บทที่ 1
บทนำ

ตัวตรวจวัดแสงโครงสร้างโลหะ-สารกึ่งตัวนำ-โลหะ (metal-semiconductor-metal structure) หรือโครงสร้าง MSM เป็นสิ่งประดิษฐ์สารกึ่งตัวนำที่นำมาใช้งานทางด้านการตรวจวัดแสง ซึ่งมีข้อดีหลายประการ แต่ข้อดีที่สร้างได้ง่าย และมีความจุไฟฟ้าต่ำ ถือได้ว่าเป็นจุดเด่นที่สำคัญของตัวตรวจวัดแสงชนิดนี้ เมื่อเปรียบเทียบกับตัวตรวจวัดแสงชนิดอื่น ๆ

ในบทนี้จะได้กล่าวถึง ความเป็นมาของการวิจัย วัตถุประสงค์ที่เป็นเป้าหมายหลักของรายงานการวิจัยเล่มนี้ หัวข้อถัดมาพูดถึงแนวความคิดที่ใช้ในการวิจัย ขอบเขตของงานวิจัย ขั้นตอนของการวิจัยและวิธีดำเนินงาน และในหัวข้อสุดท้ายของบทนี้จะกล่าวถึงผลที่คาดว่าจะได้รับ

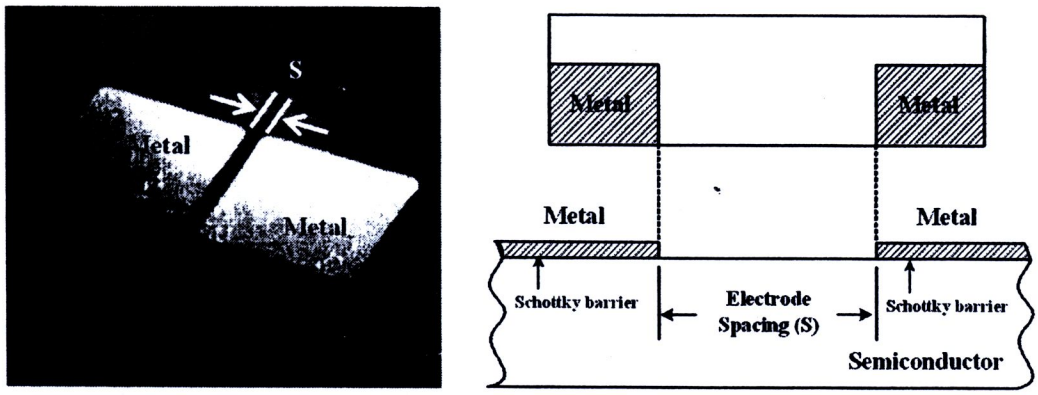
1.1 ความเป็นมาของการวิจัย

เมื่อกล่าวถึงสิ่งประดิษฐ์สารกึ่งตัวนำ หรืออุปกรณ์สารกึ่งตัวนำ (semiconductor devices) ในปัจจุบัน พบว่าอุปกรณ์เหล่านั้นได้เข้าไปมีบทบาทอย่างมากในด้านการสื่อสาร การแพทย์ หรือแม้กระทั่งด้านการขนส่งก็ตาม เนื่องจากชิ้นส่วน หรืออุปกรณ์สารกึ่งตัวนำนั้นเป็นส่วนประกอบที่สำคัญในวงจรอิเล็กทรอนิกส์ ซึ่งวงจรอิเล็กทรอนิกส์ที่สร้างขึ้นเหล่านั้นจะถูกใช้ควบคุมการทำงานของเครื่องมือ หรือเครื่องใช้ไฟฟ้าในงานด้านต่าง ๆ ดังที่กล่าวไว้ข้างต้น อย่างไรก็ตามสิ่งประดิษฐ์สารกึ่งตัวนำ ยังสามารถแบ่งออกเป็นกลุ่มต่าง ๆ ได้หลายประเภท แต่ในรายงานฉบับนี้จะให้ความสนใจเฉพาะสิ่งประดิษฐ์สารกึ่งตัวนำที่ถูกนำไปใช้งานที่มีความเกี่ยวข้องกับแสง ซึ่งเรียกกันโดยทั่วไปว่า "สิ่งประดิษฐ์สารกึ่งตัวนำทางแสง (optical semiconductor devices)" เช่น ตัวตรวจวัดแสง (โฟโตดีเทคเตอร์) หรือโฟโตไดโอด สิ่งประดิษฐ์สารกึ่งตัวนำชนิดนี้มีความสามารถในการเปลี่ยนพลังงานแสงเป็นพลังงานไฟฟ้าได้ โดยทำหน้าที่รับข้อมูลทางแสงที่เกิดจากการส่งผ่านข้อมูลทางแสงชนิดต่าง ๆ เช่น การส่งผ่านข้อมูลผ่านระบบเส้นใยแก้วนำแสง (fiber optic system) หรือการจัดเก็บข้อมูลในรูปแบบคอมแพคดิสก์ (compact disc: CD) ซึ่งใช้แสงในการอ่านและบันทึกข้อมูล เป็นต้น โดยตัวตรวจวัดแสงนั้นมีโครงสร้างหลายลักษณะด้วยกัน เช่น พี-เอ็นโฟโตไดโอด, พินโฟโตไดโอด, อะวาลานซ์โฟโตไดโอด และตัวตรวจวัดแสงที่มีโครงสร้างแบบโลหะ-สารกึ่งตัวนำ-โลหะ เป็นต้น ตัวตรวจวัดแสงแต่ละชนิดนั้นมีจุดเด่นที่แตกต่างกันออกไป ขึ้นอยู่กับการนำไปประยุกต์ใช้งาน

