บทที่ 5
สรุป วิจารณ์ผลการทดลองและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุป และวิจารณ์ผลการทดลอง

ในการทดลองได้ทำการเตรียมโครงสร้าง ZnO whiskers โดยวิธีการออกซิเดชัน เพื่อให้ได้เงื่อนไขที่เหมาะสมโดยการนำผงซิงก์ปริมาณ 3, 3.5, 4, 4.5, 5, 5.5 และ 6 กรัม ตามลำดับไปเผาที่อุณหภูมิ 700°C ในท่อควอตซ์ เป็นเวลา 2 ชั่วโมง จากผลที่ได้พบว่าปริมาณผงซิงก์มีผลต่อรูปร่างและขนาดของโครงสร้าง ZnO whiskers ในการทดลองได้ทำการเตรียม ZnO whiskers ด้วยเงื่อนไขที่เหมาะสม จากนั้นนำโครงสร้าง ZnO whiskers ชนิด *W*-ZnO ไปประยุกต์ใช้เป็นเอทานอลเซนเซอร์ สำหรับการวิเคราะห์โครงสร้าง ZnO whiskers ที่ได้ และการประยุกต์ใช้เป็นเอทานอลเซนเซอร์ สรุปได้ดังนี้

5.1.1 ลักษณะทางกายภาพของโครงสร้าง ZnO whiskers

ในการสังเคราะห์ ZnO whiskers โดยวิธีออกซิเดชันที่อุณหภูมิ 700°C จากผงซิงก์ในปริมาณต่างๆ พบว่าเงื่อนไขที่เหมาะสมที่สุดคือ ผงซิงก์ปริมาณ 3.5 กรัม โดย ZnO whiskers ที่ได้มีลักษณะแตกต่างกัน เมื่อมองด้วยตาเปล่าสามารถแยกได้เป็น 3 ส่วนโดยมีขนาดและรูปร่างที่ค่อนข้างแตกต่างกัน จากภาพถ่าย SEM พบว่า ส่วนที่ 1 ที่อยู่ข้างในสุดมีลักษณะเป็น *W*-ZnO ที่มีขนาดใหญ่ ส่วนที่สองมีลักษณะเป็น *T*-ZnO ที่มีความสม่ำเสมอทั้งขนาดและรูปร่างและในส่วนที่ 3 สามารถแบ่งได้เป็น 2 ชั้น โดยที่ชั้นใน *T*-ZnO จะมีขนาดที่ยาวและใหญ่กว่าชั้นนอก ซึ่งในงานวิจัยนี้ได้เลือกเอาเฉพาะ *W*-ZnO ที่สังเคราะห์ได้เพื่อนำไปประยุกต์ใช้เป็นเอทานอลเซนเซอร์ เมื่อเปรียบเทียบขนาดและความยาวของ ZnO whiskers ที่สังเคราะห์ได้ด้วยวิธีดังกล่าวนี้กับผลที่ได้จากการสังเคราะห์ ZnO whiskers ด้วยวิธีการต่างๆ โดยคณะนักวิจัยจากที่อื่น พบว่ามีความแตกต่างกัน ดังแสดงในตารางที่ 5.1

ตารางที่ 5.1 การสังเคราะห์โครงสร้าง *W*-ZnO ของงานวิจัยนี้เปรียบเทียบกับรายงานผลการทดลองของคณะนักวิจัยอื่น

ผู้วิจัย (ปีที่ตีพิมพ์)	สารตั้งต้น/ วิธีการสังเคราะห์	อุณหภูมิ (°C)	ความดัน (Pa)	ขนาดที่ได้ (ความยาว)
Egashira และคณะ[20] (1988)	Zn, Zn+C, ZnI_2	400-1200	บรรยากาศ (ผ่านก๊าซ N_2)	3-5 mm
Zhou และคณะ [24] (1999)	ผงซิงก์/ออกซิเดชัน	500 และ 800	บรรยากาศ	~120 และ ~13.3 μm
Chang และคณะ [25] (2001)	ZnO Target/ สปัตเตอร์	ไม่ให้, 200 - 500	6.7E-4 (ผ่านก๊าซ O_2/Ar)	275 nm
Wang และคณะ [26] (2003)	ผง ZnO/ออกซิเดชัน	1050	บรรยากาศ	30 – 40 μm
Kong และ Li [27] (2003)	ผง ZnS / catalyst as sisted flux method	860	บรรยากาศ (ผ่านก๊าซ Ar)	10nm - 1 μm
Yuan และ Zhang [28] (2004)	ผงซิงก์/AP-MOCVD	500 - 600	บรรยากาศ (ผ่านก๊าซ N_2)	12 μm
Hou และคณะ [29] (2004)	$Zn(NH_3)_4^{2+}$ /simple mild hydrothermal method	145	-	Up to 6 μm
Xu และคณะ [2] (2006)	$Zn(OH)_4^{2-}$ /โซลโวเทอร์มอล	140	-	100- 500 nm
ภาณุพัฒน์ ชัยวร [3] (2007)	ผงซิงก์/ออกซิเดชัน	600 - 800	บรรยากาศ	4–15 mm
Lyapina และคณะ [30] (2008)	ผงซิงก์/CVD	700	บรรยากาศ (ผ่านก๊าซ Ar,O_2)	2-3 μm
งานวิจัยนี้	ผงซิงก์/ออกซิเดชัน	700	บรรยากาศ	0.38-4.59 mm

จากตารางที่ 5.1 จะเห็นได้ว่า ZnO whiskers ที่สังเคราะห์ได้จากงานวิจัยนี้ มีขนาดความกว้างและความยาวของ *W*-ZnO จัดอยู่ในกลุ่มที่มีขนาดใหญ่ ซึ่งมีค่าใกล้เคียงกับผลที่ได้ของคณะนักวิจัยบางคณะ นอกจากนี้ลักษณะของโครงสร้าง ZnO whiskers ที่สังเคราะห์ได้จากงานวิจัยนี้ยังประกอบไปด้วยโครงสร้าง 2 ชนิด คือ *W*-ZnO และ *T*-ZnO และสำหรับ *W*-ZnO ที่

สังเคราะห์ได้มีขนาดค่อนข้างแตกต่างกันพอสมควรโดยมีความยาวอยู่ในช่วงประมาณ 0.38-4.59 mm ซึ่งการที่ได้โครงสร้าง *W*-ZnO ที่มีขนาดใหญ่แบบนี้ คาดว่ามาจากระยะเวลาในการเผาที่นาน รวมทั้งการกักไอของ ZnO

5.1.2 องค์ประกอบทางเคมีของโครงสร้าง ZnO whiskers

ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของโครงสร้าง ZnO whiskers ทั้งชนิด *W*-ZnO และ *T*-ZnO ที่ได้ด้วยเครื่อง EDS พบว่า โครงสร้างที่สังเคราะห์ได้ประกอบไปด้วยธาตุองค์ประกอบ 2 ธาตุ คือ ซิงก์ และ ออกซิเจนเท่านั้น โดยมีอัตราส่วนเฉลี่ยของธาตุ Zn:O สำหรับ *W*-ZnO เป็น 47.65: 52.35 และ *T*-ZnO เป็น 44.19: 55.81 แสดงว่า ผลการทดลองสามารถสังเคราะห์ ZnO whiskers ที่มีความบริสุทธิ์สูง

ส่วนโครงสร้าง *W*-ZnO เจือด้วยอนุภาคนาโนทองคำ 0.1%mol พบว่า องค์ประกอบของธาตุต่างๆ คือ Zn:O:Au เป็น 61.80: 36.26: 1.94 แสดงว่า มีองค์ประกอบของทองคำเจืออยู่จริง ถึงแม้เจือด้วยปริมาณที่น้อยก็ตาม

5.1.3 โครงสร้างทางผลึกของโครงสร้าง ZnO whiskers

ผลการวิเคราะห์โครงสร้างผลึกของ *W*-ZnO, *T*-ZnO ที่สังเคราะห์ได้กับ *W*-ZnO ที่เจือด้วยอนุภาคนาโนทองคำ 0.1%mol พบว่า *W*-ZnO, *T*-ZnO ให้พีคของ ZnO ที่มีโครงสร้างผลึกแบบ hexagonal โดยเทียบกับสารมาตรฐานของ ZnO no. 89-0510 และจากการเทียบกับสารมาตรฐานของ ZnO no. 79-2205 JCPDS ได้ค่า lattice parameter a และ c ของ *W*-ZnO คือ 3.2493 Å และ 5.2052 Å มีค่าความคลาดเคลื่อนไปจากค่ามาตรฐาน 0.05% และ 0.07% ตามลำดับ สำหรับ *T*-ZnO มีค่า lattice parameter a และ c คือ 3.2510 Å และ 5.2089 Å มีค่าความคลาดเคลื่อนไปจากค่ามาตรฐาน 0.09% และ 0.07% ตามลำดับ

