บทที่ 1
บทนำ

1.1 ความเป็นมาและ ความสำคัญของงานวิจัย

พลังงานทดแทนที่จัดได้ว่าเป็นหัวใจสำคัญในทศวรรษนี้คือพลังงานแสงอาทิตย์เนื่องจากเป็นพลังงานที่สะอาดไร้มลภาวะเป็นพิษใด ๆ สาดส่องไปทุกที่ และดวงอาทิตย์ยังอยู่กับมนุษย์ไปอีกนาน และอายุการใช้งานของเซลล์ แสงอาทิตย์ยาวนานกว่า 20 ปี เมื่อเปรียบเทียบค่าใช้จ่ายทั้งในด้านการลงทุน เพื่อให้ได้มาซึ่งพลังงาน โดยรวมถึงผลกระทบที่อาจมีต่อสิ่งแวดล้อมด้วยแล้ว จะเห็นได้ว่าต้นทุนพลังงานที่ผลิตได้จากเซลล์แสงอาทิตย์ มีราคาถูกกว่า แหล่งพลังงานประเภทอื่น เมื่อติดตั้งเซลล์แสงอาทิตย์ในครั้งแรก ก็แทบจะไม่มีค่าใช้จ่ายเพิ่มขึ้นอีกต่อไป และประการสำคัญก็คือ พลังงานจากแสงอาทิตย์ เป็นหนึ่งในพลังงานที่มีความยั่งยืน ไม่มีที่สิ้นสุด ปัจจุบันระบบพลังงานแสงอาทิตย์ถูกนำไปใช้อย่างแพร่หลาย เช่น ผลิตไฟฟ้าเพื่อใช้ในอาคาร ระบบสูบน้ำ ระบบแสงสว่าง ระบบทำความร้อน ระบบทำความเย็น ประจุแบตเตอรี่และขายคืนให้กับสายส่ง เป็นต้น [1]

เซลล์แสงอาทิตย์ (photovoltaic หรือ solar cell) เป็นสิ่งประดิษฐ์ออปโตอิเล็กทรอนิกส์ที่สร้างจากสารกึ่งตัวนำ สามารถเปลี่ยนพลังงานแสงอาทิตย์ (หรือแสงจากหลอดแสงสว่าง) ให้เป็นพลังงานไฟฟ้าโดยตรง ทันทีที่มีแสงตกกระทบ เซลล์แสงอาทิตย์ก็จะผลิตไฟฟ้าได้ทันทีและไฟฟ้าที่ได้นั้นจะเป็นไฟฟ้ากระแสตรง (direct current) [2]

เซลล์แสงอาทิตย์ที่มีจำหน่ายในเชิงพาณิชย์ในปัจจุบัน ส่วนใหญ่จะใช้ธาตุซิลิคอนเป็นวัตถุดิบในการผลิต ทั้งนี้เนื่องจากเป็นธาตุที่มีมากที่สุดในโลก โดยมีตัวอย่างดังนี้

1. เซลล์แสงอาทิตย์ชนิดผลึกเดี่ยวซิลิคอน (single crystalline silicon solar cell or monocrystalline silicon solar cell) มีประสิทธิภาพประมาณร้อยละ 10-14 [3] และ เซลล์แสงอาทิตย์ชนิดผลึกพหุพันธ์ซิลิคอน (polycrystalline silicon solar cell) ลักษณะเป็นแผ่นซิลิคอนแข็งและบางมาก มีประสิทธิภาพประมาณร้อยละ 9-12 [4]
2. เซลล์แสงอาทิตย์ที่ทำจากฟิล์มบางอะมอร์ฟัสซิลิคอน (amorphous silicon solar cell) ได้แก่ เซลล์แสงอาทิตย์ที่ใช้ในเครื่องคิดเลข จะมีลักษณะสีม่วงน้ำตาล มีความบางเบาราคาถูก ผลิตให้เป็นพื้นที่เล็กไปจนถึงใหญ่หลายตารางเมตรได้ ใช้ธาตุซิลิคอนเช่นกันแต่เคลือบให้เป็นฟิล์มบางเพียง 0.5 ไมครอน (0.0005 มิลลิเมตร) และประสิทธิภาพประมาณร้อยละ 5-9 เปอร์เซ็นต์ [5]

3. เซลล์แสงอาทิตย์ที่ทำจากสารกึ่งตัวนำอื่นๆ เช่น แกเลียมอาร์เซไนด์ (GaAs) [6] แคดเมียมเทลูไรด์ (CdTe) [6] และคอปเปอร์อินเดียมไดซีลีไนด์ ($CuInSe_2$: CIS) [7] เป็นต้น โดยจะให้ประสิทธิภาพสูงกว่า 12 เปอร์เซ็นต์