ถึงแม้ว่าสิ่งประดิษฐ์สารกึ่งตัวนำทางแสง สามารถแบ่งชนิดของอุปกรณ์ได้อีกหลายชนิด เช่น ตัวตรวจวัดแสง เซลแสงอาทิตย์ และอุปกรณ์เปล่งแสง (light emitting diode : LED) เป็นต้น แต่ในรายงานฉบับมีจุดมุ่งหมายเพียงเพื่อศึกษา ออกแบบ สร้าง และวัดสมบัติทางไฟฟ้าเฉพาะ

สิ่งประดิษฐ์สารกึ่งตัวนำทางแสง ที่ทำหน้าที่เป็นตัวจับแสงแล้วเปลี่ยนเป็นสัญญาณทางไฟฟ้า ซึ่งเรียกว่า "ตัวตรวจวัดแสง (photodetector)" โดยมีโครงสร้างเป็นแบบโลหะ-สารกึ่งตัวนำ-โลหะ หรือ MSM

ตัวตรวจวัดแสงโครงสร้าง MSM นี้จะประกอบด้วยรอยสัมผัสระหว่างโลหะและสารกึ่งตัวนำหรือรอยสัมผัสช็อตต์กีย์จำนวนสองรอยสัมผัสเท่านั้น ดังแสดงในรูปที่ 1.1 จึงเป็นตัวตรวจวัดแสงที่มีจุดเด่นหลายประการ อาทิ เช่น เป็นอุปกรณ์ที่สามารถสร้างได้ง่าย และสามารถสร้างร่วมกับวงจรรวมได้ เนื่องจากมีโครงสร้างแบบเชิงราบ (planar structure) และกระบวนการสร้างสอดคล้องกับการสร้างมอสทรานซิสเตอร์ (metal oxide semiconductor field effect transistor : MOSFET) อีกทั้ง



(ก) (ข)

รูปที่ 1.1 (ก) ภาพถ่ายด้านบนของตัวตรวจวัดแสงโครงสร้าง MSM แบบช่องรับแสงเดี่ยว (single slit) ซึ่งสร้างขั้วโลหะ 2 ข้างบนสารกึ่งตัวนำ และมีส่วนรับแสงอยู่ที่บริเวณระยะห่างระหว่างขั้วโลหะ (หรือขั้วไฟฟ้า) ทั้งสอง (Electrode Spacing: S) และ (ข) ภาพแสดงด้านบน และภาคตัดขวางของโครงสร้าง MSM แบบเชิงราบ

ตัวตรวจวัดแสงชนิดนี้มีค่าความจุไฟฟ้าต่ำจึงสามารถตอบสนองต่อสัญญาณความถี่สูงได้ดี เป็นต้น ด้วยเหตุนี้จึงมีงานวิจัยที่ทำการศึกษาและพัฒนาประสิทธิภาพของตัวตรวจวัดแสงโครงสร้างโลหะ-สารกึ่งตัวนำ-โลหะ ถูกตีพิมพ์อย่างต่อเนื่อง สำหรับสารกึ่งตัวนำที่ถูกนำมาใช้ในการสร้างตัวตรวจวัดแสงชนิดนี้ หรือในการสร้างสิ่งประดิษฐ์สารกึ่งตัวนำทางแสงทั่วไป มักมีช่องว่างแถบพลังงานเป็นแบบแถบตรง (direct band gap) เนื่องจากสามารถดูดกลืน หรือปลดปล่อยพลังงานแสงได้เป็นอย่างดี เช่น แกลเลียมอาเซไนด์ (GaAs) เป็นต้น แต่เนื่องจากกระบวนการเตรียมแกลเลียมอาเซไนด์ให้อยู่ในรูปผลึกเชิงเดี่ยวสามารถควบคุมได้ยาก อีกทั้งเป็นสารกึ่งตัวนำที่มีพิษจึงต้องใช้เครื่องมือที่ออกแบบเป็นพิเศษ ซึ่งมียุ่งยากต่อการสร้างจำเป็นต้องอาศัยผู้ที่มีประสบการณ์และความชำนาญในการเตรียมอย่างมาก ด้วยเหตุนี้จึงทำให้แกลเลียมอาเซไนด์นั้นมีราคาสูง ต่างจากสารกึ่งตัวนำจำพวกซิลิคอนที่สามารถพบได้จำนวนมาก เนื่องจากซิลิคอนมีส่วนประกอบของ

