ยวกับการเกิดพันธะเคมี

3. ใช้ศึกษาเกี่ยวกับโครงสร้างของผลึก หรือโมเลกุลของสารด้วยการใช้เทคนิคการเลี้ยวเบนด้วยรังสีเอกซ์

2.7.1.1 หลักการทั่วไปของการเกิดรังสีเอกซ์

รังสีเอกซ์เกิดจากการระดมยิง (bombard) วัตถุ เช่น โลหะหรือสารประกอบ ด้วยอนุภาคที่มีพลังงานสูง เช่น ลำอิเล็กตรอน โปรตอน หรือ โฟตอน (รังสีเอกซ์หรือรังสีแกมมา) อิเล็กตรอนของอะตอมในวัตถุนั้น เมื่อถูกระดมยิงทำให้อิเล็กตรอนในชั้นภายในหลุดออกไป เมื่อเกิดที่ว่างขึ้นอิเล็กตรอนจากเซลล์นอกซึ่งมีพลังงานสูงกว่าจะเข้ามาแทนที่

2.7.1.2 สมบัติของรังสีเอกซ์

รังสีเอกซ์มีลักษณะคล้ายรังสีแกมมาดังนั้นเมื่อรังสีเหล่านี้ผ่านเข้าไปในวัตถุจะเกิดปรากฏการณ์หลาย ๆ อย่าง เช่น การดูดกลืน การเลี้ยวเบน เกิดอันตรกิริยากับวัตถุ ทำให้วัตถุนั้นเกิด ไอออไนเซชัน เป็นต้น

2.7.1.3 การดูดกลืนรังสีเอกซ์

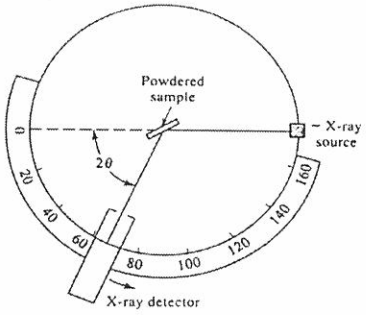
เมื่อให้ลำรังสีเอกซ์แคบๆ ผ่านวัตถุที่บางๆ ความเข้มหรือกำลังของรังสีเอกซ์จะลดลง เนื่องจากถูกดูดกลืนและเกิดการกระเจิง ผลที่เกิดจากการกระเจิงสำหรับธาตุเบา ๆ จะมีน้อยมาก การดูดกลืนรังสีเอกซ์จะเกิดขึ้นมากกว่า เช่น ในกรณีการศึกษาการถูกดูดกลืนสเปกตรัมของเงินและตะกั่ว พบว่า การทำให้อิเล็กตรอนในชั้น K ของเงินหลุดนั้นง่ายกว่าของตะกั่ว โดยที่ตะกั่วมีเลขอะตอมสูงกว่าเงิน ปรากฏการณ์จะเป็นเช่นนี้กับธาตุอื่น ๆ ด้วย นั่นคือ อิเล็กตรอนในชั้น K ของธาตุที่มีเลขอะตอมต่ำกว่าจะทำให้หลุดออกไปง่ายกว่าธาตุที่มีเลขอะตอมสูงกว่า

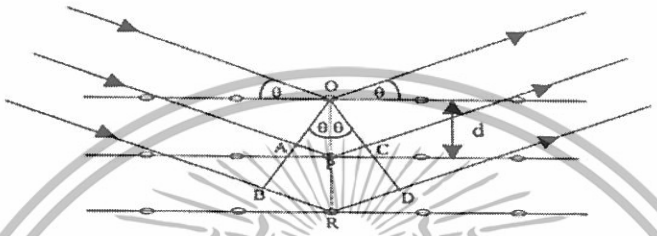
2.7.1.4 การเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์

เมื่อลำรังสีเอกซ์ตกกระทบผิวหน้าผลึก โดยทำมุม θ บางส่วนของรังสีเอกซ์จะเกิดการกระเจิงด้วยชั้นอะตอมที่ผิวหน้า อีกส่วนหนึ่งของรังสีเอกซ์จะผ่านไปยังชั้นที่ 2 ของอะตอม ซึ่งบางส่วนก็เกิดการกระเจิงและส่วนที่เหลือก็จะผ่านเข้าไปยังชั้นที่ 3 ของอะตอม ดังแสดงในรูปที่ 2.15

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

107747





รูปที่ 2.15 ลักษณะของการตรวจสอบวัฏภาคและแบบจำลองสำหรับการพิสูจน์กฎของแบรกก์ [26]

ลำรังสีเอกซ์ที่ผ่านเข้าไปในแต่ละชั้นของอะตอม จะเกิดการเลี้ยวเบนเป็นแบบเดียวกัน ถ้าอะตอมในผลึกอยู่กันอย่างเป็นระเบียบและห่างเท่า ๆ กัน การเลี้ยวเบนนี้ก็มีลักษณะคล้ายกับการเลี้ยวเบนด้วยเกรตติงแบบสะท้อน (reflection) สิ่งสำคัญในการเกิดการเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์ขึ้นอยู่กับภาวะ 2 ประการ คือ

- รังสีที่ตกกระทบ รังสีที่เลี้ยวเบนและเส้นตรงตั้งฉากกับผิวหน้าต้องอยู่ระนาบเดียวกัน
- ระยะห่างระหว่างชั้นของอะตอมควรมีค่าใกล้เคียงกับความยาวคลื่นของรังสีเอกซ์

เมื่อปี ค.ศ. 1912 W.L.Bragg ได้ใช้ลำรังสีเอกซ์แคบ ๆ ให้กระทบผิวหน้าผลึกเป็นมุม θ เพื่อให้เกิดการเลี้ยวเบนและการกระเจิง เมื่อเกิดอันตรกิริยากับอะตอมที่ O P และ R ถ้า

$AP + PC = n\lambda$ เมื่อ n = ตัวเลขจำนวนเต็ม

รังสีที่กระเจิงจะอยู่ในวัฏภาคที่ OCD ผลึกก็จะทำหน้าที่สะท้อนรังสีเอกซ์ จะเห็นว่า

$AP = PC = d\sin\theta$ (d = ระยะระหว่างชั้นของผลึก)

ดังนั้น อาจเขียนใหม่ได้ว่า เมื่อคลื่นแสงเกิดการแทรกสอดแบบเสริมกัน (constructive interference) ที่มุม θได้เป็น

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

สมการนี้เรียกว่า Bragg equation

รังสีเอกซ์จะเกิดการสะท้อนจากผลึกได้ ถ้ามุมตกกระทบเป็นแบบ

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

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ส่วนมุมอื่น ๆ จะเกิดการหักล้างกัน (destructive interference)

เทคนิคนี้เป็นการตรวจสอบโดยอาศัยหลักการเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์ เมื่อรังสีเอกซ์ตกกระทบบนผิววัตถุซึ่งมีโครงสร้างเป็นรูปผลึกและมีการจัดเรียงของอะตอมอย่างเป็นระเบียบที่มีลักษณะเป็นระนาบ (hkl) จะทำให้เกิดการกระเจิง (scattering)ของรังสีเอกซ์เกิดขึ้น หลังจากนั้นรังสีเอกซ์จะเกิดการเลี้ยวเบน โดยที่มุมเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์ที่ออกจากผลึกจะเป็นลักษณะเฉพาะตามชุดระนาบนั้น ๆ และสามารถที่จะเกิดการแทรกเสริมกันได้เมื่อเป็นรังสีที่เลี้ยวเบนมาจากชุดระนาบเดียวกัน เมื่อนำเครื่องตรวจวัด (detector) มาวางที่ตำแหน่งมุมที่เกิดการเลี้ยวเบน ก็จะสามารถตรวจสอบได้ว่ารังสีที่ตรวจจับได้นั้นมาจากระนาบใดและมีปริมาณเท่าใด โดยดูจากค่ามุมและความเข้มของรูปแบบการเลี้ยวเบนที่ปรากฏ ซึ่งสารประกอบแต่ละชนิดจะมีรูปแบบการเลี้ยวเบนที่เป็นลักษณะเฉพาะแตกต่างกันไปตามลักษณะโครงสร้าง

2.7.1.5 ความสามารถในการตรวจวิเคราะห์ของเครื่องเอกซ์เรย์ดิฟแฟรกโตมิเตอร์ (x-ray diffractometer , XRD)

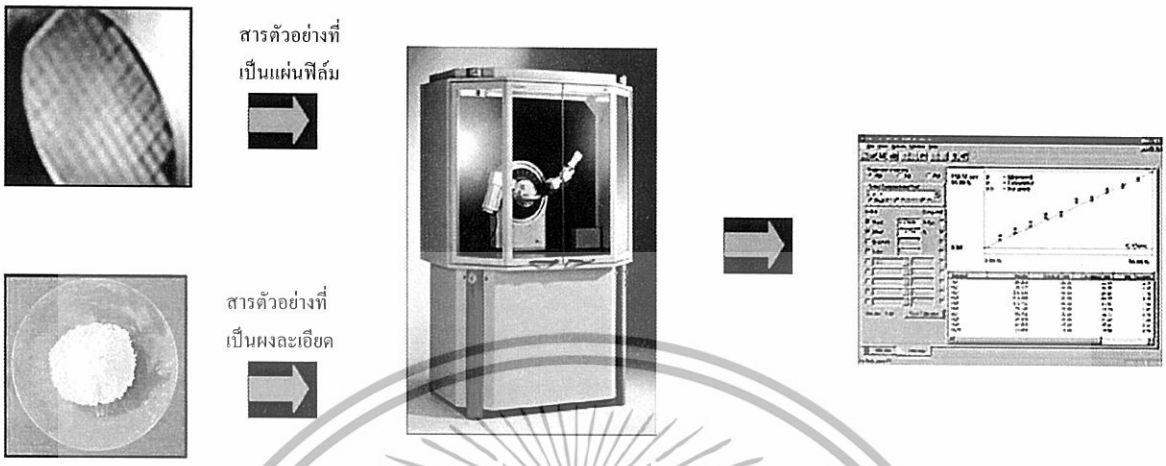
1. วิเคราะห์วัฏภาคโครงสร้างผลึกในสารตัวอย่างเทียบกับฐานข้อมูลมาตรฐาน (Phase analysis)

รูปที่ 2.16 การวิเคราะห์วัฏภาคโครงสร้างผลึกในสารตัวอย่างเทียบกับฐานข้อมูลมาตรฐานของสารตัวอย่างที่เป็นฟิล์มและผงละเอียด [10]

รูปแบบการเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ของวัฏภาคที่เป็นผลึกจะมีลักษณะแตกต่างกันขึ้นกับการจัดเรียงตัวของอะตอมภายในผลึก ดังนั้นรูปแบบการเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์จึงสามารถใช้เป็นตัวชี้บอกได้ว่าสารตัวอย่างนั้นประกอบด้วยวัฏภาคที่เป็นผลึกชนิดใดบ้าง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. วิเคราะห์วัฏภาคองค์ประกอบในสารตัวอย่างในเชิงปริมาณ (Quantitative analysis)



รูปที่ 2.17 การวิเคราะห์วัฏภาคองค์ประกอบในสารตัวอย่างเชิงปริมาณของสารตัวอย่างที่เป็นแผ่นฟิล์มและผงละเอียด [10]

ความเข้มของพีกการเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์จะเป็นค่าที่แปรผันตามปริมาณของวัฏภาคที่เป็นผลึกภายในสารตัวอย่าง ดังนั้นจึงสามารถใช้ค่าความเข้มของพีกคำนวณหาปริมาณของวัฏภาคองค์ประกอบต่าง ๆ ในสารตัวอย่างได้

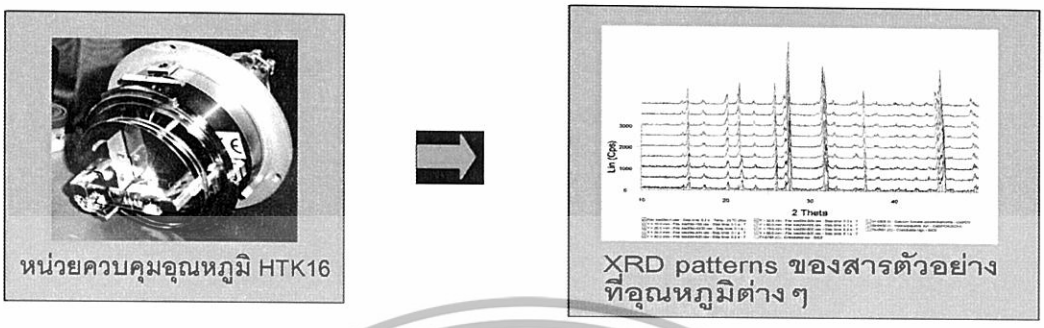
3 . วิเคราะห์ขนาดของผลึก (Crystalline size) และ ความเครียดระดับจุลภาค (Microstrain)

รูปที่ 2.18 การวิเคราะห์หาความเครียดระดับจุลภาคซึ่งสามารถคำนวณได้จากความกว้างของพีกการเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ [10]

ความกว้างของพีกการเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์เป็นผลเนื่องมาจากเครื่องมือและลักษณะทางกายภาพของสารตัวอย่าง ได้แก่ ความเครียดจุลภาค ข้อบกพร่องของผลึก และขนาดของตัวอย่าง ดังนั้นจึงสามารถคำนวณหาขนาดผลึกและความเครียดจุลภาคจากความกว้างของพีกการเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ได้

เอกสารนี้สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.วิเคราะห์โครงสร้างของสารประกอบที่เปลี่ยนแปลงไปเมื่อได้รับความร้อนที่อุณหภูมิต่างๆกัน



รูปที่ 2.19 หน่วยควบคุมอุณหภูมิ HTK16 ซึ่งถูกใช้ร่วมกับเครื่องเอกซ์เรย์ดิฟแฟรกโตรมิเตอร์ [10]

เมื่อใช้หน่วยควบคุมอุณหภูมิ HTK16 ร่วมกับเครื่อง XRD จะทำให้สามารถวิเคราะห์การเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ภายใต้ภาวะตั้งแต่อุณหภูมิห้องจนถึง 1600°C ทั้งในบรรยากาศปกติ สุญญากาศ หรือบรรยากาศของก๊าซเฉื่อยได้

2.7.2 กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด

2.7.2.1 ทฤษฎี

อนุภาคอิเล็กตรอนถูกค้นพบโดย Sir J.J. Thomson ในปี 1897 หลังจากนั้นในปี 1924 Louid de Broglie พบว่าอิเล็กตรอนมีพฤติกรรมคล้ายคลื่น จึงทำให้เกิดแนวความคิดว่าน่าจะสามารถนำอิเล็กตรอนมาสร้างเป็นเลนส์ซึ่งจะได้ลักษณะคล้ายคลึงกับกล้องจุลทรรศน์แบบใช้แสง แต่จะมีกำลังในการแจกแจงสูงกว่ากล้องจุลทรรศน์แบบใช้แสงเนื่องจากความยาวคลื่นของอิเล็กตรอนมีค่าสั้นกว่าความยาวคลื่นของแสง ถ้าใช้ศักย์ไฟฟ้ามีค่ามากพอ โดย Carl Stormer ได้เริ่มทำการศึกษาลักษณะการเคลื่อนที่ของอิเล็กตรอนในสนามแม่เหล็กที่มีลักษณะสมมาตร ปี 1927-8 ได้มีการสร้างเลนส์แม่เหล็กโดย Denis Gabor แต่ไม่ประสบความสำเร็จ เนื่องจากความรู้ในเรื่องระบบเลนส์แม่เหล็กยังไม่ดีพอ ต่อมา Max Knoll และ Ennst Ruska ได้สร้างและทดสอบเลนส์แม่เหล็กได้ผลเช่นกัน มีการนำแนวความคิดเรื่องระบบเลนส์ของ Carl Stormer มาใช้ในการออกแบบเลนส์แม่เหล็กและได้ปรับปรุงอยู่หลายครั้ง ในที่สุดก็ได้มีการสร้างกล้องแบบส่องกราดเป็นเครื่องแรกโดย Manfred Von Ardenne ในปี 1930 ซึ่งลักษณะการทำงานโดยทั่วไป คือ เมื่อแคโทดซึ่งเป็นแหล่งกำเนิดอิเล็กตรอนได้รับพลังงานจะปลดปล่อยอิเล็กตรอนแล้วอิเล็กตรอนจะถูกเร่งโดยสนามไฟฟ้าผ่านมายังระบบเลนส์และจะถูกควบคุมการกราดบน ผิวของตัวอย่างโดย scanning coils ซึ่งพื้นที่ในการกราดบนผิวตัวอย่างนี้เป็นสัดส่วนกับกำลังขยายที่ปรากฏบนจอรับภาพ ซึ่งจะทำให้ความสามารถในการแจกแจงรายละเอียดภาพ (image resolution) ของ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กล้องชนิดนี้มีมากกว่ากล้องจุลทรรศน์แบบใช้แสงมากมายหลายเท่าและไม่เพียงแต่สามารถมองเห็นภาพของตัวอย่างที่จะศึกษาเท่านั้น ยังสามารถนำสัญญาณอื่น ๆ ที่เกิดจากอันตรกิริยาระหว่างอิเล็กตรอนกับตัวอย่างมาใช้ศึกษาคุณลักษณะอย่างอื่นของตัวอย่าง เช่น การวิเคราะห์หาธาตุในตัวอย่างที่สนใจและศึกษาการเรียงตัวของผลึกในตัวอย่าง เป็นต้น

