

โครงสร้างและคุณลักษณะของแท่งนาโนซิงค์ออกไซด์ที่เจือเงิน ด้วยกระบวนการไฮโดรเทอร์มอล

ศุภลักษณ์ สระน้อย¹ ธนัษพร ลูกปรัง¹ วัชรกร ศรีคำ¹ วุฒิชัย สีนอนตร์²และ จุติพงศ์ เครือหงส์^{1,*}

¹สาขาวิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏสุราษฎร์ธานี

²วิทยาลัยนาโนเทคโนโลยีพระจอมเกล้าลาดกระบัง สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

(*Corresponding author's e-mail: kruaehong@hotmail.com)

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ได้สังเคราะห์วัสดุโครงสร้างนาโนซิงค์ออกไซด์เจือเงิน ด้วยกระบวนการไฮโดรเทอร์มอล โดยเริ่มต้นจากการเตรียมฟิล์มบางซิงค์ออกไซด์เพื่อใช้เป็นชั้นกักเก็บ ด้วยกระบวนการโซลเจลและหมุนเคลือบ โดยใช้ซิงค์อะซิเตตเป็นสารตั้งต้น จากนั้นทำการปลูกวัสดุโครงสร้างนาโนด้วยกระบวนการไฮโดรเทอร์มอลที่อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 4 ชั่วโมง ในการทดลองมีการเปลี่ยนแปลงปริมาณของสารที่เจือเงิน ที่ความเข้มข้นตั้งแต่ 0.5 ถึง 5% จากการตรวจลักษณะทางพื้นผิวของตัวอย่าง ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดพบว่าขนาดของเกรนสม่ำเสมอ มีค่า 0.1 – 0.5 ไมครอน ส่วนการวิเคราะห์โครงสร้างผลึกด้วยการเลี้ยวเบนของรังสีเอ็กซ์ พบว่าแท่งนาโนซิงค์ออกไซด์มีความเป็นผลึกที่ดี และมีการแทรกตัวของเงินในซิงค์ออกไซด์ ผลการวิเคราะห์การทะลุผ่านของแสงพบว่า ชั้นกักเก็บผลึกมีการทะลุผ่านของแสงที่ดี และเมื่อเจือเงินพบว่ามีการทะลุผ่านของแสงในช่วงที่ตามองเห็นลดลง

คำสำคัญ: โครงสร้างนาโน ไฮโดรเทอร์มอล ซิงค์ออกไซด์ เจือเงิน

1. บทนำ

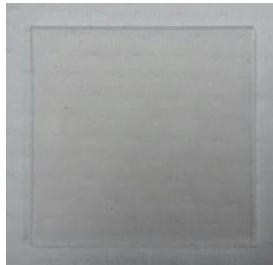
ซิงค์ออกไซด์ (Zinc Oxide: ZnO) เป็นสารประกอบ ที่ได้รับความสนใจ นำมาศึกษาค้นคว้าวิจัยกันอย่างกว้างขวาง เนื่องจากสมบัติเฉพาะตัวโดดเด่นที่เหนือกว่าวัสดุอื่น ซิงค์ออกไซด์เป็นวัสดุกึ่งตัวนำที่มีช่องว่างแถบพลังงานกว้างประมาณ 3.34 อิเล็กตรอนโวลต์ [1] มีสมบัติทางแสงที่ดีคือ มีความโปร่งแสงสูงในช่วงแสงที่ตามองเห็น และมีสมบัติทางไฟฟ้าที่ดี เมื่อนำซิงค์ออกไซด์มาเตรียมให้มีโครงสร้างระดับนาโนเมตร สามารถเพิ่มศักยภาพสำหรับการนำไปประยุกต์ใช้งานได้อย่างหลากหลาย เช่น อุปกรณ์เชิงแสง เซลล์แสงอาทิตย์ (Solar cell) ส่วนประกอบของชุดอุปกรณ์ตรวจจับก๊าซ (Gas sensors) เป็นต้น ซึ่งอุปกรณ์ต่างๆ เหล่านี้จะเกิดขึ้นได้ต้องมีการวิจัยสังเคราะห์โครงสร้างระดับนาโน ที่เป็นได้หลายรูปแบบ เช่น แท่งนาโน (Nanorod) เส้นลวดนาโน (Nanowire) ท่อนาโน (Nanotube) เป็นต้น ซึ่งแต่ละโครงสร้างจะมีลักษณะเฉพาะโดดเด่นที่แตกต่างกัน [2]

