

ภาคผนวก

ผลงานวิจัยที่เสนอในงานการประชุมวิชาการ



เรื่องตีพิมพ์ประชุมทางวิชาการ ครั้งที่ ๔๙ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์



The Proceeding of 49th Kasetsart University Annual Conference

เทิดพระเกียรติ ๘๔ พรรษากับเศรษฐกิจการเกษตร

Celebrating His Majesty the King's 7th Cycle Birthday and Expressing Our Humble Gratitude Towards His Royal Support for Agricultural Economic



เล่มที่ 5 สาขาวิทยาศาสตร์ (Subject: Science)

ผลกระทบของ ดีซี พัลส์ แมกนีตรอน สเปดเตอริง ต่อสมบัติของฟิล์มบางอินเดียมทินออกไซด์
สำหรับการเตรียมฟิล์มลงบนวัสดุรองรับที่อุณหภูมิต่ำ

The Effects of Pulsed DC Magnetron Sputtering on the Properties of ITO Thin Films for
Preparation at Low Substrate Temperature

กมล เอี่ยมพานัก¹ ชันทนา सालวัน² นัธฐรา สดาวร² และ กิติพัฒน์ อนุรักษ์ฐานนท์²

Kamon Aiempakit¹ Chantana Salawan², Natrada Satavom² and Kitipat Anurakruenon²

บทคัดย่อ

ฟิล์มบางอินเดียมทินออกไซด์ถูกเคลือบลงบนกระจกโดยไม่มีกรให้ความร้อนจากภายนอกโดยวิธี ดีซี พัลส์ และ ดีซี แมกนีตรอน สเปดเตอริง สมบัติทางโครงสร้าง ทางไฟฟ้า และทางแสงของฟิล์มอินเดียมทินออกไซด์ ถูกทำการศึกษาโดยเครื่องเอกซเรย์ดิฟแฟรกโตรมิเตอร์ โพรพอยทีโพรบเชิงเส้น สเปกโตรโฟโตมิเตอร์ ตามลำดับ การเคลือบฟิล์มด้วยวิธี สเปดเตอริง แบบ ดีซี พัลส์ จะให้ค่ากระแสพลาสมาที่สูงและค่าความต่างศักย์ไฟฟ้าที่เป้าสารเคลือบต่ำกว่าการเคลือบฟิล์มแบบ ดีซี ผลที่ได้นี้ส่งผลต่ออัตราการเคลือบฟิล์มและค่าอุณหภูมิของวัสดุรองรับที่เกิดขึ้นด้วยค่าที่ต่ำกว่าสำหรับการเคลือบฟิล์มแบบ ดีซี พัลส์ ที่ทุกค่ากำลังไฟฟ้าที่จ่ายให้แก่เป้าสารเคลือบ อุณหภูมิของวัสดุรองรับถูกทำให้สูงขึ้นด้วยการเพิ่มกำลังไฟฟ้าและเวลาของการเคลือบฟิล์ม ส่วนความหนาของฟิล์มถูกทำให้เพิ่มขึ้นแต่ค่าความต้านทานเชิงแผ่นถูกทำให้ลดลงด้วยการเพิ่มเวลาที่ให้เคลือบฟิล์มทั้งแบบ ดีซี และ ดีซี พัลส์ ฟิล์มอินเดียมทินออกไซด์ที่เคลือบด้วยวิธี ดีซี พัลส์ จึงเป็นเทคนิคที่เหมาะสมสำหรับการนำไปใช้เตรียมลงวัสดุที่ทนความร้อนได้น้อย

ABSTRACT

Indium tin oxide (ITO) thin films were deposited on glass substrate without external heating by pulsed DC and smooth DC magnetron sputtering. The structural, electrical and optical properties of ITO films were characterized by X-ray diffraction, linear four-point probe and spectrophotometer, respectively. The sputtering process of pulsed DC showed higher plasma current and lower target voltage than DC. These results affected deposition rate of ITO films and substrate temperature with the lower values for all sputtering power of pulsed DC sputtering process. The substrate temperature increased with the increasing of sputtering power and coating time. The film thickness increased but the sheet resistance decreased with the increasing the coating time of both DC and pulsed DC. The ITO films deposited by pulsed DC technique were suitable for deposition on substrate at less heat resistance.

Keyword: ITO, DC magnetron sputtering, pulsed DC magnetron sputtering, low substrate temperature

E-mail address: akamon@tu.ac.th

¹ภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ ปทุมธานี 12121

¹Department of Physics, Faculty of Science and Technology, Thammasat University, Pathum thani 12121

²สาขาวิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี ปทุมธานี 12110

² Division of Physics, Faculty of Science and Technology, Rajamangala University of Technology Thanyaburi, Pathum Thani 12110

คำนำ

ฟิล์มบางอินเดียมทินออกไซด์ถูกนำมาใช้ประโยชน์มากมาย เช่น เป็นขั้วไฟฟ้าโปร่งแสงสำหรับจอภาพแสดงผล (Chung. *et al.*, 2005) เซลล์แสงอาทิตย์ (Hino. *et al.*, 2006) อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ (Pinheiro. *et al.*, 2008) และอื่น ๆ มากมาย โดยฟิล์มที่ดีจะต้องมีค่าสภาพต้านทานไฟฟ้าที่ต่ำ ในการประยุกต์ใช้ฟิล์มบางอินเดียมทินออกไซด์ที่เตรียมลงบนแผ่นกระจกนั้นมีความยุ่งยากต่อการเคลื่อนย้าย ไม่สามารถเคลื่อนย้ายได้ครั้งละมาก ๆ เนื่องจากกระจกมีน้ำหนักมาก แดกหักได้ง่าย อีกทั้งยังไม่สามารถโค้งงอได้อีกด้วย จึงต้องขนย้ายด้วยความระมัดระวัง จากปัญหาดังกล่าวจึงได้มีผู้วิจัยหลายท่านมุ่งเน้นที่จะศึกษาการเตรียมฟิล์มบางอินเดียมทินออกไซด์ ลงบนวัสดุชนิดอื่น ๆ ที่มีน้ำหนักเบา เช่นการเคลือบลงบนแผ่นพลาสติก (Kim. *et al.*, 2003; Hao. *et al.*, 2008; Pinheiro. *et al.*, 2008) เพื่อลดน้ำหนักของแผ่นรองรับและยังสามารถม้วนงอได้ ทำให้สะดวกและขนย้ายได้ง่าย จึงเหมาะสำหรับการนำไปประยุกต์ใช้ในงานด้านต่าง ๆ เช่น แผงโซลาร์เซลล์ที่มีน้ำหนักเบาและจอภาพ (Touch Panel Display) เป็นต้น อย่างไรก็ตามวัสดุรองรับที่เป็นพลาสติกนั้นจะทนความร้อนได้ไม่สูง และในการเตรียมฟิล์มบางนั้นบางเทคนิคจะทำให้เกิดความร้อนบนวัสดุรองรับที่อุณหภูมิสูง โดยเฉพาะการเตรียมฟิล์มบางด้วยเทคนิคแมกนีตรอน สเปคเตอริง อย่างไรก็ตามเทคนิคนี้ยังคงเป็นเทคนิคที่ได้รับความนิยม (Jung. *et al.*, 2004; Zhao. *et al.*, 2005; Chung. *et al.*, 2005) เนื่องจากทำให้ฟิล์มที่เตรียมได้มีความบริสุทธิ์สูง ไม่เกิดสารตกค้างที่เป็นพิษ และมีการยึดเกาะกับวัสดุรองรับที่ดี ในงานวิจัยนี้ผู้วิจัยมุ่งเน้นที่จะทำการศึกษาเทคนิคการเคลือบฟิล์มบางอินเดียมทินออกไซด์ด้วยเทคนิค แมกนีตรอน สเปคเตอริง แบบ ดีซี พัลส์ และ ดีซี เพื่อศึกษาอิทธิพลของกำลังไฟฟ้า เวลาที่ใช้ในการเคลือบฟิล์ม ต่อสมบัติต่าง ๆ ของฟิล์มโดยเฉพาะสมบัติทางไฟฟ้าและอุณหภูมิของวัสดุรองรับที่เกิดขึ้น เพื่อหาเงื่อนไขที่เหมาะสมสำหรับนำไปใช้ในการเตรียมฟิล์มลงบนวัสดุที่มีน้ำหนักเบา มีความยืดหยุ่น (Flexible) แต่ทนความร้อนได้ไม่มาก เช่น พลาสติก

อุปกรณ์และวิธีการ

ในการเคลือบฟิล์มบางอินเดียมทินออกไซด์ด้วยวิธีสเปคเตอริงนั้น สมบัติต่าง ๆ ของฟิล์มจะขึ้นอยู่กับตัวแปรหลาย ๆ ตัวแปร เช่น อัตราการป้อนก๊าซอาร์กอนต่อออกซิเจน (Hoshi. *et al.*, 2003; Kim. *et al.*, 2007) กำลังไฟฟ้าที่จ่ายให้แก่เป้าสารเคลือบ (Lin. *et al.*, 2008) ความหนาของฟิล์ม (หรือเวลาที่ใช้เคลือบฟิล์ม) (Kim. *et al.*, 2003; Hao. *et al.*, 2008) เป็นต้น ซึ่งในการเคลือบลงบนวัสดุรองรับที่มีความยืดหยุ่น น้ำหนักเบา สามารถโค้งงอได้ มีความโปร่งแสงสูง เช่น แผ่นพลาสติกใสหรือวัสดุอื่น ๆ นั้น ในการเคลือบจะต้องทำการหาเงื่อนไขที่เหมาะสม โดยไม่ทำให้วัสดุรองรับนั้นเกิดความเสียหายหรือบิดงอ โดยสิ่งสำคัญที่สุดอย่างหนึ่งก็คือความร้อนที่เกิดขึ้นบนวัสดุรองรับซึ่งเกิดจากการถ่ายเทพลังงานของสเปคเตอร์อะตอมสู่วัสดุรองรับ ในการศึกษาอิทธิพลของกำลังไฟฟ้าต่ออุณหภูมิที่เกิดขึ้นบนวัสดุรองรับนี้จะใช้แผ่นกระจกเนื่องจากทนอุณหภูมิได้สูง (ประมาณ 500°C) และทำการวัดค่าความต่างศักย์ไฟฟ้าบนเป้าสารเคลือบ (Target voltage) กระแสพลาสมา (Plasma current) ที่เกิดขึ้นระหว่างการเคลือบฟิล์มโดยแยกพิจารณาการเคลือบฟิล์มด้วยแหล่งจ่ายไฟฟ้า 2 แบบ คือ ดีซี (Smooth DC) ดังรูปที่ 1 (a) และ ดีซี พัลส์ (Pulsed DC) ดังรูปที่ 1 (b) ด้วยความกว้างพัลส์ (Pulse width) ของศักย์ไฟฟ้าลบในช่วงเวลา 5984 ns

(Pulse on time) หรือประมาณ 60% และที่ความกว้างพัลส์ศักย์ไฟฟ้าเป็นศูนย์ (Ground) ที่ช่วงเวลา 4016 ns (Pulse off time) หรือประมาณ 40% ด้วยความถี่พัลส์ (Pulse frequency) ที่ 100 กิโลเฮิร์ต

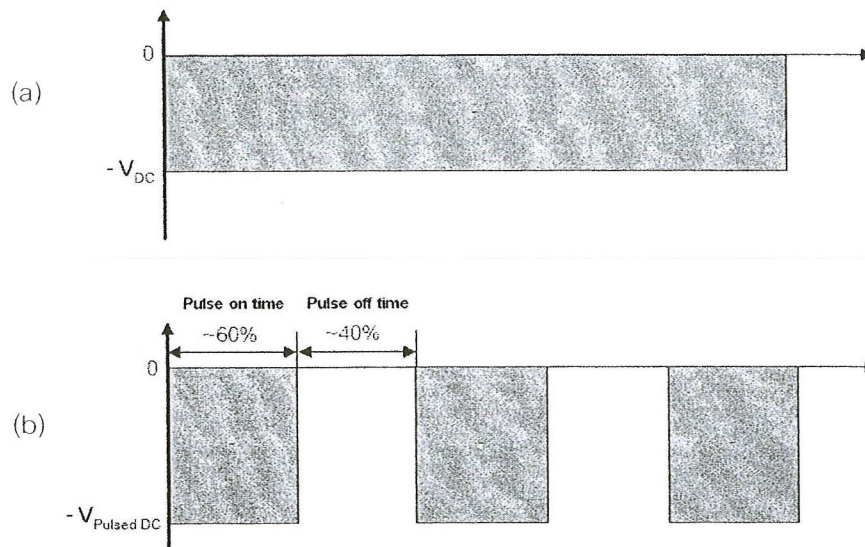


Figure 1. Schematic diagram of the sputtering power for (a) Smooth DC and (b) Pulsed DC.

การวิจัยนี้เริ่มจากการจัดเตรียมวัสดุอุปกรณ์สำหรับการเคลือบฟิล์มบางอินเดียมทินออกไซด์เพื่อหาเงื่อนไขที่เหมาะสมสำหรับการเตรียมฟิล์มที่อุณหภูมิต่ำ ด้วยวิธี แมกนีตรอน สเปคโตรริง แบบ ดีซี และดีซี พัลส์ โดยศึกษาสมบัติของฟิล์มเทียบกับกำลังไฟฟ้าและเวลาที่ใช้เคลือบฟิล์ม โดยมีรายละเอียดดังนี้

วัสดุและอุปกรณ์

1. เป้าอินเดียมทินออกไซด์บริสุทธิ์ 99.99% (ประกอบด้วย 90 wt% In_2O_3 และ 10 wt% SnO_2) ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 3 นิ้ว หนา 0.25 นิ้ว
2. กระจกใส (Glass slide) ขนาด $2.6 \times 7.6 \times 0.1 \text{ cm}^3$
3. ก๊าซอาร์กอนบริสุทธิ์ 99.99% และก๊าซออกซิเจนบริสุทธิ์ 99.7%
4. เครื่องอัลตราโซนิกส์
5. เครื่องเคลือบฟิล์มบางแบบ ดีซี และ ดีซี พัลส์ แมกนีตรอน สเปคโตรริง (ภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี)
6. เครื่องวิเคราะห์สมบัติของฟิล์มบาง ได้แก่ เครื่องวิเคราะห์สมบัติทางแสง (สเปกโตรโฟโตมิเตอร์, Spectrophotometer) เครื่องวิเคราะห์สมบัติทางโครงสร้าง (เอ็กซ์เรย์ดิฟแฟรคโตมิเตอร์, X-ray diffractometer (XRD)) และเครื่องทดสอบสมบัติทางไฟฟ้า (Four point probe)

วิธีการทดลอง

1. ล้างกระจกใสด้วยอะซิโตนและน้ำ DI (De-ionized water) โดยใช้เครื่องอัลตราโซนิกส์อย่างละ 30 นาที ตามลำดับ
2. เคลือบฟิล์มบางอินเดียมทินออกไซด์ด้วยเครื่อง แมกนีตรอน สเปคโตรริง โดยเปรียบเทียบกันระหว่างแหล่งกำเนิดแบบ ดีซี และ ดีซี พัลส์ ที่กำลังไฟฟ้า 25 30 และ 40 วัตต์ ด้วยเวลาการเคลือบฟิล์มค่าต่าง ๆ 100 ถึง 800 วินาที ลงบนกระจกใสและทำการวัดค่าของอุณหภูมิกระจก กระแสพลาสมา และความต่าง

ศักย์ไฟฟ้าที่เป่าดังรูปที่ 2 แสดงแผนภาพภายในห้องเคลือบฟิล์ม โดยมีอัตราการป้อนก๊าซอาร์กอนและออกซิเจนที่ 50 และ 0.5 sccm (Standard cubic centimeter per minute) ตามลำดับ ซึ่งควบคุมด้วย Mass flow transducer ในการทดลองจะให้ความดันพื้นฐาน (Base pressure) ภายในห้องเคลือบต่ำลงไปที่ 6×10^{-6} มิลลิบาร์ ด้วยระบบปั๊ม 2 ตัว (Turbo-molecular และ Rotary pump) และความดันขณะเคลือบ (Operate pressure) ที่ความดันประมาณ 3×10^{-3} มิลลิบาร์

3. ศึกษาอิทธิพลของกำลังไฟฟ้าแบบ ดีซี และ ดีซี พัลส์ ต่อสมบัติของฟิล์มและเงื่อนไขของตัวแปรที่เกิดขึ้นระหว่างการเคลือบฟิล์ม ได้แก่ กระแสพลาสมาที่เกิดขึ้นระหว่างการเคลือบฟิล์ม ความต่างศักย์ไฟฟ้าที่เป่าสารเคลือบ และอุณหภูมิของแผ่นกระจกรองรับการเคลือบฟิล์ม
4. เลือกเงื่อนไขที่เหมาะสมของกำลังไฟฟ้าโดยพิจารณาจากข้อมูลของอุณหภูมิวัสดุรองรับที่ต่ำแล้วศึกษาอิทธิพลของเวลาที่ใช้ในการเคลือบฟิล์ม ทดสอบสมบัติทางแสง ทางโครงสร้าง และทางไฟฟ้า ของฟิล์มอินเดียมทินออกไซด์
5. วิเคราะห์และสรุปผลการวิจัย

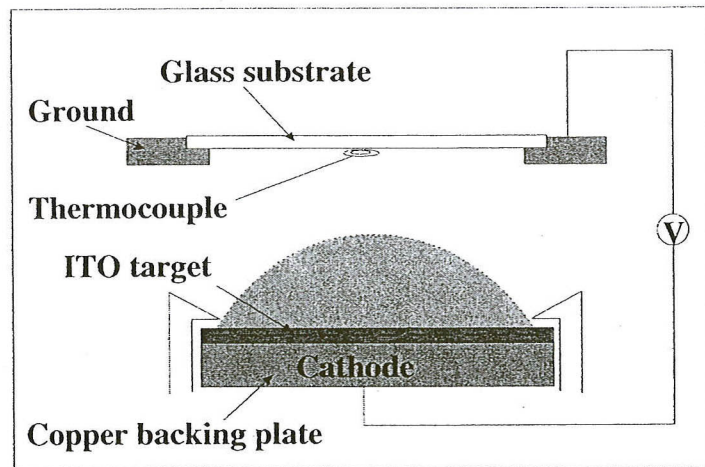


Figure 2. Schematic side view of sputtering process.

ผลการทดลอง

อิทธิพลของกำลังไฟฟ้าระหว่างการเคลือบฟิล์ม

รูปที่ 3 แสดงความต่างศักย์ไฟฟ้าที่เป่าสารเคลือบระหว่างการเคลือบฟิล์มแบบ ดีซี และ ดีซี พัลส์ พบว่าค่าความต่างศักย์ไฟฟ้าที่เป่าสารเคลือบของการเคลือบฟิล์มแบบ ดีซี มีค่าต่ำกว่าแบบ ดีซี พัลส์ ซึ่งมีค่าแตกต่างกันในช่วง 160-170 โวลต์ ซึ่งค่ากระแสที่เกิดขึ้นระหว่างกระบวนการเคลือบฟิล์มแบบ ดีซี จะมีค่าต่ำกว่า แบบ ดีซี พัลส์ เนื่องจากได้ทำการควบคุมให้กำลังไฟฟ้ามีค่าคงที่ อย่างไรก็ตามกำลังไฟฟ้าที่จ่ายให้กับเป่าสารเคลือบที่สูงขึ้นส่งผลให้ค่าความต่างศักย์ไฟฟ้าต่ำลง (เป็นลบมากขึ้น) และกระแสพลาสมาสูงขึ้นสำหรับการเคลือบฟิล์มทั้ง 2 แบบ ในการเคลือบฟิล์ม แบบ ดีซี พัลส์ โดยมีการจ่ายไฟฟ้าแบบ Pulse on time และ Pulse off time จะส่งผลให้การฟอร์มออกไซด์ที่ผิวเป่าสารเคลือบลดลงทำให้เกิดกระแสพลาสมาได้สูงขึ้น ส่งผลให้ศักย์ไฟฟ้าที่เป่าสารเคลือบมีค่าต่ำกว่าการเคลือบแบบ ดีซี ซึ่งโดยปกติในการเตรียมฟิล์มบางด้วยกระบวนการสปัตเตอริงแบบ ดีซี นั้นเมื่อมีการป้อนก๊าซ

ออกซิเจนเข้าไปในระบบ ก๊าซออกซิเจนสามารถแตกตัวเป็นไอออนซึ่งเป็นก๊าซที่ไวต่อปฏิกิริยาและสามารถฟอร์มตัวกับอะตอมของสารเคลือบเป็นฟิล์มออกไซด์บนวัสดุรองรับตามต้องการ แต่ในขณะเดียวกันก็สามารถเข้าทำปฏิกิริยากับเป่าสารเคลือบและเกิดเป็นชั้นออกไซด์ที่ผิวเป่าซึ่งเรียกว่า Target poisoning ทำให้เป่าสารเคลือบมีความต้านทานเพิ่มขึ้น นั่นคือกระแสจะลดลงและศักย์ไฟฟ้าที่เป่าสารเคลือบจะสูงขึ้น ซึ่งแสดงดังรูปที่ 3 และรูปที่ 4 ผลที่ได้นี้มีความสอดคล้องกับรายงานการวิจัยก่อนหน้า (Aiempakit *et al.*, 2009) ของการเคลือบฟิล์มอินเดียมทินออกไซด์แบบต่อเนื่องและไม่ต่อเนื่อง

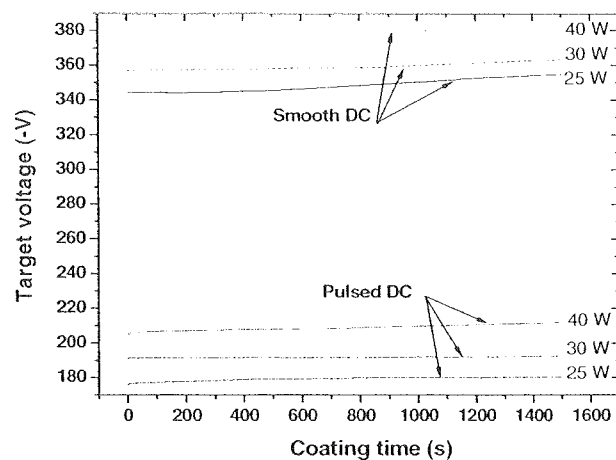


Figure 3. Target voltages as a function of coating time at sputtering power of 25, 30 and 40 W between smooth DC and pulsed DC.

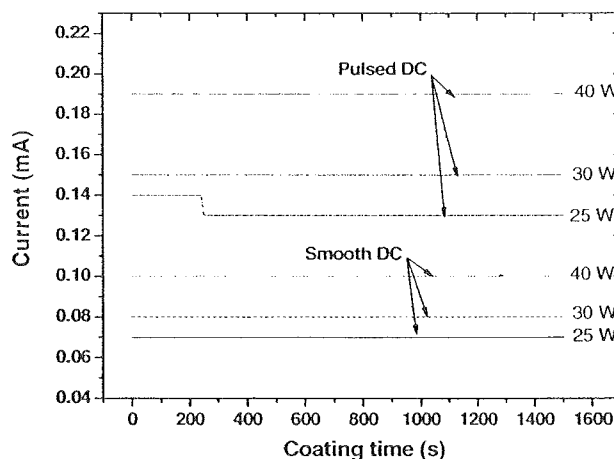


Figure 4. Plasma current as a function of coating time at sputtering power of 25, 30 and 40 W between smooth DC and pulsed DC.

รูปที่ 5 แสดงอุณหภูมิของกระจกที่ใช้เป็นวัสดุรองรับการเคลือบฟิล์ม ผลที่ได้แสดงให้เห็นว่าการเคลือบฟิล์มที่จ่ายกำลังไฟฟ้าให้กับขั้วแคโทดแบบ ดีซี พัลส์ จะให้ค่าอุณหภูมิของวัสดุรองรับที่ต่ำกว่าการเคลือบฟิล์มแบบ ดีซี เนื่องจากพลังงานที่ถ่ายเทจากสปีดเตอร์อะตอมมาที่วัสดุรองรับจะไม่มีต่อเนื่องเหมือนกับการเคลือบฟิล์มแบบ ดีซี และประกอบกับผลของค่าความต่างศักย์ไฟฟ้าเฉลี่ยที่เป่าสารเคลือบมีค่าต่างกันถึง 160-170 โวลต์ ซึ่งส่งผลต่อค่าของสนามไฟฟ้าที่ใช้เร่งอาร์กอนไอออนสำหรับวิ่งเข้าชนอะตอมของเป่าสารเคลือบ นั่นคือ ส่งผลต่อพลังงานของสปีดเตอร์อะตอมและอุณหภูมิของวัสดุรองรับ ดังนั้นการเคลือบแบบ ดีซี พัลส์ จึงเหมาะสำหรับใช้

เคลือบฟิล์มลงบนวัสดุที่ทนความร้อนได้ไม่มาก อย่างไรก็ตามกำลังไฟฟ้าที่ป้อนให้แก่ขั้วแคโทดที่เพิ่มขึ้นก็จะส่งผลให้อุณหภูมิของวัสดุรองรับเพิ่มสูงขึ้นตาม

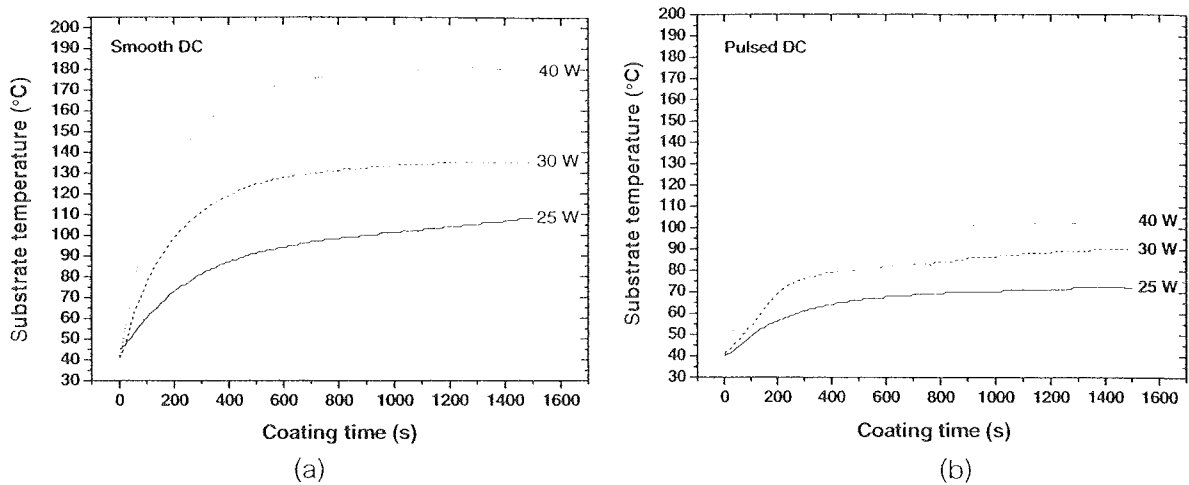


Figure 5. Substrate temperature as a function of coating time at the sputtering power of 25, 30 and 40 W for (a) Smooth DC and (b) Pulsed DC.

การศึกษาอิทธิพลของเวลาที่ใช้ในการเคลือบฟิล์ม

ในการศึกษาอิทธิพลของเวลาที่ใช้ในการเคลือบฟิล์มอินเดียมทินออกไซด์นั้นจะเลือกใช้เงื่อนไขของกำลังไฟฟ้าต่ำสุดคือที่ 25 วัตต์ ของการเคลือบแบบ ดีซี และ ดีซี พัลส์ ซึ่งในการวิจัยได้ทดลองจ่ายกำลังไฟฟ้าที่ต่ำกว่าค่านี้แต่ไม่สามารถเคลือบฟิล์มได้เนื่องจากพลังงานไม่พอที่จะสร้างสภาวะโกลด์ดิซชาร์จ (Grow discharge) ได้ ทั้งนี้ได้ทำการเตรียมฟิล์มที่เวลาต่าง ๆ กัน หลังจากนั้นนำฟิล์มที่ได้ไปวิเคราะห์สมบัติต่าง ๆ ต่อไป รูปที่ 6 แสดงค่าการส่งผ่านแสงของฟิล์มอินเดียมทินออกไซด์พบว่าเมื่อเวลาในการเคลือบฟิล์มเพิ่มขึ้นค่าการส่งผ่านแสงจะลดต่ำลง ดังรูปที่ 6 (a) ที่เวลาการเคลือบฟิล์ม 400 วินาที จะเริ่มเกิดพีคการแทรกสอดของแสงขึ้นที่ความยาวคลื่นประมาณ 400 นาโนเมตร ซึ่งลักษณะดังกล่าวจะคล้ายคลึงกันกับกรณีรูปที่ 6 (b) ที่เวลาการเคลือบฟิล์ม 800 วินาที ลักษณะที่เกิดขึ้นเป็นอิทธิพลจากความหนาฟิล์มโดยถ้าฟิล์มมีความหนาเพิ่มขึ้นก็จะเกิดพีคการแทรกสอดของแสงชัดเจนขึ้น และมีจำนวนเพิ่มมากขึ้น (Swanepoel, 1983)

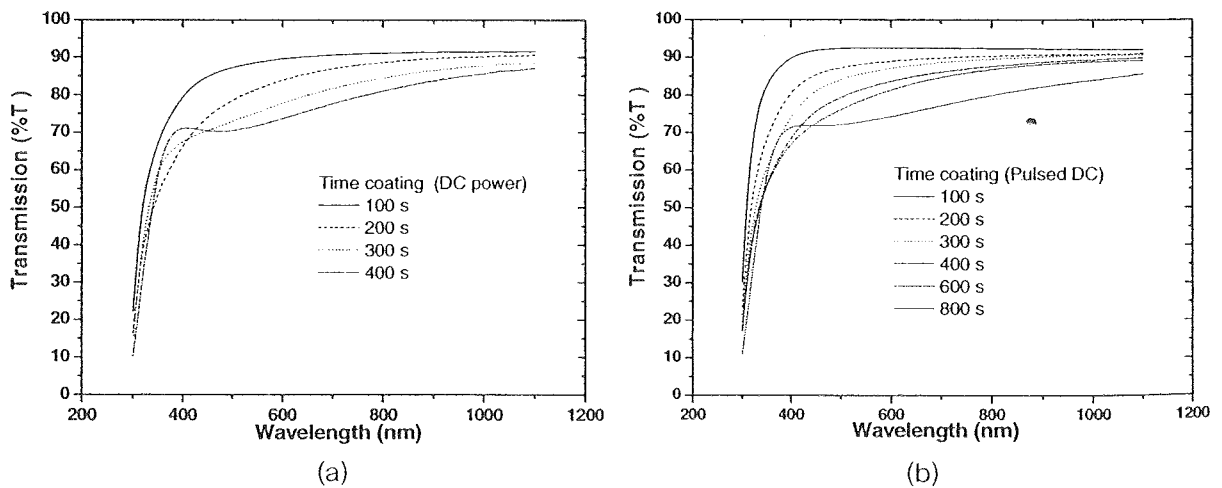


Figure 6. Optical transmission of ITO films with varying time coating at sputtering power of 25 W between (a) smooth DC and (b) Pulsed DC.

ดังนั้นการเคลือบฟิล์มแบบ ดีซี พัลส์ จะให้อัตราการเคลือบฟิล์มที่ต่ำกว่าการเคลือบฟิล์มแบบ ดีซี ซึ่งแตกต่างกันประมาณเท่าตัว โดยดูจากเวลาที่ใช้เคลือบต้องมากกว่าเท่าตัวจึงจะได้ลักษณะฟิสิกการแทรกสอดคลื่นแสงที่เหมือนกัน เหตุผลดังกล่าวนี้มีความสอดคล้องกับอุณหภูมิของวัสดุรองรับเพราะถ้าอัตราการเคลือบฟิล์มสูงซึ่งเป็นแบบ ดีซี แสดงว่าสปีดเตออร์อะตอมที่ตกเคลือบมีจำนวนมากกว่าในช่วงเวลาเท่ากันเมื่อเทียบกับแบบ ดีซี พัลส์ ทำให้อุณหภูมิที่สะสมบนวัสดุรองรับมีค่าสูงขึ้นอย่างรวดเร็วและมีความมากกว่า

