

บทที่ 4

ผลและการวิเคราะห์ผลการวิจัย

สำหรับบทที่ 4 เป็นผลการวิจัยที่ได้ดำเนินการในแต่ละขั้นตอนในบทที่ 3 ซึ่งได้แก่ ผลการสังเคราะห์วัสดุสำหรับทำเป้าสปีดเตอริง ผลการเตรียมฟิล์มบางโดยใช้ระบบแมกนีตรอน สปีดเตอริงแบบดีซี ผลการศึกษาลักษณะทางกายภาพและจุลภาพ สมบัติเทอร์โมอิเล็กทริกของ ฟิล์มบาง และผลการประดิษฐ์และทดสอบการผลิตไฟฟ้าเทอร์โมอิเล็กทริกมอดูลแบบฟิล์มบาง ตามลำดับ ดังนี้

ผลการสังเคราะห์และศึกษาสมบัติทางกายภาพของเป้าสปีดเตอริง

ผลการสังเคราะห์และสมบัติทางกายภาพของเป้าสปีดเตอริง ZnO เจือด้วย TiO และ ZnO เจือด้วย TiO₂ ได้แก่ ผงผสมของสารตั้งต้นสำหรับทำเป้าสปีดเตอริง ผลการวิเคราะห์สมบัติทางกายภาพของเป้าสปีดเตอริง ZnO เจือ TiO และ ZnO เจือ TiO₂ ได้แก่ ซึ่งมีรายละเอียด ดังนี้



(ก)

(ข)

(ค)

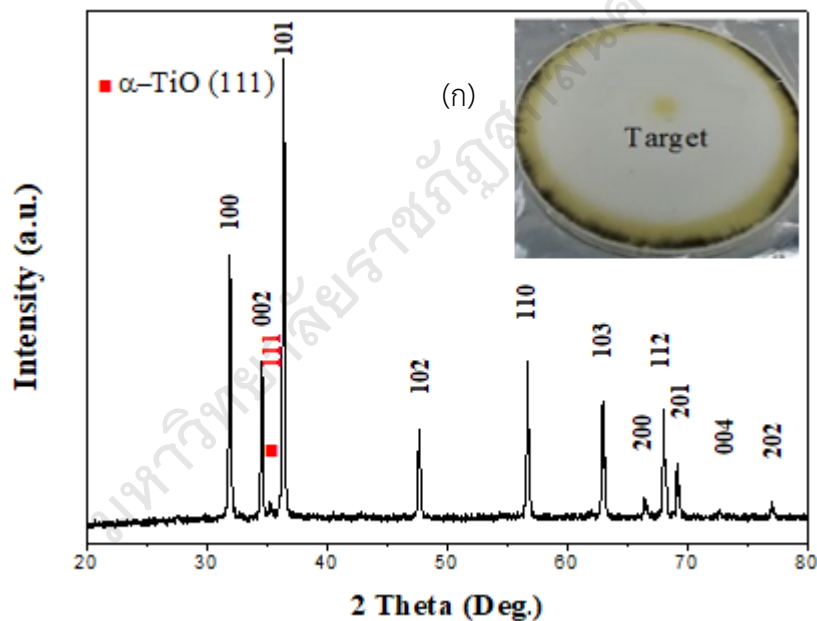
ภาพประกอบ 27 ผงวัสดุสารประกอบ (ก) ซิงค์ออกไซด์ (ข) ไทเทเนียมออกไซด์
(ค) ไทเทเนียมไดออกไซด์

1. ผลการสังเคราะห์เป้าสปีดเตอริง

เป้าสปีดเตอริง ที่สังเคราะห์ได้ด้วยวิธีปฏิกิริยาสถานะของแข็งมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 60 mm และความหนา 3 mm ที่ผ่านการเผาผนึกแล้ว แสดงดังภาพประกอบ (ก) จากนั้นได้ ทำการศึกษาสมบัติเชิงผลึก ของเป้าสปีดเตอริงที่ผ่านการเผาผนึกในแต่ละอุณหภูมิ ด้วยเทคนิคการ เลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ (X-ray diffractometer; XRD) รุ่น XRD-6100 ยี่ห้อ Shimadzu, Japan ที่ศูนย์ ความเป็นเลิศด้านพลังงานทางเลือก สถาบันวิจัยและพัฒนา มหาวิทยาลัยราชภัฏสกลนคร เพื่อ ตรวจสอบเฟสวัสดุของเป้าสปีดเตอริง ที่สังเคราะห์ได้มีรูปแบบการเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ แสดงดัง ภาพประกอบ 28 และ 29