การเพิ่มประสิทธิภาพของซิงค์ออกไซด์ ให้มีการนำไฟฟ้าตามที่ต้องการ ด้วยวิธีการเจือสาร (Doping) เข้าไป เช่น อลูมิเนียม แกลเลียม อินเดียม เงิน และฟลูออรีน สามารถทำได้ด้วยกระบวนการเตรียมฟิล์มบาง ที่ศึกษาและวิจัยกันอย่างแพร่หลาย เช่น วิธีการเคลือบแบบไอระเหย (Evaporation) วิธีการสปัตเตอริง (Sputtering) และวิธีการเคลือบโดยสารละลายโซลเจล (Sol-gel) เป็นต้น นอกจากการเพิ่มประสิทธิภาพด้วยการ

67

3. ผลการวิจัยและอภิปราย

3.1 ภาพตัวอย่างชั้นกึ่งผลึก และซิงค์ออกไซด์ที่ปลูกลงบนชั้นกึ่งผลึกด้วยกระบวนการไฮโดรเทอร์มอล



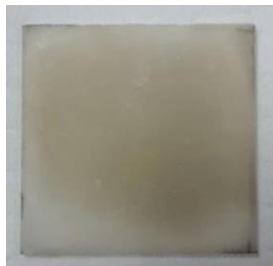
(ก)



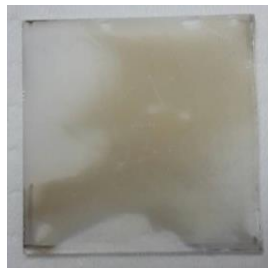
(ข)

รูปที่ 1 (ก) ชั้นกึ่งผลึก (ข) ซิงค์ออกไซด์ที่ปลูกลงบนชั้นกึ่งผลึกด้วยกระบวนการไฮโดรเทอร์มอล

3.2 ภาพตัวอย่างชั้นกึ่งผลึกซิงค์ออกไซด์ที่เจือด้วยเงินร้อยละ 0.5, 1, 3 และ 5



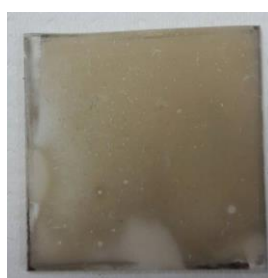
(ก)



(ข)



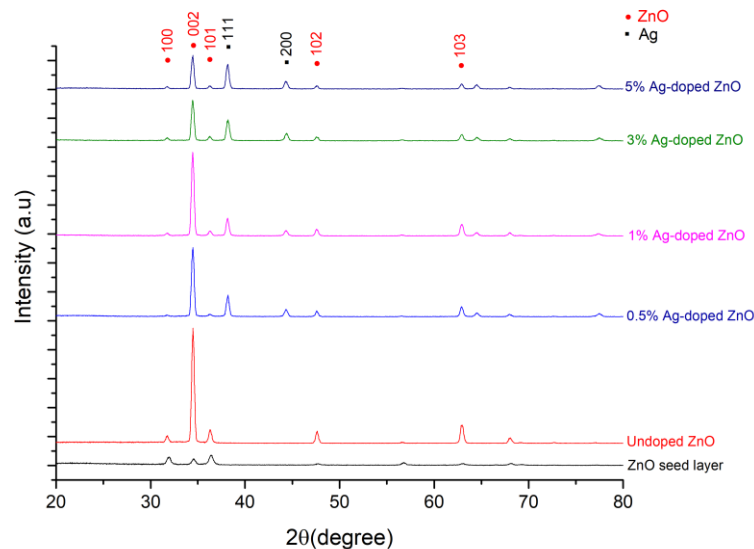
(ค)



