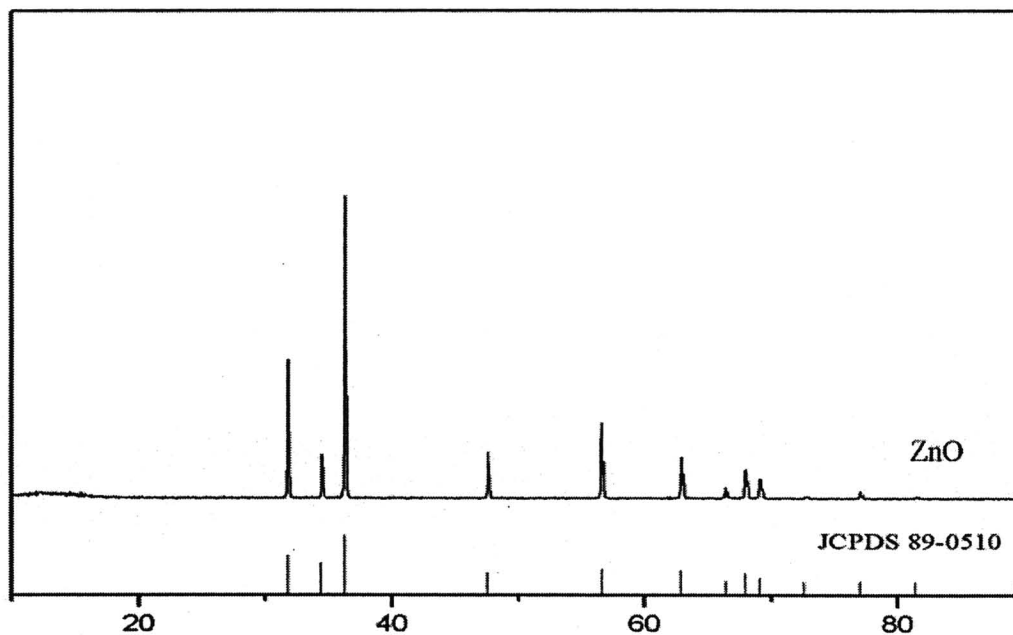


บทที่ 4

ผลการทดลองและวิเคราะห์ผลการทดลอง

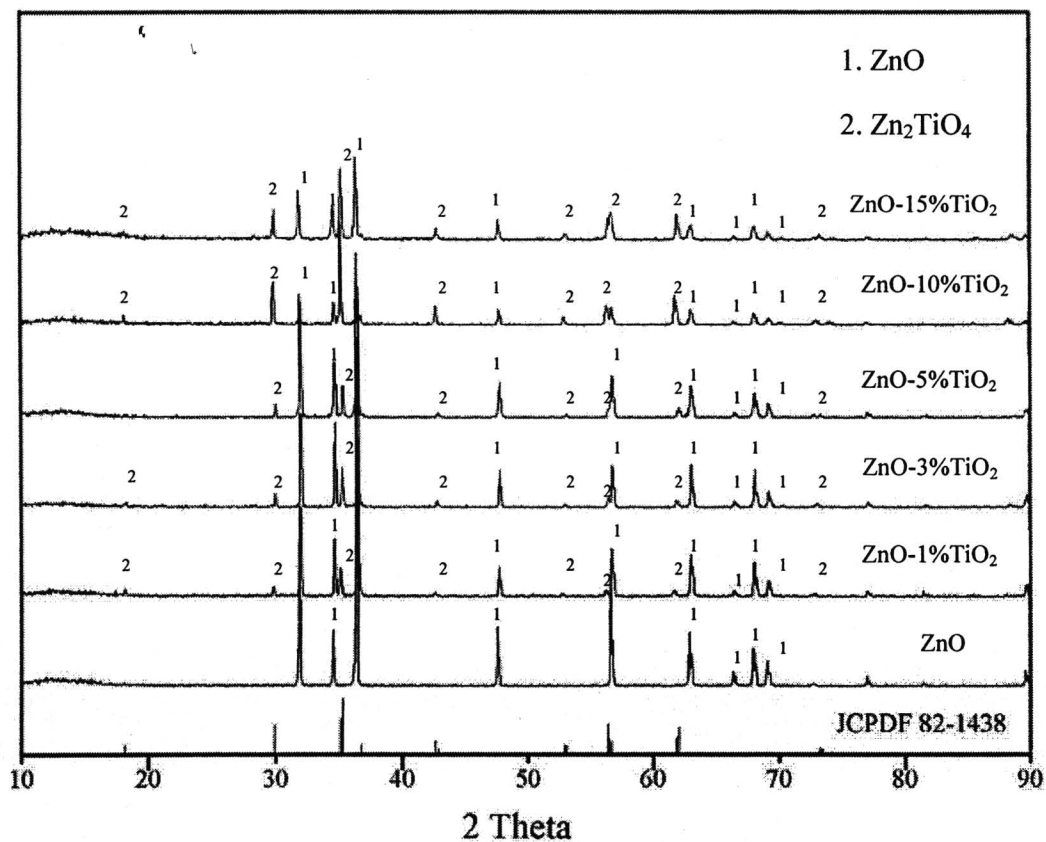
4.1 การวิเคราะห์เซรามิกซิงก์ออกไซด์ที่เติมไทเทเนียมไดออกไซด์ด้วยเทคนิค XRD

เมื่อนำเม็ดเซรามิกซิงก์ออกไซด์ที่เติมไทเทเนียมไดออกไซด์ปริมาณต่างๆ (0-15 wt%) ซึ่งผ่านการเผาซินเตอร์ที่อุณหภูมิ 1300 °C เป็นเวลา 2 ชั่วโมง มาทำการตรวจสอบเฟสที่ปรากฏด้วยเทคนิค XRD จากผลการทดลองพบว่า เม็ดเซรามิกซิงก์ออกไซด์ที่เติมด้วยไทเทเนียมไดออกไซด์ 0% มีรูปแบบการเลี้ยวเบนของรังสีเอ็กซ์สอดคล้องกับแฟ้มข้อมูลใน JCPDS หมายเลข 89-0510 ซึ่งมีโครงสร้างผลึกเป็นแบบเฮกซะโกนอล (hexagonal) และไม่พบเฟสปนเปื้อนอื่นเลย ดังแสดงในรูป 4.1



รูป 4.1 รูปแบบการเลี้ยวเบนรังสีเอ็กซ์ของเซรามิกซิงก์ออกไซด์ที่เติมด้วยไทเทเนียมไดออกไซด์ 0% เทียบกับ JCPDS หมายเลข 89-0510

ส่วนเซรามิกซิงก์ออกไซด์ที่เติมไทเทเนียมไดออกไซด์ในปริมาณ 1, 3, 5, 10, 15 wt% นั้นพบว่าการเปลี่ยนแปลงเกิดขึ้นคือมีปรากฏเฟสอื่นออกมาด้วย เมื่อทำการเติมไทเทเนียมไดออกไซด์ลงไปปริมาณสูงขึ้นจะส่งผลทำให้พิกมีความเข้มสูงขึ้นด้วยอย่างเห็นได้ชัดเจน เมื่อนำข้อมูลที่ได้มานั้นไปเปรียบเทียบกับสารต่างๆในแฟ้มข้อมูล JCPDS แล้ว พบว่าเฟสที่เกิดขึ้นมานั้นมีค่าใกล้เคียงกับเฟสของสาร Zn_2TiO_4 ในแฟ้มข้อมูล JCPDS หมายเลข 82-1438 และพบว่าไม่มีเฟสของไทเทเนียมไดออกไซด์เกิดขึ้นเลย ซึ่งแสดงให้เห็นว่าไทเทเนียมที่เติมลงไปนั้นทำปฏิกิริยาอย่างสมบูรณ์กับซิงก์ออกไซด์และเกิดเฟสใหม่ขึ้นมาแทนคือเฟสของ Zn_2TiO_4 นั้นเอง แสดงดังรูป 4.2