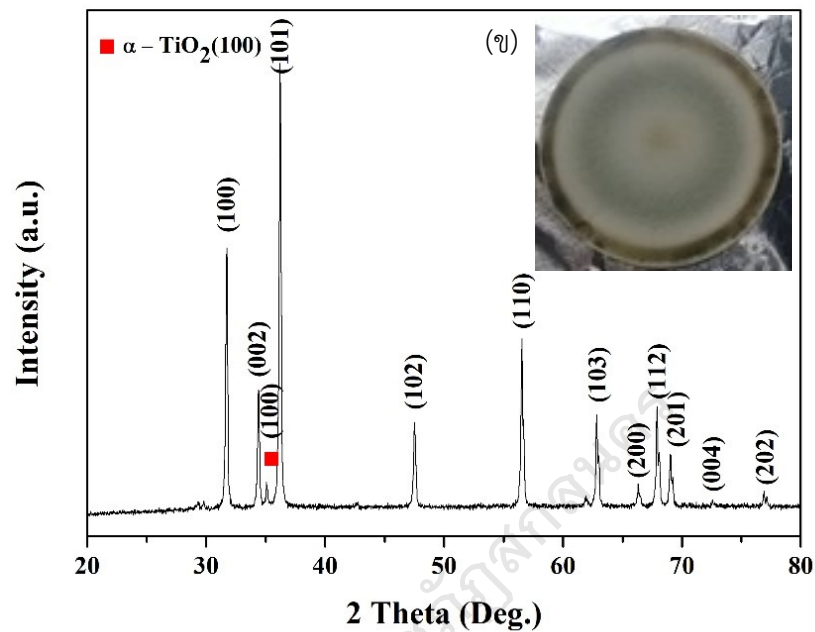
ผลการเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์

1. เป้าสปีดเตอริงของ ZnO -TiO



ภาพประกอบ 28 รูปแบบการเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์ของวัสดุเป้า ZnO เจือ TiO

2. เป้าสปีดเตอร์ของ ZnO -TiO₂



ภาพประกอบ 29 รูปแบบการเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์ของวัสดุเป้า ZnO เจือ TiO₂

3. ผลการศึกษาสมบัติทางกายภาพของเป้าสปีดเตอร์จริง

สมบัติทางกายภาพของเป้าสปีดเตอร์จริง ได้แก่ ผลการวัดความแข็งและความหนาแน่น โดยได้ทำการวัดความแข็งด้วยวิธี Micro Vickers Hardness Tester รุ่น HMV-2T ยี่ห้อ PSHIMADZU, Japan และทำการวัดความหนาแน่นวิธีของอาร์คิมิดีส Archimedes Method รุ่น MS204 ยี่ห้อ METTLER TOLEDO ที่ศูนย์ความเป็นเลิศด้านพลังงานทางเลือก และนำมาคำนวณหาคุณสมบัติพื้นฐานของวัสดุแสดงดังตาราง 1 จากตารางนี้แสดงให้เห็นว่าวัสดุที่นำมาทดสอบวัดคุณสมบัติต่าง ๆ นั้นเพื่อใช้ในการหาเงื่อนไขที่เหมาะสมแก่การเตรียมวัสดุเป้านั้นต้องใช้กระบวนการเตรียมที่เหมาะสมทั้งอุณหภูมิและความดัน ตาราง 1 แสดงค่าผลที่ได้จากการวัดเป้าวัสดุโดยเครื่องมือและนำมาคำนวณ

material	Density(g/cc)	Crystal size (target)(nm)	Hardness (GPa)	Lattices strain (%)
ZnO-TiO	4.172	58.444	1.981	1.558×10^{-3}
ZnO-TiO ₂	3.518	50.131	1.909	1.873×10^{-3}