ทรายเป็นหลัก อีกทั้งกระบวนการเตรียมไม่ยุ่งยากซับซ้อนมากนัก และถูกใช้งานอย่างแพร่หลายในกระบวนการสร้างวงจรรวม จึงทำให้ซิลิคอนมีราคาที่ต่ำกว่าแกลเลียมอาเซไนด์มาก และถึงแม้ว่าซิลิคอนจะเป็นสารกึ่งตัวนำที่มีช่องว่างแถบพลังงานเป็นแบบแถบไม่ตรง (indirect band gap) ซึ่งมีความสามารถดูดกลืนหรือปลดปล่อยพลังงานแสงได้น้อยกว่าแกลเลียมอาเซไนด์ แต่ในงานอิเล็กทรอนิกส์ทางแสงบางประเภทต้องการการตอบสนองทางแสงในช่วงความยาวคลื่นที่ซิลิคอนสามารถตอบสนองได้พอดี กล่าวคือ มีความยาวคลื่นอยู่ในช่วง 400-1000 นาโนเมตร และไม่จำเป็นต้องใช้งานที่ความถี่สูงๆ เช่น งานระบบเก็บข้อมูล [1.1] หรืออุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ไอริส (electronic iris) [1.2-1.4] เป็นต้น ด้วยเหตุนี้การเลือกใช้ซิลิคอนเป็นสารกึ่งตัวนำสำหรับตัวตรวจวัดแสงชนิดต่างๆ จึงเป็นอุปกรณ์ที่น่าสนใจ ในรายงานการวิจัยเล่มนี้จึงเลือกที่จะศึกษาตัวตรวจวัดแสงที่มีโครงสร้างแบบโลหะ-สารกึ่งตัวนำ-โลหะที่ใช้ซิลิคอนทำหน้าที่เป็นฐานรอง หรือส่วนดูดกลืนแสง

ในงานวิจัยนี้ ผู้วิจัยได้ให้ความสนใจขั้วโลหะโปร่งใส (transparent electrode) แทนที่ขั้วโลหะแบบทึบแสง ดังที่เคยได้นำเสนอในวารสาร และประชุมวิชาการต่าง ๆ [1.2], [1.5-1.8] เนื่องจากขั้วไฟฟ้าแบบโปร่งใสจะมีจุดเด่นในเรื่องการเพิ่มปริมาณกระแสแสง ดังนั้นจึงมีแนวความคิดที่จะออกแบบ และสร้างตัวตรวจวัดแสงโครงสร้าง MSM ชนิด ITO/n-Si/ITO โดยที่ ITO คือ อินเดียมทินออกไซด์ (indium tin oxide) และ n-Si คือ ซิลิคอน (silicon) ชนิดเอ็น ซึ่ง ITO จะมีคุณสมบัติคล้ายกับโลหะ และมีลักษณะโปร่งใสไม่ทึบแสงเหมือนกับโลหะทั่วไป เช่น อลูมิเนียม (Al), โมลิบดีนัม (Mo), ทองแดง (Cu), ทังสเตน (W) และทองคำ (Au) เป็นต้น จึงเรียกกันว่า "ตัวนำไฟฟ้าโปร่งใส" (transparent conducting oxide: TCO) สำหรับตัวนำไฟฟ้าโปร่งใสนั้นมีอยู่ด้วยกันหลากหลายชนิดไม่ว่าจะเป็น ชนิดสารประกอบ 2 ชนิด หรือ ชนิดสารประกอบ 3 ชนิด เช่น ซิงค์ออกไซด์ (ZnO), แคดเมียมออกไซด์ (CdO), แกลเลียมอินเดียมออกไซด์ ($GaInO_3$) และ อินเดียมทินออกไซด์ ($In_xSn_{1-x}O_2$: ITO) เป็นต้น แต่ตัวนำไฟฟ้าโปร่งใสที่เป็นที่นิยมใช้ในอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ทางแสงไม่ว่าจะเป็นจอแสดงผลแบบแอลซีดี, การประดิษฐ์เซลล์แสงอาทิตย์ รวมไปถึงการสร้างขั้วไฟฟ้าโปร่งใสของอุปกรณ์ชนิดต่าง ๆ โดยส่วนใหญ่แล้วจะเลือกใช้อินเดียมทินออกไซด์ (ITO) ที่เกิดจากการเจือดีบุก (Sn) ลงในสารประกอบอินเดียมออกไซด์ (In_2O_3) เนื่องจาก ITO เป็นวัสดุตัวนำไฟฟ้าโปร่งใสที่มีลักษณะเด่นหลายประการ [1.9-1.13] กล่าวคือ (1) ยึดติดแน่นกับแผ่นผลึกซิลิคอนได้ดี (2) มีประสิทธิภาพดีที่สุดในการนำไฟฟ้า คือ มีสภาพต้านทานไฟฟ้าค่อนข้างต่ำอยู่ในช่วง 10^{-3}-10^{-4} Ω-cm. (3) มีเปอร์เซ็นต์การส่องผ่านแสงสูงสุดถึง 95% มีช่องว่างแถบพลังงานกว้าง โดยมีค่าอยู่ที่ประมาณ 3.3-4.3 eV. ทำให้แสงสามารถส่องผ่าน ITO ได้ดีในหลายความยาวคลื่น หรือตั้งแต่ความยาวคลื่นช่วงของตามองเห็นไปจนถึงแสงที่มีความยาวคลื่นใกล้อินฟาเรด (380-2000 นาโนเมตร) อีกทั้ง (4) มีคุณสมบัติในการสะท้อนคลื่นความร้อนหรือมีคุณสมบัติเป็นชั้นป้องกันการสะท้อน โดยมีค่าดัชนีหักเหประมาณ 2.0 ที่สำคัญ (5) สามารถสร้างเป็นรอยสัมผัสช็อตต์