ในกรณีที่เป็นกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนที่มีอุปกรณ์วิเคราะห์ธาตุประกอบอยู่ด้วยเรียกว่า กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนวิเคราะห์ (analytical electron microscope) โดยในการวิเคราะห์ธาตุจะเป็นการวิเคราะห์เฉพาะจุด (spot analysis) หรือพื้นที่เล็ก ๆ ที่อิเล็กตรอนเป็นหัววัดเรียกว่า อิเล็กตรอนโพรบไมโครอะนาลิซิส (electron probe microanalysis, EPMA) โดยใช้การวิเคราะห์ธาตุด้วยการวัดรังสีเอกซ์เฉพาะตัว (characteristic x-ray) ซึ่งมีทั้งแบบเวฟเลงค์ดิสเพอร์สีพเอกซ์เรย์สเปกโทรโฟโตเมทรี (wavelength dispersive x-ray spectrophotometry, WDS) และแบบเอนเนอร์ยีดิสเพอร์สีพเอกซ์เรย์สเปกโทรโฟโตเมทรี (energy dispersive x-ray spectrophotometry, EDS)

2.7.2.2 หลักการเกิดภาพ

อิเล็กตรอนปฐมภูมิจากแหล่งกำเนิดอิเล็กตรอนจะถูกเร่งด้วยศักย์ไฟฟ้าสูง (1000-3000 อิเล็กตรอนโวลต์ หรือมากกว่า) ที่สามารถปรับค่าได้ จากนั้นจึงถูกดึงดูดลงสู่เบื้องล่างโดยผ่านแผ่นแอโนด (anode plate) ภายใต้ภาวะความดันสุญญากาศ 10^{-5} ถึง 10^{-7} ทอร์ และมีชุดคอนเดนเซอร์เลนส์ที่จะปรับลำอิเล็กตรอนให้มีขนาดเล็กลง เพื่อที่จะเป็นการเพิ่มความเข้มของลำอิเล็กตรอน จากนั้นลำอิเล็กตรอนจะวิ่งลงสู่เบื้องล่างโดยผ่านเลนส์วัตถุ ซึ่งทำหน้าที่ปรับลำอิเล็กตรอนปฐมภูมิให้มีจุดโฟกัสบนผิวตัวอย่างพอดี และอิเล็กตรอนที่ตกกระทบผิววัตถุหรือตัวอย่างจะมีขนาดในช่วง 5-200 นาโนเมตร โดยมีชุดขดลวดควบคุมการส่องกราดของลำอิเล็กตรอนทำหน้าที่ควบคุมทิศทางการเคลื่อนที่ของลำอิเล็กตรอนบนผิวตัวอย่าง ซึ่งผู้ใช้สามารถกำหนดได้โดยผ่านทางชุดควบคุม ขณะที่ลำอิเล็กตรอนกระทบผิวตัวอย่างจะเกิดอันตรกิริยาระหว่างอิเล็กตรอนปฐมภูมิกับอะตอมธาตุในวัตถุหรือตัวอย่างและเกิดการถ่ายโอนพลังงานที่ชั้นความลึกจากพื้นผิวที่ระดับต่างๆสัญญาณภาพที่ได้จากสัญญาณอิเล็กตรอนชนิดต่าง ๆ ที่เกิด คือ

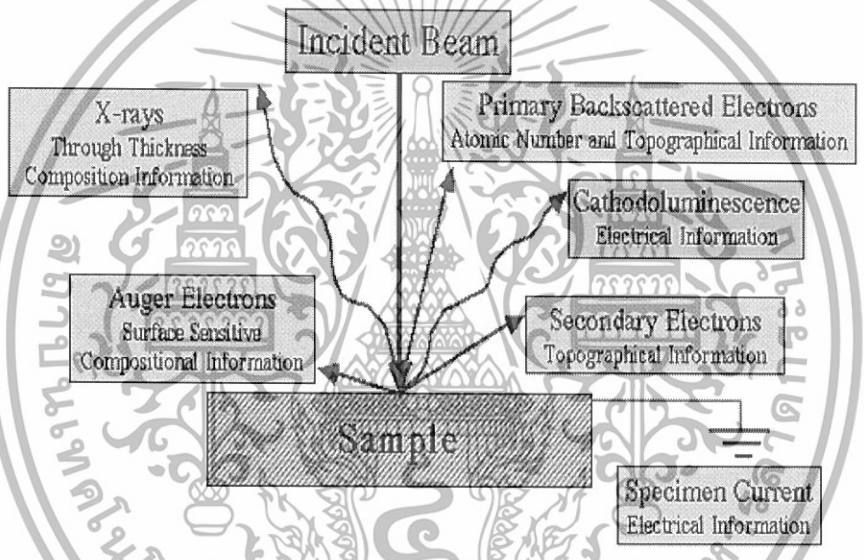
1. สัญญาณภาพจากอิเล็กตรอนทุติยภูมิ (secondary electron image, SEI) หรือเป็นกลุ่มอิเล็กตรอนพลังงานต่ำ 3-5 อิเล็กตรอนโวลต์ เกิดที่พื้นผิวระดับไม่ลึก (ไม่เกิน 10 นาโนเมตร) โดยเกิดกับธาตุที่มีแรงยึดเหนี่ยวที่ผิวต่ำ

2. สัญญาณภาพจากอิเล็กตรอนกระเจิงกลับ (backscattered electron image, BEI) หรือเป็นกลุ่มอิเล็กตรอนที่สูญเสียพลังงานให้กับอะตอมในชิ้นงานเพียงบางส่วนและกระเจิงกลับออกมา ซึ่งมีพลังงานสูงกว่าอิเล็กตรอนทุติยภูมิ เกิดที่พื้นผิวระดับลึกกว่า 10 นาโนเมตร โดยเกิดได้ดีกับธาตุที่มีเลขอะตอมสูง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.7.2.3 สัญญาณภาพจากรังสีเอกซ์ (X-ray image, XRI)

ชนิดที่เป็นรังสีเอกซ์เฉพาะตัวเป็นคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่เกิดจากอิเล็กตรอนในระดับชั้นโคจรต่าง ๆ (K, M, L,…) ถูกกระตุ้น หรือได้รับพลังงานมากพอจนหลุดออกจากวงโคจรออกมา ทำให้อะตอมต้องรักษาสมดุลของโครงสร้างรวมภายในอะตอมโดยการดึงอิเล็กตรอนจากชั้นโคจรถัดไปเข้ามาแทนที่ และต้องลดระดับพลังงานภายใน เนื่องจากอิเล็ก- ตรอนที่ถูกดึงมาแทนที่มีระดับพลังงานสูงกว่า โดยปล่อยพลังงานส่วนเกินออกมาในรูปคลื่นแม่เหล็ก
ไฟฟ้า เพื่อทำให้ตัวเองมีพลังงานเท่ากับชั้นโคจรที่ไปแทนที่ ซึ่งคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้านี้มีความยาวคลื่นเฉพาะในแต่ละธาตุ จึงสามารถนำมาใช้ประโยชน์กันในการวิเคราะห์ธาตุตามระดับพลังงานของตัว-อย่าง ได้ทั้งเชิงปริมาณและคุณภาพ



รูปที่ 2.20 การเกิดอันตรกิริยาระหว่างอิเล็กตรอนปฐมภูมิกับตัวอย่าง [27]

สัญญาณภาพจากอิเล็กตรอนเหล่านี้จะถูกเปลี่ยนมาเป็นสัญญาณภาพปรากฏบนจอรับภาพได้ โดยต้องเลือกใช้อุปกรณ์ในการตรวจวัดให้เหมาะสมกับสัญญาณแต่ละชนิด โดยทั่วไปสัญญาณอิเล็ก-ตรอนทุติยภูมิใช้ตัวตรวจวัดชนิดพลาสติกเรืองแสง (plastic scintillation detector) สัญญาณภาพจากอิเล็กตรอนกระเจิงกลับจะใช้ตัวตรวจวัดที่เป็นสารกึ่งตัวนำชนิดพีเอ็นจังชันหรือ ตัวตรวจวัดชนิดโรบินสัน (Robinson detector) และสัญญาณภาพจากรังสีเอกซ์ ใช้หัววัดรังสีชนิดสารกึ่งตัวนำประเภทซิลิกอนลิเทียม (lithium drifted silicon , Si(Li)) ทำงานร่วมกับอุปกรณ์ในการวิเคราะห์พลังงานของรังสีเอกซ์เฉพาะตัว ซึ่งอุปกรณ์ในการวิเคราะห์นั้นมีแบบช่องเดี่ยว (Single channel analyzer, SCA) และอุปกรณ์วิเคราะห์แบบหลายช่อง (Multichannel analyzer, MCA)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดทั่วไปประกอบด้วยโครงสร้างที่คล้ายคลึงกัน โครงสร้างที่เห็นได้ชัดเจนแบ่งออกเป็น 2 ส่วนใหญ่ ๆ คือ ส่วนที่ลักษณะคล้ายปล่องภายในกลวง เรียกว่า คอลัมน์ (column) และส่วนที่เป็นตู้ควบคุมระบบไฟฟ้าทั้งหมด เรียกว่า หน่วยคอนโซล (console unit) ทั้งสองส่วนนี้เป็นลักษณะภายนอกทั่วไปของกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด ไม่ว่าจะเป็นรุ่นใด โดยคอลัมน์ประกอบด้วยส่วนประกอบพื้นฐานที่ให้กำเนิดอิเล็กตรอนแล้วรวบรวมให้ส่องไปยังผิวของตัวอย่างที่วางอยู่ภายในช่องตัวอย่างบริเวณฐานคอลัมน์และอุปกรณ์ซึ่งรับสัญญาณที่เกิดภายหลังอิเล็กตรอนกระทบกับตัวอย่างก็จะถูกจัดวางไว้ในบริเวณนี้เช่นกัน ส่วนหน่วยคอนโซลนั้นภาย ในเป็นแผงควบคุมระบบไฟฟ้า ระบบสุญญากาศ และระบบถ่ายภาพ การควบคุมลำแสงอิเล็กตรอนภายในคอลัมน์ก็จำเป็นต้องใช้ปุ่มบังคับที่อยู่บนแผงควบคุมของหน่วยคอนโซลนอกเหนือจาก 2 ส่วน ซึ่งเป็นส่วนสำคัญของกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด แล้วยังมีส่วนประกอบอื่นๆ อีก คือ ระบบทำสุญญากาศ ระบบทำไฟฟ้าแรงสูง และระบบทำความเย็นโดยการหมุนเวียนน้ำเย็น

2.7.2.4 ส่วนประกอบพื้นฐานของ SEM

1. แหล่งกำเนิดอิเล็กตรอนอยู่ด้านปลายบนสุดของคอลัมน์ประกอบด้วยลวดโลหะทังสเตนที่บิดเป็นรูปตัววี เรียกว่า ฟิลาเมนท์ (Filament) มีรูอยู่ปลายกรวย เมื่อกระแสไฟฟ้าตั้งแต่ 100 โวลต์เข้าสู่ฟิลาเมนท์ลวดตัววี ดังกล่าวก็จะมีความร้อนสูงประจุอิเล็กตรอนซึ่งเป็นประจุลบก็จะกระจายออกมาและถูกดึงดูดด้วยแผ่นขั้วบวกที่อยู่ด้านล่าง ผ่านรูของกรวยลงสู่สนามแม่เหล็กที่สามารถรวบรวมประจุอิเล็กตรอนที่มีอยู่ให้เป็นลำแสงอิเล็กตรอนที่มีความหนาแน่นพอที่จะฉายลงบนสารตัวอย่าง

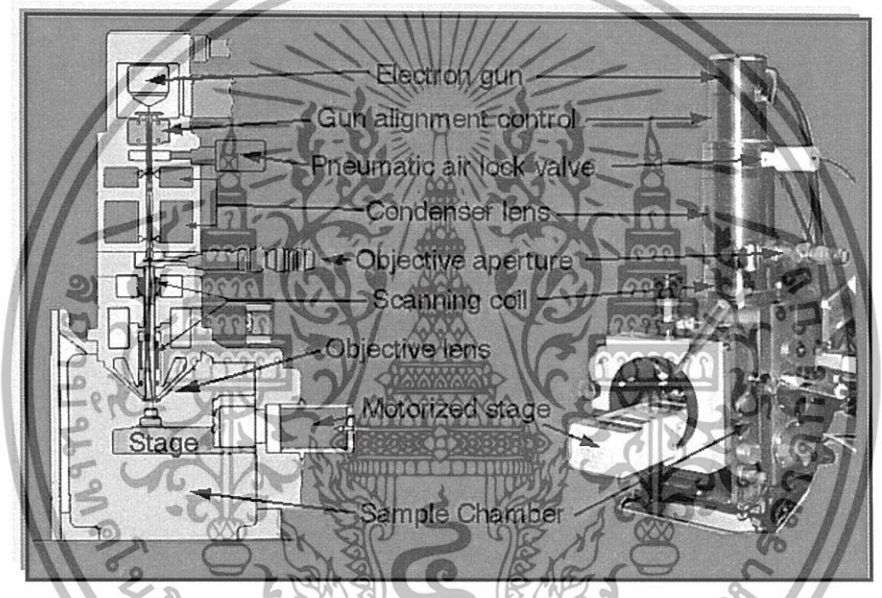
2. เลนส์ควบคุมลำแสงอิเล็กตรอนและขดลวดขับเคลื่อนลำแสงอิเล็กตรอน เป็นชุดอุปกรณ์ที่ทำงานร่วมกัน เลนส์ควบคุมลำแสงอิเล็กตรอนจะทำหน้าที่รวบรวมอิเล็กตรอนปฐมภูมิให้เป็นลำแสงรูปกรวยที่เล็กที่สุดและสมมาตรที่สุดเท่าที่จะเป็นไปได้ก่อนตกกระทบบนผิวตัวอย่าง พร้อมกับใช้ขดลวดสนามแม่เหล็กไฟฟ้า ซึ่งเรียกว่าสแกนคอยล์ (Scan coil) ขับหรือผลักให้ลำแสงอิเล็กตรอนปฐมภูมิเคลื่อนที่กราดไปบนผิวของตัวอย่างในแนวที่ต้องการเป็นบริเวณรูปสี่เหลี่ยมจัตุรัส