W-ZnO ที่เจือด้วยอนุภาคนาโนของทองคำ 0.1%mol สามารถพบเห็นพีคโครงสร้างผลึกของทองคำ นอกเหนือจากพีคของซิงก์ออกไซด์ โดยได้ค่า lattice parameter ของ *W*-ZnO คือ a=3.2495 Å และ c=5.2087 Å ตามลำดับ มีค่าความคลาดเคลื่อนไปจากค่ามาตรฐาน 0.05% และ 0.07% ตามลำดับ สำหรับ Au มีค่า a=4.1371 Å มีค่าความคลาดเคลื่อนไปจากค่ามาตรฐาน 1.05%

5.1.4 สมบัติการตรวจจับไอเอทานอลของเอทานอลเซนเซอร์

จากการทดสอบเอทานอลเซนเซอร์ที่ทำจาก *W*-ZnO และ *W*-ZnO เจือด้วยอนุภาคนาโนทองคำ 0.1% mol เป็นฐาน ในช่วงอุณหภูมิตั้งแต่ 240-380°C ที่ไอเอทานอลความเข้มข้นในช่วง 100 - 1000 ppm พบว่าค่าความต้านทานของเอทานอลเซนเซอร์มีค่าลดลงเมื่ออยู่ในบรรยากาศของไอเอทานอล นอกจากนี้ยังพบว่าสภาพไวในการตอบสนอง เวลาการตอบสนอง และเวลาการคืนตัวของเอทานอลเซนเซอร์มีค่าขึ้นอยู่กับอุณหภูมิและความเข้มข้นไอเอทานอลที่ทำการทดสอบกับเซนเซอร์ ซึ่งสามารถสรุปผลการทดลองได้ดังต่อไปนี้

เมื่อนำเอทานอลเซนเซอร์ที่ทำจาก *W*-ZnO เป็นฐาน มาทดสอบที่ช่วงอุณหภูมิตั้งแต่ 240-380°C พบว่า อุณหภูมิที่เหมาะสมที่สุด คือ 340°C มีค่าความต้านทานเริ่มต้นที่ค่อนข้างต่ำ และมีค่าความไวในการตอบสนองต่อไอเอทานอลที่สูงที่สุดคือ ประมาณ 1.369 ที่ไอเอทานอลความเข้มข้น 1000 ppm รวมถึงมีเวลาในการตอบสนอง (response time) และเวลาในการคืนตัวกลับ (recovery time) ที่ค่อนไม่ช้านัก คือ 11.41 และ 37.31 วินาทีตามลำดับ โดยเฉพาะเวลาในการคืนตัวกลับมีค่าค่อนข้างเร็ว

สำหรับเอทานอลเซนเซอร์ที่ทำจาก *W*-ZnO เจือด้วยอนุภาคนาโนทองคำ 0.1% mol เมื่อทดสอบที่ช่วงอุณหภูมิตั้งแต่ 240-360°C พบว่า มีค่าความไวในการตอบสนองต่อไอเอทานอลลดลงเล็กน้อย เทียบกับความไวในการตอบสนองต่อไอเอทานอลของเอทานอลเซนเซอร์ที่ทำจาก *W*-ZnO เป็นฐาน โดยมีอุณหภูมิที่เหมาะสมที่สุดคือ 340°C มีค่าความไวในการตอบสนองต่อไอเอทานอลประมาณ 1.236 ที่ไอเอทานอลความเข้มข้น 1000 ppm รวมถึงมีเวลาในการตอบสนองและเวลาในการคืนตัวกลับที่ไม่ช้านัก คือ 4.80 และ 15.36 วินาที ตามลำดับ โดยเฉพาะเวลาในการคืนตัวกลับมีค่าค่อนข้างเร็วเช่นกัน

เมื่อพิจารณาจากทั้งสองเงื่อนไขจะเห็นว่าเวลาการตอบสนองและเวลาในการคืนตัวกลับ มีค่าใกล้เคียงกันในหน่วยวินาทีและมีค่าลดลงสำหรับ *W*-ZnO ที่เจือด้วยอนุภาคนาโนทองคำ 0.1% mol สำหรับเวลาในการคืนตัวของทั้งสองเงื่อนไขมีแนวโน้มที่ลดลงเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น

ทั้งนี้จะเห็นว่าเอทานอลเซ็นเซอร์ทั้งสองเงื่อนไข มีค่าความต้านทานเริ่มต้นของค่อนข้างต่ำ และมีอุณหภูมิทดสอบที่เหมาะสมที่อุณหภูมิเดียวกัน คือ 340°C โดยมีความไวในการตอบสนองต่อไอเอทานอลสูงที่สุดที่ไอเอทานอลความเข้มข้น 1000 ppm ฐานตามลำดับ ซึ่งจะเห็นว่าความไวในการตอบสนองต่อไอเอทานอลมีค่าลดลงเล็กน้อยสำหรับเอทานอลเซ็นเซอร์ที่ทำจาก *W*-ZnO เจือด้วยอนุภาคนาโนทองคำ 0.1% mol เป็นฐาน

เมื่อนำค่าสภาพไวต่อไอเอทานอลและอุณหภูมิที่ดีที่สุดมาเปรียบเทียบกับงานวิจัยอื่น พบว่าค่าความไวในการตอบสนองค่อนข้างต่ำ แม้ว่าบางงานวิจัยจะได้ค่าความไวที่สูงกว่ามากแต่ก็เกิดจากการทดสอบที่อุณหภูมิสูงๆ เกินกว่าที่จะสามารถนำมาประยุกต์ใช้ได้ รวมถึงบางงานวิจัยได้เจือโลหะมากกว่าสองชนิดดังตารางที่ 5.2

ตารางที่ 5.2 ทดสอบไอเอทานอลที่อุณหภูมิทดสอบและค่าสภาพไวในการตอบสนองต่อไอเอทานอลของงานวิจัยนี้กับรายงานวิจัยอื่น

ผู้วิจัย (ปีที่ตีพิมพ์)	สารตั้งต้น	อุณหภูมิทดสอบที่ดีที่สุด (°C)	ก๊าซ/ความเข้มข้น	Sensitivity
Egashira และคณะ[20] (1988)	*W*-ZnO Singlecrystalline	650	1% H_2 1% CO 1% CH_4	1.02
	W-ZnO/เจือ Li^+	600-650 500 600-650	1% H_2 1% CO 1% CH_4	~3 ~2.2 ~1.2
Xu และคณะ [2] (1988)	*W*-ZnO Polycrystalline	330	Ethanol 1000 ppm	~15
ภาณุพัฒน์ ชัยวร [3] (2007)	*W*-ZnO singlecrystalline	120	Ethanol 1000 ppm	7.89
งานวิจัยนี้	*W*-ZnO singlecrystalline	340	Ethanol 1000 ppm	1.369
	W-ZnO/เจือ 0.1%mol Au (0.25%wt Au)	340		1.236

เมื่อเปรียบเอทานอลเซนเซอร์ที่สร้างจาก *W* -ZnO เป็นฐาน กับงานวิจัยอื่น พบว่า งานวิจัยนี้มีค่าความไวที่ค่อนข้างต่ำแต่ก็ไม่ต่างจากงานวิจัยอื่นมากนัก ทั้งนี้อาจเนื่องด้วยงานวิจัยนี้ใช้ *W*-ZnO ที่อยู่ในรูปของผลึกเชิงเดี่ยว ทำให้มีพื้นที่ผิวต่อปริมาตรที่น้อยกว่า ส่งผลให้การเข้าจับของก๊าซที่ผิวของเอทานอลเซนเซอร์ที่น้อยกว่างานวิจัยอื่นที่เป็นเซนเซอร์ที่อยู่ในรูปเซรามิกหรือฟิล์ม ซึ่งพื้นที่ของเอทานอลเซนเซอร์นั้นได้แสดงไว้แล้วในบทที่ 4 โดยอันตรกิริยาระหว่างไอของก๊าซ

