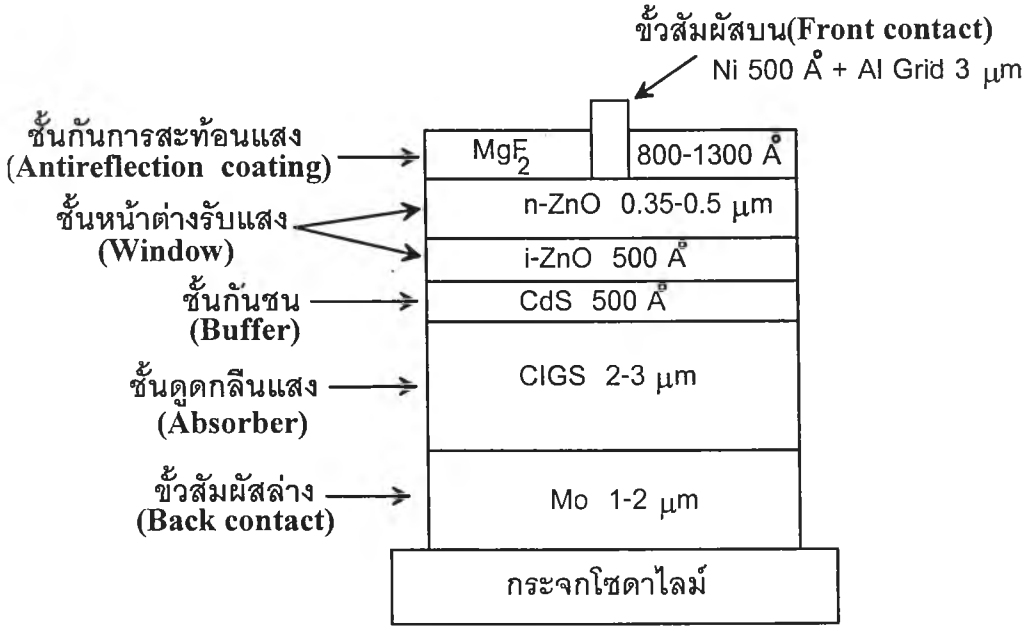
หอสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 1

บทนำ

เซลล์แสงอาทิตย์เป็นสิ่งประดิษฐ์โฟโตโวลตาอิค (Photovoltaic device) ที่ใช้เปลี่ยนพลังงานแสงอาทิตย์เป็นพลังงานไฟฟ้า เป็นแหล่งพลังงานทดแทนชนิดหนึ่ง (Renewable energy) ที่สะอาดและไม่สร้างมลภาวะเป็นพิษใดๆขณะใช้งาน เป็นพลังงานที่มนุษย์ได้มาเปล่าและมีไม่สิ้นสุด ที่สำคัญมีอายุการใช้งานที่ยาวนาน ประมาณ 20 ปี กระบวนการเกิดกระแสไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์ มีวิธีการง่ายๆ ดังนี้ คือ เมื่อมีพลังงานโฟตอนจากแสงอาทิตย์ตกลงบนชั้นสารกึ่งตัวนำจะเกิดการกระตุ้นอิเล็กตรอนในแถบเวเลนซ์ (Valence band) ขึ้นไปยังแถบการนำ (Conduction band) และเกิดโฮล (Holes) ในแถบเวเลนซ์ ทั้งอิเล็กตรอนและโฮลจะทำหน้าที่เป็นพาหะ (Carrier) ทำให้เกิดกระแสไฟฟ้าขึ้นมา โดยมีรอยต่อ (Junction) ของเซลล์แสงอาทิตย์ป้องกันอิเล็กตรอนและโฮลกลับมารวมตัวกันซึ่งเรียกว่าเกิด Recombination รอยต่อนี้จะมีสนามไฟฟ้าเกิดขึ้นมาซึ่งจะแยกอิเล็กตรอนและโฮลให้หลุดออกจากกันทำให้มีกระแสไฟฟ้าไหลออกสู่วงจรภายนอกได้ กระแสไฟฟ้าที่ได้เป็นแบบกระแสตรง (Direct current) สามารถแปลงเป็นกระแสไฟฟ้าแบบกระแสสลับ (Alternate current) ได้เพียงต่อชุดเซลล์แสงอาทิตย์เข้ากับ Inverter โครงสร้างของเซลล์แสงอาทิตย์ที่จะทำการศึกษามีโครงสร้าง ดังรูปที่ 1.1