3. ช่องใส่ตัวอย่าง เป็นช่องสุญญากาศอยู่ใต้เลนส์ มีอุปกรณ์ตรวจสอบ หรือรวบรวมสัญญาณต่าง ๆ ที่เกิดจากปฏิกิริยาระหว่างลำแสงอิเล็กตรอนปฐมภูมิกับผิวตัวอย่าง ส่วนที่สำคัญที่สุดของช่องใส่ตัวอย่าง คือ ฐานวางตัวอย่าง และ ปุ่มควบคุมเพื่อเลื่อนฐานนี้ให้เคลื่อนที่ไปมาภายในช่องใส่ตัวอย่างได้อย่างน้อย 6 ทิศทาง คือ แนวนอน หรือ แนวราบ 4 ทิศทาง (X , Y direction) และแนวตั้งขึ้น - ลง พร้อมทั้งมีส่วนที่ควบคุมการเอียงและการหมุนของตัวอย่างได้รอบทิศทาง ช่องใส่ตัวอย่างของกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดสมัยใหม่ประกอบด้วย 2 ส่วน คือ ส่วนในซึ่งเป็นช่องใหญ่ อีกส่วนหนึ่งเป็นส่วนนอก ตัวอย่างที่ต้องการจะตรวจสอบต้องใส่ในช่องเล็กภายนอกแล้วดูดอากาศออกให้เป็นภาวะสุญญากาศ ก่อนจะเปิดประตูกั้นระหว่างช่องเล็กกับช่องใหญ่ภายในเพื่อสอดใส่ตัวอย่าง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4. อุปกรณ์รวบรวมสัญญาณ เป็นแท่งแก้วใสฉาบผิวด้วยอะลูมิเนียม ส่วนปลายของแท่งนี้ล้อมด้วยตาข่ายที่ต่อกับวงจรไฟฟ้าประจุบวกขนาด 30 – 250 โวลต์ เพื่อดึงดูดอิเล็กตรอนทุติยภูมิอันเกิดจากปฏิกิริยาระหว่างประจุอิเล็กตรอนปฐมภูมิกระทบกับผิวตัวอย่างให้มากที่สุดเท่าที่จะทำได้

5. อุปกรณ์สร้างภาพและถ่ายภาพ ทำหน้าที่เปลี่ยนแปลงสัญญาณที่ได้รับเป็นภาพ และภาพที่ปรากฏบนจอ CRT จะถูกบันทึกด้วยกล้องรูปแบบง่ายๆ อุปกรณ์สร้างภาพจะประกอบด้วยท่อนำแสงและเครื่องขยาย และเปลี่ยนสัญญาณอิเล็กตรอนให้แสงไฟฟ้าปรากฏบนจอภาพ



รูปที่ 2.21 ส่วนประกอบพื้นฐานของ SEM [28]

2.8 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ในปี ค.ศ. 2001 Sutapa Ruy Ramanan ได้ศึกษาเรื่องกระบวนการผลิตฟิล์มบาง ITO ใช้ในกระบวนการจุ่มเคลือบ โดยใช้เกลือของโลหะ ซึ่ง เตรียมจากสารละลายแอลกอฮอล์ และ stanic chloride และนำไปเคลือบ บนแก้วอ่อน ที่มี อัตราส่วนของ In:Sn เป็น 95:5, 90:10, 85:15, 80:20 และมีความหนา ในช่าง 10- 490 nm จากการศึกษา การเลี้ยวเบนของรังสีเอ็กซ์ และภาพถ่ายจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่งกราดพบว่าฟิล์มที่ได้มีลักษณะเป็นพหุผลึกซึ่งมี ขนาดของเกรนในช่วง 20-60 nm โดยมีวัฏภาคเป็น In_2O_2 เท่านั้น จากการศึกษาการส่องผ่านของฟิล์มด้วย UV – Spectrometer พบว่าค่าเปอร์เซ็นต์การส่องผ่านจะลดลง เมื่อความหนาของฟิล์มเพิ่มขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในปี ค.ศ.2003 K. Daoudi และคณะได้ศึกษาจำนวนชั้นของฟิล์มบางอินเดียมทินออกไซด์โดยวิธีการจุ่มเคลือบและทำการเผาฟิล์มที่อุณหภูมิต่างๆคือ 500 และ 600 องศาเซลเซียส ซึ่งผลที่ได้คือจำนวนชั้นของฟิล์มที่มากขึ้นทำให้มีความหนาแน่นมากขึ้นส่งผลให้ค่าความต้านทานไฟฟ้าลดลง

ในปี ค.ศ.2003 Ota และคณะศึกษาฟิล์มบางของ Tin-doped indium oxide (ITO) โดยใช้เทคนิคการจุ่มเคลือบบนแก้วคอร์นนิ้ง 7059 จากสารตั้งต้นที่เป็นเกลือของอินเดียมไตรคลอไรด์ ($InCl_3.3.5H_2O$) และทินไดคลอไรด์ ($SnCl_2.2H_2O$) ละลายในสารละลายเอทานอลและปั่นกวนเป็นเวลา 5 ชั่วโมง จากนั้นใส่สารลดแรงตึงผิวให้ความร้อนที่ 500 องศาเซลเซียสเพื่อพัฒนาการยึดติดระหว่างแก้วกับสารละลายที่ใช้เคลือบ ความหนาของฟิล์มและค่าความต้านทานขึ้นกับอัตราการจุ่มและจำนวนครั้งที่เคลือบซ้ำ ซึ่งความหนาจะมากขึ้น ส่วนตัวรองรับคือแก้วที่ใช้ นำไปทำความสะอาด จุ่มเคลือบในสารละลายที่ใช้เคลือบเป็นเวลา 1นาที ดึงขึ้นด้วยอัตรา 10 หรือ 28 เซนติเมตรต่อนาที เข้าเตาเผาที่อุณหภูมิ 600 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 30 นาที จุ่มเคลือบและให้ความร้อนทำเช่นนี้เป็นจำนวน 10 ครั้ง ให้อัตราความร้อนเป็น 10 องศาเซลเซียสต่อนาที ที่ 600 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1ชั่วโมงความหนาและสัดส่วนของสารจะถูกวัดโดย X-ray fluorescence(XRF) ค่าความเป็นผลึกวัดโดยอาศัยหลักการการเลี้ยวเบน (XRD) ที่ 10 ชั้นได้ความหนาเท่ากับ 112 นาโนเมตร ค่าความต้านทานจะวัดโดยใช้เครื่องวัดแบบ four-point-probe ค่าความหนาส่งผลให้ค่าความต้านทานลดลงซึ่งได้เท่ากับประมาณ 6x10-3 โอห์มต่อเซนติเมตร

ในปี ค.ศ.2005 C. Su และคณะได้ศึกษาเกี่ยวกับการเตรียมและสมบัติของฟิล์มบาง ITO ด้วยกระบวนการโซล-เจล โดยใช้สารตั้งต้นที่อยู่ในรูปเกลืออินเดียมไนเตรตและทินคลอไรด์ที่ปราศจากน้ำขึ้นรูปฟิล์มโดยวิธีจุ่มเคลือบลงบนแก้วซึ่งเป็นตัวรองรับและเผาที่อุณหภูมิ 550 องศาเซลเซียส การกำหนดความหนาของฟิล์มทำโดยกระบวนการเคลือบหลายชั้น และตรวจวัดสมบัติทางไฟฟ้าโดยวิธี four-point probe method แสดงความสัมพันธ์ระหว่างการขึ้นรูปและโครงสร้างอนุภาคของฟิล์ม การเพิ่มความหนาของฟิล์มทำให้สภาพความต้านทานไฟฟ้าของฟิล์มลดลง

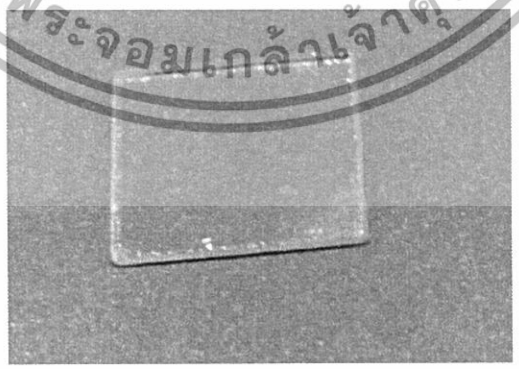
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4
ผลการทดลองและอภิปรายผล

ฟิล์มบางอินเดียม-ทินออกไซด์ (ITO thin film) ซึ่งเตรียมโดยการโดปไอออนของทิน (Sn^{4+}) เข้าไปในโครงสร้างของอินเดียมออกไซด์ (In_2O_3) ซึ่งไอออนของทินจะเข้าไปแทนที่ไอออนของอินเดียม (In^{3+}) ในบางตำแหน่งส่งผลให้สมบัติบางประการของฟิล์มบางดีขึ้น สามารถผลิตโดยกระบวนการโซล-เจล (Sol-gel process) และขึ้นรูปฟิล์มบางด้วยวิธีการจุ่มเคลือบ (Dip-coat) ลงบนแผ่นแก้วรองรับ (glass substrate) สัดส่วนของอินเดียมต่อทิน (In:Sn) และจำนวนชั้นของฟิล์มจะมีผลต่อสมบัติของฟิล์มบางอินเดียมทินออกไซด์ (ITO thin film) ด้วย ได้แก่ สมบัติทางแสงและสมบัติทางไฟฟ้า ซึ่งสามารถวิเคราะห์ด้วยเทคนิคต่างๆและได้ผลดังนี้

4.1 ลักษณะของฟิล์มบางอินเดียมทินออกไซด์ที่เตรียมได้

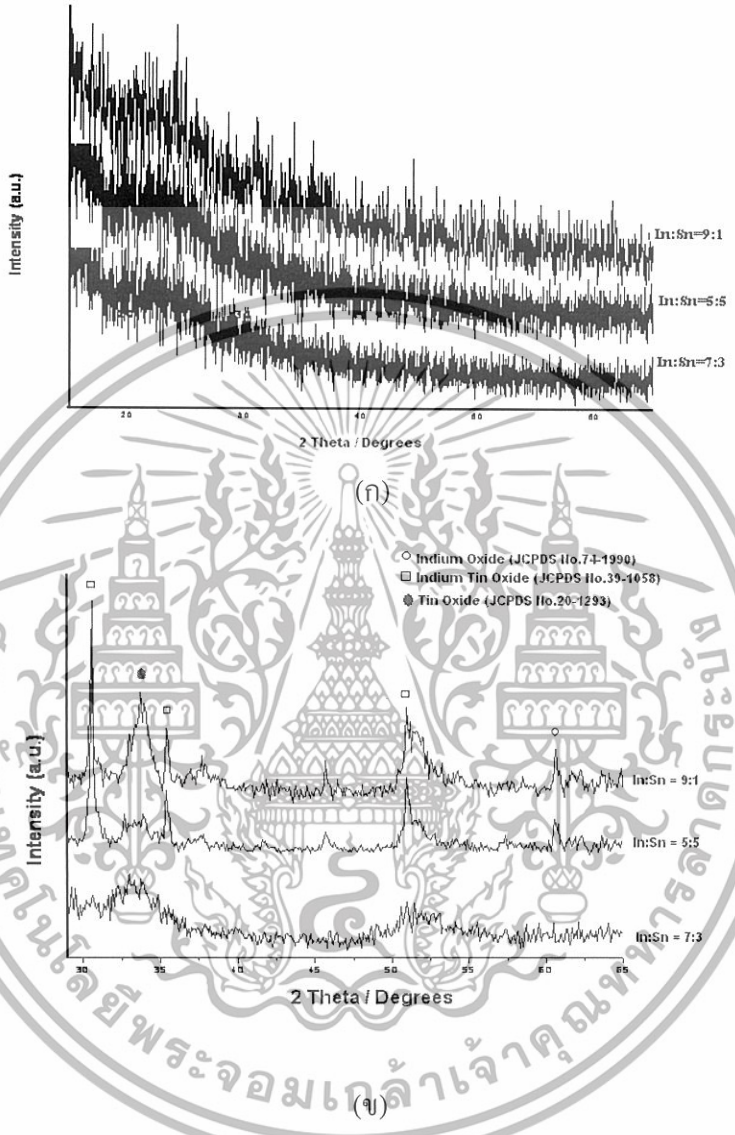
จากการสังเกตสารละลายโซล-เจลของอินเดียมทินออกไซด์ที่เตรียมจากสารผสมระหว่างอินเดียม (III) คลอไรด์กับทิน(II)คลอไรด์ที่สัดส่วน 1:1 9 : 1 และ 7:3 จะได้สารละลายโซล-เจลที่มีลักษณะสีเหลืองเข้มของไฮดรอกไซด์ของโลหะอินเดียมและทิน เมื่อทำการจุ่มเคลือบลงบนแผ่นแก้วรองรับก็จะได้ฟิล์มที่มีสีเหลืองเข้มเช่นกัน หลังจากทำการเผาฟิล์มบางที่อุณหภูมิ 700 องศาเซลเซียสทำให้โครงสร้างของอินเดียมทินออกไซด์เกิดการบิดเบี้ยวและฟิล์มมีความหนาแน่นมากขึ้นด้วย ทำให้ได้ฟิล์มที่มีลักษณะใสเนื่องจากเกิดผลึกมากขึ้นส่งผลให้ค่าความโปร่งแสงเพื่อขึ้นด้วย ดังรูป 4.1



รูปที่ 4.1 ฟิล์มบางอินเดียมทินออกไซด์หลังเผาที่อุณหภูมิ 700 องศาเซลเซียส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2 วิเคราะห์โดยเทคนิคการเลี้ยวเบนด้วยรังสีเอกซ์ (X-ray diffraction)



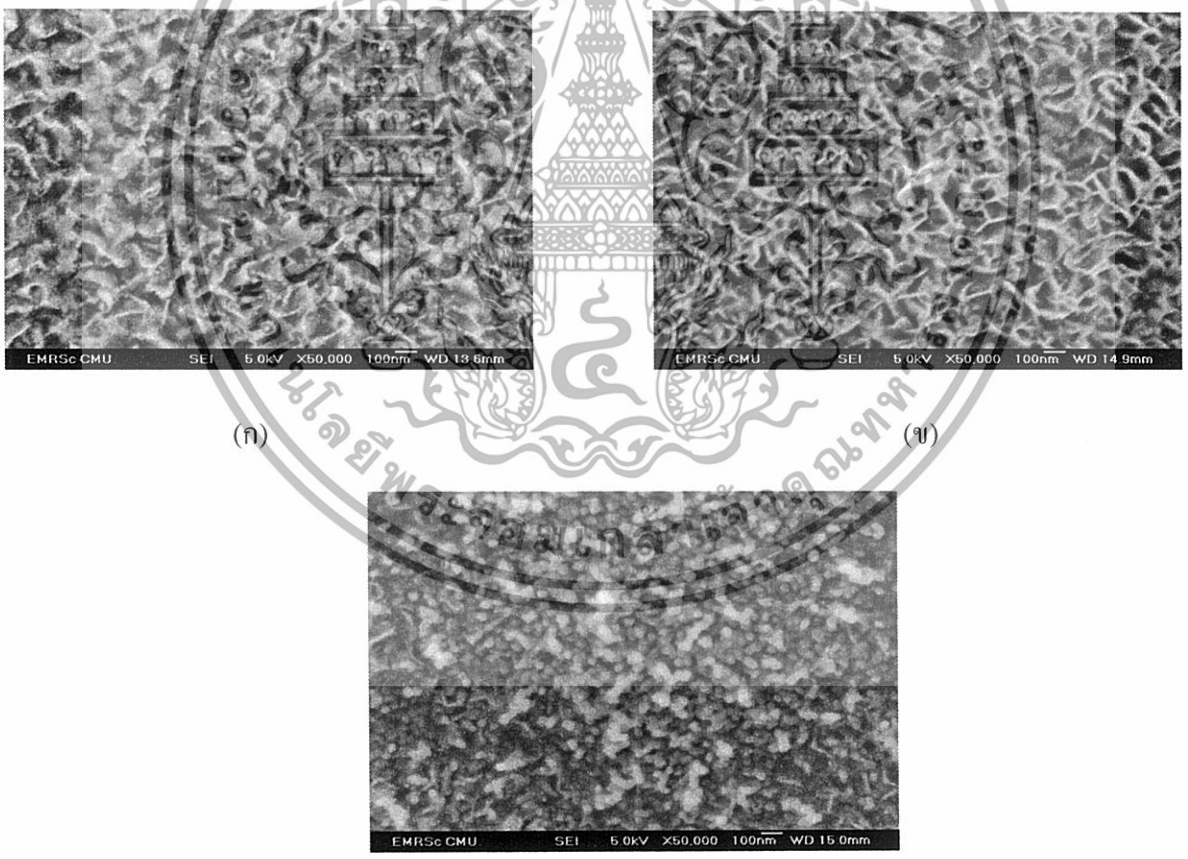
รูปที่ 4.2 ภาพเอกซ์เรย์ดิฟแฟรกชันของฟิล์มบางอินเดียมทินออกไซด์ (ก) และผงอินเดียมทินออกไซด์ (ข) โดยเตรียมจากเทคนิคการไทเทรตแบบตกตะกอนที่มีสัดส่วนของอินเดียมและทินต่าง ๆ กัน แล้วนำไปเผาที่ 700 องศาเซลเซียส