กับเซนเซอร์จะขึ้นอยู่กับพื้นที่ผิวของเซนเซอร์ในกรณีของเซนเซอร์ที่ทำจากผลึกเชิงเดี่ยวนั้นจะมีความต้านทานของเซนเซอร์ในอากาศที่ค่อนข้างต่ำ อีกทั้งพื้นที่ผิวก็น้อย ทำให้มีโอกาสการเข้าจับของก๊าซที่ผิวของเอทานอลเซนเซอร์เป็นได้น้อย รวมถึงเมื่อพิจารณาสมบัติของเอทานอลเซนเซอร์ที่เจือด้วยอนุภาคนาโนทองคำ พบว่าให้ค่าสภาพไวมีค่าลดลงเล็กน้อยอาจเนื่องมาจากการที่อนุภาคนาโนของทองคำไปเกาะบนเซนเซอร์ทำให้พื้นที่ที่จะทำปฏิกิริยาลดลง ประกอบกับการที่เซนเซอร์มีพื้นที่ทำปฏิกิริยาน้อยอยู่แล้ว ทำให้จุดอิ่มตัวมีค่าต่ำ ซึ่งอนุภาคนาโนของทองคำซึ่งปกติเป็นตัวกระตุ้นหรือเร่งปฏิกิริยาที่ดี จะเห็นได้จาก เอทานอลเซนเซอร์ที่ ที่เจือด้วยอนุภาคนาโนของทองคำจะมีเวลาในการตอบสนองและเวลาในการคืนตัวที่น้อยลง จากผลการวิจัยถือว่าสามารถนำไปประยุกต์ใช้งานได้จริง

เมื่อนำค่าสภาพไวต่อไอเอทานอลของเอทานอลเซนเซอร์มาหาค่า b โดยใช้ค่าสภาพไวต่อไอเอทานอลสูงสุดในแต่ละความเข้มข้น ตั้งแต่ 50-1000 ppm พบว่า เอทานอลเซนเซอร์ที่ทำจาก *W* -ZnO เป็นฐานมีค่า b ที่ได้มีค่าใกล้ 0.5 แสดงว่าออกซิเจนอิออนที่เกาะบนพื้นผิวของโครงสร้าง *W* -ZnO ส่วนใหญ่เป็น O^{2-} และที่เจือด้วยอนุภาคนาโนของทองคำ 0.1 %mol ค่า b มีค่าใกล้ 0.5 แสดงว่าออกซิเจนอิออนที่เกาะบนพื้นผิวของโครงสร้าง *W* -ZnO ที่เจือด้วยทองคำส่วนมากเป็น O^{2-}

5.2 ข้อเสนอแนะ และงานที่สามารถทำต่อไป

5.2.1 ข้อเสนอแนะเกี่ยวกับการทดลอง

1. ในการสังเคราะห์ *W*-ZnO ควรหาอุปกรณ์ปิดจมูกและปาก เพื่อป้องกันการสูดเอาอนุภาคของ *W* -ZnO และเส้นใยแก้วเข้าไปในระบบทางเดินหายใจ ซึ่งอาจเป็นอันตรายต่อร่างกายได้ในระยะยาว และในการล้างท่อควอตซ์ด้วยกรดไฮโดรคลอริกควรทำในตู้ควันเพื่อป้องกันอันตรายจากไอของกรด

2. การประกอบ *W* -ZnO ลงบน substrate ควรปฏิบัติดังต่อไปนี้

- เลือกขนาดของ *W* -ZnO ที่มีความสมมาตรและมีขนาดเท่าๆ กัน โดยให้มีความยาว 3 mm ขึ้นไป เพื่อให้เซนเซอร์มีพื้นที่ผิวใกล้เคียงกันและมีพื้นที่ผิวสัมผัสกับไอเอทานอลได้มากที่สุด

- สำหรับ gold paste ที่ใช้ควรให้มีความหนืดมากพอเพื่อป้องกันการไหลซึมไปในบริเวณที่ใช้เป็นเซนเซอร์ระหว่างการประกอบ และอาจใช้เทปกาวล็อคเส้น *W*-ZnO เพื่อป้องกันการลื่นไหล

3. เอทานอลเซนเซอร์ที่ประกอบเรียบร้อยแล้วต้องรอการทดสอบ ควรเก็บในที่ปลอดความชื้น หรือให้สัมผัสกับความชื้นน้อยที่สุดเท่าที่จะทำได้ และก่อนที่จะทำการทดสอบกับไอเอทานอลควรนำเอทานอลเซนเซอร์ไปอยู่ที่อุณหภูมิประมาณไม่ต่ำกว่า 340°C อย่างน้อย 6 ชั่วโมง เพื่อให้เอทานอลเซนเซอร์มีความเสถียรพร้อมต่อการทดสอบ รวมถึงยังทำให้ค่าความต้านทานเริ่มต้นของเอทานอลเซนเซอร์มีความคงที่ และลดปัญหาเรื่องสัญญาณรบกวนอีกด้วย