(ง)

รูปที่ 2 ชั้นกึ่งผลึกซิงค์ออกไซด์ที่เจือด้วยเงิน (ก) ร้อยละ 0.5 (ข) ร้อยละ 1 (ค) ร้อยละ 3 (ง) ร้อยละ 5

3.3 การวิเคราะห์ชั้นกึ่งผลึกซึ่งค่ออกไซด์ด้วยเครื่องการวัดการเลี้ยวเบนของรังสีเอ็กซ์

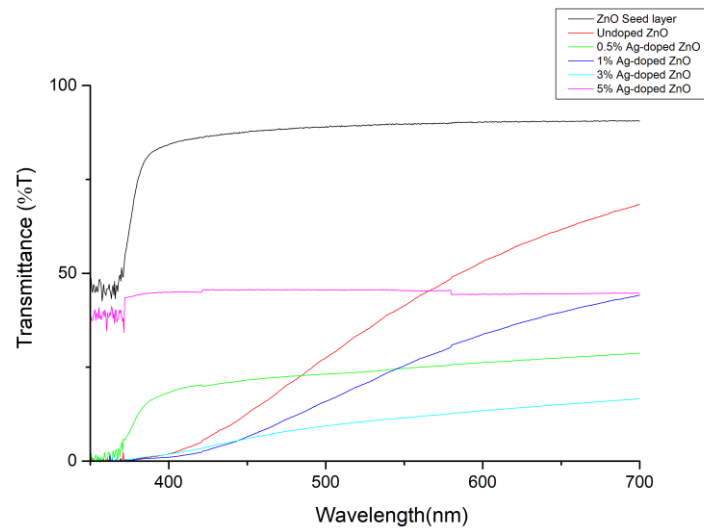


รูปที่ 3 โครงสร้างผลึกด้วยการเลี้ยวเบนรังสีเอ็กซ์ของฟิล์มบางแท่งนาโนซึ่งค่ออกไซด์ โดยเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของเงิน

จากภาพที่ 3 แสดงผลการวิเคราะห์โครงสร้างผลึกของฟิล์มบางแท่งนาโนซึ่งค่ออกไซด์ด้วยการเลี้ยวเบนรังสีเอ็กซ์ โดยนำตัวอย่างที่มีองค์ประกอบของสารเคมีต่างกันคือ ตัวอย่างที่เจือด้วยเงินและตัวอย่างที่ไม่เจือด้วยเงิน พบว่ารูปแบบการเลี้ยวเบนของรังสีเอ็กซ์มีระนาบผลึกที่ตำแหน่ง $2\theta = 31.77, 34.44, 36.26, 47.56$ และ 62.89 องศา ซึ่งสัมพันธ์กับระนาบการเลี้ยวเบน (100), (002), (101), (102) และ (103) ตามลำดับ และพบความเด่นชัดของการเลี้ยวเบนที่ระนาบ (002) ในระดับที่เท่าๆกัน เกิดจากแท่งซึ่งค่ออกไซด์ขนาดใหญ่ที่เรียงตัวกันอยู่บนซึ่งค่ออกไซด์ ซึ่งมีลักษณะโครงสร้างแบบเสกซะ โจนอล และพบว่าเกิดวิฤภาคแปลกปลอม ซึ่งเกิดจากเงินรวมตัวกันเองเป็นเม็ดเงิน จึงเกิดเป็นสารประกอบขึ้นมาในตัวอย่างในระนาบการเลี้ยวเบน (111) และ (200) วิฤภาคแปลกปลอมจะเห็นได้ชัดเจนที่ระนาบการเลี้ยวเบน (111) จากการทดลองเมื่อเปลี่ยนปริมาณของเงินตั้งแต่ร้อยละ 0.5 ถึง 5 พบว่าในปริมาณร้อยละ 0.5 และร้อยละ 1 จะพบการเลี้ยวเบนของรังสีเอ็กซ์เพียงเล็กน้อย เมื่อเทียบกับตัวอย่างอื่น เมื่อเพิ่มปริมาณของเงินเป็นร้อยละ 3 และ 5 จะพบว่าการเลี้ยวเบนของรังสีเอ็กซ์จะเด่นชัดขึ้นในระนาบการเลี้ยวเบน (111) และทำให้ระนาบการเลี้ยวเบน (002) ลดลงอย่างชัดเจน

