# บทที่ 5

# สรุปผลการทำวิจัยและข้อเสนอแนะ

บทที่ 5 เป็นบทสรุปผลและข้อเสนอแนะสำหรับการทำวิจัย ซึ่งประกอบไปด้วย ผลการสังเคราะห์และศึกษาสมบัติทางกายภาพของเป้าสปัตเตอริง ZnO-TiO และ ZnO-$TiO_2$ ผลการสังเคราะห์และศึกษาลักษณะทางกายภาพและจุลภาพของฟิล์มบาง ผลการศึกษาสมบัติเทอร์โมอิเล็กทริกฟิล์มบาง และผลการประดิษฐ์และทดสอบการผลิตไฟฟ้าของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเทอร์โมอิเล็กทริกแบบฟิล์มบางตามลำดับ ดังนี้

## สรุปผลการวิจัย

1. เป้าสปัตเตอริงของซิงค์ออกไซด์ (ZnO) เจือด้วยไทเทเนียมออกไซด์ (TiO) (ZnO-TiO) และซิงค์ออกไซด์เจือด้วยไทเทเนียมไดออกไซด์ ($TiO_2$) (ZnO-$TiO_2$) ด้วยวิธีปฏิกิริยาสถานะของแข็งในอัตราส่วนสารตั้งต้น ZnO : TiO ; (96.67%) : (3.33%) และ ZnO : $TiO_2$ ; (96.67%) : (3.33%) อย่างละ 30 g มาทำการบดเป็นเวลา 1 ชั่วโมง นำมาอัดขึ้นรูปขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 60 mm และความหนา 3 mm ด้วยเครื่องอัดไฮดรอลิกแกนเดี่ยวที่ความดัน 250 kg $cm^{-2}$ จากนั้นทำการเผาผนึกก้อนวัสดุที่อุณหภูมิ 700 °C เป็นเวลา 5 ชั่วโมง ทำการตรวจสอบโครงสร้างผลึกของเป้าสปัตเตอริงทั้งสองด้วยเทคนิคการเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์ ซึ่งมีผลสอดคล้องกับข้อมูลมาตรฐานอ้างอิงของเฟส (ZnO PDF#00-036-1451), (TiO PDF#00-002-1196) และ ($TiO_2$ PDF#00-001-0562) สมบัติทางกายภาพพบว่ามีค่าความแข็งแบบวิกเกอร์และความหนาแน่นของวัสดุเป้าสปัตเตอริง ZnO-TiO ประมาณ 1.981 GPa และ 4.172 g $cm^{-3}$ และวัสดุเป้าสปัตเตอริง ZnO-$TiO_2$ ประมาณ 1.909 GPa และ 3.518 g $cm^{-3}$ ตามลำดับ

2. ฟิล์มบาง Ti-Zn-O ด้วยวิธีแมกนิตรอนสปัตเตอริงแบบดีซีจากวัสดุเป่าสปัตเตอริง ZnO-TiO และ ZnO-$TiO_2$ บนแผ่นฐานรองกระจกสไลด์เป็นเวลา 5 นาที โดยฟิล์มบางขณะที่เตรียมได้นั้น ได้ตรวจสอบโครงสร้างผลึกด้วยเทคนิคการเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์ พบว่ามีผลสอดคล้องกับข้อมูลมาตรฐานอ้างอิงเฉพาะเฟส ZnO (PDF#00-036-1451) โดยขนาดของผลึกของฟิล์มบางทั้งสองมีค่าใกล้เคียงกันโดยเฉลี่ยประมาณ 64-66 นาโนเมตร ความหนาของฟิล์มบางที่สังเกตได้จากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด มีค่าประมาณ 100 nm

3. สมบัติทางแสงของฟิล์มบางทั้งสองที่ตรวจสอบด้วยเทคนิคการฉายแสงยูวีในช่วงความยาวคลื่น 300 – 1100 nm พบว่าประสิทธิภาพการส่องผ่านมีค่าใกล้เคียงกัน สามารถวิเคราะห์ค่าช่องพลังงานได้เป็น 3.3 - 3.36 eV ทำการวัดค่าสมบัติเทอร์โมอิเล็กทริกของฟิล์มบาง

ทั้งสองด้วยเครื่อง ZEM-3 ณ ช่วงอุณหภูมิ 150 – 300 $^0$C พบว่ามีค่าสภาพทางเทอร์โมอิเล็กทริกเป็นชนิดเอ็น (N-Type) ค่าสัมประสิทธิ์ซีเบก ค่าสภาพต้านทานไฟฟ้าและค่าแฟกเตอร์กำลังของฟิล์มบางมีค่าเพิ่มขึ้นตามอุณหภูมิ โดยฟิล์มบางที่เตรียมได้จากเป้า ZnO-$TiO_2$ มีค่าแฟกเตอร์กำลังสูงสุดเป็น 36.09 $\mu$W m$^{-1}$ K$^{-2}$ และฟิล์มบางที่เตรียมได้จากเป้า ZnO-TiO มีค่าแฟกเตอร์กำลังเป็น 26.79 $\mu$W m$^{-1}$ K$^{-2}$ ณ อุณหภูมิ 300 $^0$C

4. ทำการประดิษฐ์ประดิษฐ์โมดูลเทอร์โมอิเล็กทริกฟิล์มบางโดยใช้วัสดุชนิดพี (P-Type) เป็น $CaCuO_2$ และฟิล์มบางชนิดเอ็นที่เตรียมได้จากเป้า ZnO-$TiO_2$ ประกอบด้วยวัสดุชนิดพี-เอ็นจำนวน 3 คู่ และมีฟิล์มบาง Ag เป็นขั้วไฟฟ้า พบว่ามีค่าความต่างศักย์ไฟฟ้าวงจรเปิดและกำลังฟ้าสูงสุดเป็น 4.75 mV และ 0.074 nW ณ ผลต่างอุณหภูมิ 57 $^0$C ตามลำดับ

## ข้อเสนอแนะ

1. ควรมีกระบานการเก็บฟิล์มให้ดีกว่านี้เพราะวัสดุออกไซด์จะไว้ต่ออากาศทำให้ความต้านทานเพิ่มมากขึ้นควรเก็บไว้ในตู้ดูดความชื้นจะดีที่สุด

2. เพื่อพัฒนาฟิล์มบางให้มีสมบัติที่ดีขึ้นต้องเตรียมฟิล์มบางที่ความดันบรรยากาศที่สูงขึ้น

3. ถ้าใช้ระบบ RF ในการสปัตจะช่วยลดค่าต้านทานไฟฟ้า

4. การประดิษฐ์มอดูลเทอร์โมอิเล็กทริกแบบฟิล์มบางควรที่จะประดิษฐ์ขาเพิ่มมากขึ้นจะช่วยให้กำลังฟ้าได้เยอะขึ้นอีก

มหาวิทยาลัยราชภัฏสกลนคร