องสมุดงานวิจัย สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ
246485

รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์

เซลล์แสงอาทิตย์ชนิดฟิล์มบาง $CuInS_2$ โดยเทคนิคเคลือบสเปรย์

$CuInS_2$ thin film solar cells deposited by spray coating technique

ชื่อผู้วิจัย

นายสุธิชัย ชัยสิทธิ์ศักดิ์

ได้รับทุนสนับสนุนงานวิจัยจากเงินงบประมาณแผ่นดิน ประจำปีงบประมาณ 2554

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ว.ว.ว.54486

กิตติกรรมประกาศ (Acknowledgement)

246485

โครงการวิจัยนี้ได้รับทุนสนับสนุนงานวิจัยจากเงินงบประมาณแผ่นดิน ประจำปีงบประมาณ 2554 สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ตั้งแต่วันที่ 1 ตุลาคม 2553 ถึงวันที่ 30 กันยายน 2554

บทคัดย่อภาษาไทย

246485

ฟิล์มบางคอปเปอร์อินเดียมไดซัลไฟด์ ($CuInS_2$, CIS) เป็นวัสดุดูดซับแสงที่เป็นความหวังมากที่สุดตัวหนึ่งสำหรับประยุกต์ใช้เป็นเซลล์แสงอาทิตย์ประสิทธิภาพสูงและราคาถูก รายงานนี้นำเสนอการปลูกฟิล์มบาง $CuInS_2$ ที่มีความสม่ำเสมอบนฐานรองกระจก ด้วยวิธีเคลือบสเปรย์ที่ใช้ต้นทุนต่ำ จากสารละลายคอปเปอร์คลอไรด์, อินเดียมคลอไรด์ และไทโอยูเรีย งานวิจัยนี้ได้ทำการศึกษาผลกระทบของ ชนิดของสารตั้งต้นอิเดียม ($InCl_2$, $InCl_3$), ชนิดของแก๊สนำพา (Air, N_2), ระยะหน่วงหยุดพ่น, อุณหภูมิของฐานรอง (250–400°C) และความเข้มข้นของสารตั้งต้น ที่มีต่อโครงสร้างจุลภาคของฟิล์ม โดยทำการวิเคราะห์โครงสร้างจุลภาคและคุณสมบัติของฟิล์มด้วยเทคนิคการเลี้ยวเบนรังสีเอ็กซ์ (X-ray Diffraction; XRD), กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบสแกน (Scanning Electron Microscope; SEM), เทคนิกการกระจายพลังงานของรังสีเอ็กซ์ (Energy Dispersive X-ray; EDX) และสเปกตรัมการส่งผ่านแสง นอกจากนี้ยังได้สร้างรอยต่อแบบเฮเทอโร (heterojunction) $TiO_2/CuInS_2$ บนฐานรองกระจก SnO_2:F เพื่อประเมินคุณสมบัติของความเป็นเซลล์แสงอาทิตย์ เซลล์ขนาดเล็กที่มีประสิทธิภาพสูงสุดอยู่ที่ 5.4×10^{-6} % มีค่าแรงดันไฟฟ้าเปิดวงจร (V_{oc}) 158 mV, ความหนาแน่นกระแสไฟฟ้าลัดวงจร (J_{sc}) 1.11×10^{-4} mA/cm^2 และฟิลแฟคเตอร์ (FF) 0.31 ภายใต้การฉายด้วยแสงอาทิตย์จำลอง (AM 1.5; 100 mW/cm^2)

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ (Abstract)

246485

Copper indium disulfide ($CuInS_2$, CIS) thin film is one of the most promising absorber materials for high efficient and low-cost photovoltaic applications. This paper reports the successful deposition of uniform $CuInS_2$ films on a glass substrate by the cost effective method of spray pyrolysis from the aqueous solutions of copper chloride, indium chloride and Thiourea. The effects of types of indium source ($InCl_2$, $InCl_3$), types of carrier (Air, N_2), pulse length, substrate temperature (250–400°C) and chemical precursor composition on the film microstructures are discussed. The microstructures and properties of the as-deposited films are characterized using a combination of X-ray diffraction (XRD), scanning electron microscopy (SEM), energy dispersive X-ray (EDX), and UV transmittance spectra. A $TiO_2/CuInS_2$ heterojunction is also fabricated onto an SnO_2:F glass substrate to evaluate the photovoltaic property of the film. The highest efficiency of 5.4×10^{-6} % is achieved for a small cell with an open circuit voltage (V_{oc}) of 158 mV, a short-circuit current density (J_{sc}) of 1.11×10^{-4} mA/cm^2 and a fill factor (FF) of 0.31 under illumination of a sun simulator (AM 1.5; 100 mW/cm^2). The result shows that spray pyrolysis is a very promising technique to produce $CuInS_2$ films with low cost.

