บทที่ 5
สรุปผลการวิจัย

จากจุดมุ่งหมายของงานวิจัยที่ต้องการเพิ่มปริมาณกระแสแสงของตัวตรวจวัดแสงโครงสร้าง MSM ให้มากยิ่งขึ้น ด้วยการเพิ่มพื้นที่ของบริเวณรับแสงของตัวตรวจวัดแสงชนิดนี้ให้มากขึ้น โดยนำวัสดุนำไฟฟ้าที่มีลักษณะโปร่งใส ITO มาสร้างเป็นขั้วไฟฟ้าลงบนซิลิคอน ชนิดเอ็น เพื่อให้เกิดเป็นตัวตรวจวัดแสงโครงสร้าง MSM ชนิด ITO/n-Si/ITO ที่สามารถนำไปใช้ในการตรวจวัดแสงที่มีความเข้มน้อย ๆ ได้เป็นอย่างดี

งานวิจัยนี้จึงได้ทำการศึกษาถึงลักษณะสมบัติของ ITO ที่เตรียมขึ้นด้วยวิธีอาร์เอฟสปัตเตอริ่ง เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงความหนาตั้งแต่ประมาณ 200-1200 nm ก่อนที่จะนำมาสร้างเป็นขั้วไฟฟ้าโปร่งใส โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อหาถึงความหนาที่เหมาะสมที่จะนำมาสร้างเป็นขั้วไฟฟ้าของตัวตรวจวัดแสง MSM พบว่าสมบัติต่าง ๆ ของ ITO นั้นมีการเปลี่ยนแปลงตามความหนาของฟิล์ม ITO เนื่องจาก ITO มีการเปลี่ยนแปลงทางโครงสร้าง คือ มีขนาดของเกรนที่ใหญ่ขึ้น โดยสมบัติทางไฟฟ้าของ ITO คือ ความหนาแน่นของพาหะ และสภาพคล่องของพาหะจะมีค่าเพิ่มมากขึ้น ขณะที่สภาพต้านทานจะมีค่าลดลงเมื่อความหนาของฟิล์มเพิ่มขึ้น และเมื่อพิจารณาถึงสมบัติทางแสงของ ITO พบว่า เปอร์เซ็นต์การส่องผ่านทางแสงของ ITO ลดลงเมื่อความหนาของฟิล์มเพิ่มขึ้น ซึ่งสมบัติทางแสง และทางไฟฟ้าของ ITO มีค่าแปรผกผันกัน กล่าวคือ เมื่อ ITO มีสมบัติทางไฟฟ้าที่สูงขึ้นจะทำให้มีสมบัติทางแสงลดลง ดังนั้นจึงต้องทำการหาความเหมาะสมระหว่างสมบัติทั้งสอง และพบว่าที่ความหนาประมาณ 500 nm เป็นความหนาที่เหมาะสมที่สุด เนื่องจากเป็นความหนาที่น้อยที่สุดที่ ITO มีทั้งสมบัติทางไฟฟ้าที่ดีควบคู่กับสมบัติทางแสงที่อยู่ในระดับที่ยอมรับได้

งานวิจัยนี้ได้ทำการออกแบบตัวตรวจวัดแสงโครงสร้าง MSM ให้มีลักษณะขั้วไฟฟ้าเป็นแบบอินเตอร์ดิจิเตท และมีการเปลี่ยนแปลงตัวแปรที่มีความสำคัญต่อโครงสร้างของขั้วไฟฟ้าชนิดนี้ ไม่ว่าจะเป็นการเปลี่ยนแปลงความกว้างของขั้วไฟฟ้า (W), ระยะห่างระหว่างขั้วไฟฟ้า (S) และจำนวนขั้วไฟฟ้า (N) โดยออกแบบให้ความกว้างของขั้วไฟฟ้ามีการเปลี่ยนแปลงเท่ากับ 20, 40, 60 และ 80 μm ระยะห่างระหว่างขั้วไฟฟ้าเปลี่ยนแปลงเท่ากับ 20, 40, 60 และ 80 μm และจำนวนขั้วไฟฟ้าเปลี่ยนแปลงเท่ากับ 2, 4 และ 8 ขั้ว จากนั้นเมื่อสร้างตัวตรวจวัดแสงโครงสร้าง MSM ชนิด ITO/n-Si/ITO ที่มีขั้วไฟฟ้าแบบอินเตอร์ดิจิเตท โดยใช้การกัดชั้นฟิล์ม ITO ด้วยเทคนิคลิฟออฟตามเงื่อนไขความหนาข้างต้นแล้ว จึงได้นำตัวตรวจวัดแสงที่สร้างขึ้นนี้ไปทำการทดสอบลักษณะสมบัติทางไฟฟ้าและทางแสง สามารถสรุปสาระสำคัญต่าง ๆ ได้ดังนี้

ตัวตรวจวัดแสงโครงสร้าง MSM ที่มีขั้วไฟฟ้าแบบอินเตอร์ดิจิเตทชนิด ITO/n-Si/ITO สามารถนำไปใช้ในการตรวจวัดแสงความเข้มน้อย ๆ ได้เป็นอย่างดีตามที่ได้คาดการณ์ไว้ เนื่องจากให้