การวิเคราะห์โดยเทคนิคการเลี้ยวเบนด้วยรังสีเอกซ์ เพื่อศึกษาความเป็นผลึกของฟิล์มบาง จากรูปแบบของการเลี้ยวเบนที่ได้พบว่าฟิล์มบางมีความเป็นผลึกน้อยมากเพราะพีคที่ได้กว้างมาก รวมทั้งมีความเข้มต่ำ อาจเป็นผลเนื่องมาจาก ความสม่ำเสมอและความบางของฟิล์ม ทำให้รูปแบบการเลี้ยวเบนที่ได้ออกมาวิเคราะห์ได้ยาก แต่เราสามารถเปรียบเทียบความเป็นผลึกกับกราฟ X-ray diffraction มาตรฐานของผลึกอินเดียมทินออกไซด์โดยกระบวนการตกตะกอน จากรูปที่ 4.2 (ข)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แบบการเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์ จะพบพีคหลักของอินเดียมทินออกไซด์ ($In_2Sn_2O_7$) เกิดขึ้นที่ตำแหน่งมุม 2θ ที่30. 273 35.165 และ 50.978 ตามลำดับเมื่อเทียบกับรูปแบบการเลี้ยวเบนมาตรฐานหมายเลข [JCPDS Files no. 39-1058] พีคหลักของอินเดียมออกไซด์(In_2O_3)จะเกิดที่ตำแหน่งมุม 2θที่ 60.649เมื่อเทียบกับรูปแบบการเลี้ยวเบนมาตรฐานหมายเลข [74-1990] และพีคหลักของทินออกไซด์(Sn_3O_4)จะเกิดขึ้นที่ตำแหน่งมุม 2θ ที่ 32.890 เมื่อเทียบกับรูปแบบการเลี้ยวเบนมาตรฐาน [20-1293] ซึ่งอัตราส่วนที่เหมาะสมที่สุดสำหรับการเตรียมผงอินเดียมทินออกไซด์ คือ 9:1 เนื่องจากให้ผงอินเดียมทินออกไซด์มากที่สุด และมีการรบกวนจาก อินเดียมออกไซด์ และทินออกไซด์น้อยที่สุด รองลงมาเป็น 5:5 และ 7:3 ตามลำดับ

4.3 ผลการตรวจสอบลักษณะทางกายภาพของฟิล์มบางอินเดียมทินออกไซด์ที่ได้จากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning Electron Microscope; SEM)



(ก) (ข)

(ค)

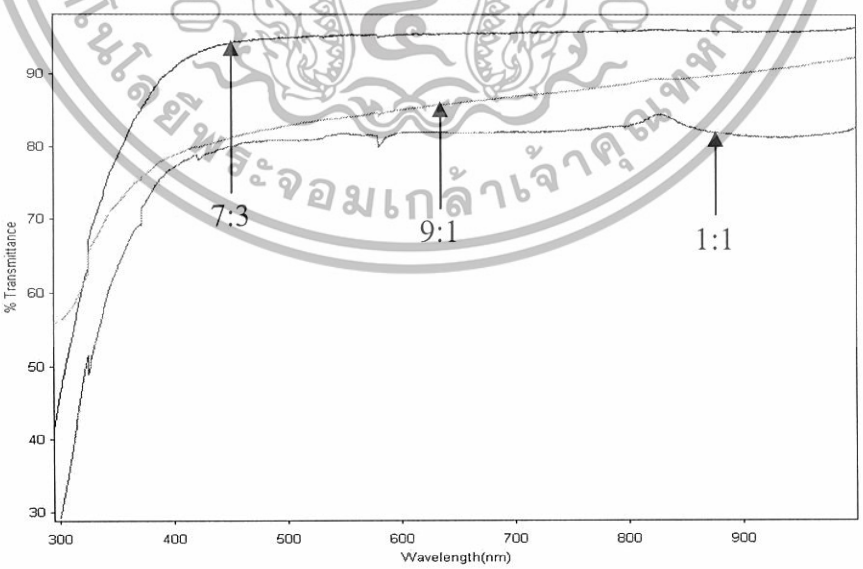
รูปที่ 4.3 ภาพ SEM แสดงลักษณะทางกายภาพผิวหน้าของฟิล์มบางเมื่อเผาที่อุณหภูมิ 700องศาเซลเซียสโดยมีสัดส่วนของอินเดียมต่อทินเป็น (ก) 1:1 (ข) 7:3 และ (ค) 9:1 ตามลำดับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 4.3 (ก) และ (ข) เป็นภาพถ่ายจากกล้องจุลทรรศน์แบบส่องกราดของฟิล์มบางอินเดียมทินออกไซด์ที่สัดส่วน In:Sn เท่ากับ 1:1 จำนวนชั้นของการจุ่มเคลือบ 20 ชั้น เผาที่อุณหภูมิ 700 องศาเซลเซียส พบว่าฟิล์มบางที่ได้มีความเป็นอสัณฐานสูง (amorphous) รวมทั้งผิวหน้าไม่สม่ำเสมอจากรูปที่ 4.3 (ค) เป็นภาพถ่ายจากกล้องจุลทรรศน์แบบส่องกราดของฟิล์มบางอินเดียมทินออกไซด์ที่สัดส่วน In:Sn เท่ากับ 9:1 จำนวนชั้นของการจุ่มเคลือบ 20 ชั้น เผาที่อุณหภูมิ 700 องศาเซลเซียส พบว่าฟิล์มบางที่ได้มีความเป็นผลึกสูงและผิวหน้ามีความสม่ำเสมอขนาดของเกรน (gain size) ประมาณ 20 นาโนเมตร ซึ่งเกรน คือ บริเวณที่โครงสร้างผลึกมีการจัดเรียงตัวในทิศทางเดียวกันและแนวพรมแดนระหว่างเกรนต่างๆที่มีการจัดเรียงตัวในทิศทางแตกต่างกันเรียกว่าขอบเขตรอยต่อของเกรน เกรนและขอบเขตรอยต่อของเกรนจะมีผลทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงสมบัติเชิงฟิสิกส์ต่างๆ ไปจากกรณีผลึกในอุดมคติได้แก่ขอบเขตรอยต่อของเกรนจะเป็นสาเหตุทำให้เกิดการสกัดกั้นการไหลของกระแสหรือของเขตรอยต่อของเกรนกักอะตอมโมเลกุลหรือไอออนของสารบางตัวไว้ก็อาจมีผลทำให้เกิดการนำกระแสได้ดีมากขึ้น ซึ่งสัดส่วนที่นำกระแสได้ดีคือ In:Sn เท่ากับ 9:1 ดังผลการทดลองที่จะกล่าวต่อไป

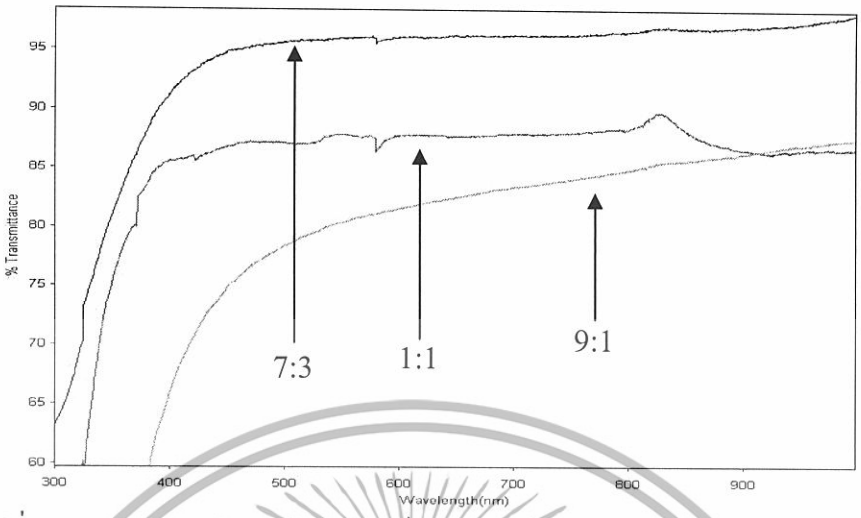
4.4 ผลที่ได้จากการวัดฟิล์มบาง ITO ด้วยเครื่อง UV-Visible Spectrophotometer

4.4.1 ผลของสัดส่วนระหว่างอินเดียมและทินต่อสัมประสิทธิ์การส่องผ่านของแสงของฟิล์มบางอินเดียมทินออกไซด์ที่ปลูกโดยวิธีจุ่มเคลือบ



รูปที่ 4.4 (ก) กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าการส่องผ่านของแสงกับความยาวคลื่นของฟิล์มบาง ITO ที่ปลูกโดยวิธีจุ่มเคลือบความหนา 25 ชั้น

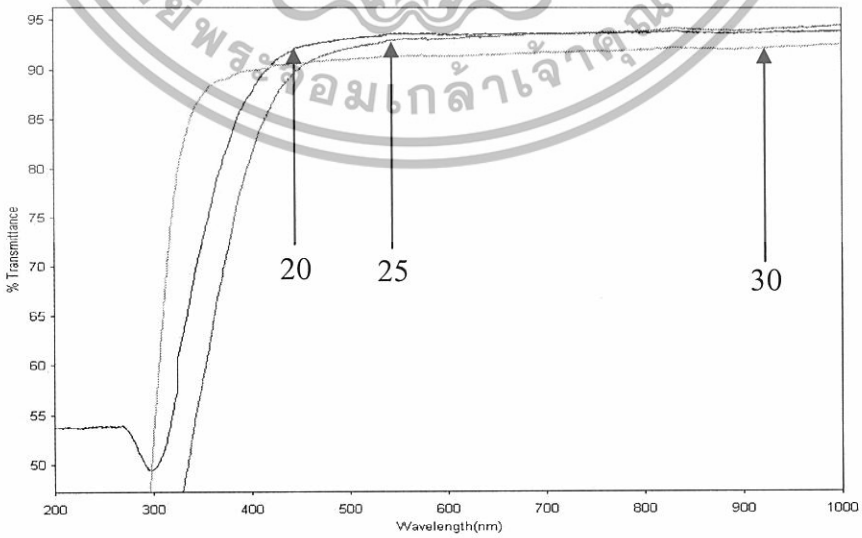
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.4 (ข) กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าการส่องผ่านของแสงกับความยาวคลื่นของฟิล์มบาง ITO ที่ปลูกโดยวิธีจุ่มเคลือบความหนา 30 ชั้น

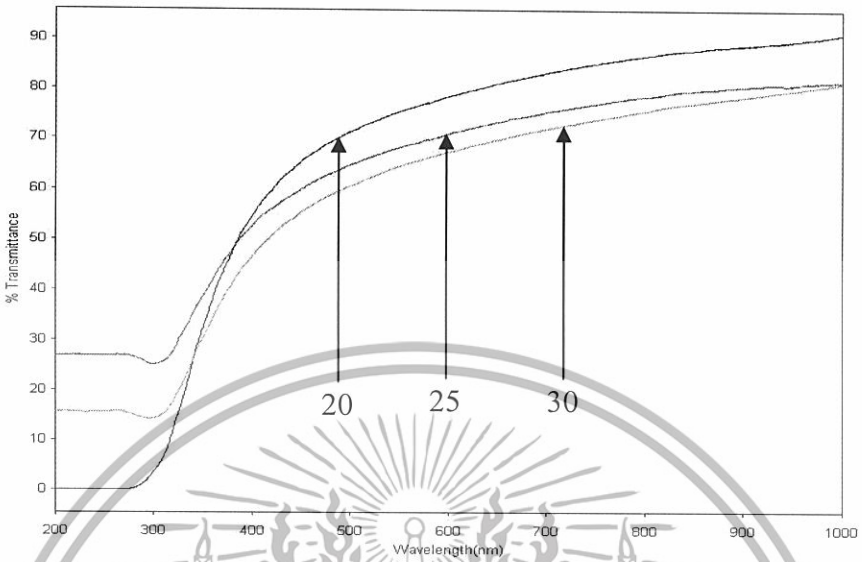
จากรูปที่ 4.4 (ก) และ 4.4 (ข) พบว่าค่าเปอร์เซ็นต์การส่องผ่านของแสงของสัดส่วนอินเดียมต่อทินเท่ากับ 7:3 จะให้ค่าสัมประสิทธิ์การส่องผ่านของแสงสูงสุดคือ 95 เปอร์เซ็นต์ ที่สัดส่วน 1:1 ได้ค่าสัมประสิทธิ์การส่องผ่านของแสงที่ 85 เปอร์เซ็นต์และสัดส่วน 9:1 ให้ค่าสัมประสิทธิ์การส่องผ่านของแสงต่ำสุดคือ 80 เปอร์เซ็นต์เนื่องจากที่สัดส่วนอินเดียมต่อทินเท่ากับ 9:1 มีความเป็นผลึกสูงสุดจึงทำให้ค่าเปอร์เซ็นต์การส่องผ่านของแสงต่ำสุด ที่สัดส่วน 7:3 มีความเป็นอสัณฐานสูงสุดจึงมีค่าเปอร์เซ็นต์การส่องผ่านของแสงสูงสุด

4.4.2 ผลของจำนวนชั้นในการเคลือบต่อสัมประสิทธิ์การส่องผ่านของแสงของฟิล์มบางอินเดียมทินออกไซด์ที่ปลูกโดยวิธีจุ่มเคลือบ



รูปที่ 4.4 (ค) กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าการส่องผ่านของแสงกับความยาวคลื่นของฟิล์มบาง ITO ที่ปลูกโดยวิธีจุ่มเคลือบสัดส่วน 7:3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.4 (ง) กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าการส่องผ่านกับความยาวคลื่นของฟิล์มบาง ITO ที่ปลูกโดยวิธีจุ่มเคลือบสัดส่วน 9:1

จากรูปที่ 4.4 (ค) และ 4.4 (ง) พบว่าเมื่อจำนวนชั้นในการเคลือบมากขึ้น การส่องผ่านของแสงจะมีค่าลดลงตามลำดับ ซึ่งเป็นไปตามกฎของเบียร์-แลมป์บาร์ท

$$I_T = I_o e^{-\alpha d} \tag{4.1}$$

เมื่อ d คือความหนา

α คือค่าสัมประสิทธิ์การดูดกลืน

I_T คือค่าความเข้มแสงหลังจากผ่านตัวอย่างออกมา

I_0 คือค่าความเข้มแสงก่อนผ่านตัวอย่าง

จะเห็นว่าเมื่อค่า d (ความหนา) เพิ่มมากขึ้น ค่า I_T (ความเข้มแสงหลังจากผ่านตัวอย่างออกมา) จะมีค่าลดลง ดังนั้นจึงพอจะสรุปได้ว่าความหนามีผลต่อเปอร์เซ็นต์การส่องผ่านของแสง(% transmittance) คือถ้าฟิล์มมีความหนามากขึ้นจะทำให้ค่าการส่องผ่านของแสงน้อยลง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.4.3 ผลจากการศึกษาค่าสัมประสิทธิ์การส่องผ่านแสงเพื่อคำนวณหาค่าแถบพลังงานต้องห้าม