3.4 การวัดการทะลุผ่านของแสงด้วยเครื่องวัดการทะลุผ่านของแสง

จากผลการวิเคราะห์วัดการทะลุผ่านของแสงดังภาพที่ 4 พบว่าชั้นกึ่งผลึกมีการทะลุผ่านของแสงที่ดี มีค่าการทะลุผ่านของแสงประมาณร้อยละ 43 ในช่วงคลื่นที่ตามองเห็นได้ แต่เมื่อเจือเงินเข้าไปร้อยละ 0.5 ถึง 5 จะเห็นได้ว่าฟิล์มบางแท่งนาโนซึ่งค่ออกไซด์ที่มีการเจือเงินเข้าไปมีค่าการทะลุผ่านของแสงน้อยมากในช่วงที่ตามองเห็น ซึ่งเกิดจากการสะท้อน แต่ฟิล์มบางแท่งนาโนซึ่งค่ออกไซด์ที่เจือเงินเข้าไปร้อยละ 5 มีค่าการทะลุผ่านของแสงร้อยละ 40 จะเห็นได้ว่าค่าการทะลุผ่านของแสงในตัวอย่างนี้จะโดดเด่นกว่าตัวอย่างอื่น เนื่องจากเกิดการผิดพลาดในขั้นตอนการเจือเงินเข้าไป



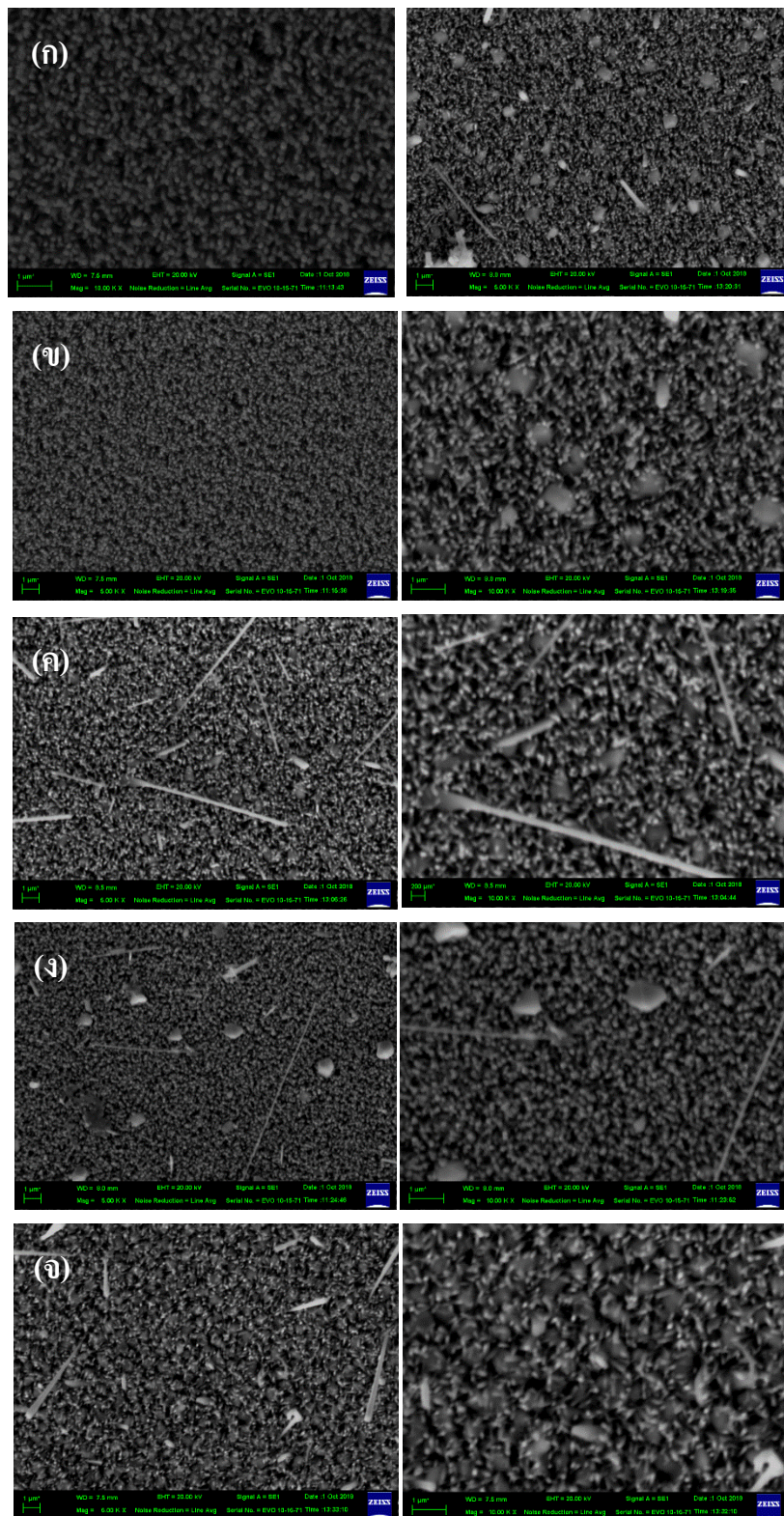
รูปที่ 4 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าการทะลุผ่าน (Transmittance) กับค่าความยาวคลื่น (Wavelength)

