หัวข้อวิทยานิพนธ์ การประดิษฐ์ฟิล์มนำไฟฟ้าแบบโปร่งใส
สำหรับการประยุกต์ในเซลล์แสงอาทิตย์

ผู้เขียน นางสาวสุธาทิพย์ ทองเล่ม

ปริญญา วิทยาศาสตรดุษฎีบัณฑิต (วัสดุศาสตร์)

คณะกรรมการที่ปรึกษา

ผศ. ดร. สุขุม อิสเสง่ียม	อาจารย์ที่ปรึกษาหลัก
ผศ. ดร. กมลพรรณ เพ็งพัด	อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม
ศ. ดร. กอบวุฒิ รุจิจนากุล	อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม
ศ. เกียรติคุณ ดร. ทวี ตันฑศิริ	อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม

บทคัดย่อ

ในงานวิจัยนี้ได้สังเคราะห์ฟิล์มนำไฟฟ้าแบบโปร่งใสจากสารในกลุ่มของ อินเดียมออกไซด์ (In_2O_3) และ ซิงค์ออกไซด์ (ZnO) ด้วยวิธีการอัลตร้าโซนิกสเปร์ยไพโรไลซิส (ultrasonic spray pyrolysis) สำหรับประยุกต์ในเซลล์แสงอาทิตย์ โดยแบ่งออกเป็น 5 ส่วน ด้วยกัน

ในส่วนแรก เป็นการศึกษาผลจากการเจือทิน (tin) ลงในฟิล์มอินเดียมออกไซด์ ฟิล์มที่ได้จากการเจือทุกอัตราส่วนแสดงโครงสร้างแบบคิวบิก (cubic) ของอินเดียมออกไซด์และแสดงค่าการส่องผ่านของแสงสูงกว่าร้อยละ 80 ในขณะที่ค่าความต้านทานของฟิล์มลดลงอย่างรวดเร็วเมื่อทำการเจือทิน แต่อย่างไรก็ตามค่าความต้านทานของฟิล์มลดลงถึงค่าที่ต่ำสุดเมื่อเจือทินร้อยละ 5 โดยอะตอม ซึ่งพฤติกรรมนี้เกิดจากขีดจำกัดของความสามารถในการละลายของทินไอออน (Sn^{4+}) ในโครงสร้างของอินเดียมออกไซด์

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ในส่วนที่สองได้ทำการสังเคราะห์ฟิล์มอินเดียมทินออกไซด์ (ITO) แบบสามชั้น คือฟิล์ม อินเดียมทินออกไซด์/โลหะ/อินเดียมทินออกไซด์ (ITO/Metal/ITO) เพื่อเพิ่มสมบัติทางไฟฟ้าของฟิล์มอินเดียมทินออกไซด์ให้สูงขึ้น ซึ่งฟิล์มอินเดียมออกไซด์เจือด้วยทินร้อยละ 5 โดยอะตอมและโลหะทอง ถูกเลือกเป็นชั้นฟิล์มอินเดียมทินออกไซด์และชั้นโลหะที่อยู่กึ่งกลางฟิล์ม ซึ่งการเพิ่มชั้นทองจะเพิ่มค่าการนำไฟฟ้าให้แก่ฟิล์มแต่ก็มีผลต่อประสิทธิภาพของการส่องผ่านของแสงที่ลดลง โดยฟิล์มที่มีทองเป็นชั้นกึ่งกลางที่ความหนา 10 นาโนเมตรมีค่าฟิกเกอร์ออฟเมอริท (figures of merit) สูงที่สุดหรือฟิล์มนี้มีประสิทธิ์ภาพสูงที่สุดเมื่อเทียบกับฟิล์มที่มีทองเป็นชั้นกึ่งกลางที่ความหนาอื่นๆ