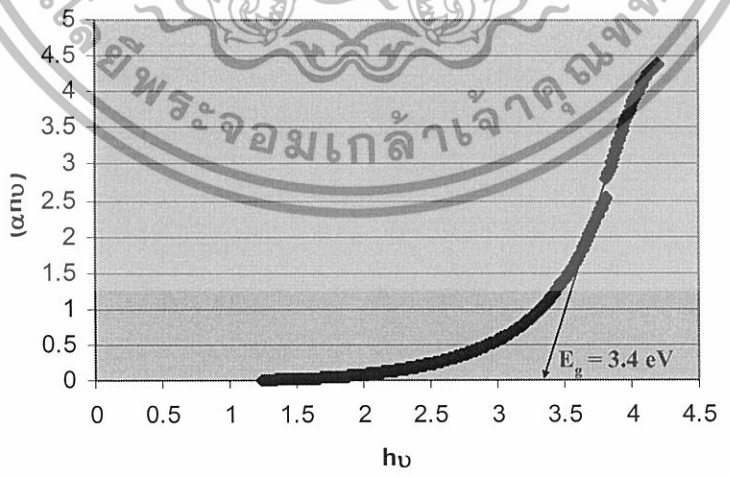
จากกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าการส่องผ่านกับความยาวคลื่นของฟิล์มบาง ITO นำข้อมูลที่ได้มาคำนวณหาค่าสัมประสิทธิ์การดูดกลืนแสงดังสมการ

$$\alpha = \frac{1}{d}\ln\left(\frac{100}{T}\right) \tag{4.2}$$

โดย d คือความหนา

α คือค่าสัมประสิทธิ์การดูดกลืน

แล้วนำมาเขียนกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่ากำลังสองของสัมประสิทธิ์การดูดกลืนแสงพลังงานโฟตอน($(\alpha h\nu)^2$) กับพลังงานโฟตอน($h\nu$)พบว่าฟิล์มบางอินเดียมทินออกไซด์ที่เตรียมได้ทั้งหมด จะแสดงลักษณะกราฟเป็นแบบเชิงเส้น ซึ่งเป็นการแสดงว่า เมื่ออิเล็กตรอนได้รับพลังงานโฟตอน ที่เท่ากับหรือมากกว่าขนาดของช่องว่างระหว่างแถบพลังงาน อิเล็กตรอนจะดูดกลืนพลังงานและอยู่ในสภาวะถูกกระตุ้น จึงมีการย้ายสถานะพลังงานจากจุดสูงสุดของแถบวาเลนซ์ไปยังจุดต่ำสุดของแถบนำ และสามารถหาขนาดของช่องว่างแถบพลังงาน (Energy gap:E_g) ได้จากการลากเส้นตรงต่อส่วนที่แสดงกราฟแบบเชิงเส้นไปตัดกับแกนพลังงานโฟตอน โดยจุดตัดกราฟที่ได้คือ ขนาดของช่องว่างแถบพลังงานหรือแถบพลังงานต้องห้ามนั่นเอง

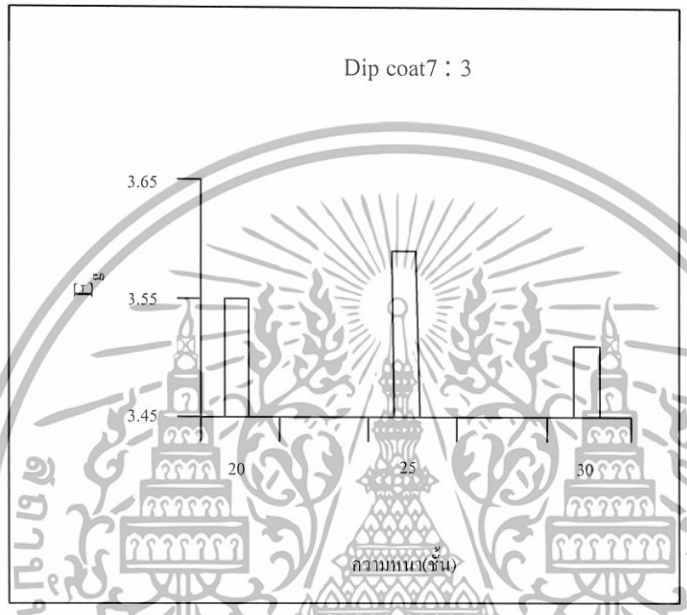


รูปที่ 4.4 (จ) กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างสัมประสิทธิ์การดูดกลืนกำลังสอง $(\alpha hV)^2$ กับพลังงานโฟตอน(hV) ของฟิล์มบางITOที่เตรียมโดยวิธีจุ่มเคลือบ

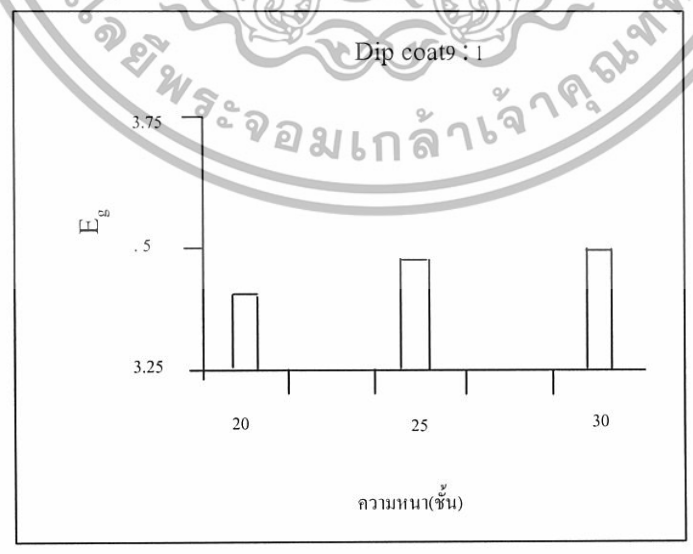
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่4.4(จ) จะพบว่าฟิล์มบาง ITO ที่อัตราส่วนของIn:Sn เท่ากับ9:1จุ่มเคลือบจำนวน 20 ชั้น มีค่าช่องว่างแถบพลังงานเท่ากับ 3.40 eV

4.4.4 ผลของจำนวนชั้น ในการเคลือบต่อค่าแถบพลังงานต้องห้ามของฟิล์มบางอินเดียมทินออกไซด์ที่ปลูกโดยวิธีจุ่มเคลือบ



รูปที่ 4.4 (ฉ) กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าแถบพลังงานต้องห้ามกับความหนาของวิธีจุ่มเคลือบที่สัดส่วนอินเดียมต่อทินเท่ากับ 7:3

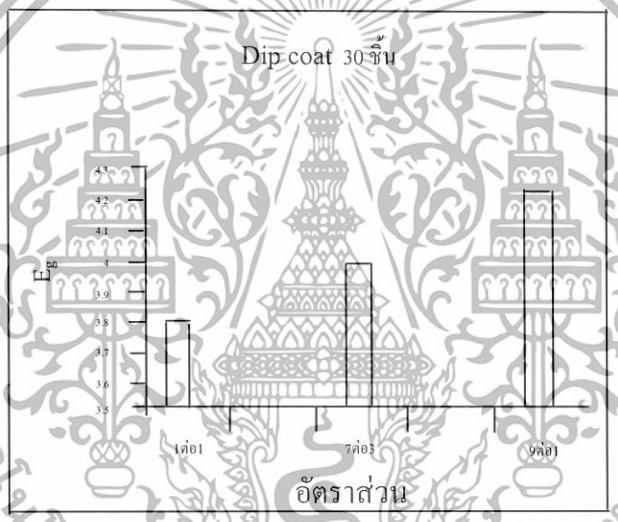


รูปที่ 4.4 (ช) กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าแถบพลังงานต้องห้ามกับความหนาของวิธีจุ่มเคลือบที่สัดส่วนอินเดียมต่อทินเท่ากับ 9:1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 4.4 (ฉ) และ 4.4 (ช) จะเห็นว่าความหนาต่างๆ ซึ่งมีสัดส่วนของอินเดียมต่อทินเท่ากันจะมีค่าแถบพลังงานต้องห้ามไม่ต่างกันมากนักแสดงว่าความหนาไม่ส่งผลต่อค่าแถบพลังงานต้องห้ามมากนัก ซึ่งจริงๆ แล้วค่าแถบพลังงานต้องห้ามควรจะเท่ากันแม้จะมีความหนาต่างกันก็ตาม แต่ในการทดลองนี้ต่างกันเล็กน้อย เนื่องจากความหนามากจะมีรอยต่อผิวสัมผัสแต่ละชั้นมาก ซึ่งอาจมีผลต่อค่าแถบพลังงานต้องห้าม เนื่องจากฟิล์มที่ปลูกในแต่ละชั้นมีความไม่สม่ำเสมอตลอดทั้งแผ่นทำให้ผิวสัมผัสไม่สม่ำเสมอกัน

4.4.5 ผลของสัดส่วนระหว่างอินเดียมต่อทินกับค่าแถบพลังงานต้องห้ามของฟิล์มบางอินเดียมทินออกไซด์ที่ปลูกโดยวิธีจุ่มเคลือบ



รูปที่ 4.4 (ซ) กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าแถบพลังงานต้องห้ามกับสัดส่วนอินเดียมต่อทินต่างๆ ของวิธีจุ่มเคลือบที่ความหนา 30 ชั้น

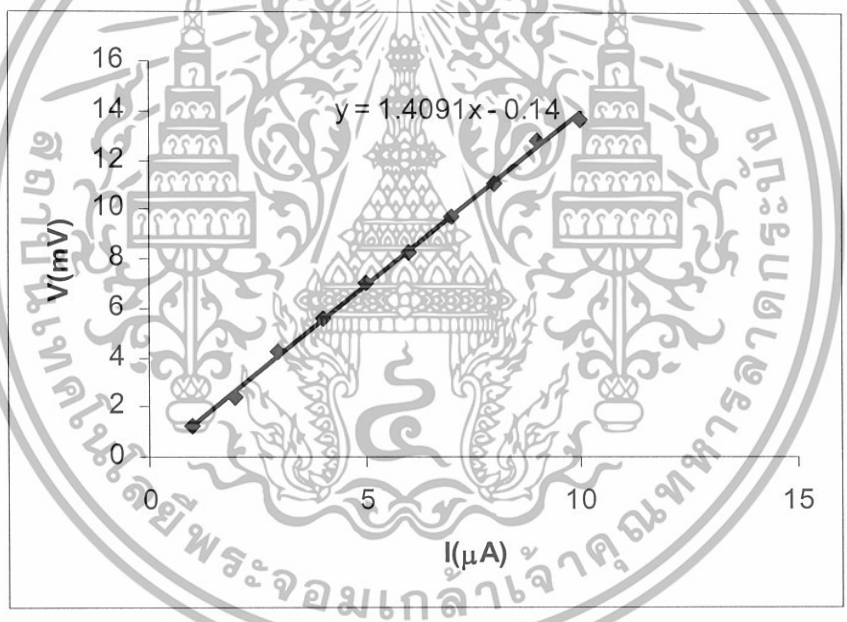
จากรูปที่ 4.4 (ซ) จะเห็นว่าที่สัดส่วนอินเดียมต่อทินเท่ากับ 1:1 จะมีค่าแถบพลังงานต้องห้ามน้อยที่สุด รองลงมาคือ 7:3 และที่ 9:1 จะมีค่าแถบพลังงานต้องห้ามมากที่สุด แสดงว่าเมื่ออัตราส่วน In:Sn มากขึ้นจะทำให้ค่าแถบพลังงานต้องห้ามมากขึ้นตามไปด้วย เนื่องจากการเจือทินเข้าไปมากขึ้นจะทำให้ค่าช่องว่างแถบพลังงานน้อยลง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.5 ผลที่ได้จากการวัดฟิล์มบาง ITO ด้วยเครื่องวัดความต้านทานไฟฟ้าโดยวิธี 2 ขั้ว

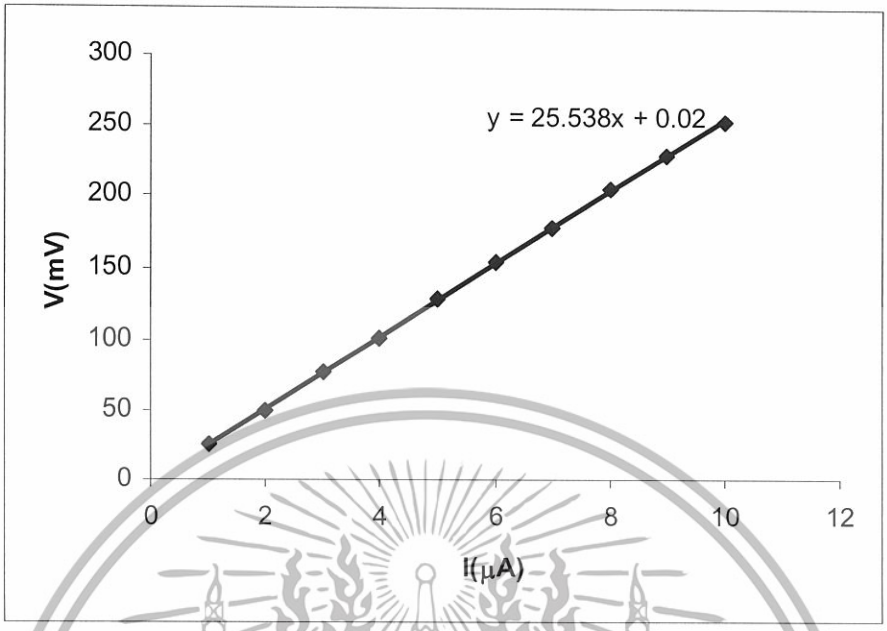
เริ่มต้นด้วยการปล่อยให้กระแสไฟฟ้าค่าต่างๆผ่านเข้าไปที่ผิวของฟิล์มบางอินเดียมทินออกไซด์ แล้ววัดค่าความต่างศักย์แต่ละค่าของกระแสไฟฟ้านั้น จากนั้นนำค่าที่ได้มาพลอตกราฟหาความชัน โดยที่ค่าความชันที่ได้คือค่าความต้านทานแผ่นนั่นเอง ซึ่งเป็นไปตามกฎของโอห์ม (V = IR)

4.5.1 ผลของสัดส่วนของอินเดียมต่อทินต่อค่าความต้านทานแผ่นของฟิล์มบางอินเดียมทินออกไซด์ที่ปลูกโดยวิธีจุ่มเคลือบ

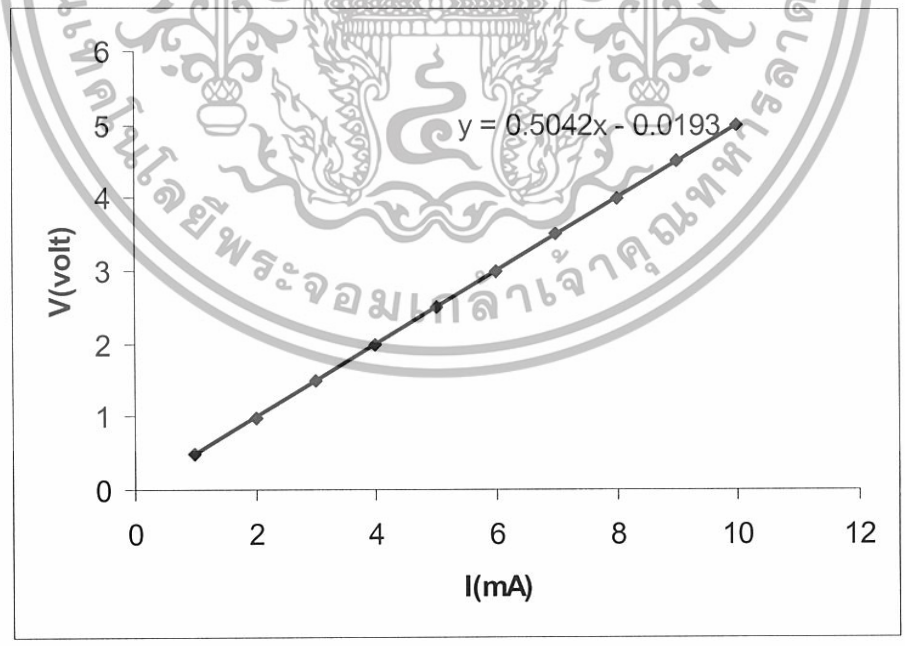


รูปที่ 4.5 (ก) กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความต่างศักย์กับกระแสของวิธีจุ่มเคลือบที่สัดส่วน อินเดียมต่อทินเท่ากับ 1:1 ซึ่งมีค่าความต้านทานแผ่นคือ 5.636 $k\Omega cm^{-2}$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.5 (ข) กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความต่างศักย์กับกระแสของวิธีจุ่มเคลือบที่สัดส่วน อินเดียมต่อทินเท่ากับ 7:3 ซึ่งมีค่าความต้านทานแผ่นคือ 114.921 $k\Omega cm^{-2}$