ผลการสังเคราะห์ฟิล์มบาง

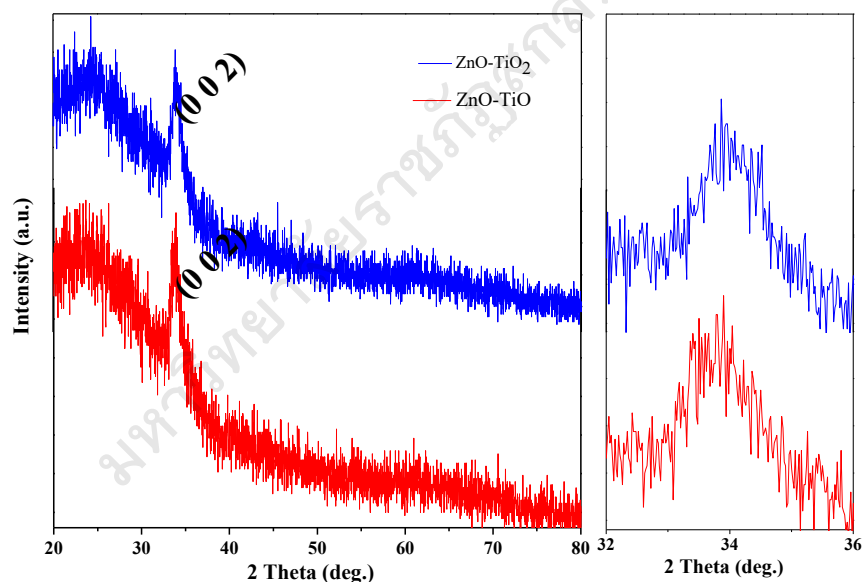
1. ลักษณะของฟิล์มบาง

ฟิล์มบาง สามารถทำการเตรียมได้ด้วยวิธีแมกนีตรอนสปัตเตอริงแบบดีซีบนแผ่นฐานรองแก้ว จากวัสดุเป้า ZnO เจือด้วย TiO และ ZnO เจือด้วย TiO₂ ที่สังเคราะห์ได้ด้วยวิธีปฏิกิริยาสถานะของแข็ง โดยฟิล์มบางที่เตรียมได้นั้น ได้นำไปศึกษาลักษณะเฉพาะและสมบัติเทอร์โมอิเล็กทริกของฟิล์มบางต่อไป

2. ผลการศึกษาลักษณะเฉพาะของฟิล์มบาง

2.1 ผลการศึกษาการเลี้ยวเบนรังสีเอ็กซ์

ลักษณะเฉพาะของฟิล์มบาง ZnO เจือ TiO และ ZnO เจือ TiO₂ ที่เตรียมได้ ประกอบด้วย ผลการศึกษาการเลี้ยวเบนรังสีเอ็กซ์ ผลการศึกษาพื้นผิวระดับจุลภาคและความหนาของฟิล์มบาง และผลการศึกษาค่าประกอบเชิงธาตุ มีรายละเอียดดังนี้



ภาพประกอบ 30 รูปแบบการเลี้ยวเบนรังสีเอ็กซ์ของฟิล์มบาง ZnO เจือ TiO และ ZnO เจือ TiO₂ ตาราง 2 แสดงค่าผลที่ได้จากการวัดฟิล์มบางจากการคำนวณ

material	Crystal size (film) (nm)	Lattices strain (film) (%)
ZnO-TiO	66.379	1.782×10^{-3}
ZnO-TiO ₂	64.727	1.920×10^{-3}

ผลการเลี้ยวเบนรังสีเอ็กซ์ของฟิล์มบาง ZnO เจือ TiO และ ZnO เจือ TiO₂ ที่เตรียมได้ ด้วยวิธีแมกนีตรอนสปัตเตอริงแบบดีซีแสดงดังภาพที่ พบว่า ความสัมพันธ์ระหว่างมุมการเลี้ยวเบนกับ

ความเข้มการเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ของฟิล์มมีผลสอดคล้องกับเฟสมาตรฐาน PDF ตามลำดับ โดยมีโครงสร้างผลึกเป็นแบบ (HCP) มีขนาดอนุภาค (Particle sizes; P_s) โดยเฉลี่ยประมาณ 100 nm ที่คำนวณได้จากสมการของเชอร์เรอร์ (Scherrer's equation) ดังสมการ (14)