รูปที่ 7 แสดงผลการวิเคราะห์โครงสร้างด้วยเครื่องเอกซเรย์ดิฟแฟร็กโตรมิเตอร์ของฟิล์มอินเดียมทินออกไซด์ที่เคลือบแบบ ดีซี และ ดีซี พัลส์ ด้วยเวลาการเคลือบ 400 และ 800 วินาที ตามลำดับ ผลที่ได้แสดงให้เห็นว่าฟิล์มทั้ง 2 เจือปนด้วยความหนาใกล้เคียงกันมีโครงสร้างแบบอสัณฐาน (Amorphous structure) เนื่องจากฟิล์มที่เคลือบมีความหนาแน่นเกินไปที่จะทำการวิเคราะห์โครงสร้างแบบผลึกได้ประกอบกับกำลังงานที่ใช้ในการเคลือบฟิล์มมีค่าต่ำเกินไปคือ 25 วัตต์ ทำให้ฟิล์มมีการฟอร์มตัวเป็นผลึกได้ยาก

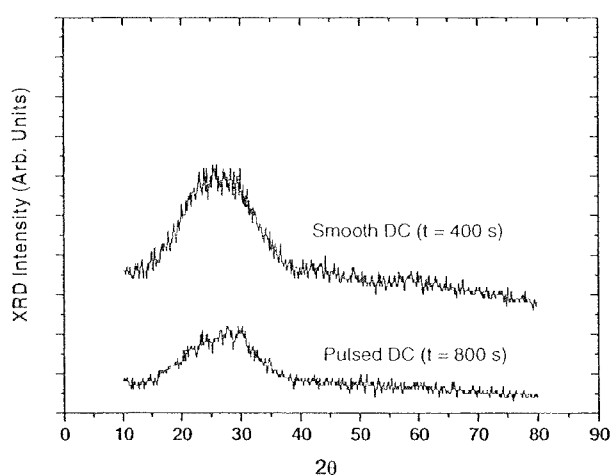


Figure 7. XRD spectra of ITO films for smooth DC at time coating of 400 s and pulsed DC at time coating of 800 s at the same power of 25 W.

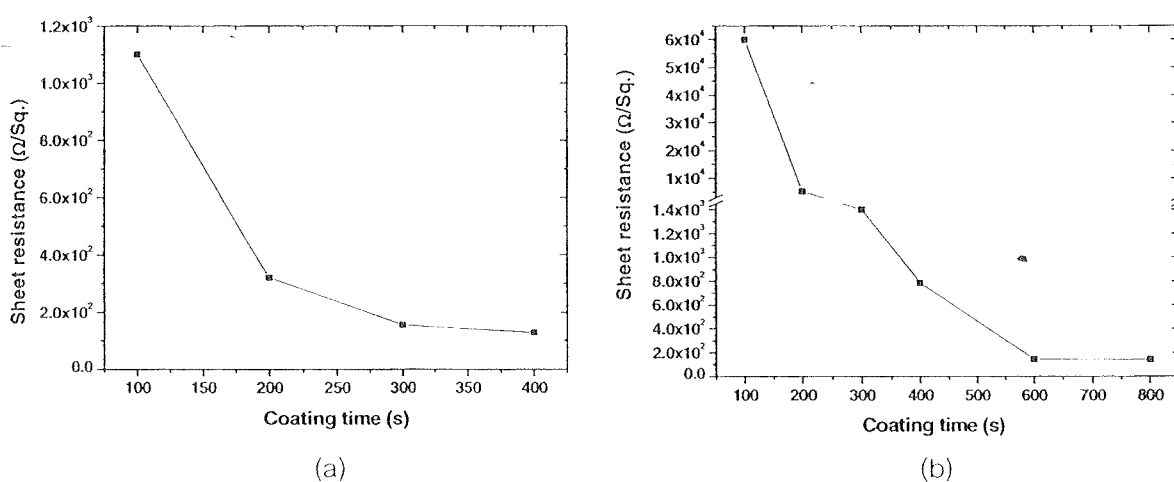


Figure 8. Sheet resistance of ITO films as a function of coating time for (a) Smooth DC and (b) Pulsed DC at the same power of 25 W.

รูปที่ 8 แสดงผลการวิเคราะห์สมบัติทางไฟฟ้า พบว่าฟิล์มอินเดียมทินออกไซด์ที่เคลือบด้วยเงินไซ ดีซี และ ดีซี พัลส์ ที่กำลังไฟฟ้า 25 วัตต์ เมื่อความหนาของฟิล์มเพิ่มขึ้น (ดูจากเวลาที่ใช้เคลือบเพิ่มขึ้น) ค่าความต้านทานเชิงแผ่นมีค่าลดลง ซึ่งสอดคล้องกับผลของ Kim และคณะกับ Hao และคณะ (Kim. *et al.*, 2003; Hao. *et al.*, 2008) แต่เมื่อเปรียบเทียบฟิล์มอินเดียมทินออกไซด์ระหว่างที่เคลือบด้วยเงินไซ ดีซี และ ดีซี พัลส์ พบว่าความต้านทานเชิงแผ่นของฟิล์มอินเดียมทินออกไซด์ที่เตรียมโดยวิธี ดีซี มีค่าต่ำกว่าฟิล์มอินเดียมทินออกไซด์ที่เตรียมโดยวิธี ดีซี พัลส์ เป็นผลเนื่องมาจากความหนาของฟิล์มทินออกไซด์ที่เตรียมโดยวิธี ดีซี มีค่ามากกว่าที่เตรียมโดยวิธี ดีซี พัลส์ แต่ถ้าพิจารณาที่ความหนาฟิล์มใกล้เคียงกัน คือที่การเคลือบฟิล์มแบบ ดีซี และ ดีซี พัลส์ ด้วยเวลาการเคลือบฟิล์ม 400 และ 800 วินาที ตามลำดับ พบว่าค่าความต้านทานเชิงแผ่นของฟิล์มจะมีค่าใกล้เคียงกัน คือมีค่าเท่ากับ 129 และ 140 Ω/Sq . ตามลำดับ