รูป 4.2 รูปแบบการเลี้ยวเบนของรังสีเอ็กซ์ของเซรามิกซิงก์ออกไซด์ที่เติมด้วยไทเทเนียมไดออกไซด์ที่ปริมาณต่างๆ เทียบกับแฟ้มข้อมูล JCPDS หมายเลข 82-1438

จากรายงานของ B. L. Zhu และคณะ [44] ได้กล่าวเอาไว้ว่า เมื่อเติมไทเทเนียมไดออกไซด์ลงในซิงก์ออกไซด์ที่มีอนุภาคนาโนและนำไปซินเตอร์ที่ 650°C เป็นเวลา 2 ชั่วโมง แล้ว จะปรากฏเฟสของ ZnO และ α -Zn₂TiO₄ ขึ้น และไม่ปรากฏเฟสของ TiO₂ เลย จึงสรุปได้ว่า α -Zn₂TiO₄ สามารถเกิดขึ้นในช่วงอุณหภูมิของการซินเตอร์ที่ต่ำและใช้เวลาในการเผาไหม้น้อย เนื่องจากพวกเขาไม่พบฟีดของ α -Zn₂TiO₄ เกิดขึ้นเลย เมื่อเผาซินเตอร์ที่ 800°C และใช้เวลาเผา 3 ชั่วโมง โดยปฏิกิริยาระหว่างซิงก์ออกไซด์และไทเทเนียมไดออกไซด์เป็นเกิดขึ้นดังสมการที่ 4.1



4.2 การตรวจสอบสมบัติทางกายภาพ

ลักษณะภายนอกของเม็ดเซรามิกที่ได้นั้นพบว่า เม็ดเซรามิกซิงก์ออกไซด์ที่ไม่มีการเติมไทเทเนียมไดออกไซด์ลงไปเลย จะปรากฏเป็นสีเขียวออกเหลืองอ่อนๆ ในกรณีทำการเติมไทเทเนียมไดออกไซด์ลงไป 1–5 wt% นั้นพบว่า จะมีสีเขียวอ่อนออกขาวครีม แต่เมื่อเติมไทเทเนียมไดออกไซด์ลงไป 10–15 wt% นั้น เม็ดเซรามิกที่ได้จะมีสีขาวออกครีม



รูป 4.3 ลักษณะของเม็ดเซรามิกที่เตรียมได้

ค่าความหนาแน่นและค่าการหดตัวเชิงเส้นของเซรามิกที่เตรียมได้นั้น แสดงดังตาราง 4.1 ซึ่งเป็นการเปรียบเทียบระหว่างค่าความหนาแน่น และค่าการหดตัวเชิงเส้นที่ได้ของเซรามิกซิงก์ออกไซด์ที่เติมไทเทเนียมไดออกไซด์ที่ปริมาณต่างๆ โดยผ่านกระบวนการซินเตอร์ที่ 1300°C เป็นเวลา 2 ชั่วโมง

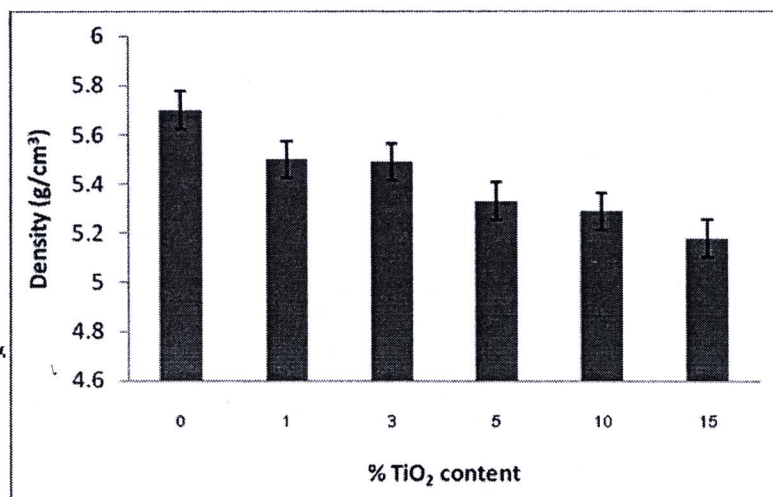
ตาราง 4.1 แสดงผลการตรวจสอบสมบัติทางกายภาพ ระหว่างค่าความหนาแน่นและค่าการหดตัวเชิงเส้น หลังผ่านการเผาซินเตอร์ที่อุณหภูมิ 1300°C เป็นเวลา 2 ชั่วโมงของเซรามิกซิงก์ออกไซด์ที่เติมไทเทเนียมไดออกไซด์ที่ปริมาณต่างๆ

ปริมาณ TiO ₂ (wt%)	ค่าความหนาแน่น (g/cm ³)	ค่าการหดตัวเชิงเส้น (%)
0 wt%	5.589 ± 0.08	15.55 ± 0.08
1 wt%	5.493 ± 0.28	19.62 ± 0.12
3 wt%	5.487 ± 0.25	19.77 ± 0.13
5 wt%	5.328 ± 0.17	19.96 ± 0.04
10 wt%	5.289 ± 0.22	19.80 ± 0.02
15 wt%	5.178 ± 0.09	19.21 ± 0.03

จากตาราง 4.1 เซรามิกซิงก์ออกไซด์ที่เตรียมโดยไม่มีการเติมไทเทเนียมไดออกไซด์นั้น มีค่าความหนาแน่นเท่ากับ 5.589 g/cm³ ซึ่งคิดเป็นร้อยละ 98.40 ของค่าความหนาแน่นที่ได้จากแฟ้มข้อมูล JCPDS หมายเลข 89-0510 (5.680 g/cm³) จะเห็นได้ว่าเซรามิกที่เตรียมได้นั้นจะมีค่าความหนาแน่นลดลงเมื่อมีปริมาณของไทเทเนียมไดออกไซด์สูงขึ้น ส่วนค่าการหดตัวเชิงเส้นของเซรามิกที่เตรียมได้นั้น พบว่าเซรามิกซิงก์ออกไซด์ที่ไม่เติมไทเทเนียมไดออกไซด์จะมีค่าการหดตัวเชิงเส้นน้อยที่สุดคือ 15.55% แต่เมื่อเติมไทเทเนียมไดออกไซด์ลงไปแล้วจะทำให้มีค่าการหดตัวเพิ่มขึ้น

จากผลการทดลองจะเห็นได้ว่า ค่าความหนาแน่นที่ได้ไม่สอดคล้องกับค่าการหดตัวเชิงเส้นที่ว่า ถ้ามีการหดตัวของชิ้นงานมากก็จะทำให้ชิ้นงานมีความหนาแน่นมากด้วย ซึ่งผลที่เป็นเช่นนี้อาจเนื่องมาจากเฟสรองที่เกิดขึ้นคือ Zn₂TiO₄ มีความหนาแน่น 5.236 g/cm³ ซึ่งมีความหนาแน่นน้อยกว่าเฟสหลักคือ ZnO ซึ่งเมื่อเติม TiO₂ ลงไปในปริมาณที่มากขึ้นจะทำให้เกิดเฟสของ Zn₂TiO₄ เพิ่มขึ้นและทำให้เฟสของ ZnO ลดลง จึงส่งผลทำให้ความหนาแน่นของเซรามิกที่

เตรียมได้มีค่าลดลง และเกิดจากรูพรุนที่เกิดขึ้นภายในชิ้นงาน (closed pore) ซึ่งสังเกตได้จากภาพถ่ายโครงสร้างจุลภาคของชิ้นงาน รวมไปถึงความคลาดเคลื่อนที่อาจเกิดขึ้นในระหว่างการทดลอง เป็นต้น

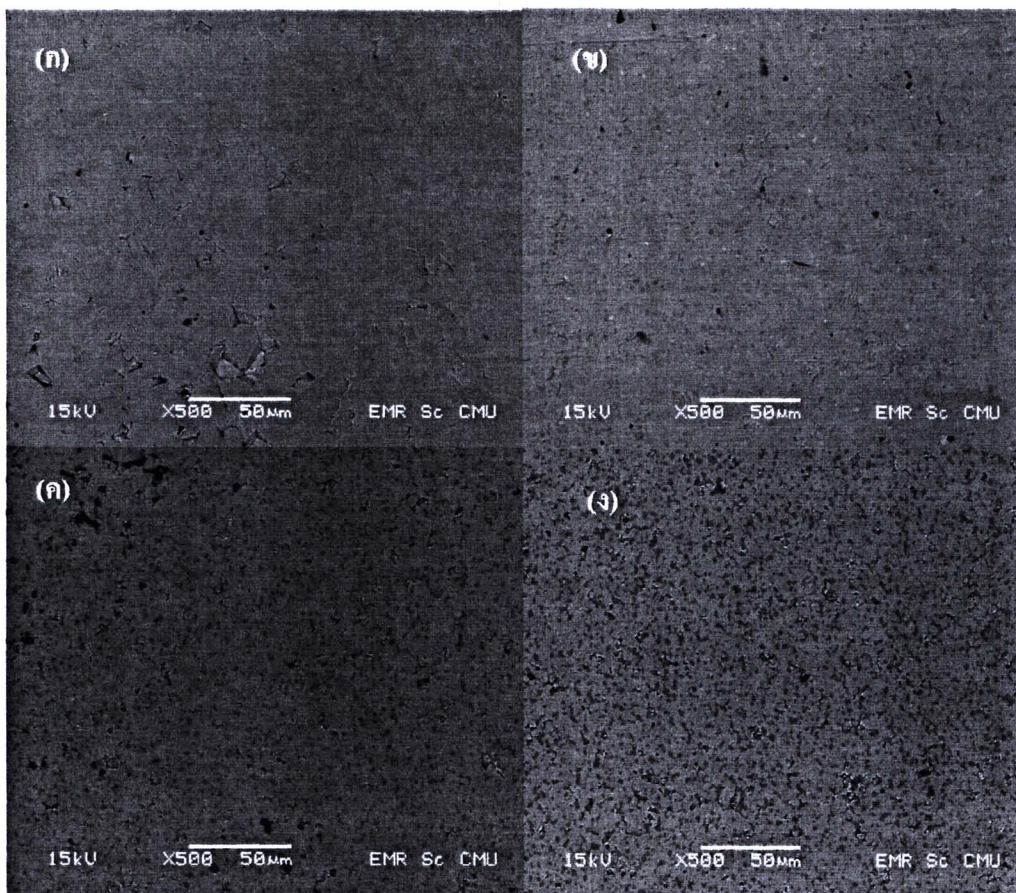


รูป 4.4 แสดงค่าความหนาแน่นของเซรามิกซิงก์ออกไซด์ที่เติมไทเทเนียมไดออกไซด์ที่ปริมาณต่างๆ

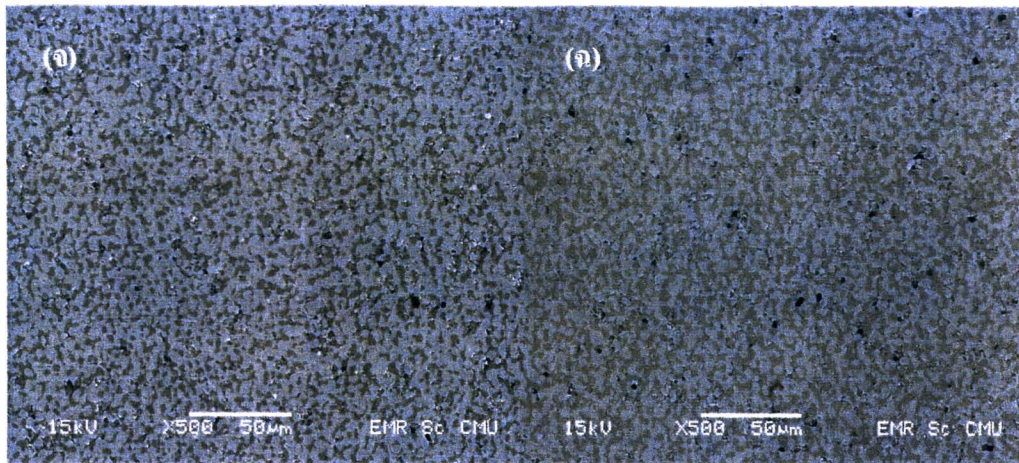
4.3 การตรวจสอบลักษณะโครงสร้างจุลภาคด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM) และการวิเคราะห์โครงสร้างจุลภาคด้วยเทคนิค EDS

ลักษณะ โครงสร้างทางจุลภาคของเซรามิกที่เตรียมได้ถูกตรวจสอบโดยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด ชนิด LV (JEOL รุ่น JSM 5910LV) ในโหมด back scattering image (BEI) โดยใช้กำลังขยาย 500X แสดงในรูป 4.5 พบว่าเซรามิกซิงก์ออกไซด์ที่เติมไทเทเนียม 0% นั้น จะมีลักษณะทางโครงสร้างเป็นเนื้อเดียวกันและไม่มีเฟสอื่นเกิดขึ้นเลย โดยบริเวณที่มีสีเข้มกว่าบริเวณอื่นๆ ในรูป (ก) นั้น อาจเกิดจากช่องว่างหรือรูพรุนที่มีอยู่ในชิ้นงาน แต่เมื่อเติมไทเทเนียมไดออกไซด์ลงไปแล้วจะเห็นได้ชัดว่าปรากฏเป็น 2 เฟสที่แยกออกจากกันอย่างชัดเจนคือเฟสที่มีสีอ่อนกว่าและเฟสที่มีสีเข้มกว่าที่ปริมาณ TiO₂ 1wt.% รูป (ข) ลักษณะโครงสร้างไม่เป็นเนื้อเดียวกันและเกิดอีกเฟสหนึ่งขึ้นมามีกระจายตัวอย่างสม่ำเสมอ ซึ่งก็คือเฟสที่มีสี

เข้มข้นเอง และเมื่อเติมไทเทเนียมไดออกไซด์ลงไปปริมาณที่มากขึ้น จะเห็นได้ชัดว่าเกิดเฟสที่มีสีเข้มเพิ่มขึ้นและมีลักษณะใหญ่ขึ้นกว่าเดิมกระจายตัวอยู่ทั่วไปในชิ้นงาน ในรูป (ฉ) TiO_2 15 wt.% นั้น มีเฟสใหม่เกิดขึ้นมากที่สุด และมีปริมาณเฟสใกล้เคียงกับปริมาณของเฟสเดิมซึ่งสังเกตได้อย่างชัดเจน