3.5 การวิเคราะห์ลักษณะทางพื้นผิวด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด

จากการวิเคราะห์ลักษณะทางพื้นผิวด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด จะแสดงดังภาพที่ 5 คือภาพของซิงค์ออกไซด์ที่ปลูกลงบนชั้นกึ่งตัวนำ พบว่าอนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์มีรูปร่างเป็นแท่งสั้นๆ ก่อนข้างจะขึ้นตั้งตรง มีความหนาแน่นของนาโนซิงค์ออกไซด์มากที่สุด ภาพที่ 5(ข) คือภาพของซิงค์ออกไซด์ที่เจือเงินเข้าไปร้อยละ 0.5 จะเห็นได้ว่าเงินรวมตัวกันเองเป็นเม็ดเงินเพียงเล็กน้อย และมีความหนาแน่นน้อยลง เมื่อเจือเงินเข้าไปเป็นร้อยละ 1 จะเห็นได้ว่าเงินรวมตัวกันเองเป็นเม็ดเงินมากขึ้น และมีความหนาแน่นน้อยลง ดังภาพที่ 5 (ค) ภาพที่ 5 (ง) เจือเงินเข้าไปร้อยละ 3 แสดงให้เห็นว่าเงินรวมตัวกันเองเป็นเม็ดเงินชัดเจนมากยิ่งขึ้น และความหนาแน่นลดลงมากขึ้น ภาพที่ 5(จ) เจือเงินเข้าไปร้อยละ 5 พบว่าเงินที่มีการแทรกตัวเข้าไปในซิงค์ออกไซด์ทำให้แท่งนาโนซิงค์ออกไซด์ลดลง ความหนาแน่นลดลงมากยิ่งขึ้น ซึ่งเห็นได้อย่างชัดเจนว่าการทำปฏิกิริยายังไม่สมบูรณ์ ไม่เกิดการก่อตัวของผลึกเนื่องจากพลังงานที่ให้ไปเพื่อกระตุ้นในการเกิดการรวมตัวหรือแทนที่ของเงินในซิงค์ออกไซด์ยังไม่เพียงพอ และขนาดของเงินใหญ่กว่าซิงค์ออกไซด์ เงินมีความเสถียรมากจึงเกิดการรวมตัวกันเองของเงินได้ดีกว่า จึงทำให้การเจือเงินไม่สำเร็จ ซึ่งมีผล EDX ประกอบดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 องค์ประกอบธาตุจากการวิเคราะห์ EDX