ในปัจจุบันเซลล์แสงอาทิตย์ของสารกึ่งตัวนำชนิด $Cu(In,Ga)Se_2/CdS$ มีความโดดเด่นและน่าสนใจมากเนื่องจากในปัจจุบันเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดนี้จนได้ประสิทธิภาพสูงถึง 19.3 เปอร์เซ็นต์ [8] โดยเซลล์แสงอาทิตย์นี้ประดิษฐ์ขึ้นเป็นครั้งแรกบนผลึกเดี่ยวของ $CuInSe_2$ โดย แวคเนอร์ (Wagner) และในปี พ.ศ. 2519 คาสเมอร์สกี (Kazmerski) ได้ประดิษฐ์เซลล์แสงอาทิตย์ชนิดของสารกึ่งตัวนำ $CuInSe_2/CdS$ ชนิดฟิล์มบางได้ประสิทธิภาพ 4-5 เปอร์เซ็นต์ [9] และได้รับการพัฒนาอย่างต่อเนื่องเพื่อให้สามารถใช้ได้ในเชิงพาณิชย์โดยห้องปฏิบัติการพลังงานทดแทนแห่งชาติ (the National Renewable Energy Laboratories : NREL) ประเทศสหรัฐอเมริกา และโดยสมาคมยูโรซีไอเอส (the Euro CIS consortium) ในยุโรป ในปี 2541 บริษัทซีเมนต์โซลาร์ (Siemens solar) สามารถพัฒนาให้เซลล์แสงอาทิตย์ของสารกึ่งตัวนำชนิด $CuInSe_2$ เข้าสู่ตลาดในเชิงพาณิชย์ได้เป็นครั้งแรก ก็ได้ประสิทธิภาพในเบื้องต้นสูงถึง 10 เปอร์เซ็นต์

ในงานวิจัยนี้ ได้ทำการศึกษาสมบัติทางฟิสิกส์ของฟิล์มบางของสารกึ่งตัวนำ $CuInSe_2$ (CIS) เพื่อใช้เป็นชั้นดูดกลืนแสง (absorber) ในการประดิษฐ์เป็นเซลล์แสงอาทิตย์ โดยฟิล์มบางที่เตรียมจากวิธีการระเหยสารเคมีด้วยความร้อนในระบบสุญญากาศ จะพบว่าฟิล์มบางที่ได้จากการเตรียมด้วยวิธีนี้จะมีความหนาสม่ำเสมอทั่วทั้งแผ่นและเนื้อฟิล์มมีคุณภาพดี และในงานวิจัยนี้ยังได้ศึกษาการปรับปรุงโครงสร้างผลึกของฟิล์มบางให้ดีขึ้นโดยกระบวนการซีลีไนเซชัน เพื่อที่จะนำกระบวนการเหล่านี้ไปประยุกต์ใช้ในกระบวนการสร้างเซลล์แสงอาทิตย์ที่มีประสิทธิภาพสูงต่อไป

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1.2.1 เตรียมฟิล์มบางของสารกึ่งตัวนำ $CuInSe_2$ บนแผ่นฐานรองรับที่เป็นแผ่นกระจกสไลด์ด้วยวิธีการระเหยสารด้วยความร้อนในระบบสุญญากาศโดยไม่ให้อุณหภูมิแก่แผ่นฐานรองรับที่เป็นแผ่นกระจกสไลด์

1.2.2 เตรียมฟิล์มบางคอปเปอร์อินเดียมไดซีลีไนด์ที่เจือด้วยอะตอมของธาตุโซเดียม ($CuInSe_2$:Na) โดยอะตอมของธาตุโซเดียมจะได้มาจากสารตั้งต้น โซเดียมซัลไฟด์ ($Na_2S.9H_2O$) บนแผ่นฐานรองรับที่เป็นแผ่นกระจกสไลด์ ด้วยวิธีการระเหยสารเคมีด้วยความร้อนในระบบสุญญากาศโดยไม่ให้อุณหภูมิแก่แผ่นฐานรองรับที่เป็นแผ่นกระจกสไลด์ ศึกษาวิธีการปรับปรุงโครงสร้างผลึกของฟิล์มบางของสารกึ่งตัวนำ $CuInSe_2$ ทั้งที่มีการเจือและไม่มีการเจือด้วยโซเดียมด้วยวิธีการซีลีไนเซชัน

1.2.3 ศึกษาโครงสร้างผลึกเชิงจุลภาคของฟิล์มบางของสารกึ่งตัวนำ $CuInSe_2$ และฟิล์มบางของสารกึ่งตัวนำ $CuInSe_2$:Na ด้วยวิธีการเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์