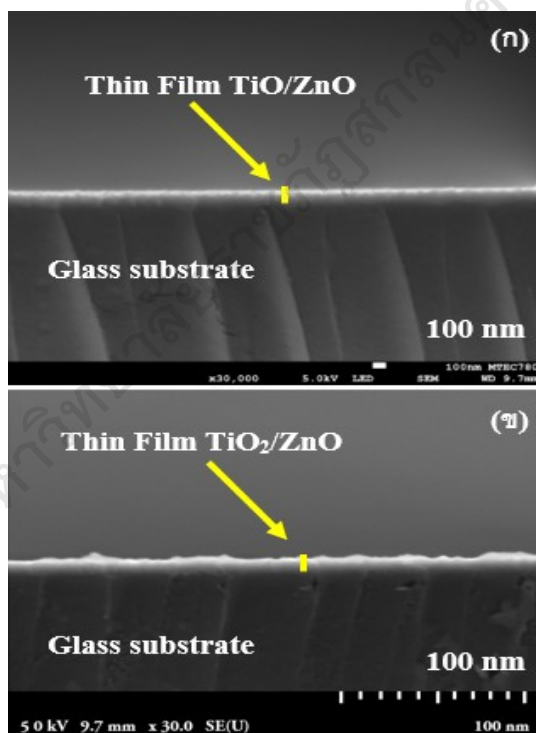
$$P_s = \frac{K\lambda}{\beta \cos \theta} \quad (14)$$

โดย K คือ ค่าปัจจัยสภาพ (shape factor; 0.94)

λ คือ ความยาวคลื่นของรังสีเอกซ์ ($\text{CuK}\alpha_1 = 1.54056 \text{ \AA}$)

β คือ ความกว้างกึ่งกลางพีคการเลี้ยวเบน (full width at half maximum, FWHM) โดย θ และ β หาได้จากรูปแบบการเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ที่มุม 2θ แสดงดังตาราง 1 และ 2

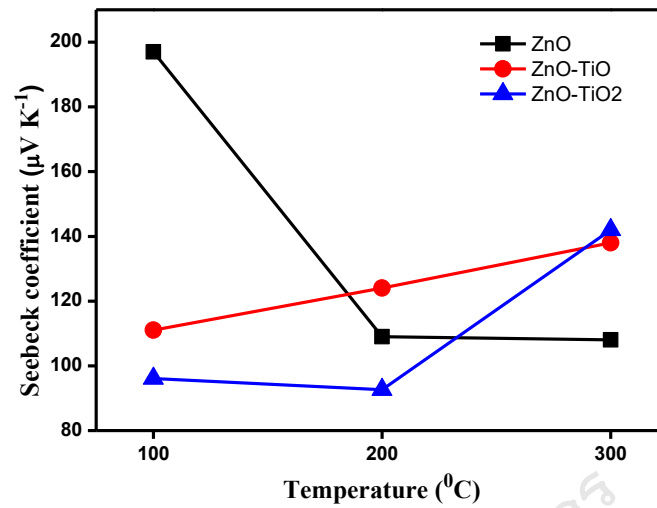
2.2 ผลการศึกษาลักษณะสัญญาณวิทยา



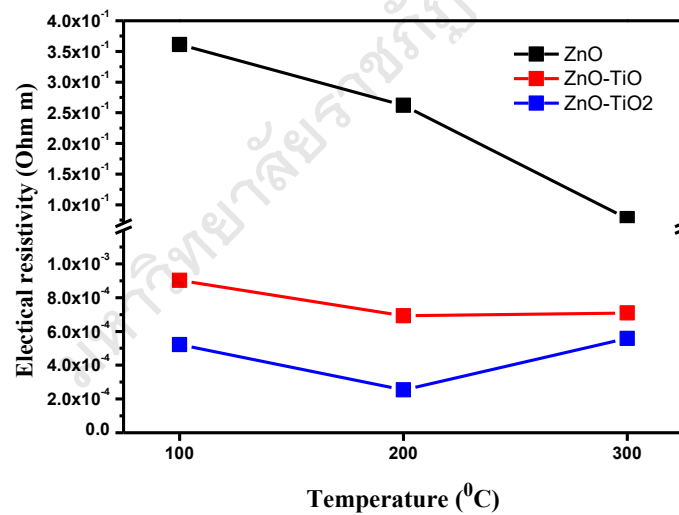
ภาพประกอบ 31 ภาพถ่าย SEM ของ ZnO เจือ TiO และ ZnO เจือ TiO₂

3. ผลการวัดสมบัติเทอร์โมอิเล็กทริกแบบฟิล์มบาง

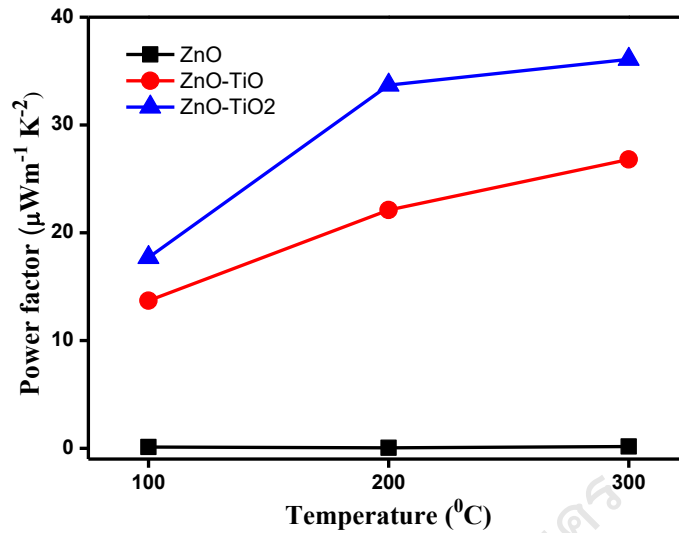
วัดค่าสมบัติเทอร์โมอิเล็กทริกของฟิล์มบางทั้งสองด้วยเครื่อง ZEM-3 ณ ช่วงอุณหภูมิ 150 – 300 °C พบว่ามีค่าสภาพทางเทอร์โมอิเล็กทริกเป็นชนิดเอ็น (N-Type) ค่าสัมประสิทธิ์ซีเบก ค่าสภาพต้านทานไฟฟ้าและค่าแพลกเตอร์กำลังของฟิล์มบางมีค่าเพิ่มขึ้นตามอุณหภูมิ



ภาพประกอบ 32 ค่าสัมประสิทธิ์ซีเบกของฟิล์มบาง ZnO เจือ TiO และ ZnO เจือ TiO₂



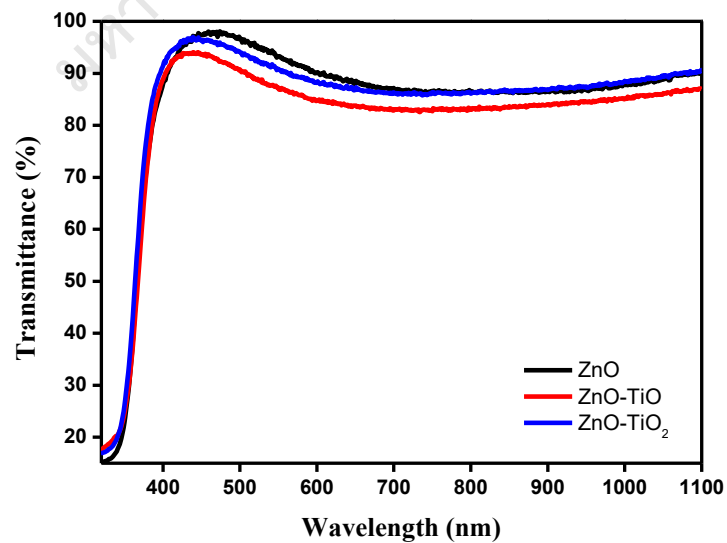
ภาพประกอบ 33 ค่าสภาพต้านทานไฟฟ้าของฟิล์มบาง ZnO เจือ TiO และ ZnO เจือ TiO₂



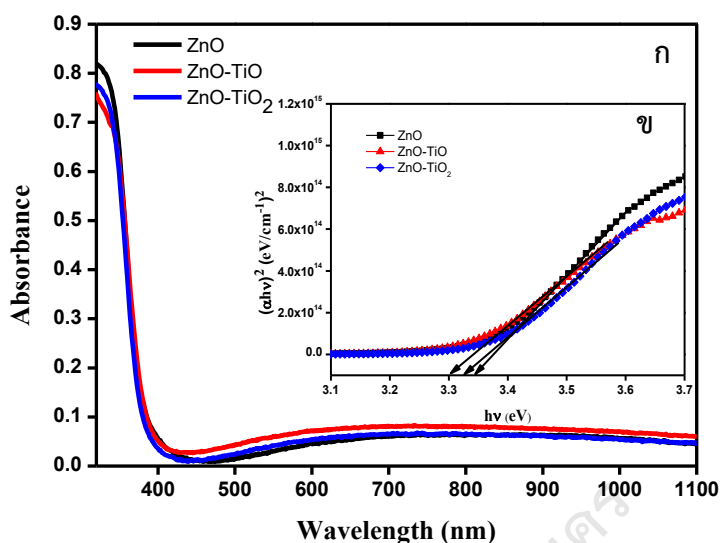
ภาพประกอบ 34 ค่ากำลังไฟฟ้าของฟิล์มบาง ZnO เจือ TiO และ ZnO เจือ TiO₂

4. ผลการวัดสมบัติทางแสงของฟิล์มบาง

สมบัติทางแสงของฟิล์มบางทั้งสองที่ตรวจสอบด้วยเทคนิคการฉายแสงยูวีในช่วงความยาวคลื่น 300 – 1100 nm โดยใช้เครื่องวัด (UV-visible) พบว่าประสิทธิภาพการส่องผ่านของแสงที่ตกกระทบลงบนฟิล์มมีค่าใกล้เคียงกัน และคำนวณหาประสิทธิภาพการดูดกลืนแสงและสามารถวิเคราะห์ค่าช่องพลังงานได้ เพื่อที่จะนำไปศึกษาและนำไปประยุกต์ใช้ในด้านต่าง ๆ แสดงดังภาพประกอบ 36



ภาพประกอบ 35 ค่าประสิทธิภาพการส่องผ่านแสงของฟิล์มบาง ZnO เจือ TiO และ ZnO เจือ TiO₂



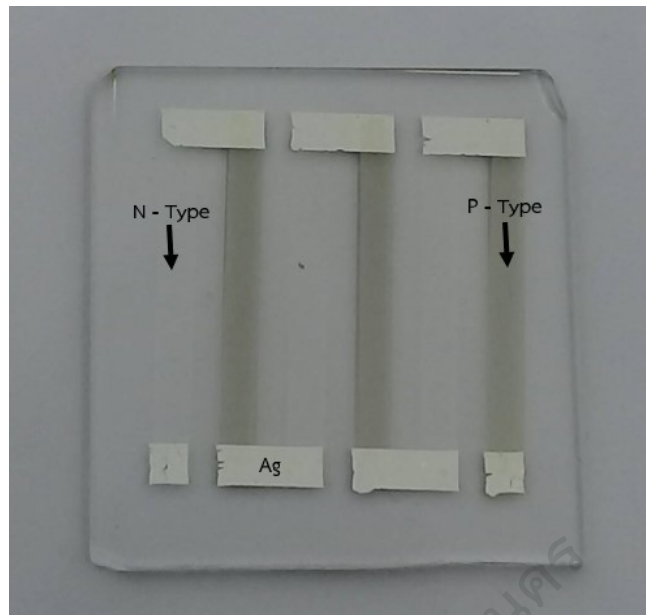
ภาพประกอบ 36 (ก) ประสิทธิภาพการดูดกลืนแสงของฟิล์มบาง (ข) ค่าช่องว่างพลังงานของฟิล์มบาง
ที่ได้จากการคำนวณได้เป็น 3.3 – 3.36 eV

ผลการประดิษฐ์และทดสอบการผลิตไฟฟ้าของมอดูลเทอร์โมอิเล็กทริกแบบฟิล์มบาง

การประดิษฐ์และทดสอบการผลิตไฟฟ้าของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเทอร์โมอิเล็กทริกฟิล์มบาง ประกอบด้วย ผลการประดิษฐ์เครื่องกำเนิดไฟฟ้าเทอร์โมอิเล็กทริกฟิล์มบาง และผลการทดสอบการผลิตไฟฟ้าเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเทอร์โมอิเล็กทริกฟิล์มบาง ซึ่งมีรายละเอียด ดังนี้