สารบัญเรื่อง (Table of Contents)

กิตติกรรมประกาศ (ACKNOWLEDGEMENT) i

บทคัดย่อภาษาไทย ii

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ (ABSTRACT) iii

สารบัญเรื่อง (TABLE OF CONTENTS) iv

สารบัญตาราง (LIST TABLES) vi

สารบัญภาพ (LIST OF ILLUSTRATIONS) vii

บทที่ 1 บทนำ (INTRODUCTION) 1

1.1 ความสำคัญและที่มาของปัญหา 1

1.2 วัตถุประสงค์และขอบเขตการวิจัย 1

1.3 ทฤษฎีและและกรอบแนวความคิดของโครงการวิจัย 2

1.4 วิธีการดำเนินการวิจัยโดยสรุป 5

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับเมื่อเสร็จสิ้นโครงการ 5

บทที่ 2 วิธีการดำเนินการวิจัย (MATERIALS & METHOD) 7

2.1 หลักการปลูกฟิล์มบางด้วยวิธีเคลือบสเปรย์ 7

2.2 ระบบเคลือบสเปรย์ที่ใช้ 8

2.2.1 หัวสเปรย์ที่เหมาะสม 8

2.2.2 การควบคุมจังหวะการพ่นสเปรย์โดยใช้โปรแกรม LabView® 10

2.3 ขั้นตอนการพ่นสเปรย์ 10

2.4 ขั้นตอนการเตรียมสารละลายและการเตรียมแผ่นฐานรอง 11

2.4.1 ขั้นตอนการเตรียมสารละลาย 11

2.4.2 ขั้นตอนการเตรียมแผ่นฐานรองกระจก 13

2.5 ขั้นตอนการสร้างชั้นฟิล์มบาง TiO_2 โดยวิธีสกรีน 13

2.6 การสร้างขั้วไฟฟ้าโดยการระเหย 14

2.7 การวิเคราะห์คุณสมบัติของฟิล์มบางและการวัดเซลล์แสงอาทิตย์ 15

2.7.1 การเลี้ยวเบนของรังสีเอ็กซ์ (X-ray Diffraction; XRD) 15

2.7.2 กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบสแกน 16
2.7.3 การวัดการทะลุผ่านของแสง 17
2.7.4 การวัดสัมประสิทธิ์การดูดกลืนแสงของสารกึ่งตัวนำ 18
2.7.5 การวัดความต้านทานด้วยวิธีสี่ขั้วตามแนวเส้นตรง 19
2.7.6 การวัดประสิทธิภาพเซลล์แสงอาทิตย์ 20

บทที่ 3 ผลการวิจัยและข้อวิจารณ์ ((RESULTS AND DISCUSSIONS) 21

3.1 ผลกระทบของระยะเวลาหน่วงขณะพ่นสเปรย์ 21
3.2 ผลกระทบของชนิดของสารตั้งต้นอินเดียม ($InCl_2$ และ $InCl_3$) 22
3.3 ผลกระทบของอุณหภูมิและชนิดของแก๊สนำพาขณะพ่นสเปรย์ 24
3.4 ผลกระทบของสัดส่วนของสารละลายเริ่มต้น (ซัลเฟอร์) 27
3.5 ผลการทดลองใช้ฟิล์มบาง CIS ที่ปลูกได้เป็นเซลล์แสงอาทิตย์ 29

บททที่ 4 สรุปและข้อเสนอแนะ 32

4.1 สรุปผลการวิจัย 32
4.2 ข้อเสนอแนะ 32

เอกสารอ้างอิง(References) 34

สารบัญตาราง (List tables)