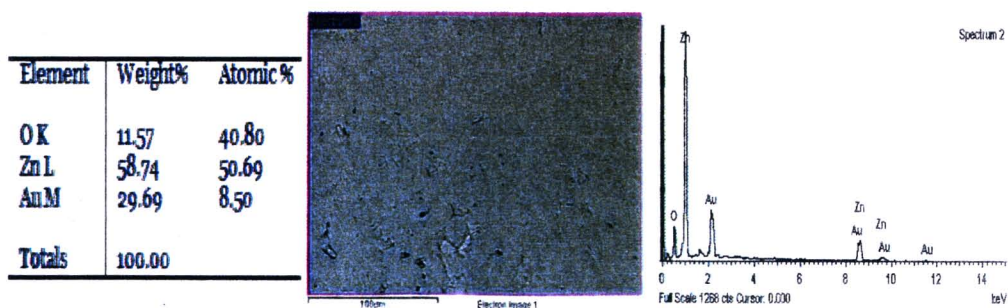


รูป 4.5 โครงสร้างจุลภาคจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM) ในโหมด BEI ของเซรามิกซิงก์ออกไซด์ที่เติมไทเทเนียมไดออกไซด์ โดยที่ (ก) 0 wt.%, (ข) 1 wt.%, (ค) 3 wt.% และ (ง) 5 wt.%

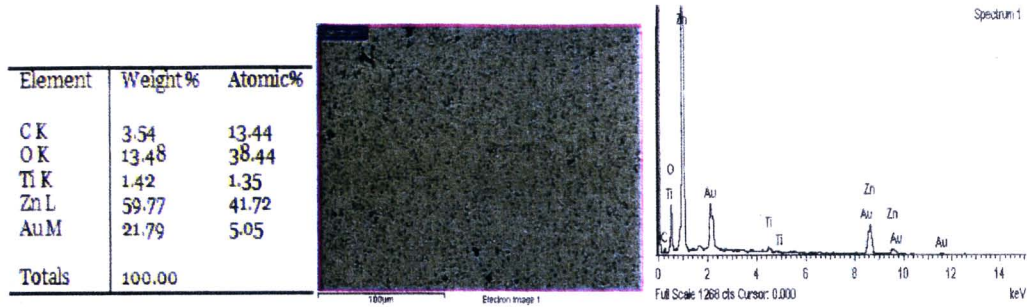


รูป 4.5 (ต่อ) โครงสร้างจุลภาคจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM) ในโหมด BEI ของเซรามิกซิงก์ออกไซด์ที่เติมไทเทเนียมไดออกไซด์ โดยที่ (จ) 10 wt.% และ (ข) 15 wt.%

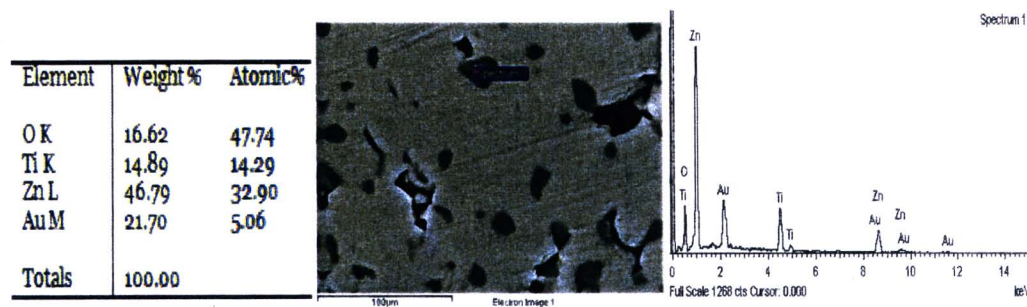
โครงสร้างจุลภาคจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนที่ได้นั้น เห็นได้ชัดว่าเมื่อเติมไทเทเนียมไดออกไซด์ลงไปในช่วงออกไซด์แล้ว จะทำให้เกิดเฟสใหม่ขึ้นมาและแยกออกจากกันอย่างชัดเจน คือปรากฏเป็นบริเวณที่มีสีอ่อนกว่าและบริเวณที่มีสีเข้มกว่า และเฟสใหม่ที่เกิดขึ้นนี้จะมีปริมาณมากขึ้นเมื่อปริมาณของไทเทเนียมไดออกไซด์สูงขึ้น ดังนั้นจึงทำการวิเคราะห์บริเวณที่แตกต่างกันของชิ้นงานโดยใช้เทคนิค EDS เพื่อตรวจสอบว่า 2 บริเวณนั้นประกอบด้วยอะตอมของธาตุใดบ้าง



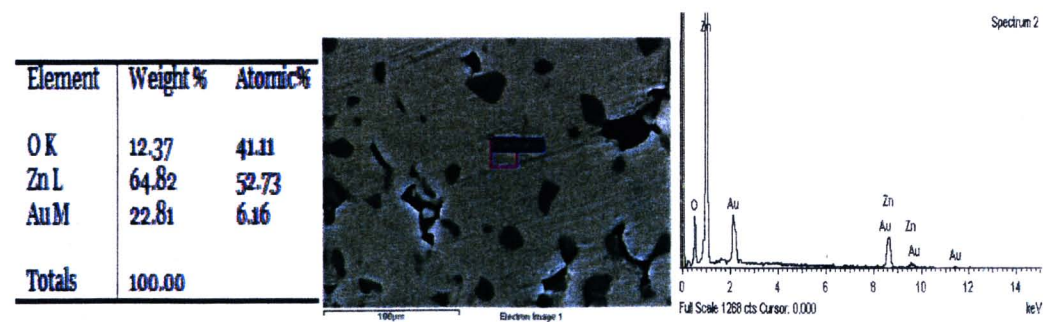
รูป 4.6 การตรวจสอบด้วยเทคนิค EDS และบริเวณที่ทำการวัดสเปกตรัมของเซรามิกซิงก์ออกไซด์ที่เติมไทเทเนียมไดออกไซด์ 0 wt.%



รูป 4.7 การตรวจสอบด้วยเทคนิค EDS และบริเวณที่ทำการวัดสเปกตรัมของเซรามิกซิงก์ออกไซด์ที่เติมไทเทเนียมไดออกไซด์ 1 wt.%



รูป 4.8 การตรวจสอบด้วยเทคนิค EDS ในบริเวณที่เป็นเฟสสีเข้มของเซรามิกซิงก์ออกไซด์ที่เติมไทเทเนียมไดออกไซด์ 3 wt.% ซึ่งก็คือเฟสของ Zn_2TiO_4



รูป 4.9 การตรวจสอบด้วยเทคนิค EDS ในบริเวณที่เป็นเฟสสีอ่อนของเซรามิกซิงก์ออกไซด์ที่เติมไทเทเนียมไดออกไซด์ 3 wt.% ซึ่งก็คือเฟสของ ZnO

จากรูป 4.6 พบว่าเซรามิกซิงก์ออกไซด์ที่เติมไทเทเนียมไดออกไซด์ 0 wt.% นั้นจะปรากฏสเปกตรัมของซิงก์ที่อยู่ในระดับชั้นพลังงาน L ซึ่งมีอะตอมอยู่ 50.69% และเมื่อตรวจสอบเซรามิกซิงก์ออกไซด์ที่เติมไทเทเนียมไดออกไซด์ที่ปริมาณต่าง ๆ นั้น (รูป 4.7) จะปรากฏสเปกตรัมของไทเทเนียมที่อยู่ในระดับชั้นพลังงาน K เพิ่มขึ้นมาด้วย โดยที่จำนวนอะตอมของไทเทเนียมนั้นจะเพิ่มขึ้นตามปริมาณของไทเทเนียมไดออกไซด์ที่เติมลงไป ในรูป 4.8 เป็นการตรวจสอบบริเวณเฟสที่มีสีเข้มกว่า ซึ่งผลที่ได้ก็คือปรากฏสเปกตรัมของซิงก์และไทเทเนียม ดังนั้นบริเวณนี้จึงเป็นบริเวณที่มีอะตอมทั้งของซิงก์และไทเทเนียมรวมอยู่ด้วยกัน และรูป 4.9 เป็นการตรวจสอบบริเวณเฟสที่มีสีอ่อนกว่า และพบว่าบริเวณนี้ปรากฏแค่สเปกตรัมของซิงก์เท่านั้น