4. การวัดอุณหภูมิของเอทานอลเซนเซอร์ขณะทำการทดสอบ สำหรับงานวิจัยนี้ใช้ thermocouple สัมผัสที่บริเวณบน substrate ในตำแหน่งที่ใกล้กับตัวเอทานอลเซนเซอร์มากที่สุด ดังนั้นเมื่อกำหนดตำแหน่งใดแล้วไม่ควรเลื่อนหรือเปลี่ยนตำแหน่งของ thermocouple จนกว่าจะเสร็จสิ้นการทดสอบ เพราะตำแหน่งการวาง thermocouple ในแต่ละตำแหน่งจะให้ค่าอุณหภูมิที่ไม่คงเดิม ซึ่งอาจส่งผลต่อผลการทดสอบ

5. ในการทดสอบเอทานอลเซนเซอร์ควรให้เสร็จสิ้นต่อเนื่องครั้งเดียวไม่ควรปล่อยทิ้งไว้นานๆ แล้วกลับมาทำต่อ เพราะหากทิ้งไว้นานๆ จะทำให้ค่าของผลการทดสอบที่ได้มีค่าความคลาดเคลื่อน อันเนื่องมาจากปัญหา heater ขาดหรือรอยเชื่อมต่อทางอิเล็กทรอนิกส์ต่างๆ อาจจะหลุดร่อน สึกกร่อนไป

6. การจ่ายกระแสไฟฟ้าให้แก่ heater เพื่อเพิ่มอุณหภูมิ ควรเพิ่มอุณหภูมิทีละน้อย โดยเฉพาะที่อุณหภูมิสูงๆ เพื่อป้องกันความเสียหายที่จะเกิดกับ heater และเอทานอลเซนเซอร์

7. ในการออกแบบการประกอบเอทานอลเซนเซอร์กับ socket IC ให้มีความเหมาะสมกว่าเดิม โดยออกแบบให้สามารถถอดแยกประกอบได้โดยไม่ทำให้ตัวเอทานอลเซนเซอร์เสียหาย เช่น กรณีของ heater ขาด เมื่อทำการเปลี่ยนขดลวดแล้วจะต้องไม่กระทบกระเทือนกับตัวเอทานอลเซนเซอร์ เป็นต้น

5.2.2 ข้อเสนอแนะเกี่ยวกับการทดลองที่สามารถทำต่อไปได้

1. การสังเคราะห์ *W*-ZnO ควรหาวิธีหรือการควบคุมปัจจัยการเกิด ทั้งปริมาณและขนาดให้มีความเหมาะสมมากกว่านี้ โดยการควบคุมในเรื่องของขนาดของเตาให้มีขนาดใกล้เคียงกับท่อควอตซ์ ความดัน อุณหภูมิ และปริมาณก๊าซต่างๆ เช่น ออกซิเจน เป็นต้น การควบคุมปัจจัยเหล่านี้จะช่วยควบคุมปริมาณและขนาดที่เหมาะสมได้มากขึ้น เช่น มีปริมาณของ %yield ที่สูงกว่านี้ และมีขนาดที่ยาวกว่านี้

2. เงื่อนไขการทดสอบเอทานอลเซนเซอร์เจือด้วยอนุภาคนาโนทองคำ ควรทดสอบการเจือด้วยอนุภาคนาโนของทองคำเพิ่มที่ปริมาณเจือต่างๆ เช่น 0.10, 0.15, 0.20,... 0.50 %mol เพื่อเปรียบเทียบผลที่ชัดเจนขึ้น เพื่อเป็นแนวทางในการเพิ่มประสิทธิภาพในการเป็นเอทานอลเซนเซอร์ที่ดียิ่งขึ้น

4. ทดสอบเปรียบเทียบประสิทธิภาพในการเป็นเอทานอลเซนเซอร์ที่ทำจาก *W* -ZnO เป็นฐานกับเอทานอลเซนเซอร์ที่ทำจาก *W* -ZnO เป็นฐานเจือด้วยอนุภาคของสารอื่นๆ เช่น Pt และ Pd ในปริมาณการเจือที่เท่ากันกับการเจือเพื่อเปรียบเทียบผล