1. ผลการประดิษฐ์มอดูลเทอร์โมอิเล็กทริกแบบฟิล์มบาง

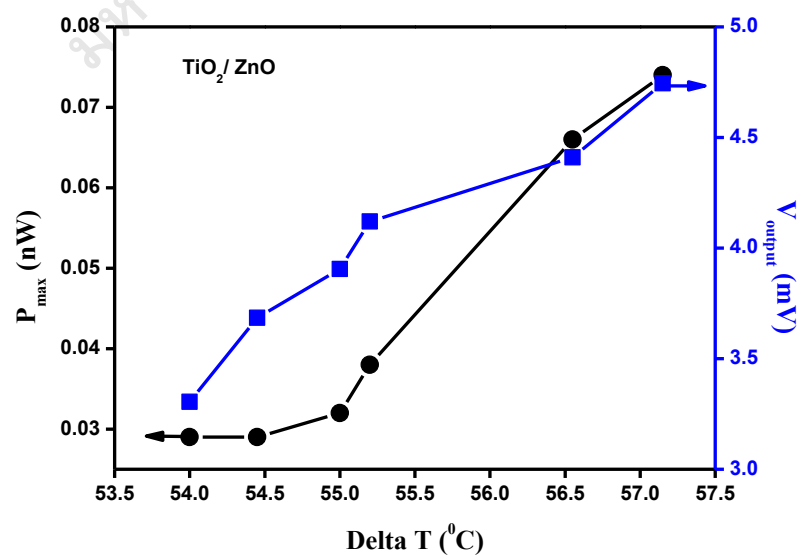
มอดูลเทอร์โมอิเล็กทริกฟิล์มบางประดิษฐ์ด้วยวิธีแมกนีตรอนสปัตเตอริงแบบดีซี โดยใช้วัสดุชนิดพีเป็น CaCuO_2 (p-CCO) และวัสดุชนิดเอ็นเป็น n - $\text{ZnO} - \text{TiO}_2$, $\text{ZnO} - \text{TiO}$ โดยมอดูลเทอร์โมอิเล็กทริกฟิล์มบางที่ประดิษฐ์ขึ้นประกอบด้วยวัสดุชนิดพี-เอ็นจำนวน 3 คู่ วางขนานกันบนวัสดุฐานรองกระจก โดยมีฟิล์มบาง Ag เป็นขั้วไฟฟ้าและเชื่อมต่อวัสดุชนิดพีและเอ็นต่อกันแบบอนุกรม แสดงดังภาพประกอบ 37 ซึ่งมีค่าความต้านทานไฟฟ้าภายใน (R_{in}) ที่วัดได้จากมัลติมิเตอร์เฉลี่ยเป็น $12 \text{ M}\Omega$ นำไปวัดโดยเครื่องวัดประสิทธิภาพดังภาพประกอบ 26 และนำไปคำนวณตั้งสมการที่ 11



ภาพประกอบ 37 มอดูลเทอร์โมอิเล็กทริกส์ฟิล์มบาง p-CCO/ n- ZnO- TiO และ ZnO- TiO₂

2. ผลการวัดค่าความต่างศักย์ไฟฟ้าวงจรเปิดและกำลังไฟฟ้าสูงสุดของมอดูลเทอร์โมอิเล็กทริกแบบฟิล์มบาง

จากการวัดความต่างศักย์ไฟฟ้าวงจรเปิดและกำลังไฟฟ้าสูงสุดมอดูลเทอร์โมอิเล็กทริกแบบฟิล์มบาง ประกอบด้วยวัสดุชนิดพี-เอ็นจำนวน 3 คู่ และมีฟิล์มบาง Ag เป็นขั้วไฟฟ้า การวัดพบว่ามีความต่างศักย์ไฟฟ้าวงจรเปิดและกำลังไฟฟ้าสูงสุดนั้นเพิ่มขึ้นตามผลต่างอุณหภูมิ



ภาพประกอบ 38 ความต่างศักย์ไฟฟ้าวงจรเปิดและกำลังไฟฟ้าสูงสุดของมอดูลเทอร์โมอิเล็กทริกแบบฟิล์มบาง

มหาวิทยาลัยราชภัฏสุราษฎร์ธานี

มหาวิทยาลัยราชภัฏสุราษฎร์ธานี