ด้วยเหตุนี้จึงทราบว่า ไทเทเนียมไดออกไซด์ที่เติมลงไปในซิงก์ออกไซด์นั้น ทำปฏิกิริยากับซิงก์ออกไซด์อย่างสมบูรณ์แล้วเกิดเป็นเฟสใหม่ขึ้นมา ซึ่งก็คือบริเวณเฟสที่มีสีเข้มกว่า และจากการวิเคราะห์เซรามิกโดยใช้เทคนิค XRD นั้น พบว่าเมื่อเติมไทเทเนียมไดออกไซด์ลงไปในซิงก์ออกไซด์แล้วจะปรากฏ 2 เฟสขึ้นมา คือเฟสของ ZnO และเฟสของ Zn_2TiO_4 โดยไม่มีเฟสของ TiO_2 เกิดขึ้นเลย ซึ่งสอดคล้องกับการรายงานของ G. Lakhotia และคณะ [8] รวมทั้งของ B.L. Zhu และคณะ [44] ด้วยเช่นกัน ดังนั้นเฟสใหม่ที่เกิดขึ้นมานี้ก็คือเฟสของสารประกอบ Zn_2TiO_4 นั่นเอง

4.4 การตรวจสอบสมบัติทางไฟฟ้า

ในงานวิจัยนี้ ได้ทำการวัดค่าการนำไฟฟ้าของเม็ดเซรามิกซิงก์ออกไซด์ที่เติมไทเทเนียมไดออกไซด์โดยการทำขั้วไฟฟ้าที่แตกต่างกัน 2 ชนิดคือ การทำขั้วไฟฟ้าด้วยฟิล์มบางแพลตทินัม (Pt) และการทำขั้วไฟฟ้าด้วยกาวเงิน (PSI) ซึ่งผลการทดลองในการตรวจสอบสมบัติทางไฟฟ้าที่ได้เป็นดังนี้

4.4.1 ค่าสภาพต้านทานไฟฟ้า

ความต้านทานไฟฟ้าของวัสดุจะเกี่ยวข้องกับการเคลื่อนที่ของอิเล็กตรอนในสารนั้นๆ โดยอิเล็กตรอนที่เป็นตัวนำพากระแสไฟฟ้าไม่ได้เคลื่อนที่อย่างอิสระเสียทีเดียว แต่เกิดการชนที่ต้องเสียพลังงานไปกับการชนนั้นๆ ซึ่งการชนกับการสั่นของโครงผลึก (lattice vibration) และ

ความไม่สมบูรณ์ของโครงผลึก (lattice imperfection) เป็นสาเหตุหลักที่ทำให้เกิดความต้านทานในวัสดุ

จากการวัดด้วยเครื่องมือวัดค่าความต้านทานไฟฟ้าแบบดิจิตอล (Agilent รุ่น 34401A) จะได้ค่าความต้านทานไฟฟ้าซึ่งสามารถนำมาคำนวณหาค่าสภาพความต้านทานไฟฟ้าได้ (ดังสมการที่ 2.15) ผลที่ได้แสดงในตาราง 4.2

ตาราง 4.2 แสดงค่าสภาพต้านทานไฟฟ้าของเม็ดเซรามิกซิงก์ออกไซด์ที่เติมไทเทเนียมไดออกไซด์ที่ทำขั้วไฟฟ้าแต่ละชนิด

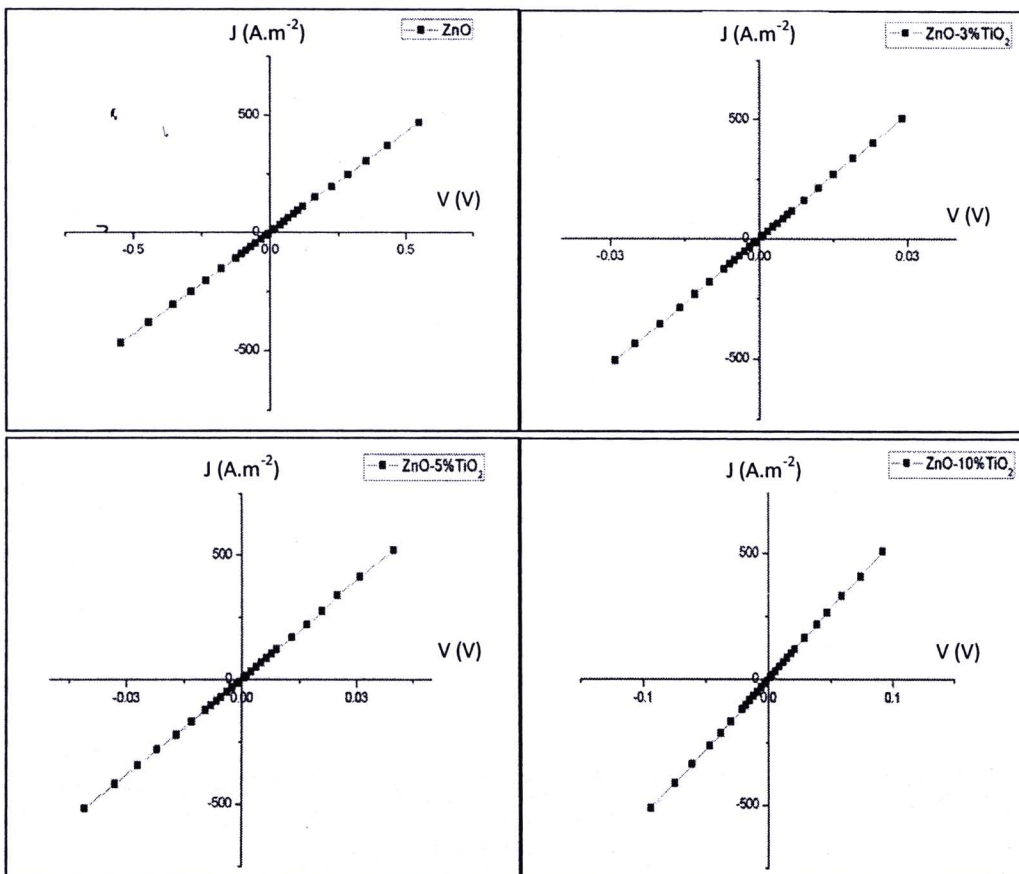
ปริมาณ TiO ₂ (wt.%)	ค่าสภาพต้านทานไฟฟ้า, Resistivity (Ω.m)	
	Pt-Pt	PSI-PSI (ที่ I = 0.05 A)
0 wt.%	6.61×10^{-5}	1.01×10^{-3}
3 wt. %	3.51×10^{-6}	7.54×10^{-4}
5 wt.%	3.18×10^{-6}	8.23×10^{-4}
10 wt.%	9.13×10^{-6}	9.32×10^{-5}
15 wt. %	4.91×10^{-5}	9.20×10^{-5}