1.2.4 ศึกษาโครงสร้างผลึกเชิงมหภาคของฟิล์มบางของสารกึ่งตัวนำ $CuInSe_2$ และฟิล์มบางของสารกึ่งตัวนำ $CuInSe_2$:Na ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด

1.2.5 ศึกษาสมบัติการส่งผ่านทางแสงและหาขนาดค่าช่องว่างแถบพลังงานของฟิล์มบางของสารกึ่งตัวนำ $CuInSe_2$ และฟิล์มบางของสารกึ่งตัวนำ $CuInSe_2$:Na

1.2.6 ศึกษาหาค่าพารามิเตอร์ทางแสงของฟิล์มบางของสารกึ่งตัวนำ $CuInSe_2$ และฟิล์มบางของสารกึ่งตัวนำ $CuInSe_2$:Na ด้วยวิธีการจำลองแบบโดยใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์สำเร็จรูป

1.3 ขอบเขตการวิจัย

1.3.1 ทำการเตรียมฟิล์มบางของสารกึ่งตัวนำ $CuInSe_2$ ลงบนแผ่นฐานรองรับที่เป็นแผ่นกระจกสไลด์ ด้วยวิธีการระเหยสารเคมีด้วยความร้อนในระบบสุญญากาศโดยไม่ให้อุณหภูมิแก่แผ่นฐานรองรับที่เป็นแผ่นกระจกสไลด์

1.3.2 ทำการเตรียมฟิล์มบางของสารกึ่งตัวนำ $CuInSe_2$:Na โดยอะตอมของธาตุโซเดียมนั้นได้มาจากสารตั้งต้น $Na_2S.9H_2O$ ลงบนแผ่นฐานรองรับที่เป็นแผ่นกระจกสไลด์ ด้วยวิธีการระเหยสารเคมีด้วยความร้อนในระบบสุญญากาศโดยไม่ให้อุณหภูมิแก่แผ่นฐานรองรับที่เป็นแผ่นกระจกสไลด์

1.3.3 ทำการศึกษาวิธีการปรับปรุงโครงสร้างผลึกเชิงจุลภาคของฟิล์มบางของสารกึ่งตัวนำ $CuInSe_2$ ทั้งที่มีการเจือและไม่มีการเจือด้วยอะตอมของธาตุโซเดียมด้วยวิธีการซีลีไนเซชัน

1.3.4 นำฟิล์มบางของสารกึ่งตัวนำ $CuInSe_2$ และฟิล์มบางของสารกึ่งตัวนำ $CuInSe_2$:Na ไปศึกษาโครงสร้างผลึกเชิงจุลภาคด้วยวิธีการเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์

1.3.5 นำฟิล์มบางของสารกึ่งตัวนำ $CuInSe_2$ และฟิล์มบางของสารกึ่งตัวนำ $CuInSe_2$:Na ไปศึกษาโครงสร้างผลึกเชิงมหภาคด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด

1.3.6 นำฟิล์มบางของสารกึ่งตัวนำ $CuInSe_2$ และฟิล์มบางของสารกึ่งตัวนำ $CuInSe_2$:Na ไปศึกษาสมบัติการส่งผ่านทางแสงและหาขนาดค่าช่องว่างแถบพลังงาน

1.3.7 ทำการจำลองแบบสเปกตรัมการส่งผ่านแสงของฟิล์มบางของสารกึ่งตัวนำ $CuInSe_2$ และฟิล์มบางของสารกึ่งตัวนำ $CuInSe_2$:Na โดยโปรแกรมคอมพิวเตอร์สำเร็จรูป

1.3.8 ทำการหาค่าพารามิเตอร์ทางแสงของฟิล์มบางของสารกึ่งตัวนำ $CuInSe_2$ และฟิล์มบางของสารกึ่งตัวนำ $CuInSe_2$:Na โดยการสังเคราะห์แบบคอชี และ แบบเวมเพิล-ไดโดเมนนิโคค่าพารามิเตอร์ทางแสงของฟิล์มบางของสารกึ่งตัวนำ $CuInSe_2$

1.4 วิธีดำเนินการวิจัย

1.4.1 ทำการเตรียมฟิล์มบางของสารกึ่งตัวนำ $CuInSe_2$ ทั้งที่ไม่ได้เจือและที่มีการเจือด้วยอะตอม Na ลงบนแผ่นฐานรองรับที่เป็นแผ่นกระจกสไลด์ ด้วยวิธีการระเหยสารเคมีด้วยความร้อนในระบบสุญญากาศโดยไม่ให้อุณหภูมิแก่แผ่นฐานรองรับที่เป็นแผ่นกระจกสไลด์