กีย์ได้ดีทั้งกับซิลิคอนชนิดเอ็น และซิลิคอนชนิดพี รวมถึง (6) คงทนต่อสภาพแวดล้อมต่าง ๆ ได้ดี และ (7) สามารถเตรียมฟิล์ม ITO ได้หลากหลายวิธี [1.14] เช่น วิธีการสปัตเตอร์ (sputter), วิธีการระเหยด้วยความร้อนในระบบสุญญากาศ (evaporation), วิธีการระเหยด้วยลำอิเล็กตรอน (electron beam evapora-tion) และวิธีการสเปรย์ไพโรไรสิซ (spray pyrolysis) เป็นต้น

ดังที่กล่าวไว้แล้วในข้างต้น ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงเลือกใช้ ITO มาสร้างเป็นขั้วไฟฟ้าโปร่งใสลงบนซิลิคอนชนิดเอ็น เพื่อสร้างรอยสัมผัสช็อตต์กีย์ โดยเลือกเทคนิคการสร้าง ITO ด้วยวิธีการสปัตเตอร์ที่ใช้ความถี่คลื่นวิทยุ (radio frequency Sputter หรือ RF Sputter) เนื่องจากเป็นวิธีที่สามารถควบคุมความหนาของชั้นฟิล์ม ITO ได้ดี และยังสามารถสร้างขึ้นได้ภายในห้องปฏิบัติการสร้างสิ่งประดิษฐ์สารกึ่งตัวนำ สาขาวิชาวิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

1.2 วัตถุประสงค์

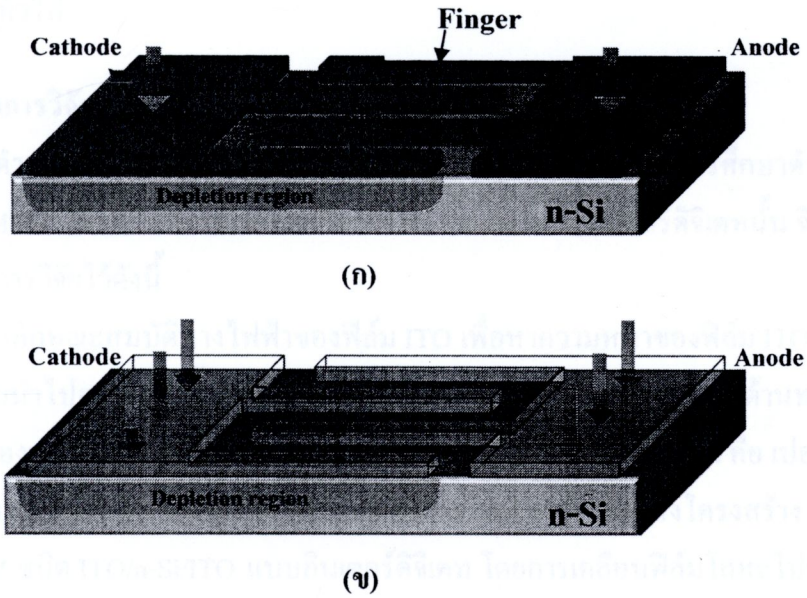
โครงการวิจัยนี้มีความมุ่งหมายที่จะพัฒนาประสิทธิภาพของตัวตรวจวัดแสง MSM ให้มีกระแสแสงเพิ่มมากขึ้น ด้วยการนำ ITO มาสร้างเป็นขั้วไฟฟ้าโปร่งใสบนซิลิคอนชนิดเอ็น เพื่อให้เกิดเป็นตรวจวัดแสงชนิด ITO/n-Si/ITO ที่สามารถนำไปตรวจวัดแสงที่มีความเข้มน้อย ๆ ได้