กระแสรั่วไหล หรือกระแสมืดที่ค่อนข้างต่ำ โดยที่กระแสแสงมีการเปลี่ยนแปลงตามแรงดันไบอัส และความเข้มแสง อีกทั้งมีปริมาณกระแสแสงที่สูงโดยมีอัตราส่วนระหว่างกระแสแสงต่อกระแสมืดที่ความเข้มแสง 25,000 lux แรงดันไบอัส 10 V มากถึง 1,900 เท่า และมีกระแสแสงที่สูงกว่าตัวตรวจวัดชนิด Al/n-Si/Al ที่มีขนาดเท่ากัน (ที่แรงดันไบอัส 10 V) ถึง 10 เท่า โดยมีลักษณะสมบัติกระแสแสง-แรงดัน ประสิทธิภาพควอนตัม และสภาพตอบสนองทางแสงที่เพิ่มมากขึ้น เมื่อมีการเพิ่มขนาดความกว้างของขั้วไฟฟ้าโปร่งใส ITO เนื่องจากสมบัติเฉพาะตัวทางแสงของวัสดุตัวนำไฟฟ้าโปร่งใส ITO ที่ทำให้แสงสามารถทะลุผ่านขั้วไฟฟ้าจนกระทั่งถึงบริเวณซิลิคอนชนิดเอ็นหรือบริเวณปลอดพาหะซึ่งเป็นบริเวณที่เกิดกระแสแสงส่วนใหญ่ได้ ทำให้แสงสามารถไปกระตุ้นอิเล็กตรอนและโฮลภายในบริเวณปลอดพาหะที่อยู่ใต้ขั้วไฟฟ้าทำให้เกิดกระแสแสงขึ้น ซึ่งการเพิ่มขนาดความกว้างของขั้วไฟฟ้าจะทำให้พื้นที่ของบริเวณปลอดพาหะเพิ่มมากขึ้นจึงทำให้มีลักษณะสมบัติดังที่กล่าวมาข้างต้นเพิ่มมากขึ้นนั่นเองโดยมีกระแสแสงเท่ากับ 0.2, 0.3, 0.4 และ 0.5 mA, ประสิทธิภาพควอนตัมเท่ากับ 6.0, 6.3, 6.6 และ 6.8% และสภาพตอบสนองทางแสงเท่ากับ 0.039, 0.042, 0.044 และ 0.046 A/W เมื่อความกว้างของขั้วไฟฟ้าเท่ากับ 20, 40, 60 และ 80 μm ตามลำดับ ซึ่งทำให้ผลที่ได้แตกต่างไปจากตัวตรวจวัดแสงที่มีขั้วไฟฟ้าแบบทึบแสงโดยทั่วไป ในขณะที่การเปลี่ยนแปลงจำนวน และระยะห่างระหว่างขั้วไฟฟ้าให้ผลที่ใกล้เคียงกับตัวตรวจวัดแสงที่มีขั้วไฟฟ้าแบบทึบแสง กล่าวคือ กระแสแสงและกระแสมืดจะมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อจำนวนขั้วไฟฟ้าเพิ่มมากขึ้น และกระแสแสงของตัวตรวจวัดแสงมีค่าคงที่ไม่เปลี่ยนแปลงตามระยะห่างระหว่างขั้วไฟฟ้า แต่อย่างไรก็ตามตัวตรวจวัดแสงโครงสร้าง MSM ที่มีขั้วไฟฟ้าแบบอินเตอร์ดิจิเตทชนิด ITO/n-Si/ITO นั้นยังคงมีกระแสแสงที่แรงดันไบอัส 0-0.8 V ที่ค่อนข้างน้อย และน้อยกว่ากระแสแสงของตัวตรวจวัดแสง Al/n-Si/Al ที่มีขนาดเท่ากัน จึงทำให้ตัวตรวจวัดแสงชนิด ITO/n-Si/ITO ที่เตรียมขึ้นด้วยวิธีอาร์เอฟสปัตเตอริ่งในงานวิจัยนี้อาจจะไม่เหมาะที่จะนำไปใช้งานที่แรงดันไบอัสค่าต่ำๆ หรือที่แรงดันไบอัสต่ำกว่า 0.8 V

ในส่วนของการเพิ่มขนาดความกว้างของขั้วไฟฟ้านั้นส่งผลให้การตอบสนองทางความถี่ของตัวตรวจวัดแสงชนิด ITO/n-Si/ITO มีค่าลดต่ำลงโดยมีค่าเท่ากับ 650 kHz, 350 kHz, 250 kHz และ 90 kHz เมื่อความกว้างของขั้วไฟฟ้ามีขนาดเพิ่มขึ้นจาก 20, 40, 60 และ 80 μm ตามลำดับ โดยที่ตัวตรวจวัดแสงชนิดนี้มีการตอบสนองทางความถี่อยู่ในระดับที่ไม่สูงมากนักโดยมีความถี่คัทออฟที่น้อยกว่าตัวตรวจวัดแสง Al/n-Si/Al ที่มีขนาดเท่ากันอยู่ประมาณ 0.35 เท่า ซึ่งสอดคล้องกับค่าความจุไฟฟ้าของตัวตรวจวัดแสง ITO/n-Si/ITO ที่มีค่ามากกว่าตัวตรวจวัดแสง Al/n-Si/Al โดยจากผลการทดลองอาจกล่าวได้ว่าตัวตรวจวัดแสงชนิด ITO/n-Si/ITO ที่มีระยะห่างระหว่างขั้วไฟฟ้าและความกว้างของขั้วไฟฟ้าเท่ากับ 40 μm นั้นมีการตอบสนองต่อแสงทั้งกระแสตรง และกระแสสลับได้ดีที่สุด