รูปที่ 4.5 (ค) กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความต่างศักย์กับกระแสของวิธีจุ่มเคลือบที่สัดส่วน อินเดียมต่อทินเป็น 9:1 ซึ่งมีค่าความต้านทานแผ่นคือ 1.815$k\Omega cm^{-2}$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากกราฟรูปที่ 4.5 (ก) 4.5 (ข) และ 4.5 (ค) จะสามารถหาค่าความต้านทานแผ่นได้จากสมการ

$$R_s = R\left(\frac{W}{L}\right) \tag{4.3}$$

เมื่อ R_s คือค่าความต้านทานแผ่น

R คือค่าความต้านทาน R = V/I

W คือความยาวของสารตัวอย่าง

L คือระยะห่างระหว่างขดลวด 2 เส้น

ผลของอัตราส่วนต่อค่าความต้านทานแผ่น

รูปที่ 4.5 (ง) กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความต้านทานแผ่น
กับอัตราส่วนต่างๆของวิธีจุ่มเคลือบ

จากกราฟรูปที่ 4.5 (ง) จะเห็นว่าสัดส่วนของอินเดียมต่อทิน กรณี 9:1 มีความต้านทานต่ำสุด รองลงมาเป็น 1:1 และ 7:3 ตามลำดับ เนื่องจากที่สัดส่วน 9:1 มีความเป็นผลึกสูงสุด การส่งผ่านของกระแสไฟฟ้าทำได้ดีที่สุด ค่าความต้านทานแผ่นจึงต่ำสุด และที่สัดส่วน7:3 และ 1:1 มีความเป็น อสัณฐานลดลงตามลำดับ ทำให้สัดส่วน 1:1 มีค่าความต้านทานแผ่นสูงกว่าสัดส่วน 9:1 และสัดส่วน 7:3 มีความต้านทานแผ่นสูงสุด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5
สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการทดลอง

ฟิล์มของอินเดียมทินออกไซด์ที่เตรียมโดยกระบวนการโซล-เจล และทำการขึ้นรูปด้วยการจุ่มเคลือบนั้น ลักษณะของฟิล์มที่ได้สามารถยึดเกาะกับแผ่นแก้วรองรับได้ดี จากการศึกษาฟิล์มบางโดยอาศัยการเลี้ยวเบนด้วยรังสีเอ็กซ์ (X-ray diffraction) พบว่าโครงสร้างของฟิล์มบางที่เตรียมจากอินเดียมต่อทินในสัดส่วน 1:1 และ 7:3 มีความเป็นอสัณฐาน (amorphous) ค่อนข้างสูง แต่ที่สัดส่วนอินเดียมต่อทินที่ 9:1 พบว่าฟิล์มบางมีโครงสร้างที่เป็นผลึกสูงที่สุด และจากการศึกษาผลที่ได้จากการวิเคราะห์ฟิล์มบางอินเดียมทินออกไซด์ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (scanning electron microscope ; SEM) พบว่าผลที่ได้นั้นมีความสอดคล้องกับผลที่ได้จากการศึกษาด้วยการเลี้ยวเบนของรังสีเอ็กซ์คือ ที่สัดส่วนอินเดียมต่อทินเท่ากับ 1:1 และ 7:3 พบว่ามีความเป็นอสัณฐาน (amorphous) ค่อนข้างมาก รวมทั้งผิวหน้าไม่สม่ำเสมอ แต่ที่สัดส่วน 9:1 พบว่าโครงสร้างของฟิล์มบางมีความเป็นผลึก ผิวหน้ามีความสม่ำเสมอและมีขนาดเกรน (grain size) ประมาณ 20 นาโนเมตร และเมื่อนำฟิล์มบางอินเดียมทินออกไซด์ไปศึกษาด้วยเครื่อง UV-visible spectrophotometer ซึ่งเป็นการศึกษาความสัมพันธ์ต่างๆของฟิล์มบางอินเดียมทินออกไซด์ดังนี้

1. ผลของสัดส่วนระหว่างอินเดียมทินออกไซด์ต่อสัมประสิทธิ์การส่องผ่านของแสงของฟิล์มบางอินเดียมทินออกไซด์ ซึ่งพบว่าค่าเปอร์เซ็นต์การส่องผ่านของแสงของสัดส่วนอินเดียมต่อทินเท่ากับ 7:3 จะให้ค่าสัมประสิทธิ์การส่องผ่านของแสงสูงสุดคือ 95 เปอร์เซ็นต์ ที่สัดส่วน 1:1 ได้ค่าสัมประสิทธิ์การส่องผ่านของแสงที่ 85 เปอร์เซ็นต์และสัดส่วน 9:1 ให้ค่าสัมประสิทธิ์การส่องผ่านของแสงต่ำสุดคือ 80 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ

2. ผลของจำนวนชั้นในการเคลือบต่อสัมประสิทธิ์การส่องผ่านของแสงของฟิล์มบางอินเดียมทินออกไซด์พบว่าจำนวนชั้นในการเคลือบมากขึ้นการส่องผ่านของแสงจะมีลดลงตามลำดับ

3. ผลของจำนวนชั้นในการเคลือบต่อค่าแถบพลังงานต้องห้ามของฟิล์มบางอินเดียมทินออกไซด์จะพบว่าที่ความหนาต่างๆ ซึ่งมีสัดส่วนอินเดียมต่อทินเท่ากัน จะมีค่าแถบพลังงานต้องห้ามไม่ต่างกันมากนัก

4. ผลของสัดส่วนอินเดียมและทินต่อค่าแถบพลังงานต้องห้ามของฟิล์มบางอินเดียมทินออกไซด์จะพบว่าที่สัดส่วนอินเดียมและทินเป็น 9:1 จะมีค่าแถบพลังงานต้องห้ามมากที่สุด รองลงมาคือ 7:3 และ 1:1 ตามลำดับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

และเมื่อทำการศึกษาผลที่ได้จากการวัดฟิล์มบางอินเดียมทินออกไซด์ด้วยเครื่องวัดความต้านทานไฟฟ้าโดยวิธีสองขั้ว ที่สัดส่วนอินเดียมและทินเท่ากับ 7:3 มีค่าความต้านทานสูงสุดแผ่นคือ 114.921 $k\Omega cm^{-2}$ รองลงมาคือสัดส่วน 1:1 มีความต้านทานเท่ากับ 5.636 $k\Omega cm^{-2}$ และสัดส่วน 9:1 มีค่าความต้านทานน้อยที่สุดคือ 1.81512 $k\Omega cm^{-2}$

5.2 ข้อเสนอแนะ

ในการเตรียมฟิล์มบางอินเดียมทินออกไซด์ พบปัญหาและเทคนิคบางประการที่สามารถนำไปปรับปรุงการทดลองเพื่อให้ผลลัพธ์ออกมาดีที่สุดปัญหาและข้อเสนอแนะมีดังนี้

1.คุณภาพของฟิล์มบางขึ้นอยู่กับอัตราการจุ่มเคลือบของสารละลายโซล-เจล โดยหากใช้อัตราการจุ่มเคลือบคงที่จะได้ฟิล์มที่ความหนาของแต่ละชั้นสม่ำเสมอ

2.แผ่นแก้วโบโรซิลิเกตที่ใช้เป็นตัวรองรับมีขีดจำกัดทางด้านอุณหภูมิคือ ไม่สามารถทนอุณหภูมิได้ถึง 700 องศาเซลเซียส ควรเปลี่ยนแผ่นแก้วรองรับเป็นแก้วควอทซ์ซึ่งสามารถทนอุณหภูมิได้สูงกว่า

3.ไม่ควรเก็บสารละลายโซล-เจลนานเกิน 2 วัน ซึ่งจะส่งผลให้ได้ฟิล์มบางที่มีคุณภาพต่ำเนื่องจากสารละลายโซล-เจลมีความหนืดเพิ่มและสีเข้มขึ้น

4. ควรอบแผ่นแก้วรองรับให้แห้งสนิทก่อนทำการจุ่มเคลือบเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการยึดเกาะ

5.การวัดความหนาของฟิล์มบางอินเดียมทินออกไซด์ทำได้ยาก ซึ่งอาจหาความหนาได้โดยนำแผ่นแก้วรองรับที่มีฟิล์มบางอินเดียมทินออกไซด์เคลือบอยู่มากรีด แล้วหักแผ่นแก้วรองรับจากนั้นนำไปวิเคราะห์หาความหนาฟิล์มบางอินเดียมทินออกไซด์ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (scanning electron microscope ; SEM) โดยวิเคราะห์ภาพตัดขวางของฟิล์มบางเป็นจำนวน 3 จุด แล้วหาค่าความหนาเฉลี่ย จากนั้นสร้างกราฟมาตรฐานระหว่างความหนากับจำนวนชั้นในการจุ่มเคลือบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารอ้างอิง

[1] T.F. Stoica , M. Losurdo.2004, **"Spectroellipsometric study of the sol-gel nanocrystalline ITO multilayer films."**(Online).Available:http//www.sciencedirect.com

[2] Nimai Chand Pramanik.200,.**"Development of nano indium tin oxide(ITO) grains by alkaline hydrolysis of In(III) and Sn(IV)salts."**(Online).Available:http//www.sciencedirect.com

[3] K. Daoudi .2003, **"Densification of In_2O_3:Sn multilayered films elaborated by the dip-coating sol-gel route."**(Online).Available:http//www.sciencedirect.com

[4] Dabin Yu.2002,**"Strural, optical and electrical properties of indium tin oxide film with corundum structure fabricated by a sol-gel route based on solvothermalreaction."**(Online). Availble:http//www.sciencedirect.com

[5] G. Guzman'.2005,**"Transparent conducting sol-gel ATO coatings for display applications by an improved dip coating technique."**(Online).Available:http//www.sciencedirect.com

[6] C. Su.2005,**" Preparation of ITO Thin Films by Sol-Gel Process and Their Characterizations."** (Online)Availble:http//www.sciencedirect.com

[7] Ryoko Ota, Shigeyuki Seki, Yutaka Sawada.2003.Indium-tin-oxide films prepared by dip coating using an etanol solution of indium chpoloride and tin chloride.**Surface Coating**

[8] http://www.webelement.com/webelements/compounds/text/In/In203-1312432.html

[9] Xirocchwki C.(1999). Structured and chemical Characterization of AS.Deposited Microcrystalline Indium oxide Films prepared by DC Reactive magnetron sputtering . Journal of Electronic materials, 28.

[10] Willhelm Conrad Rontgen. **Introduction to Power X-ray Diffraction (XRD),** HistoryBasic Principles. Folie.2001 Bruker AXS All Rights Reserved

[11] http://www.chemat.com/html/sol-gel.html

[12] http://www.ud.co.th/ud_wed/httf/eng/news/screen.html

[13] คณิตา ตังคณานุรักษ์ . (2546). **เอกสารประกอบปฏิบัติการเคมีเครื่องมือวิเคราะห์ Thermogravimetric Ananlysis (TGA) .** กรุงเทพฯ : ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง .

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

[14] คณิตา ตังคณานุรักษ์. (2548) . **เอกสารประกอบการเรียนวิชาเครื่องมือวิเคราะห์ 2 เรื่อง Thermal Analysis .** กรุงเทพฯ : ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง .

[15] ชัยวัฒน์ โชควัฒน์วิกุล .(2548). เอกสารประกอบการสัมมนาเรื่องการเตรียมและการวิเคราะห์อนุภาคระดับนาโนเมตรของอินเดียมทินออกไซด์ที่มีการกระจายตัวอย่างมีเอกภาพ. ตึกจุฬาภรณ์วลัยลักษณ์ 1.

[16] บุญประเสริฐ เงินแท่ง. (2546) . **การเตรียมฟิล์มบางทินออกไซด์เพื่อประยุกต์เป็นขั้วไฟฟ้าโปร่งแสง .** กรุงเทพฯ : ภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง .

[17] แม้น อมรสิทธิ์ และ อมร เพชรสม. (2534) . **หลักการและเทคนิคการวิเคราะห์เชิงเครื่องมือ.** กรุงเทพฯ.

[18] วีระศักดิ์ อุดมกิจเดชา & สุพจน์ หารหนองบัว. (2543) . **เครื่องมือวิจัยทางวัสดุศาสตร์ : ทฤษฎีและหลักการทำงานเบื้องต้น .** กรุงเทพฯ : โรงพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย .

[19] สุพล อนันตาม. 2543. **กระบวนการประดิษฐ์สำหรับเซรามิกชั้นสูง**. ภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.

[20] ศุภชัย ใช้เทียมวงศ์ . (2536) . **เคมีวิเคราะห์ .** กรุงเทพฯ : โรงพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย .

[21] ศูนย์เครื่องมือวิทยาศาตร์. (2548) . **เอกสารประกอบปฏิบัติการวิเคราะห์สารเคมีในอุตสาหกรรม 2 เรื่อง การวิเคราะห์การเลี้ยวเบนด้วยรังสีเอกซ์ .** กรุงเทพฯ : ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง .

[22] [Online]Avaiible: http://advent-rm.com. 2005.

[23] [Online]Avaiible: http://optoweb.fis.uniroma 2.it/opto/solgel/.2005.

[24] [Online]Avalible: http://www.psrc.usm.edu/mauritz/sol gel.html.2005.

[25] [Online]Avalible: http://www.cerac.com/pubs/proddate/ito.htm.2005

[26] http://www.kmitl.ac.th/sisc/XRD/Getting strat of XRD/html.

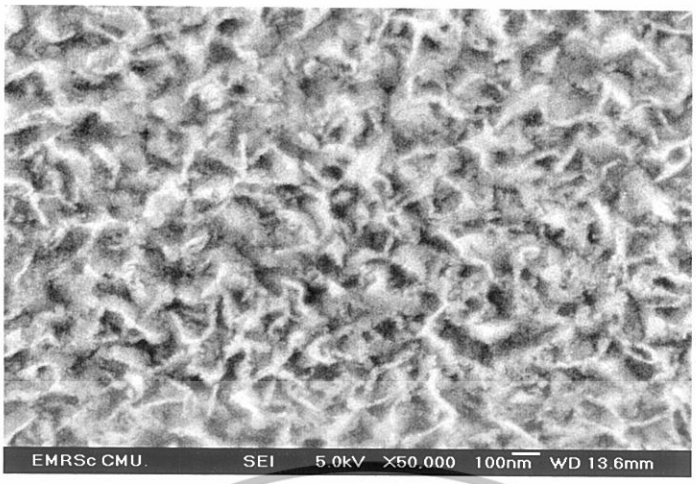
[27] http://mse.iastwte.edu/microscopy/beaminteractions.html

[28] http://mse.iastwte.edu/microscopy/pwth.html

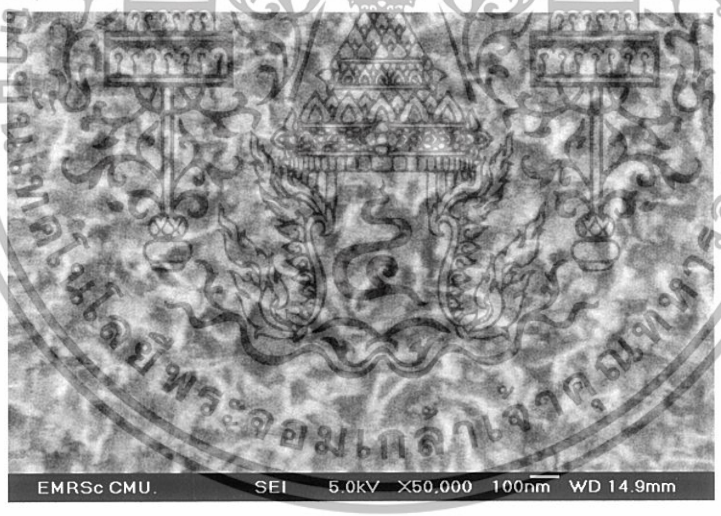
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

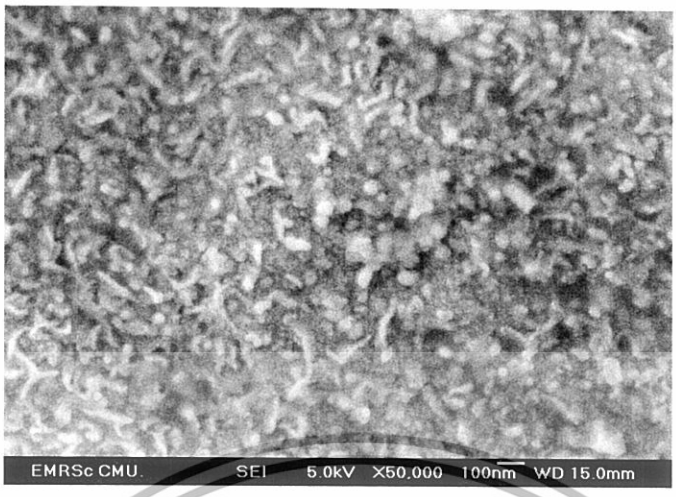


ภาพ SEM แสดงลักษณะทางกายภาพผิวหน้าของฟิล์มบางเมื่อเผาที่อุณหภูมิ 700 องศาเซลเซียส โดยมีสัดส่วนของอินเดียมต่อทินเป็น 1:1 จุ่มเคลือบจำนวน 20 ชั้น



ภาพ SEM แสดงลักษณะทางกายภาพผิวหน้าของฟิล์มบางเมื่อเผาที่อุณหภูมิ 700 องศาเซลเซียส โดยมีสัดส่วนของอินเดียมต่อทินเป็น 7:3 จุ่มเคลือบจำนวน 25 ชั้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพ SEM แสดงลักษณะทางกายภาพผิวหน้าของฟิล์มบางเมื่อเผาที่อุณหภูมิ 700 องศาเซลเซียส โดยมีสัดส่วนของอินเดียมต่อทินเป็น 9 :1 จุ่มเคลือบจำนวน 20 ชั้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

[32-458] PDF-2 Sets 1-86 Quality: Wavelength: 1.540598

Indium Tin Oxide
In2 Sn O5

Rad.: CuKa (1.5418) Filter: Mono. d-sp: Guinier
I/Icor.: Cutoff: Int.: Diffractometer
Ref.: Varfolomeev, M. et al., Inorg. Mater. (Engl. Transl.), 11, (1975), 1926

Sys.: V(redu):
a: b: c:
A: B: C: Z: mp:
Dx: Dm:

ea: nwB: ey: Sign: 2V:

Reaction of \In2 O3\ and \Sn O2\ when coprecipitated mixtures of In and Sn hydroxides were heated to 900 C and annealed at 600-700 C. // Decomposition into inital oxides at 1000 C.