Element	0.5% Ag-doped ZnO		1% Ag-doped ZnO		3% Ag-doped ZnO		5% Ag-doped ZnO	
	Weight%	Atomic%	Weight%	Atomic%	Weight%	Atomic%	Weight%	Atomic%
O	23.96	58.81	22.72	57.85	21.36	53.73	21.24	56.61
Zn	57.07	34.29	52.84	32.92	69.83	42.99	47.72	31.12
Ag	18.97	6.91	24.43	9.23	8.82	3.29	31.04	12.27



รูปที่ 5 ภาพถ่ายจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดของซิงค์ออกไซด์ที่ปลูกลงบนชั้นก่อกำเนิด และเจือด้วยเงิน (ข) ร้อยละ 0.5 (ค) ร้อยละ 1 (ง) ร้อยละ 3 และ (จ) ร้อยละ 5 ที่กำลังขยาย 5,000 เท่า และ 10,000 เท่า

สรุป

จากการศึกษาการสังเคราะห์วัสดุแท่งนาโนแท่งนาโนซิงค์ออกไซด์เจือเงินด้วยกระบวนการไฮโดรเทอร์มอล พบว่าตัวอย่างที่ไม่ได้เจือเงินการเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์ที่ระนาบ (002) จะสูงกว่าตัวอย่างอื่นๆ แต่เมื่อเจือเงินเข้าไปทำให้การเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ที่ระนาบ (002) ลดลง และมีระนาบ (111) เพิ่มขึ้น เนื่องจากเงินรวมตัวกันเองเป็นเม็ดเงินจึงเกิดเป็นสารประกอบในตัวอย่าง ผลการวิเคราะห์ลักษณะทางพื้นผิวพบว่าตัวอย่างที่ไม่ได้เจือเงินอนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์มีความหนาแน่นมากที่สุด มีรูปร่างเป็นแท่งสั้นๆ เรียงตัวกันเป็นแนวตรง เมื่อเจือเงินเข้าไปทำให้เกิดการก่อตัวของผลึกยิ่งเจือเงินเข้าไปมาก เงินก็รวมตัวกันเองเป็นเม็ดเงินมากยิ่งขึ้น และความหนาแน่นลดลง เนื่องจากพลังงานที่ให้ไปเพื่อกระตุ้นในการเกิดการรวมตัวหรือแทนที่ของเงินในซิงค์ออกไซด์ยังไม่เพียงพอ และขนาดของเงินใหญ่กว่าซิงค์ออกไซด์ เงินมีความเสถียรมากจึงเกิดการรวมตัวกันเองของเงินได้ดีกว่า จึงทำให้การเจือเงินไม่สำเร็จ ซึ่งสอดคล้องกับผลการวัดการเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์ผลการวิเคราะห์วัดการทะลุผ่านของแสง พบว่าตัวอย่างที่เป็นชั้นกึ่งผลึกมีการทะลุผ่านของแสงที่ค้อยู่ในช่วงร้อยละ 43 เมื่อเจือเงินเข้าไปทำให้ค่าทะลุผ่านของแสงน้อยมากในช่วงที่ตามองเห็นซึ่งเกิดจากการสะท้อน

เอกสารอ้างอิง

- [1] M. Deepa, M. Kar and S. A. Agnihotry, "Electrodeposited tungsten oxide films: Annealing effect on structure and electrochromic performance", Thin Solid Films, 468, 32 (2004).
- [2] H. Wang, Q. Ma, H. Nui, X. Mao and S. Miao, "Hydrothermal growth of aligned ZnO nanorods along the seeds prepared by magnetron sputtering and its applications in quantum dots sensitized photovoltaic cells", Journal of Nanomaterials & Molecular Nanotechnology, 2, 678 (2013).
- [3] K. Chongsri, W. Sinornate, K. Boonyarattanakalin and W. Pecharapa, "Growth and Characterization of Ga/F co-doped ZnO nanorods/nanodisks via hydrothermal process", Journal of Nanoscience and Nanotechnology, 16, 12962 (2016).