โดยมีวัตถุประสงค์ตามลำดับขั้นตอนการศึกษาดังต่อไปนี้

1. เพื่อศึกษาลักษณะสมบัติทางไฟฟ้าของฟิล์มบางอินเดียมทินออกไซด์ที่เตรียมขึ้นด้วยวิธีอาร์เอฟสปัตเตอริง และหาความหนาของฟิล์มที่เหมาะสมที่จะนำไปประยุกต์ใช้งานเป็นขั้วไฟฟ้าโปร่งใสของตัวตรวจวัดแสงแบบโลหะ-สารกึ่งตัวนำ-โลหะ
2. เพื่อศึกษากระบวนการสร้างตัวตรวจวัดแสงโครงสร้าง MSM ชนิด ITO/n-Si/ITO ที่มีการสกัดชั้นโลหะโปร่งใส ITO ด้วยเทคนิคการลิฟออฟ (lift off technique) โดยมีซิลิคอนชนิดเอ็นเป็นฐานรอง
3. เพื่อศึกษาการออกแบบตัวตรวจวัดแสงโครงสร้าง MSM ชนิด ITO/n-Si/ITO ที่มีลักษณะขั้วไฟฟ้าแบบอินเตอร์ดิจิเตท (interdigitated) ดังแสดงในรูปที่ 1.2 ซึ่งมีข้อได้เปรียบ คือ ให้กระแสแสงที่สูงในขณะที่ใช้พื้นที่บนสารกึ่งตัวนำน้อยกว่าขั้วไฟฟ้าแบบช่องรับแสงเดี่ยว (single slit) ที่แสดงไว้ในรูปที่ 1.1
4. เพื่อศึกษาการเปลี่ยนแปลงลักษณะสมบัติกระแสแสง-แรงดันของตัวตรวจวัดแสงชนิด ITO/n-Si/ITO เมื่อได้รับแรงดันไบอัส หรือความเข้มแสงค่าต่างๆ และเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงระยะห่างระหว่างขั้วไฟฟ้า, ความกว้างของขั้วไฟฟ้า และ จำนวนขั้วไฟฟ้า
5. เพื่อศึกษาผลของประสิทธิภาพควอนตัม และสภาพการตอบสนองทางแสงของตัวตรวจวัดแสง ชนิด ITO/n-Si/ITO ที่มีลักษณะขั้วไฟฟ้าแบบอินเตอร์ดิจิเตท รวมถึงเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงความกว้างของขั้วไฟฟ้า

6. เพื่อศึกษาการเปลี่ยนแปลงผลตอบสนองทางความถี่ของตัวตรวจวัดแสง ชนิด ITO/n-Si/ITO ที่มีลักษณะขั้วไฟฟ้าแบบอินเตอร์ดิจิเตท รวมถึงเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงความกว้างของขั้วไฟฟ้า

1.3 แนวความคิดที่ใช้ในการวิจัย



รูปที่ 1.2 (ก) ตัวตรวจวัดแสง Al/n-Si/Al แบบอินเตอร์ดิจิเตท โดยใช้ Al เป็นขั้วไฟฟ้าแบบโลหะทึบแสง บริเวณรับแสงของโครงสร้าง MSM แบบนี้จะอยู่ระหว่างซี่ของขั้วโลหะ Al (หรือระหว่างฟิงเกอร์) และ (ข) ตัวตรวจวัดแสง ITO/n-Si/ITO แบบอินเตอร์ดิจิเตท และบริเวณรับแสงของโครงสร้าง MSM ที่มีขั้วไฟฟ้าแบบโปร่งใสของ ITO