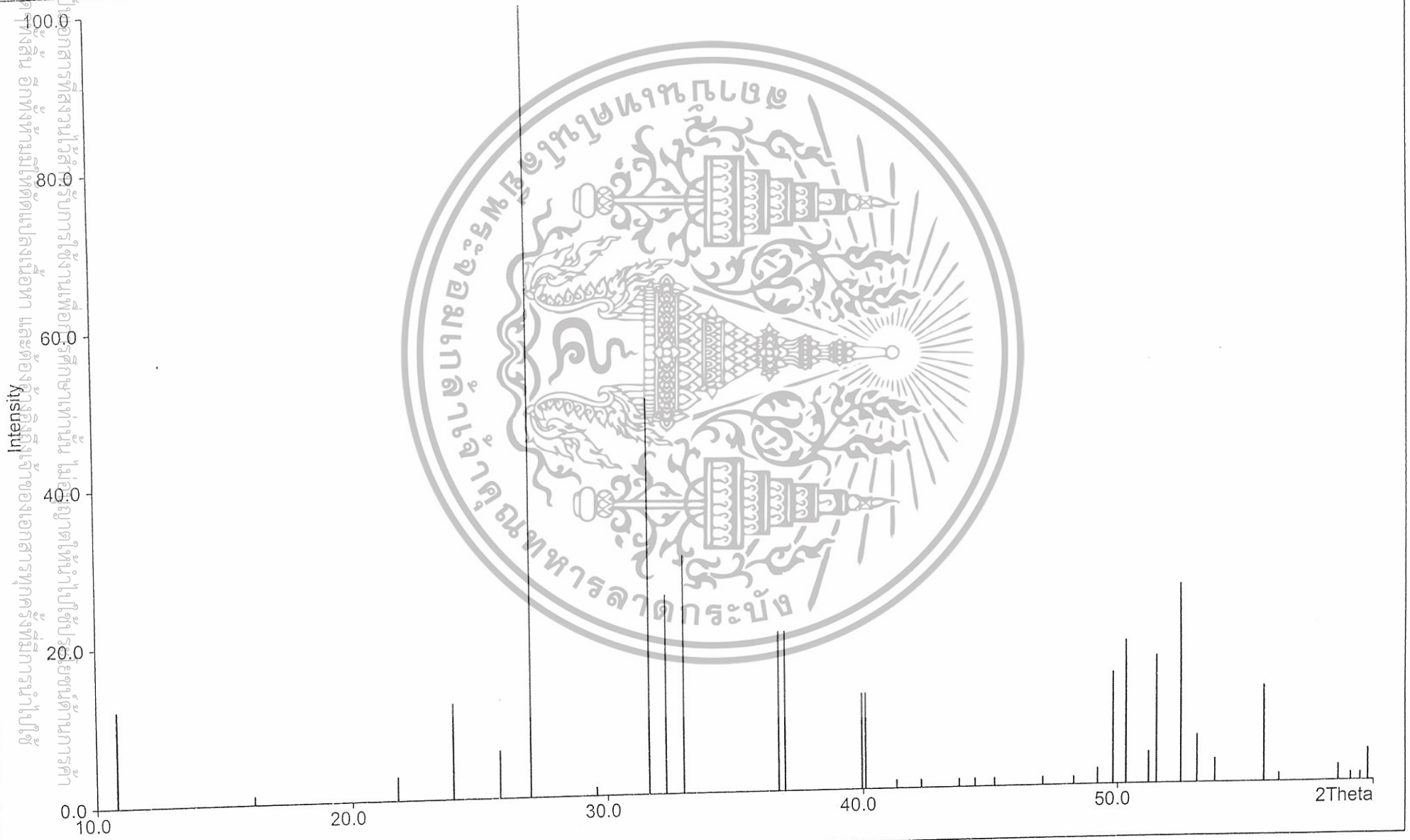
Hanawalt: 2.87/X 2.75/X 1.99/3 1.82/3 1.61/3 3.95/3 1.58/3 1.69/1 1.39/1 1.37/1
Max-d: 3.95/3 2.87/X 2.75/X 1.99/3 1.82/3 1.69/1 1.61/3 1.58/3 1.39/1 1.37/1

d[A]	2Theta	Int.	h	k	l	d[A]	2Theta	Int.	h	k	l
3.9500	22.491	25				1.6900	54.233	14			
2.8700	31.138	100				1.6100	57.168	30			
2.7500	32.533	100				1.5830	58.236	25			
1.9900	45.546	30				1.3870	67.472	10			
1.8150	50.226	30				1.3720	68.311	10			

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

STOE Powder Diffraction System

14-Mar-06



[25-1259] PDF-2 Sets 1-86 Quality: Wavelength: 1.540598

Tin Oxide
Sn2 O3
Sn O ! Sn O2

Rad.: CrKa1 (2.28970) Filter: Beta V d-sp:
I/Icor.: Cutoff: Int.: Diffractometer
Ref.: Hurken, Tromel., Z. Anorg. Alig. Chem., 397, (1973), 117

Sys.: Triclinic S.G.: P* (2) V(redu): 165.2
a: 5.457 b: 8.179 c: 3.714 A: 0.6672 C: 0.4541
A: 93.8 B: 92.3 C: 90.00 Z: 2 mp:
Dx: 5.730 Dm: 5.900 SS/FOM: F30= 2.7 (0.145, 77)

ea: nwB: ey: Sign: 2V:

Formed by decomposition of SnO above 300 C. // To replace 18-1386.

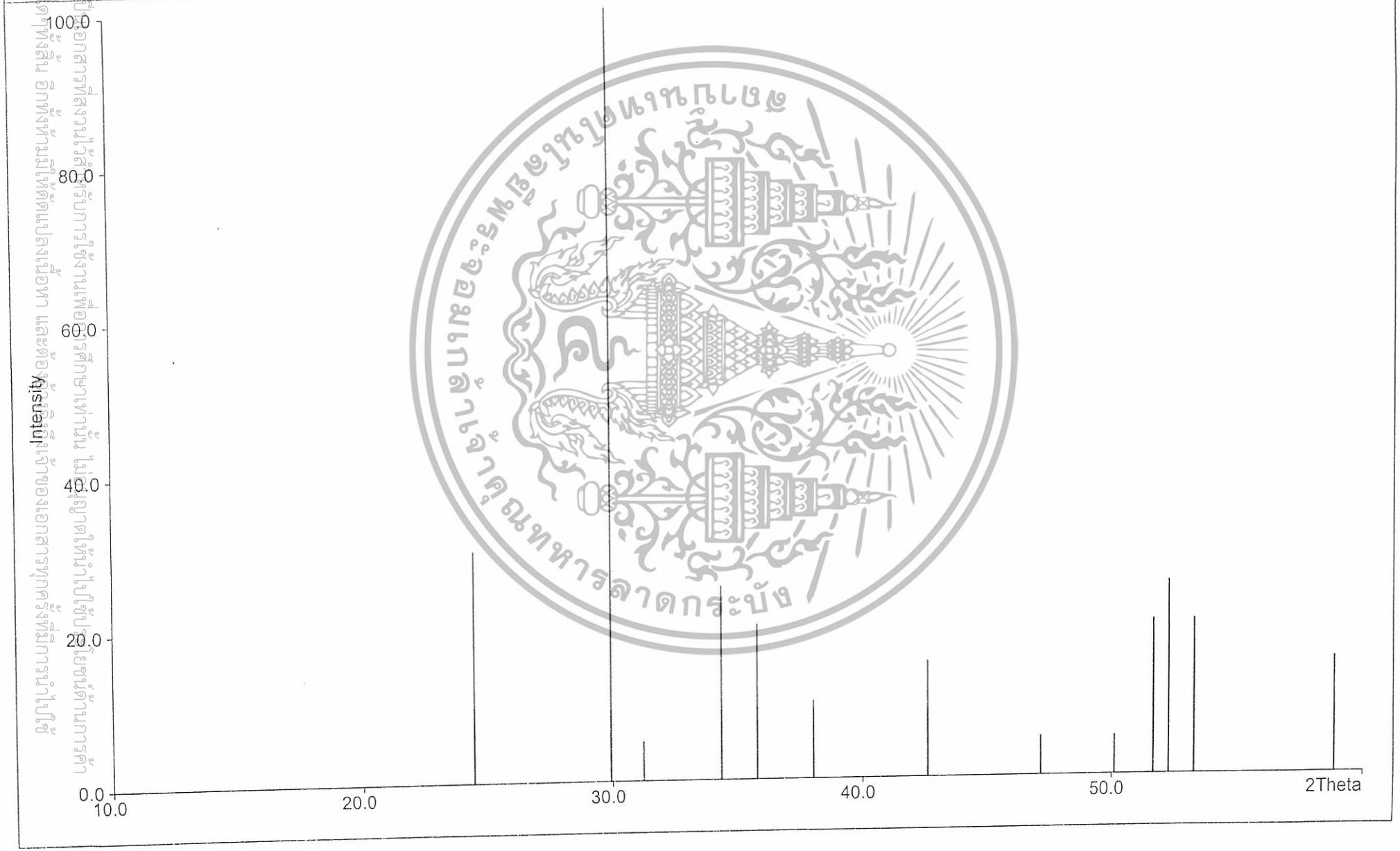
Hanawalt: 3.30/X 2.83/5 2.72/3 2.77/3 1.74/3 2.45/2 2.43/2 1.81/2 1.77/2 1.83/1
Max-d: 8.20/1 5.48/1 4.08/1 3.71/1 3.45/1 3.30/X 3.02/1 2.83/5 2.77/3 2.72/3

d[A]	2Theta	Int.	h	k	l	d[A]	2Theta	Int.	h	k	l
8.2000	10.781	12	0	1	0	1.8830	48.294	1	2	2	1
5.4800	16.161	< 1	1	0	0	1.8500	49.212	2	0	0	2
4.0800	21.765	3	0	2	0	1.8290	49.816	14	0	-1	2
3.7100	23.967	12	0	0	1	1.8120	50.315	18	3	0	0
3.4500	25.803	6	0	-1	1	1.7830	51.192	4	0	1	2
3.3000	26.987	100	0	1	1	1.7730	51.502	16	3	1	0
3.0200	29.555	< 1	1	0	1	1.7430	52.455	25	0	4	1
2.8290	31.601	50	0	-2	1	1.7240	53.078	6	2	-3	1
2.7730	32.256	25	1	1	1	1.7030	53.785	3	-2	3	1
2.7150	32.965	30	0	3	0	1.6490	55.696	12	1	4	1
2.4460	36.712	20	-1	3	0	1.6330	56.290	1	-3	-1	1
2.4300	36.963	20	1	3	0	1.5740	58.601	2	0	-3	2
2.2550	39.948	12	2	2	0	1.5620	59.096	1	1	5	0
2.2470	40.097	12	-2	0	1	1.5530	59.472	< 1	-3	-2	1
2.1840	41.305	< 1	-2	-1	1	1.5460	59.769	4	-2	-1	2
2.1370	42.257	1	-2	1	1	1.5250	60.678	1	-3	2	1
2.0670	43.760	1	2	1	1						
2.0390	44.393	< 1	0	4	0						
2.0060	45.163	< 1	-1	3	1						
1.9290	47.072	< 1	-2	3	0						

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

STOE Powder Diffraction System

14-Mar-06



[29-1484] PDF-2 Sets 1-86 Quality: I Wavelength: 1.540598

Tin Oxide
Sn O2

Rad.: Filter: d-sp:
I/Icor.: Cutoff: Int.: visual
Ref.: Suito, K. et al., Mater. Res. Bull., 10, (1975), 677

Sys.: Orthorhombic S.G.: P212121 (19) V(red): 140.7
a: 4.714 b: 5.727 c: 5.214 A: 0.8231 C: 0.9104
B: C: Z: 4 mp:
Dx: 7.110 Dm: SS/FOM: F22= 12.7 (0.024, 71)

ea: nwB: ey: Sign: 2V:

Pattern synthesized at 800 C and 158 kbar. // Form II.