1.4.2 นำฟิล์มบางของสารกึ่งตัวนำ $CuInSe_2$ และฟิล์มบางของสารกึ่งตัวนำ $CuInSe_2$:Na ไปศึกษาโครงสร้างผลึกเชิงจุลภาคด้วยวิธีการเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์

1.4.3 นำฟิล์มบางของสารกึ่งตัวนำ $CuInSe_2$ และฟิล์มบางของสารกึ่งตัวนำ $CuInSe_2$:Na ไปศึกษาโครงสร้างผลึกเชิงมหภาคด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด

1.4.4 นำฟิล์มบางของสารกึ่งตัวนำ $CuInSe_2$ และฟิล์มบางของสารกึ่งตัวนำ $CuInSe_2$:Na ไปศึกษาสมบัติการส่งผ่านทางแสงและหาขนาดค่าช่องว่างแถบพลังงาน

1.4.5 ทำการจำลองแบบสเปกตรัมการส่งผ่านแสงของฟิล์มบางของสารกึ่งตัวนำ $CuInSe_2$ของสารกึ่งตัวนำ $CuInSe_2$:Na โดยการสังเคราะห์แบบคอชี และ แบบเวมเพิล-ไดโดเมนนิโค เพื่อหาค่าพารามิเตอร์ทางแสงของฟิล์มบางของสารกึ่งตัวนำดังกล่าว

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.5.1 ทำให้ทราบหลักการเตรียมสารตั้งต้นเพื่อใช้ในการเตรียมฟิล์มบางของสารกึ่งตัวนำ $CuInSe_2$ และฟิล์มบางของสารกึ่งตัวนำ $CuInSe_2$:Na

1.5.2 ทำให้ทราบถึงหลักการเตรียมฟิล์มบางของสารกึ่งตัวนำโดยวิธีการระเหยสารเคมีด้วยความร้อนในระบบสุญญากาศ

1.5.3 ทำให้ทราบถึงหลักการปรับปรุงคุณภาพของฟิล์มบางของสารกึ่งตัวนำ $CuInSe_2$ และฟิล์มบางของสารกึ่งตัวนำ $CuInSe_2$:Na โดยวิธีการซีลีไนเซชัน

1.5.4 ทำให้ทราบถึงสมบัติบางประการของฟิล์มบางของสารกึ่งตัวนำ $CuInSe_2$ และฟิล์มบางของสารกึ่งตัวนำ $CuInSe_2$:Na โดยวิธีการจำลองแบบจากสเปกตรัมการส่งผ่านแสงในช่วงความยาวคลื่น 800–2,000 นาโนเมตร จากนั้นจะสามารถหาค่าพารามิเตอร์ทางแสงต่างๆ เช่น ช่องว่างแถบพลังงาน ค่าดัชนีหักเห และสัมประสิทธิ์การสูญเสียเชิงแสงที่ขึ้นกับความยาวคลื่นแสง ค่าไดอิเล็กตริกเชิงซ้อน และค่าสภาพนำไฟฟ้าทางแสงเชิงซ้อน

1.5.5 ทำให้ทราบถึงความสัมพันธ์ของค่าดัชนีหักเหที่ขึ้นกับความยาวคลื่นที่จำลองแบบได้สามารถนำไปสู่การหาค่าพารามิเตอร์ทางแสงอื่นๆ ได้อีกโดยอาศัยแบบจำลองออสซิลเลเตอร์เดี่ยว ที่เสนอโดยเวมเพิลและไดโดเมนนิโค

1.5.6 ทำให้ทราบถึงอิทธิพลของโซเดียมต่อสมบัติของฟิล์มบางของสารกึ่งตัวนำ $CuInSe_2$ ได้แก่ โครงสร้างผลึกเชิงจุลภาค โครงสร้างผลึกเชิงมหภาค ที่เหมาะสมสำหรับประดิษฐ์เซลล์แสงอาทิตย์

1.5.7 ทำให้ได้ข้อมูลทางด้านการศึกษาสมบัติทางฟิสิกส์บางประการที่สำคัญของฟิล์มบางของสารกึ่งตัวนำ $CuInSe_2$ และฟิล์มบางของสารกึ่งตัวนำ $CuInSe_2$:Na เพื่อนำไปประยุกต์ใช้เป็นชั้นดูดกลืนแสงของเซลล์แสงอาทิตย์

1.5.8 นำข้อมูลที่ได้จากการวิจัยไปเป็นแนวทางในการพัฒนาการสร้างเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดรอยต่อวิวิธพันธุ์ (heterojunction) ของฟิล์มบางของสารกึ่งตัวนำ $CuInSe_2$/CdS ต่อไป