โดยทั่วไปตัวตรวจวัดแสงที่มีโครงสร้างแบบ MSM จะประกอบไปด้วยรอยสัมผัสระหว่างโลหะและสารกึ่งตัวนำจำนวนสองรอยสัมผัส (รอยสัมผัสแบบช็อตต์กีย์) และมีระยะห่างระหว่างรอยสัมผัส หรือ บริเวณที่เป็นซิลิคอนทำหน้าที่เป็นช่องรับสัญญาณทางแสงและเปลี่ยนเป็นสัญญาณทางไฟฟ้า หรือกระแสแสงนั่นเอง นอกจากนี้ยังได้นำเอาโครงสร้างแบบอินเตอร์ดิจิเตทมาประยุกต์ใช้เป็นลักษณะของขั้วไฟฟ้า เพื่อเพิ่มพื้นที่รับแสง จึงทำให้ได้รับกระแสแสงสูงขึ้นกว่าการใช้ขั้วไฟฟ้าแบบช่องรับแสงเดี่ยว แต่ใช้พื้นที่สร้างตัวตรวจวัดแสงน้อยกว่า ในกรณีตัวตรวจวัดแสง MSM ที่เลือกใช้โลหะแบบทึบแสง พบว่าบริเวณรับแสงมีเพียงบริเวณที่เป็นซิลิคอน ซึ่งอยู่ระหว่างขั้วไฟฟ้าทั้งสองเท่านั้น เนื่องจากการเลือกใช้โลหะที่มีลักษณะทึบแสง ทำให้แสงที่ตกกระทบลงบนขั้วไฟฟ้าเกิดการสะท้อนกลับ (shadowing effect) เมื่อโฟตอนหรือแสงไม่สามารถทะลุผ่านชั้นฟิล์มโลหะลงไปได้ การกระตุ้นให้เกิดคู่อิเล็กตรอน-โฮลในซิลิคอนภายใต้ขั้วไฟฟ้าจึงไม่เกิดขึ้น [1.15] ดังแสดงในรูปที่ 1.2 (ก)

การสร้างตัวตรวจวัดแสงให้มีลักษณะของขั้วไฟฟ้าที่มีความโปร่งใส ดังในรูปที่ 1.2 (ข) จะเป็นการแก้ปัญหาที่เกิดขึ้นได้ เนื่องจากแสงที่ตกกระทบสามารถทะลุผ่านขั้วไฟฟ้าลงไปในซิลิคอนหรือบริเวณปลอดพาหะภายใต้ขั้วไฟฟ้าได้ และไปกระตุ้นให้เกิดคู่อิเล็กตรอน-โฮล ส่งผลให้เกิดกระแสแสงขึ้น ด้วยเหตุนี้จึงทำให้ตัวตรวจวัดแสง MSM ที่มีขั้วไฟฟ้าโปร่งใส และมีโครงสร้างแบบอินเตอร์ดิจิเตท ชนิด ITO/n-Si/ITO สามารถให้กระแสแสงที่สูงกว่าตัวตรวจวัดแสง MSM ที่มีขั้วโลหะทึบแสงทั่วไป

1.4 ขอบเขตของการวิจัย

เพื่อให้การดำเนินงานวิจัยสามารถบรรลุตามเป้าหมายที่กำหนดไว้ ในการศึกษาตัวตรวจวัดแสงโครงสร้าง MSM ที่มีขั้วไฟฟ้าโปรงใส ชนิด ITO/n-Si/ITO แบบอินเตอร์ดิจิเตทนั้น จึงได้มีการวางขอบเขตของการวิจัยไว้ดังนี้

ทำการศึกษาลักษณะสมบัติทางไฟฟ้าของฟิล์ม ITO เพื่อหาความหนาของฟิล์ม ITO ที่มีความเหมาะสมสำหรับนำไปสร้างเป็นขั้วไฟฟ้าของตัวตรวจวัดแสง MSM จากค่าสภาพต้านทานไฟฟ้า, ความหนาแน่นของพาหะ และสภาพคล่องของพาหะ โดยคำนึงถึงสมบัติทางแสง คือ เปอร์เซ็นการส่องผ่านแสงควบคู่ไปด้วย จากนั้นทำการออกแบบ และสร้างตัวตรวจวัดแสงโครงสร้าง MSM ที่มีขั้วไฟฟ้าโปรงใส ชนิด ITO/n-Si/ITO แบบอินเตอร์ดิจิเตท โดยการเคลือบฟิล์มโลหะโปร่งใส ITO ด้วยวิธีอาร์เอฟสปัตเตอร์ลงบนแผ่นผลึกซิลิคอน ชนิดเอ็น ระนาบ (100) สภาพต้านทาน 10 Ω-cm ซึ่งบนแผ่นผลึกซิลิคอนเดียวกันนั้นได้ทำการสร้างตัวตรวจวัดแสงโครงสร้าง MSM ชนิด Al/n-Si/Al แบบอินเตอร์ดิจิเตทที่มีระยะห่างระหว่างขั้วไฟฟ้า, ขนาดขั้วไฟฟ้า และจำนวนขั้วไฟฟ้าที่เท่ากันกับตัวตรวจวัดแสง ITO/n-Si/ITO เพื่อใช้ในการเปรียบเทียบค่าความจุไฟฟ้า, กระแสแสง, ประสิทธิภาพควอนตัม, สภาพการตอบสนองทางแสง และผลตอบสนองทางความถี่ ระหว่างตัวตรวจวัดแสงที่มีขั้วไฟฟ้าแบบทึบแสง และตรวจวัดแสงที่มีขั้วไฟฟ้าแบบโปร่งใส โดยในการทดลองที่กล่าวมาข้างต้นนั้นจะมีการศึกษาเงื่อนไขในการออกแบบโครงสร้างขั้วไฟฟ้าโปร่งใสแบบอินเตอร์ดิจิเตทร่วมด้วย กล่าวคือ มีการเปลี่ยนแปลงระยะห่างระหว่างขั้วไฟฟ้า, ขนาดขั้วไฟฟ้าตั้งแต่ 20, 40, 60 และ 80 μm และจำนวนขั้วไฟฟ้าตั้งแต่ 2, 4 และ 8 ขั้ว เพื่อเป็นการหาเงื่อนไขที่ดีที่สุดในการสร้างตัวตรวจวัดแสงชนิดนี้

1.5 ขั้นตอนของการวิจัย และวิธีดำเนินงาน

ลำดับขั้นตอนของการวิจัย และการดำเนินงาน มีดังต่อไปนี้

1. ศึกษาทฤษฎีและหลักการทำงานของตรวจวัดแสงโครงสร้าง MSM
2. ศึกษาเทคนิคการวัดคุณสมบัติทางไฟฟ้าของโลหะโปร่งใส ITO ด้วยการวัดระยะการส่งผ่าน (transmission line method; TLM) และปรากฏการณ์ของฮอลล์ (Hall effect)

3. ศึกษาลักษณะโครงสร้างแบบอินเตอร์ดิจิเตท และตัวแปรต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องต่อโครงสร้างนี้
4. ศึกษากระบวนการสร้างตัวตรวจวัดแสง MSM ที่มี ITO เป็นขั้วไฟฟ้าโปร่งใส
5. ออกแบบ และสร้างตัวตรวจวัดแสง MSM ชนิด ITO/n-Si/ITO ที่มีลักษณะขั้วไฟฟ้าแบบอินเตอร์ดิจิเตท เพื่อใช้ในการทดลอง
6. ศึกษาลักษณะสมบัติกระแส-แรงดัน, ประสิทธิภาพควอนตัม, สภาพการตอบสนองทางแสง และผลตอบสนองทางความถี่ของตัวตรวจวัดแสง ITO/n-Si/ITO
7. นำตัวตรวจวัดแสง ITO/n-Si/ITO ไปผ่านกระบวนการแอนนีล และ ศึกษาลักษณะกระแส-แรงดัน, ประสิทธิภาพควอนตัม, สภาพการตอบสนองทางแสง, ผลตอบสนองทางความถี่ และลักษณะสมบัติความจุไฟฟ้า-แรงดัน

1.6 ผลที่คาดว่าจะได้รับ

1. ความเข้าใจ และองค์ความรู้ในกระบวนการออกแบบ และการสร้างตัวตรวจวัดแสง ชนิด ITO/n-Si/ITO
2. ความเข้าใจในเทคนิคการทดสอบลักษณะสมบัติทางไฟฟ้าและทางแสงของตัวตรวจวัดแสง ชนิด ITO/n-Si/ITO รวมถึงการวิเคราะห์ผลทางกายภาพของอุปกรณ์ด้วย
3. เป็นข้อมูลที่สำคัญส่วนหนึ่งในการเรียนการสอนวิชาอุปกรณ์สารกึ่งตัวนำทางแสง
4. ผลิตบุคลากรทางด้านสิ่งประดิษฐ์สารกึ่งตัวนำในระดับปริญญาตรี และปริญญาโท
5. เป็นพื้นฐานเทคโนโลยีสำหรับการพัฒนาประเทศต่อไปในอนาคต
6. มีผลงานวิจัยที่ตีพิมพ์เผยแพร่ในวารสารระดับประเทศ

1.7 เอกสารอ้างอิง

[1.1] M. Seto, V.-J. Leduc and A. M. F. Lammers, "Al-n-Si Double Schottky Photodiodes for Optical Storage System", 27th European Solid-State Device Research Conference, Stuttgart, 1997

[1.2] S. Niemcharoen, K. Kobayashi, M. Kimura and K. Sato, "Voltage Dependence of Photo-current in Metal-Semiconductor-Metal Structures under Front-Illuminated Conditions", Solid-State Electronics, Vol. 45, No. 10, 2001, pp. 1815-1819

[1.3] T. Masui, S. Khunkhao, K. Kobayashi, S. Niemcharoen, S. Supadech and K. Sato, "Photo-sensing Properties of Interdigited Metal-Semiconductor-Metal Structure with Undepleted Region", Solid-State Electronics, Vol. 47, No. 8, 2003, pp. 1385-1390

[1.4] S. Khunkhao, Y. Yasumura, K. Kitagawa, T. Masui and K. Sato, "On Laterally Spreading of Space-Charge-Region in Planar Metal-Semiconductor-Metal Structures", Solid-State Electronics, Vol. 47, No. 10, 2003, pp. 1811-1816

[1.5] สุรศักดิ์ เนียมเจริญ, **ลักษณะเฉพาะทางแสงและทางไฟฟ้าของโครงสร้างอุปกรณ์ Mo/n-Si/Mo แบบพลานาร์**, บัณฑิตวิทยาลัย สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง, พ.ศ. 2547

[1.6] ธเนศ โซะเหม, มานิตา ด้วงแสง และ สุรศักดิ์ เนียมเจริญ, "การเกิดกระแสแสงของโฟโตไดโอดชนิด Al/n-Si/Al แบบพลานาร์ที่ระยะห่างขั้วไฟฟ้ามีขนาดกว้าง", วิศวสารลาดกระบัง, ปีที่ 22, ฉบับที่ 1, พ.ศ. 2548, หน้า 13-18

[1.7] สุรศักดิ์ เนียมเจริญ และ สุรชาติ เมืองอ่ำ, "อุปกรณ์ตรวจจับแสง Cr/n-Si/Cr แบบสลิตเดี่ยวในแนวระนาบ", การประชุมวิชาการทางวิศวกรรมไฟฟ้า ครั้งที่ 30, พ.ศ. 2550, หน้า 560-563

[1.8] สุรศักดิ์ เนียมเจริญ และ กฤษณะ อังศเกษตร, "เทคนิคอาร์เอฟสปัตเตอร์ที่เหมาะสมสำหรับการสร้างโฟโตไดโอด ชนิด Cr/p-Si/Cr ที่มีกระแสมืดต่ำ", วิศวสารลาดกระบัง, ปีที่ 27, ฉบับที่ 1, พ.ศ. 2553, หน้า 31-36

[1.9] สุรศักดิ์ เนียมเจริญ กุลวรางค์ นุตะมาน และ อิสระ ศรีธนชัย, "ลักษณะสมบัติทางไฟฟ้าของฟิล์มบางอินเดียมทินออกไซด์ เพื่อใช้สร้างเป็นขั้วโปร่งแสงของตัวตรวจวัดแสงแบบโลหะ-สารกึ่งตัวนำ-โลหะ", การประชุมวิชาการทางวิศวกรรมไฟฟ้า ครั้งที่ 31 (EECON-31), พ.ศ. 2551, หน้า 1201-1204

[1.10] สุรศักดิ์ เนียมเจริญ, "การตอบสนองทางแสงของตัวตรวจวัดแสงโครงสร้าง MSM ที่ใช้อินเดียมทินออกไซด์เป็นขั้วโลหะโปร่งแสง", วิศวสารลาดกระบัง, ปีที่ 28, ฉบับที่ 1, พ.ศ. 2554, หน้า 25-30

[1.11] G. Hodes, L. Thompson, J. DuBow and K. Rajeshwar, "Heterojunction Silicon/Indium Tin Oxide Photoelectrodes: Development of Stable Systems in Aqueous Electrolytes and Their Applicability to Solar Energy Conversion and Storage", J. Am. Chem. SOC., Vol. 105, No. 3, 1983, pp. 324-330

[1.12] Jianming Zhou, **Indium Tin Oxide (ITO) Deposition, Patterning and Schottky Contact Fabrication**, Department of Microelectronic Engineering, College of Engineering, Rochester Institute of Technology, 2005

[1.13] อิสระ ศรีธนชัย, **คุณสมบัติตัวตรวจวัดแสงชนิดช็อตกีย์ โดยมีสารประกอบอินเดียมทินออกไซด์เป็นขั้วไฟฟ้าโปร่งใส**, บัณฑิตวิทยาลัย สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง, พ.ศ. 2552

[1.14] ไชยรัตน์ สุรินทร์, **การเตรียมกระจกสะท้อนคลื่นความร้อนชนิดอินเดียมออกไซด์เจือดีบุกออกไซด์ โดยเทคนิคการระเหยด้วยลำอิเล็กตรอน**, คณะพลังงานและวัสดุ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี, พ.ศ. 2536

[1.15] มานิตา ด้วงแสง, **การศึกษาการออกแบบ การสร้าง และลักษณะสมบัติของโฟโตไดโอดโครงสร้าง Al/n-Si/Al แบบอินเตอร์ดิจิเตท**, บัณฑิตวิทยาลัย สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง, พ.ศ. 2548