สรุป

จากการศึกษาการเตรียมฟิล์มบางอินเดียมทินออกไซด์ที่เคลือบโดยวิธี ดีซี และ ดีซี พัลส์ พบว่าการเคลือบฟิล์มที่จ่ายกำลังไฟฟ้าให้กับขั้วแคโทดแบบ ดีซี พัลส์ จะทำให้ค่าอนุกรมของวัสดุรองรับต่ำกว่าการเคลือบฟิล์มแบบ ดีซี โดยมีอัตราการเคลือบฟิล์มที่ต่ำกว่าซึ่งดูจากลักษณะฟิสิกการแทรกสอดของคลื่นแสง ค่าความต้านทานเชิงแผ่นมีค่าลดลงด้วยเมื่อเวลาที่ใช้เคลือบฟิล์มเพิ่มขึ้นของการเคลือบฟิล์มทั้ง 2 วิธี และมีค่าใกล้เคียงกันเมื่อความหนาของฟิล์มใกล้เคียงกัน ดังนั้นในการเตรียมฟิล์มอินเดียมทินออกไซด์ลงบนวัสดุรองรับที่ทนความร้อนได้ไม่สูงนัก การเคลือบฟิล์มแบบ ดีซี พัลส์ จึงมีความเหมาะสมกว่าการเคลือบฟิล์มแบบ ดีซี แต่จะให้อัตราการเคลือบฟิล์มที่ต่ำกว่า

กิตติกรรมประกาศ

คณะผู้วิจัยขอขอบคุณ ภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี ที่ให้ความอนุเคราะห์ในการใช้เครื่องเคลือบฟิล์มบาง ขอขอบคุณ ภาควิชาฟิสิกส์และภาควิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีสิ่งทอ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ และขอขอบคุณศูนย์เทคโนโลยีอิเล็กทรอนิกส์และคอมพิวเตอร์แห่งชาติ (NECTEC) ที่ให้ความอนุเคราะห์ในการใช้เครื่องสำหรับวิเคราะห์สมบัติฟิล์มบาง สุดทำยขอขอบคุณ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคล รัตนบุรี ที่ให้การสนับสนุนทุนวิจัย งบประมาณแผ่นดิน ประจำปี พ.ศ. 2553 สำหรับการวิจัยในครั้งนี้

เอกสารอ้างอิง

- Chung, C.-H., Ko, Y.-W., Kim, Y.-H., Sohn, C.-Y., Chu, H.Y., Park, S.-H.K. and Lee, J.H. 2005. Radio Frequency Magnetron Sputter-Deposited Indium Tin Oxide for Use as a Cathode in Transparent Organic Light-Emitting Diode. *Thin Solid Films*. 491: 294-297.
- Hino, T., Ogawa, Y. and Kuramoto, N. 2006. Preparation of Functionalized and non-Functionalized Fullerene Thin Films on ITO Glasses and the Application to a Counter Electrode in a Dye-Sensitized Solar Cell. *Carbon*. 44: 880-887.

- Pinheiro, C., Parola, A.J., Pina, F., Fonseca, J. and Freire, C. 2008. Electrocolorimetry of Electrochromic Materials on Flexible ITO Electrodes. *Solar Energy Materials and Solar Cells*. 92: 980-985.
- Kim, D. and Kim S. 2003. AFM Observation of ITO Thin Films Deposited on Polycarbonate Substrates by Sputter Type Negative Metal Ion Source. *Surface and Coatings Technology*. 176: 23-29.
- Hao, L., Diao, X., Xu, H., Gu, B. and Wang, T. 2008. Thickness Dependence of Structural, Electrical and Optical Properties of Indium Tin Oxide (ITO) Films Deposited on PET Substrates. *Applied Surface Science*. 254: 3504-3508.
- Jung, Y.S., Lee, D.W. and Jeon, D.Y. 2004. Influence of DC Magnetron Sputtering Parameters on Surface Morphology of Indium Tin Oxide Thin Films. *Applied Surface Science*. 221: 136-142.
- Zhao, L., Zhao, Z., Peng, H. and Cui, R. 2005. Indium Tin Oxide Thin Films by Bias Magnetron RF Sputtering for Heterojunction Solar Cells Application. *Applied Surface Science*. 252: 385-392.
- Hoshi, Y., Kato, H.-O. and Funatsu, K. 2003. Structure and Electrical Properties of ITO Thin Films Deposited at High Rate by Facing Target Sputtering. *Thin Solid Films*. 445: 245-250.
- Kim, J.-H., Lee, J.-H., Heo, Y.-W., Kim, J.-J. and Park, J.-O. 2007. Effects of Oxygen Partial Pressure on the Preferential Orientation and Surface Morphology of ITO Films Grown by RF Magnetron Sputtering. *Journal Electroceramics*. 19: 1-6.
- Lin, Y.C., Li, J.Y. and Yen, W.T. 2008. Low Temperature ITO Thin Film Deposition on PES Substrate Using Pulse Magnetron Sputtering. *Applied Surface Science*. 254: 3262-3268.
- Aiempanakit, K., Rakkwamsuk, P. and Dumrongrattana, S. 2009. Influence of Continuous and Discontinuous Depositions on Properties of ITO Films Prepared by DC Magnetron Sputtering. *Modern Physics Letters B*. 23 (26): 3157-3170.
- Swanepoel, R. 1983. Determination of the Thickness and Optical Constants of Amorphous Silicon. *J. Phys. E: Sci. Instrum.* 16: 1214-1222.