ตารางที่ 3.1 เงื่อนไขการปลูกฟิล์มที่ใช้ In(II)Cl2 และ In(III)Cl3 เป็นสารตั้งต้นที่อุณหภูมิฐานรองต่างๆ และผลของ Rs Eg และความหนาของฟิล์มที่วัดได้.....23

ตารางที่ 3.2 เงื่อนไขการปลูกฟิล์มบาง CIS บนกระจก โดยใช้ In(III)Cl3 เป็นสารตั้งต้นและใช้ไนโตรเจนเป็นแก๊สพาหะ ที่อุณหภูมิต่างๆ และผลของ Eg และความหนาของฟิล์มที่วัดได้.....24

ตารางที่ 3.3 เงื่อนไขการปลูกฟิล์มบาง CIS บนกระจกที่อัตราส่วนของซัลเฟอต์ในสารละลายสเปรย์ค่าต่างๆ และผลของ Rs Eg และความหนาของฟิล์มที่วัดได้.....27

สารบัญภาพ (List of illustrations)

รูปที่ 2.1 (ก) วิธีการปลูกฟิล์มบาง CuInS2 ด้วยวิธีเคลือบสเปรย์ และ (ข) ตัวอย่างชิ้นงานบนกระจก (4 แผ่น แต่ละแผ่นมีขนาด 2.5cm x2.5cm) 7

รูปที่ 2.2 ระบบพ่นสเปรย์ที่ได้ออกแบบไว้ประกอบไปด้วย (1) ตู้พ่นระบบปิด (2) ระบบสเปรย์ (รูปถ่ายซ้ายบน) (3) ระบบให้ความร้อน (รูปถ่ายซ้ายบล่าง) (4) ระบบจ่ายสารเคมี และระบบระบายอากาศ 8

รูปที่ 2.3 หัวสเปรย์สี่ชนิดที่ทดสอบ: Spray paint หรือ Spray Gun, Airbush หรือ หัวแบบปากา, Spray nozzle แบบสแตนเลส และ Spray nozzle แบบพลาสติก 9

รูปที่ 2.4 ส่วนประกอบของหัวสเปรย์ชนิด Spray nozzle แบบสแตนเลส 9

รูปที่ 2.5 หน้าต่างโปรแกรมควบคุมเขียนคำสั่งด้วยโปรแกรม LabView® 10

รูปที่ 2.6 การกระจายตัวของอุณหภูมิบนแท่นฮีตเตอร์ขณะทำการตั้งอุณหภูมิไว้ที่ 300°C 11

รูปที่ 2.7 ข้อเปรียบเทียบระหว่าง $In(II)Cl_2$ และ $In(III)Cl_3$ ที่ใช้ในการทดลอง 12

รูปที่ 2.8 การละลายของ $In(II)Cl_2$ ในน้ำ (ก) เมื่ออุลตร้าโซนิคเวลาผ่านไป 30 นาที และ (ข) เมื่อทำการปั่นที่ความร้อน 100°C เป็นเวลา 5 ชม 12

รูปที่ 2.9 สารละลายทั้ง 3 ชนิดก่อนผสม (ก) และ หลังผสมรวมกัน (ข) 13

รูปที่ 2.10 กระจกที่ได้ทำความสะอาดแล้ว พร้อมใช้งานขนาด 2.5 X 2.5 cm2 13

รูปที่ 2.11 (ก) เจล TiO2, (ข) บล็อคสกรีน และแท่นรอง, (ค) โครงสร้างของชิ้นงานที่ผ่านการสกรีน 14

รูปที่ 2.12 (ก) ระบบระเหยภายใต้สุญญากาศสำหรับสร้างขั้วไฟฟ้า (ข) ภาพตัวอย่างเซลล์แสงอาทิตย์ที่สร้างขึ้นจากฟิล์มบาง CIS ที่ทำการต่อขั้วอะลูมิเนียมแล้ว 14

รูปที่ 2.13 ไดอะแกรมของระบบดิฟแฟรกโทมิเตอร์ และ เครื่อง X–ray Diffractometer ที่ใช้ 15

รูปที่ 2.14 ตัวอย่างรูปแบบของการเลี้ยวเบนของสารประกอบ 16

รูปที่ 2.15 กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบสแกนที่ใช้ 17

รูปที่ 2.16 เครื่อง UV-Visible Spectroscopy ที่ใช้ 17

รูปที่ 1.17 ตัวอย่าง (ก) ผลการวัดค่าความส่งผ่านของแสง และ (ข) กราฟคำนวณจากสมการที่ 5 หาค่าช่องว่างแถบพลังงานของฟิล์มบาง CIS 19

รูปที่ 2.18 การวัดสภาพต้านทานไฟฟ้าด้วยวิธีสี่ขั้วตามแนวเส้นตรง 20

รูปที่ 2.19 ระบบวัดประสิทธิภาพของเซลล์แสงอาทิตย์และ Solar simulator ที่ใช้ 20

รูปที่ 3.1 ภาพถ่ายชิ้นงานและลวดลายการเลี้ยวเบนรังสีเอ็กซ์ (XRD) ของฟิล์มบาง CIS ที่ปลูกบนกระจก FTO โดยใช้เวลาหน่วงหยุดพ่น 8 และ 16 วินาที/คาบ 21

รูปที่ 3.2 ลวดลายการเลี้ยวเบนรังสีเอ็กซ์ (XRD) ของฟิล์มบาง CIS ที่เตรียมบนกระจก (หรือบนกระจก FTO) ที่อุณหภูมิต่างๆ โดยใช้ (ก) $In(II)Cl_2$ และ (ข) $In(III)Cl_3$ เป็นสารตั้งต้น 23

รูปที่ 3.3 ฟิล์มบาง CIS ที่ปลูกขึ้นบนฐานรองกระจกที่อุณหภูมิต่างๆ โดยใช้ $In(III)Cl_3$ เป็นสารตั้งต้น และใช้ไนโตรเจนเป็นแก๊สพาหะ (ก) ภาพถ่ายจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนชนิดส่องกราด (SEM), (ข) ลวดลายการเลี้ยวเบนรังสีเอ็กซ์ (XRD) และ (ค) ผลการวิเคราะห์ EDX 25
รูปที่ 3.4 สัดส่วนของ In/Cu, S/(Cu+In) และปริมาณของธาตุ O และธาตุ Cl ในเนื้อฟิล์มบาง CIS เปรียบเทียบระหว่างฟิล์มที่เตรียมโดยใช้อากาศและใช้ไนโตรเจนเป็นแก๊สพาหะ (จากผลการวิเคราะห์ EDX) 26
รูปที่ 3.5 ฟิล์มบาง CIS ที่ปลูกขึ้นบนฐานรองกระจกที่อัตราส่วนของซัลเฟอต์ในสารละลายสเปรย์ค่าต่างๆ โดยใช้ $In(III)Cl_3$ เป็นสารตั้งต้นและใช้ไนโตรเจนเป็นแก๊สพาหะ (ก) ภาพถ่ายจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนชนิดส่องกราด (SEM), (ข) ลวดลายการเลี้ยวเบนรังสีเอ็กซ์ (XRD), และ (ค) ผลการวิเคราะห์ EDX 28
รูปที่ 3.6 ตัวอย่างภาพพื้นผิว SEM (ก) กำลังขยายต่ำ และ (ข) กำลังขยายสูง ของฟิล์ม CIS บนฐานรองกระจก FTO (CIS/FTO/Glass) (*30s/60s) 29
รูปที่ 3.7 (ก) ตัวอย่างลักษณะเฉพาะระหว่างกระแสกับความต่างศักดิ์ไฟฟ้า (I-V) ภายใต้แสง 100 mW/cm^2 และ (ข) ตัวอย่างภาพตัดขวาง SEM ที่ได้จากโครงสร้าง CIS/FTO/Glass 30
รูปที่ 3.8 ตัวอย่างภาพพื้นผิว SEM (ก) กำลังขยายต่ำ และ (ข) กำลังขยายสูง ของฟิล์ม CIS บนฐานรอง TiO2/FTO (CIS/TiO2/FTO/Glass) 30
รูปที่ 3.9 (ก) ตัวอย่างลักษณะเฉพาะระหว่างกระแสกับความต่างศักดิ์ไฟฟ้า (I-V) ภายใต้แสง 100 mW/cm^2 และ (ข) ตัวอย่างภาพตัดขวาง SEM ที่ได้จากโครงสร้าง CIS/TiO_2/FTO/Glass 31