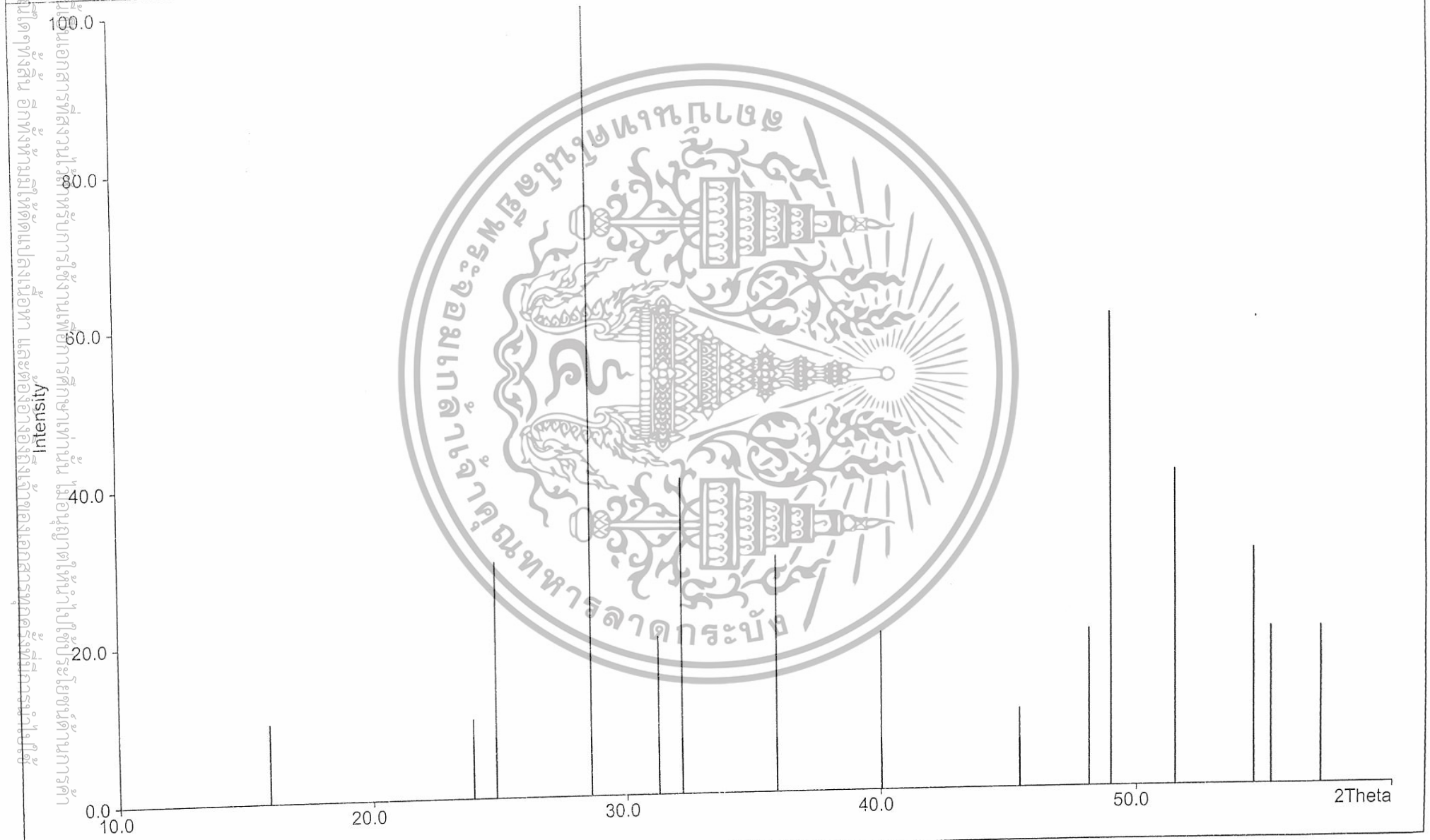
Hanawalt: 2.98/X 3.64/3 2.61/3 1.75/3 2.51/2 1.77/2 1.72/2 2.12/2 1.57/2 1.46/2
Max-d: 3.64/3 2.98/X 2.86/1 2.61/3 2.51/2 2.37/1 2.12/2 1.93/1 1.82/1 1.77/2

d[A]	2Theta	Int.	h	k	l	d[A]	2Theta	Int.	h	k	l
3.6400	24.435	30	1	1	0	1.4630	63.541	15	1	3	2
2.9840	29.920	100	1	1	1	1.4550	63.932	15	3	1	1
2.8610	31.238	5	0	2	0	1.3810	67.805	5	0	4	1
2.6090	34.345	25	0	0	2	1.2570	75.596	5	2	2	3
2.5080	35.774	20	0	2	1	1.2130	78.845	5	3	3	0
2.3650	38.017	10	0	1	2	1.1910	80.597	5	2	4	1
2.1200	42.612	15	1	1	2	1.1410	84.925	5	2	0	4
1.9270	47.124	5	0	2	2						
1.8190	50.108	5	2	2	0						
1.7680	51.658	20	1	3	0						
1.7490	52.262	25	2	0	2						
1.7180	53.278	20	2	2	1						
1.5680	58.847	15	1	1	3						
1.4920	62.167	5	2	2	2						
1.4860	62.446	10	0	2	3						

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

STOE Powder Diffraction System

14-Mar-06



สถาบันวิทยบริการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

[13-111] PDF-2 Sets 1-86 Quality: Wavelength: 1.540598

Tin Oxide
Sn O

Rad.: CuKa (1.5418) Filter: Beta Ni d-sp: Debye-Sch. 114.6
I/Icor.: Cutoff: Int.: visual
Ref.: Donaldson, Moser, Simpson., J. Chem. Soc., (1961), 830

Sys.: Orthorhombic S.G.: Cmc21 (36) V(redu): 160.1
a: 5.00 b: 5.72 c: 11.2 A: 0.8741 C: 1.9580
A: B: C: Z: 8 mp:
Dx: 5.630 Dm: 5.560 SS/FOM: F25= 2.6 (0.115, 83)

ea: nwB: ey: Sign: 2V:
Color: Violet-red

Stable in air up to about 270 C.

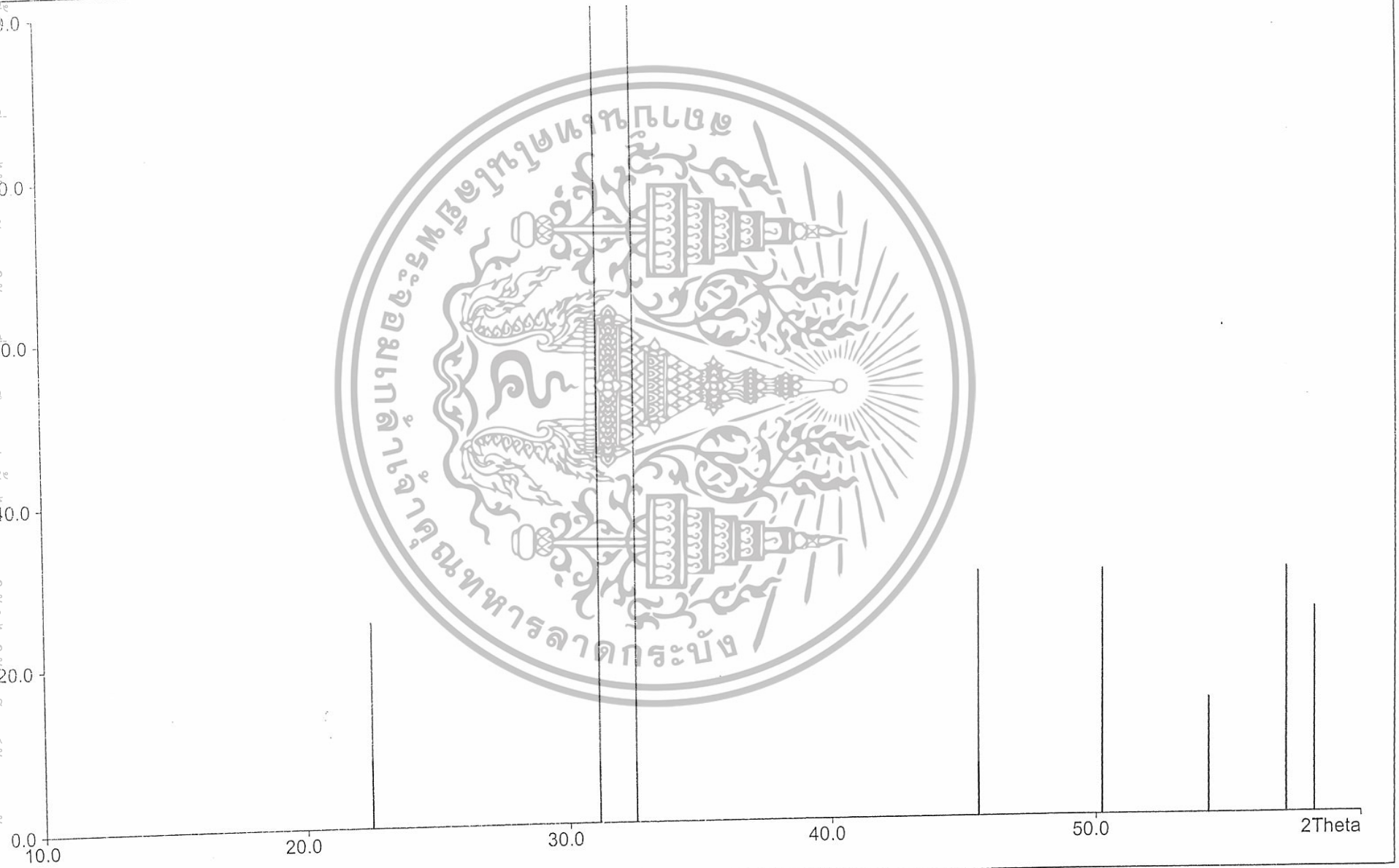
Hanawalt: 3.12/X 1.86/6 2.78/4 1.77/4 1.43/4 3.58/3 2.50/3 1.68/3 1.54/3 1.10/3
Max-d: 5.56/1 3.71/1 3.58/3 3.12/X 2.86/2 2.78/4 2.50/3 2.25/2 1.99/1 1.89/2

d[A]	2Theta	Int.	h	k	l	d[A]	2Theta	Int.	h	k	l
5.5600	15.927	10	0	0	2	1.5400	60.026	30	3	1	2
3.7100	23.967	10	1	1	0	1.4290	65.238	40	0	4	0
3.5800	24.851	30	1	1	1	1.3930	67.143	20	1	3	5
3.1200	28.587	100	1	1	2	1.3420	70.058	10	0	4	3
2.8600	31.249	20	0	2	0	1.2510	76.012	20	4	0	0
2.7800	32.173	40	0	2	1	1.2390	76.882	20	2	4	0
2.5000	35.892	30	2	0	0	1.2130	78.845	20	2	4	2
2.2500	40.041	20	1	1	4	1.1830	81.255	20	1	1	9
1.9940	45.450	10	0	2	4	1.1410	84.925	20	0	2	9
1.8880	48.158	20	2	2	0	1.0950	89.412	30	4	2	3
1.8570	49.014	60	2	2	1	1.0280	97.063	10			
1.7730	51.502	40	1	3	0						
1.6810	54.547	30	2	2	3						
1.6620	55.223	20	1	1	6						
1.6100	57.168	20	1	3	3						

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

STOE Powder Diffraction System

14-Mar-06



สำนักวิทยบริการฯ มหาวิทยาลัยราชภัฏราชนครินทร์ ห้ามมิให้นำเอกสารนี้ออกนอกบริเวณห้องสมุด

[20-1293] PDF-2 Sets 1-86 Quality: Wavelength: 1.540598

Tin Oxide
Sn3 O4

Rad.: Filter: d-sp:
I/Icor.: Cutoff: Int.: visual
Ref.: Lawson., Nature (London), 215, (1967), 955

Sys.: Triclinic S.G.: P* (2) V(redu): 233.5
a: 4.86 b: 5.88 c: 8.20 A: 0.8265 C: 1.3946
A: 93.00 B: 93.35 C: 91.00 Z: 2.16 mp:
Dx: Dm: SS/FOM: F 9= 3.9 (0.088, 26)

ea: nwB: ey: Sign: 2V:

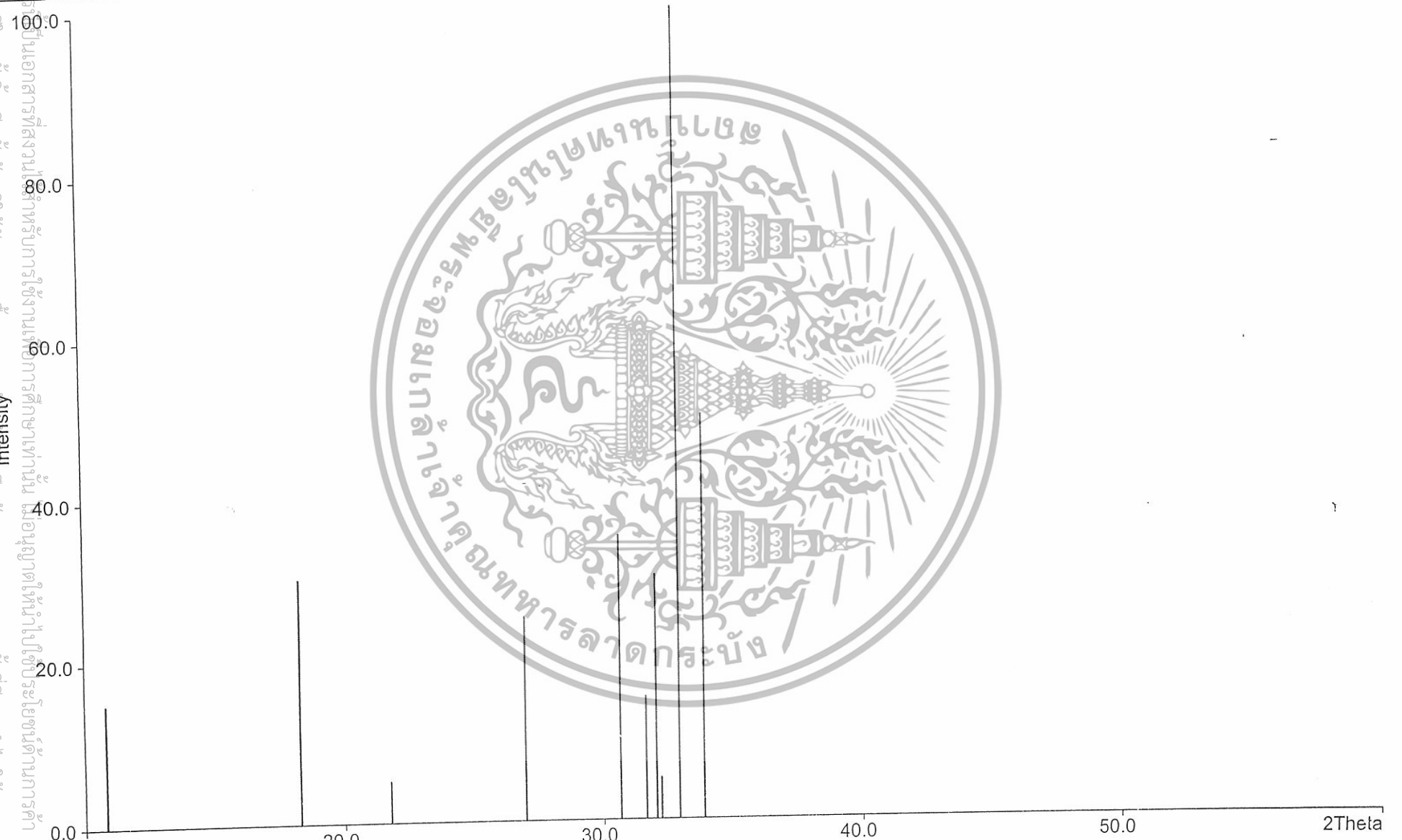
Hanawalt: 2.72/X 2.65/5 2.92/4 4.84/3 2.79/3 3.30/3 8.17/2 2.83/2 4.08/1 2.78/1
Max-d: 8.17/2 4.84/3 4.08/1 3.30/3 2.92/4 2.83/2 2.79/3 2.78/1 2.72/X 2.65/5

d[A]	2Theta	Int.	h	k	l	d[A]	2Theta	Int.	h	k	l
8.1700	10.820	15	0	0	1	2.8270	31.624	15	0	-2	1
4.8400	18.315	30	1	0	0	2.7930	32.019	30	-1	1	2
4.0800	21.765	5	0	0	2	2.7780	32.197	5			
3.3000	26.997	25	1	1	1	2.7210	32.890	100	0	0	3
2.9160	30.634	35	0	2	0	2.6450	33.863	50	1	1	2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

STOE Powder Diffraction System

14-Mar-06



[39-1058] PDF-2 Sets 1-86 Quality: Wavelength: 1.540598

Indium Tin Oxide
In2 Sn2 O7-x

Rad.: CuKa (1.5418) Filter: d-sp: Diffractometer
I/Icor.: Cutoff: Int.: visual
Ref.: Solov'eva, A., Zhdanov, V., Inorg. Mater. (Engl. Transl.), 21, (1985), 828

Sys.: Cubic S.G.: V(redu): 1069.3
a: 10.226 b: c:
A: B: C: Z: mp:
Dx: Dm: SS/FOM: F 8= 1.0 (0.201, 41)

ea: nwB: ey: Sign: 2V:

Isotypic with \Yb2 Sn2 O7\ and \Eu2 Sn2 O7\.

Hanawalt: 2.95/X 2.55/X 1.79/X 2.81/5 1.54/5 2.33/2 1.95/2 1.47/2 0.00/1 0.00/1
Max-d: 2.95/X 2.81/5 2.55/X 2.33/2 1.95/2 1.79/X 1.54/5 1.47/2 0.00/1 0.00/1

d[A]	2Theta	Int.	h	k	l	d[A]	2Theta	Int.	h	k	l
2.9500	30.273	100	2	2	2	1.7900	50.978	100	4	4	1
2.8140	31.774	50	3	2	0	1.5420	59.940	50	6	2	2
2.5500	35.165	100	4	0	0	1.4650	63.444	20	7	0	0
2.3260	38.679	20	3	3	1						
1.9530	46.458	20	5	1	1						

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้