ต่อมาในส่วนที่สาม ได้ศึกษาผลจากการเจือแมกนีเซียม (Mg) ที่มีต่อแถบช่องว่างพลังงาน (energy band gap) ของฟิล์มซิงค์ออกไซด์ โดยสารละลายตั้งต้นเตรียมจาก ซิงค์แอซีเตตไดไฮเดรต ($Zn(CH_3OO)_2{\cdot}2H_2O$) ที่ความเข้มข้น 0.2 โมลาร์ และเจือแมกนีเซียมในช่วงร้อยละ 0-9 โดยอะตอม ฟิล์มที่ได้จากการเจือทุกอัตราส่วนแสดงโครงสร้างแบบเฮกซะโกนอลเวอร์ตไซท์ (hexagonal wurtzite) ของซิงค์ออกไซด์และค่าการส่องผ่านของแสงสูงกว่าร้อยละ 80 และการเจือแมกนีเซียมมีผลต่อการเลื่อนของแอบซอร์บชันเอดจ์ (absorption edge) ของแถบการส่องผ่านของแสง พฤติกรรมการเลื่อนนี้ส่งผลต่อการเพิ่มขึ้นของแถบช่องว่างพลังงานของฟิล์มซิงค์ออกไซด์ ในขณะที่การเจือแมกนีเซียมไม่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงค่าการนำไฟฟ้าขอฟิล์มซิงค์ออกไซด์ เนื่องจากเป็นการแทนที่ซิงค์ไอออน (Zn^{2+}) ด้วยแมกนีเซียมไอออน (Mg^{2+}) ที่มีวาเลนซ์อิเล็กตรอนเท่ากัน ซึ่งฟิล์มซิงค์ออกไซด์เจือแมกนีเซียมที่ร้อยละ 9 โดยอะตอม ที่เคลือบบนพื้นผิวแก้วด้วยอุณหภูมิ 400 องศาเซลเซียสมีค่าของแถบช่องว่างพลังงานสูงที่สุดคือ 3.364 อิเล็กตรอนโวลต์

ในส่วนที่สี่ ได้เตรียมฟิล์มซิงค์ออกไซด์เจือด้วยแมกนีเซียมซึ่งสารละลายตั้งต้นเตรียมจากซิงค์แอซีเตตไดไฮเดรตที่ความเข้มข้นต่ำคือ 0.02 โมลาร์ และเจือแมกนีเซียมในช่วงร้อยละ 0-20 โดยอะตอม ฟิล์มที่ได้จากการเจือทุกอัตราส่วนแสดงโครงสร้างแบบเฮกซะโกนอลเวอร์ตไซท์ของซิงค์ออกไซด์ และค่าการส่องผ่านของแสงสูงกว่าร้อยละ 80 ซึ่งฟิล์มซิงค์ออกไซด์เจือแมกนีเซียมที่ได้จากสารละลายความเข้มข้นนี้มีความเป็นเนื้อเดียวกัน (homogeneous) ที่มีขนาดเกรน (grain size) เล็ก และมีความกว้างของแถบการส่องผ่านของแสงถึง 3.550 อิเล็กตรอนโวลต์เมื่อเจือแมกนีเซียมที่ร้อยละ 20 โดยอะตอม ในขณะที่การเจือแมกนีเซียม ไม่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงค่าการนำไฟฟ้า ของฟิล์มซิงค์ออกไซด์ เนื่องจากเป็นการแทนที่ซิงค์ไอออน (Zn^{2+}) ด้วยแมกนีเซียมไอออน (Mg^{2+}) ที่มีวาเลนซ์อิเล็กตรอนเท่ากัน

และในส่วนสุดท้าย ศึกษาผลจากการเจืออินเดียวต่อสมบัติทางไฟฟ้าของฟิล์มซิงค์ออกไซด์เจือด้วยแมกนีเซียม ฟิล์มที่ได้จากการเจืออินเดียมทุกอัตราส่วน แสดงโครงสร้างแบบเฮกซะโกนอลเวอร์ต