จากตาราง 4.2 จะเห็นได้ว่า เม็ดเซรามิกที่ใช้ฟิล์มบางแพลตตินัมเป็นขั้วไฟฟ้าจะมีค่าสภาพต้านไฟฟ้าน้อยกว่าเม็ดเซรามิกที่ใช้กาวเงินเป็นขั้วไฟฟ้า และที่ปริมาณไทเทเนียมไดออกไซด์ 5 wt.% ของเม็ดเซรามิกที่ใช้ฟิล์มบางแพลตตินัมเป็นขั้วไฟฟ้า จะมีค่าสภาพต้านทานไฟฟ้าน้อยที่สุดคือ 3.18×10^{-6} และเม็ดเซรามิกที่ใช้กาวเงินเป็นขั้วไฟฟ้าจะมีค่าสภาพต้านทานไฟฟ้าน้อยที่สุดที่ปริมาณไทเทเนียมไดออกไซด์ 15 wt.% คือ 9.20×10^{-5} แต่ในขณะที่ไม่ได้เติมไทเทเนียมไดออกไซด์ลงไปในซิงก์ออกไซด์จะมีค่าสภาพต้านทานไฟฟ้ามากที่สุด ดังนั้นจะเห็นได้ว่าเมื่อเติมไทเทเนียมไดออกไซด์ลงไปในซิงก์ออกไซด์ จะทำให้มีค่าสภาพต้านทานไฟฟ้าลดลง

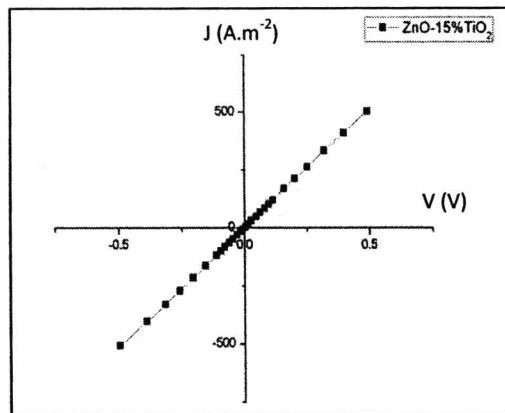


4.4.2 ความสัมพันธ์ระหว่างค่ากระแสไฟฟ้า (I_s) และความต่างศักย์ไฟฟ้า (V_s) ที่ตกคร่อมเม็ดเซรามิกตัวอย่าง

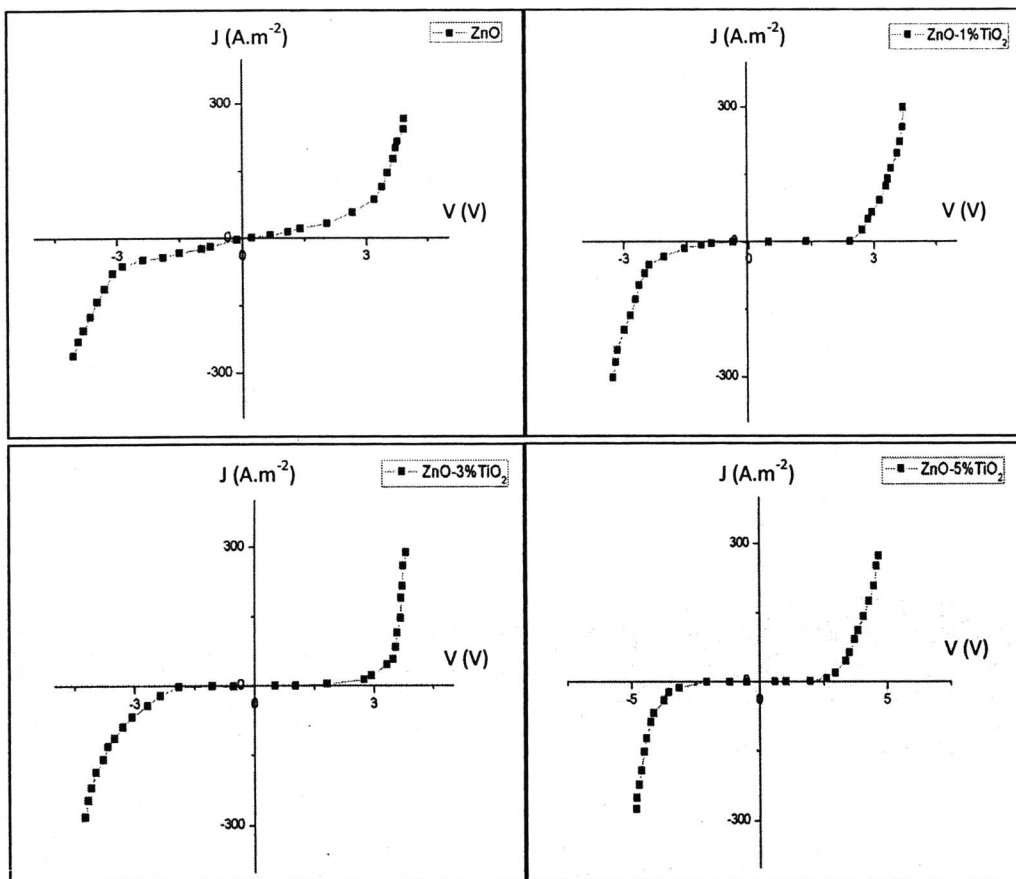
เมื่อมีความต่างศักย์ตกคร่อมตัวนำ จะทำให้อิเล็กตรอนไหลด้วยความเร็วลอยเลื่อน และเมื่อมีการเพิ่มความต่างศักย์ที่ตกคร่อมตัวนำอยู่นั้น จะทำให้กระแสเพิ่มขึ้นเป็นสัดส่วน ซึ่งค่ากระแสและความต่างศักย์ไฟฟ้าที่ตกคร่อมเม็ดเซรามิก นำมาแสดงความสัมพันธ์เป็นกราฟได้ดังรูป 4.10 และ รูป 4.1



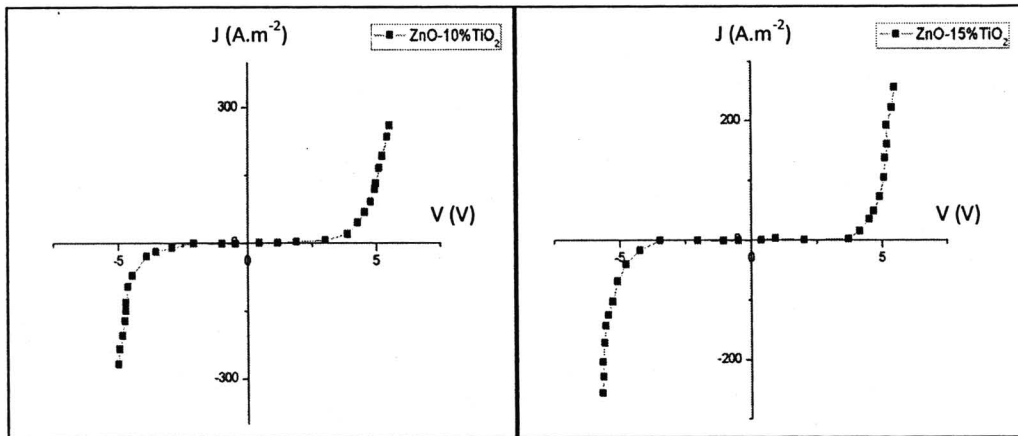
รูป 4.10 ความสัมพันธ์ระหว่างค่ากระแสไฟฟ้าและค่าความต่างศักย์ไฟฟ้าของเม็ดเซรามิก จิ้งก่อกโซดที่เติมไทเทเนียมไดออกไซด์ในปริมาณต่างๆ โดยใช้ฟิล์มบางแพลตทินัมเป็นขั้วไฟฟ้า



รูป 4.10 (ต่อ) ความสัมพันธ์ระหว่างค่ากระแสไฟฟ้าและค่าความต่างศักย์ไฟฟ้าของเม็ดเซรามิกซิงก์ออกไซด์ที่เติมไทเทเนียมไดออกไซด์ในปริมาณต่างๆ โดยใช้ฟิล์มบางแพลตตินัมเป็นขั้วไฟฟ้า



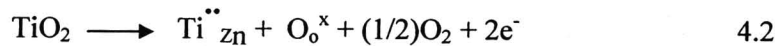
รูป 4.11 ความสัมพันธ์ระหว่างค่ากระแสไฟฟ้าและค่าความต่างศักย์ไฟฟ้าของเม็ดเซรามิกซิงก์ออกไซด์ที่เติมไทเทเนียมไดออกไซด์ในปริมาณต่างๆ โดยใช้กาวเงินเป็นขั้วไฟฟ้า



รูป 4.11 (ต่อ) ความสัมพันธ์ระหว่างค่ากระแสไฟฟ้าและค่าความต่างศักย์ไฟฟ้าของเม็ดเซรามิก ชิงก์ออกไซด์ที่เติมไทเทเนียมไดออกไซด์ในปริมาณต่างๆ โดยใช้กาวยเงินเป็นขั้วไฟฟ้า

จากรูป 4.10 จะเห็นได้ว่าการใช้ฟิล์มบางแพลตตินัมเป็นขั้วไฟฟ้าสามารถทำให้เซรามิก ชิงก์ออกไซด์ที่เติมไทเทเนียมมีลักษณะของการนำไฟฟ้าเป็นเส้นตรง ซึ่งเป็นไปตามกฎของโอห์ม (ohmic conduction) และจัดว่าเป็นผิวสัมผัสแบบโอห์มมิก (ohmic contact) ที่ยอมให้ กระแสไฟฟ้าไหลผ่านได้ดีเท่าๆกันทั้งสองทิศทาง ซึ่งมีความสำคัญกับสารกึ่งตัวนำในการนำไป ประยุกต์ใช้งานทางด้านอิเล็กทรอนิกส์ พบว่าการนำไฟฟ้าที่ดีที่สุดอยู่ที่การเติมไทเทเนียมได ออกไซด์ 5 wt.% ส่วนกลุ่มที่นำไฟฟ้าได้ปานกลางคือ 3 wt.% และ 10 wt.% และการนำไฟฟ้าที่ ด่ำที่สุดคือ 0 wt.% และ 15 wt.% ส่วนการใช้กาวยเงินเป็นขั้วไฟฟ้า ดังแสดงในรูป 4.11 แสดง ลักษณะของการนำไฟฟ้าที่ไม่เป็นเส้นตรง และไม่เป็นไปตามกฎของโอห์ม (non-ohmic conduction) มีความต่างศักย์ระหว่าง 3-5 โวลต์ พบว่าการนำไฟฟ้าที่ดีที่สุดนั้นอยู่ที่การเติม ไทเทเนียมไดออกไซด์ 15 wt.% และ 10 wt.% ส่วนกลุ่มที่นำไฟฟ้าได้ปานกลางคือ 3 wt.% และ 5 wt.% .% และการนำไฟฟ้าที่ต่ำที่สุดคือ 0 wt.% จากการทดลองที่ได้ทำให้ทราบว่าเมื่อทำ การเติมไทเทเนียมไดออกไซด์ลงไปในชิงก์ออกไซด์แล้ว จะทำให้มีความสามารถในการนำไฟฟ้า เพิ่มขึ้น แต่เมื่อเติมไทเทเนียมไดออกไซด์ลงไปปริมาณที่มากขึ้นแล้ว ความสามารถในการนำ ไฟฟ้าจะลดลง ที่เป็นเช่นนี้อาจเนื่องมาจากรัศมีไอออนของไทเทเนียมไอออน ($r_{Ti^{4+}} = 0.42 \text{ \AA}$) น้อยกว่าชิงก์ไอออน ($r_{Zn^{2+}} = 0.60 \text{ \AA}$) ทำให้อะตอมของไทเทเนียมที่เติมลงไปนั้นกระทำตัวเป็น

ผู้ให้ คือให้อิเล็กตรอนอิสระ 2 ตัว เมื่อไอออน Ti^{4+} เข้าไปอยู่แทนที่ตำแหน่งของไอออน Zn^{2+} จึงทำให้มีจำนวนของพาหะเพิ่มขึ้น และจากปรากฏการณ์ฮอลล์ (Hall effect) ทำให้ทราบว่าเซรามิกซิงก์ออกไซด์ที่เติมไทเทเนียมลงไปนั้นเป็นสารกึ่งตัวนำชนิดเอ็น (n-type semiconductor) ด้วยเหตุนี้เองสภาพต้านทานไฟฟ้าจึงลดลงและส่งผลให้สภาพนำไฟฟ้าสูงขึ้น ดังสมการที่ 4.2 [7]

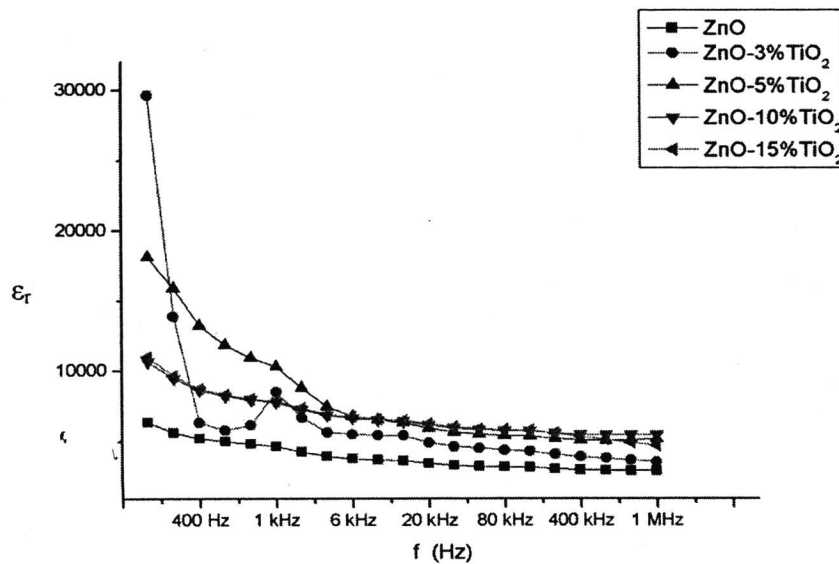


แต่เมื่อทำการการเติมไทเทเนียมไดออกไซด์ลงไปปริมาณมาก จะทำให้เกิดเฟสรองคือ Zn_2TiO_4 ซึ่งมีสภาพนำไฟฟ้าต่ำเพิ่มมากขึ้น ดังนั้นจึงทำให้การนำไฟฟ้าของเซรามิกซิงก์ออกไซด์ที่เติมไทเทเนียมไดออกไซด์ในปริมาณที่มากขึ้นมีค่าลดลง

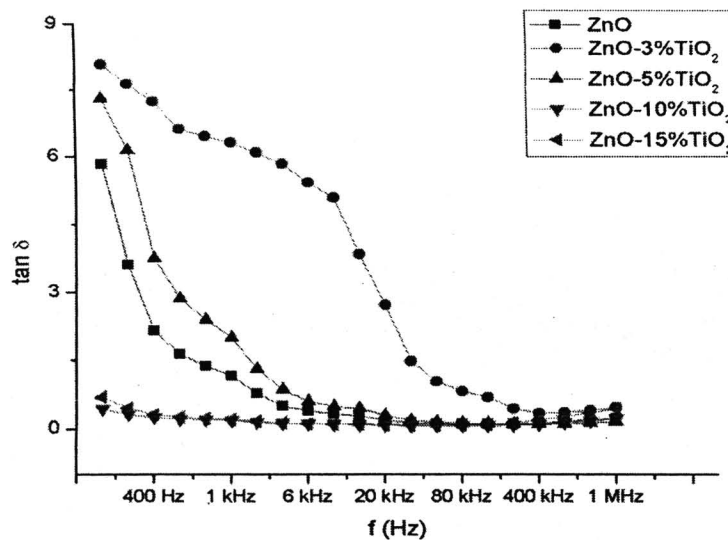
4.5 การตรวจสอบสมบัติทางไดอิเล็กทริก

ผลจากการตรวจสอบสมบัติทางไดอิเล็กทริก จะได้ค่าคงที่ไดอิเล็กทริก (dielectric constance, ϵ_r) และค่าการสูญเสียทางไดอิเล็กทริก (dielectric loss tangent, $\tan \delta$) ในช่วงความถี่ 1kHz - 1MHz ของชิ้นงานเซรามิกที่ใช้กาวยินเป็นขั้วไฟฟ้า แสดงดังรูป 4.12 จะเห็นได้ว่าที่ความถี่ต่ำจะมีค่าคงที่ไดอิเล็กทริกสูงมาก แต่เมื่อความถี่เพิ่มขึ้นจะทำให้ค่าคงที่ไดอิเล็กทริกค่อยๆ ลดลงจนกระทั่งที่ความถี่ 6kHz ค่าคงที่ไดอิเล็กทริกจะเริ่มคงที่ ค่าคงที่ไดอิเล็กทริกของเซรามิกซิงก์ออกไซด์ที่เติมไทเทเนียมไดออกไซด์ 0 wt.% ที่ความถี่ต่ำๆ นั้นจะมีค่าคงที่ไดอิเล็กทริกประมาณ 6000 แต่ว่าค่าคงที่ไดอิเล็กทริกจะมีค่าลดลงที่ประมาณ 3000 เมื่อความถี่สูงขึ้น เมื่อทำการเติมไทเทเนียมไดออกไซด์ลงไป 10 และ 15 wt.% นั้นจะมีค่าคงที่ไดอิเล็กทริกใกล้เคียงกัน และพบว่าที่ความถี่ต่ำๆ นั้นจะมีค่าคงที่ไดอิเล็กทริกประมาณ 10000 แต่ว่าค่าคงที่ไดอิเล็กทริกจะมีค่าลดลงถึงประมาณ 5000 เมื่อความถี่สูงขึ้น ที่ปริมาณไทเทเนียมไดออกไซด์ 5 wt.% จะมีค่าคงที่ไดอิเล็กทริกประมาณ 18000 ที่ความถี่ต่ำ แต่ว่าค่าคงที่ไดอิเล็กทริกจะมีค่าลดลงถึงประมาณ 5000 เมื่อความถี่สูงขึ้น และที่ปริมาณไทเทเนียมไดออกไซด์ 3 wt.% จะมีค่าคงที่ไดอิเล็กทริกสูงที่สุดซึ่งแสดงลักษณะการเบี่ยงเบนสูง คือที่ความถี่ต่ำจะมีค่าคงที่ไดอิเล็กทริกประมาณ 30000 แต่ว่าค่าคงที่ไดอิเล็กทริกจะลดลงอย่างรวดเร็วถึงประมาณ 6000 ที่ความถี่ 700 Hz และที่

ความถี่ 1kHz ค่าคงที่ไดอิเล็กทริกจะเพิ่มขึ้นอีกครั้งประมาณ 8000 และค่อยๆลดลงที่ประมาณ 3500 ที่ความถี่ 100 kHz-1MHz



รูป 4.12 ค่าคงที่ไดอิเล็กทริกของเซรามิกซิงก์ออกไซด์ที่เติมไทเทเนียมไดออกไซด์ในปริมาณต่างๆ โดยใช้กาวยเงินเป็นขั้วไฟฟ้า



รูป 4.13 ค่าการสูญเสียทางไดอิเล็กทริกของเซรามิกซิงก์ออกไซด์ที่เติมไทเทเนียมไดออกไซด์ในปริมาณต่างๆ โดยใช้กาวยเงินเป็นขั้วไฟฟ้า

จากรูป 4.13 พบว่าค่าการสูญเสียทางไดโอิเล็กทริกจะค่าลดลงตามความถี่ที่เพิ่มขึ้นด้วย โดยแยกออกเป็น 3 กลุ่มอย่างชัดเจนคือ กลุ่มแรกที่มีปริมาณไทเทเนียมไดออกไซด์ 3 wt.% จะมีค่าการสูญเสียทางไดโอิเล็กทริกสูงมากที่สุด ซึ่งที่ความถี่ต่ำนั้นจะมีค่าการสูญเสียทางไดโอิเล็กทริกประมาณ 8.04 และค่อยๆ ลดลงถึงประมาณ 0.34 เมื่อความถี่เพิ่มขึ้น กลุ่มที่สองคือ 5 wt.% และ 0 wt.% เมื่อความถี่ต่ำนั้นจะมีค่าการสูญเสียทางไดโอิเล็กทริกประมาณ 7.28 และ 5.80 ตามลำดับ และจะมีค่าลดลงถึงประมาณ 0.11 เมื่อความถี่สูงขึ้น กลุ่มที่สามคือ 10 และ 15 wt.% จะมีค่าการสูญเสียทางไดโอิเล็กทริกต่ำที่สุดและค่อนข้างใกล้เคียงกัน คือที่ความถี่ต่ำนั้นจะมีค่าการสูญเสียทางไดโอิเล็กทริกประมาณ 0.54 และจะมีค่าลดลงที่ประมาณ 0.09 เมื่อความถี่สูงขึ้น จากรูป 4.12 ที่ความถี่ 1 kHz จะพบว่า ที่ปริมาณไทเทเนียมไดออกไซด์ 3, 10 และ 15 wt.% มีค่าใกล้เคียงกันมาก แต่ว่าค่าการสูญเสียทางไดโอิเล็กทริกที่มีปริมาณไทเทเนียมไดออกไซด์ 3 wt.% มีค่ามากที่สุด แต่ที่ปริมาณไทเทเนียมไดออกไซด์ 10 และ 15 wt.% นั้นมีค่าใกล้เคียง ที่เป็นเช่นนี้อาจเนื่องมาจากการเกิด leakage ขึ้นในชิ้นงานเซรามิกที่มีปริมาณไทเทเนียมไดออกไซด์ 3 wt.% และจากความสัมพันธ์ระหว่างค่ากระแสไฟฟ้าและค่าความต่างศักย์ไฟฟ้าของเม็ดเซรามิกซึ่งก่อออกไซด์ที่เติมไทเทเนียมไดออกไซด์ 3 wt.% (รูป 4.11) พบว่ามีค่า turn on voltage ประมาณ 1 โวลต์ ซึ่งมีค่าใกล้เคียงกับความต่างศักย์ที่ใช้ในการวัดค่าคงที่ไดโอิเล็กทริก ด้วยเหตุนี้จึงทำให้เกิด leakage และทำให้ค่าการสูญเสียทางไดโอิเล็กทริกของชิ้นงานที่มีปริมาณไทเทเนียมไดออกไซด์ 3 wt.% นั้นสูงขึ้นผิดปกติ และเมื่อลดค่าความต่างศักย์ที่ใช้วัดค่าคงที่ไดโอิเล็กทริกลงที่ประมาณ 0.1-0.6 โวลต์ ที่ความถี่ 1 kHz จะพบว่าค่าการสูญเสียทางไดโอิเล็กทริกของชิ้นงานนั้นจะมีค่าลดลงด้วยเช่นกัน