รูปที่ 1.1 โครงสร้างของเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดฟิล์มบาง CIGS [1]

จากข้อมูลที่ได้มีการศึกษากันมาแล้ว พบว่า สารกึ่งตัวนำที่ใช้ทำเป็นชั้นดูดกลืนแสง (Absorber) แล้วให้ประสิทธิภาพของเซลล์แสงอาทิตย์ (Efficiency) ในระดับที่สูงมากมีหลายชนิด ได้แก่ ซิลิคอน (Si) แกลเลียมอาร์เซไนด์ (GaAs) อินเดียมฟอสไฟด์ (InP) แคดเมียมเทลลูไรด์ (CdTe) และสาร

ประกอบเชิงสาม คือ คอปเปอร์อินเดียมแกลเลียมไดซีลีไนด์ ($Cu(In_{1-x}Ga_x)Se_2$) สำหรับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้จะศึกษาและวิจัยสารกึ่งตัวนำที่อยู่ในกลุ่มสารประกอบเชิงสาม (Ternary compound) โครงสร้างแบบชาลโคไพไรต์ (Chalcopyrite structure) คือ $Cu(In_{1-x}Ga_x)Se_2$ (CIGS) [2] เมื่อปี ค.ศ. 1974 กลุ่มวิจัยที่ Bell laboratories ได้เริ่มศึกษาและวิจัยเซลล์แสงอาทิตย์แบบผลึกเดี่ยว (Single crystal) ของ $CuInSe_2$ (CIS) ซึ่งได้ประสิทธิภาพสูงสุดในระดับ 12 % ต่อมากลุ่มวิจัยนำโดย Kazmerski ได้เริ่มวิจัยและศึกษาเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดฟิล์มบาง CIS เป็นกลุ่มแรกและได้มีอีกหลายกลุ่มได้วิจัยตามมา ปัจจุบันเซลล์แสงอาทิตย์แบบฟิล์มบาง CIS ที่มีการรายงานผลล่าสุดให้ประสิทธิภาพสูงสุด 15.4 % [3] ได้มีการศึกษาต่อมาอีกและพบว่า เมื่อเติมธาตุ Ga เข้าไปแทนที่อะตอมของ In ด้วยปริมาณ x $\left(x = \frac{Ga}{In+Ga}\right)$ ได้ฟิล์มบาง $Cu(In_{1-x}Ga_x)Se_2$ เมื่อนำไปเตรียมเป็นเซลล์แสงอาทิตย์แล้วจะได้ประสิทธิภาพสูงขึ้นมากกว่าเซลล์แสงอาทิตย์ที่เตรียมจาก CIS เนื่องจากปริมาณ x เป็นตัวปรับเปลี่ยนค่าช่องว่างพลังงาน (Energy gap) ของฟิล์มบาง CIGS ปัจจุบันประสิทธิภาพของเซลล์แสงอาทิตย์ที่เตรียมด้วยฟิล์มบาง CIGS ที่ได้มีการรายงานเอาไว้สูงสุด 18.8 % [4] สมบัติที่สำคัญของ CIGS คือ มีอายุการใช้งานยาวนาน คงทนต่อรังสีจากดวงอาทิตย์ มีค่าช่องว่างพลังงานอยู่ระหว่าง 1.0-1.7 eV [5] ทำให้สามารถปรับค่าช่องว่างพลังงานให้ใกล้เคียงกับย่านสเปคตรัมของรังสีจากดวงอาทิตย์ โดยค่าช่องว่างพลังงานจะเปลี่ยนไปตามค่า x เมื่อเทียบกับ CIS ที่มีค่าช่องว่างพลังงาน 1.04 eV ซึ่ง CIS ไม่สามารถปรับเปลี่ยนได้ ลักษณะแถบพลังงานเป็นแบบตรง (Direct band gap) สัมประสิทธิ์การดูดกลืนแสง (Absorption coefficient) มีค่าสูง ค่าใช้จ่ายในการประดิษฐ์เป็นเซลล์แสงอาทิตย์ไม่สูงมาก และสามารถเลือกได้ว่าจะโด๊ปให้เป็นชนิดพีหรือชนิดเอ็น โดยควบคุมได้ด้วยอัตราส่วนของ δ $\left(\delta = \frac{In+Ga}{In+Ga+Cu}\right)$ โดยฟิล์มบาง CIGS จะเปลี่ยนชนิดการนำไฟฟ้าจากชนิดพี (p-type) เป็นชนิดเอ็น (n-type) เมื่อมีการเพิ่มปริมาณ δ หรือถ้าพิจารณาการเตรียมฟิล์มบาง CIGS ในบรรยากาศของ Se แบบมี Se น้อย (Se-deficiency) จะได้ฟิล์มบาง CIGS ที่มีชนิดการนำไฟฟ้าเป็นแบบเอ็น และถ้าเป็นแบบมี Se มาก (Se excess) จะได้ฟิล์มบาง CIGS ที่มีชนิดการนำไฟฟ้าเป็นแบบพี [3]

วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

เตรียมฟิล์มบาง $Cu(In_{1-x}Ga_x)Se_2$ (CIGS) โดยวิธีระเหยร่วมให้ได้สัดส่วนของธาตุที่เป็นองค์ประกอบตามที่ต้องการและศึกษาลักษณะเฉพาะของฟิล์มบางที่ได้

วิธีการดำเนินงานวิจัย

ศึกษาและเตรียมฟิล์มบาง CIGS โดยวิธีระเหยร่วม (Coevaporation) ซึ่งเป็นวิธีที่มีประสิทธิภาพมากที่สุดวิธีหนึ่งของวิธีแบบ Physical Vapour Deposition (PVD) จากนั้นศึกษาลักษณะเฉพาะของฟิล์มบาง CIGS โดยตรวจสอบสมบัติของฟิล์มบาง CIGS ที่เตรียมขึ้นมาด้วยวิธีต่างๆ ได้แก่ EDS (Energy-Dispersive X-Ray Spectrometry) เพื่อหาเปอร์เซ็นต์อะตอม Cu,In,Ga และ Se กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบสแกน (Scanning Electron Microscopy,SEM) เพื่อดูลักษณะผิวหน้าและภาคตัดขวางของฟิล์มบาง CIGS การเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์ (X-Ray Diffraction,XRD) เพื่อศึกษาโครงสร้างผลึกของฟิล์มบาง CIGS วิธีขั้วความร้อน (Hot probe) เพื่อหาชนิดการนำไฟฟ้าของฟิล์มบาง CIGS และการวัดลักษณะเฉพาะของกระแสและความต่างศักย์ของเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดฟิล์มบาง CIGS (I-V characteristics measurement) เพื่อหาค่าประสิทธิภาพการแปลงพลังงานแสงเป็นพลังงานไฟฟ้า $(\text{Efficiency}, \eta)$ แรงดันไฟฟ้าวงจรเปิด (Open circuit voltage,V_{oc}) กระแสไฟฟ้าลัดวงจร (Short circuit current) และฟิลแฟคเตอร์ (Fill factor,FF)

เนื้อหาของวิทยานิพนธ์

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้มีทั้งหมด 6 บท แต่ละบทมีเนื้อหาดังนี้ บทที่1 เป็นบทนำ บทที่ 2 ประกอบด้วยเนื้อหาที่กล่าวถึงสมบัติทางผลึกของสารกึ่งตัวนำ CIGS บทที่ 3 ประกอบด้วยเนื้อหาที่กล่าวถึงทฤษฎีการระเหยแบบระเหยร่วม การกระจายตัวของฟลักซ์ไอ ตลอดจนปฏิกิริยาการเกิดเป็นฟิล์มบาง CIGS บทที่ 4 ประกอบด้วยเนื้อหาที่เกี่ยวกับการวิเคราะห์สารกึ่งตัวนำ ได้แก่ การเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์ วิธี EDS (Energy-Dispersive X-ray Spectrometer) การศึกษาลักษณะผิวหน้าของฟิล์มบางด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบสแกน วิธีขั้วความร้อน และการเตรียมเป็นเซลล์แสงอาทิตย์ บทที่ 5 เป็นการทดลองและผลการทดลองซึ่งได้อธิบายวิธีการปรับเทียบเพื่อหาสมการที่จะนำมาใช้คำนวณหาอุณหภูมิของแหล่งระเหย (Evaporation sources) สำหรับเตรียมฟิล์มบาง CIGS ด้วย รวมทั้งได้อธิบายวิธีการคำนวณหาเปอร์เซ็นต์อะตอมของธาตุแต่ละตัวในฟิล์มบาง CIGS ด้วยวิธี EDS และบทที่ 6 เป็นบทสรุปและวิจารณ์ผลการทดลอง