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ไซท์ของซิงค์ ออกไซด์และค่าการส่องผ่านของแสงสูงกว่าร้อยละ 80 แต่การเจืออินเดียมมีผลต่อการลดลงของความกว้างของแถบการส่องผ่านของแสงแต่การนำไฟฟ้าของฟิล์มจะสูงขึ้น แต่อย่างไรก็ตามค่าความต้านทานของฟิล์มลดลงถึงค่าที่ต่ำสุดเมื่อเจืออินเดียมร้อยละ 4 โดยอะตอม ซึ่งพฤติกรรมนี้เกิดจากขีดจำกัดของความสามารถในการละลายของอินเดียมไอออน (In^{3+}) ในโครงสร้างของซิงค์ออกไซด์ และฟิล์มที่อัตราส่วนนี้มีความกว้างของแถบการส่องผ่านของแสงเท่ากับ 3.403 อิเล็กตรอนโวลต์ เหมาะสมสำหรับการนำไปประยุกต์ใช้ในเซลล์แสงอาทิตย์

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

Thesis Title	Fabrication of Transparent Conducting Films for Solar Cell Applications
Author	Miss Sutatip Thonglem
Degree	Doctor of Philosophy (Materials Science)

Advisory Committee	Asst. Prof. Dr. Sukum Eitssayeam	Advisor
	Asst. Prof. Dr. Kamonpan Pengpat	Co-advisor
	Prof. Dr. Gobwute Rujijanagul	Co-advisor
	Prof. Emeritus Dr. Tawee Tunkasiri	Co-advisor

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ABSTRACT

In this research, transparent conducting films from In_2O_3 and ZnO groups were fabricated by ultrasonic spray pyrolysis for solar cell applications. The contribution of this thesis has been focused on the optical and electrical properties of these films. The project results can be divided in to five categories.

In the first part, the effects of Sn doping on In_2O_3 films were investigated. All films showed cubic structure of In_2O_3 and showed high transmittance more than 80%. The conductivity of films was improved by Sn doping. However, the minimum resistivity was presented in 5 at.% Sn doping condition. This behavior may be due to the solubility limited of Sn^{4+} into In_2O_3 lattice.

The second part, the ITO/metal/ITO multilayer films were fabricated for improving the electrical properties of ITO films. The In_2O_3 film doped with 5 at.% Sn doping was chosen as ITO layer and Au metal was employed for intermediated layer of multilayer films. The addition of Au layer enhanced the conductivity but reduced the transmittance of multilayer films. The ITO multilayer with 10 nm of Au layer had the maximum figure of merit or it has condition was the best performance of multilayer film among other samples.

The effect Mg doping on band gap of the ZnO films has been investigated in third part. The starting solution of the prepared films was 0.2 M of $Zn(CH_3OO)_2{\cdot}2H_2O$ with Mg doping in the range of 0-9 at.% . All films showed hexagonal wurtize structure of ZnO and highest transmittance of more than 80%. A shift of absorption edge in transmittance spectra of the prepared films occurred with addition Mg doping. These the shift behavior has significant effect on the increase of band gap in ZnO films. While Mg^{2+} ions have not changed conductivity in ZnO films due to the partial substitution of Zn^{2+} ion by the same valence Mg^{2+} ion. The 9 at.% Mg doped ZnO film deposited on glass substrate heated at 400°C showed the highest band gap of 3.364 eV.

In the fourth part, Mg doped ZnO film was synthesized from lower concentration of 0.02 M of $Zn(CH_3OO)_2{\cdot}2H_2O$ with Mg doping in the range of 0-20 at.%. All films showed hexagonal wurtizte structure of ZnO and high transmittance of the films was higher than 80%. Mg doped ZnO film from this concentration showed homogeneous film with small grain size and has wide band gap of 3.550 eV at 20 at.% Mg doping. While Mg^{2+} ions have not changed conductivity in ZnO films due to the partial substitution of Zn^{2+} ion by the same valence Mg^{2+} ion.

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

In final part, effect of In on electrical properties of Mg doped ZnO films were investigated. All films showed hexagonal wurtize structure of ZnO film and high transmittance more than 80%. The band gap of these films decreased with addition of In doping. While the electrical properties of Mg doped ZnO films improved by In doping. However, the minimum resistivity was presented in 4 at.% In doping. This behavior could be resulted from the solubility limits of In^{3+} into ZnO lattice. The wide band gap

of these conditions could be achieved at 3.403 eV, this range was suitable for application in solar cell.

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved