

การเตรียมฟิล์มบางอินเดียมทินออกไซด์ลงบนวัสดุรองรับที่อุณหภูมิต่ำโดยวิธี ดีซี พัลส์ แมกนีตรอน สปีดเตอริง

ฉันทนา สาละวัน ณัฐรดา สดาวร และ กิติพัฒน์ อนุรักษ์ฐานนท์
Chantana Salawan, Natrada Satavorn and Kitipat Anurakruenon

คำนำ

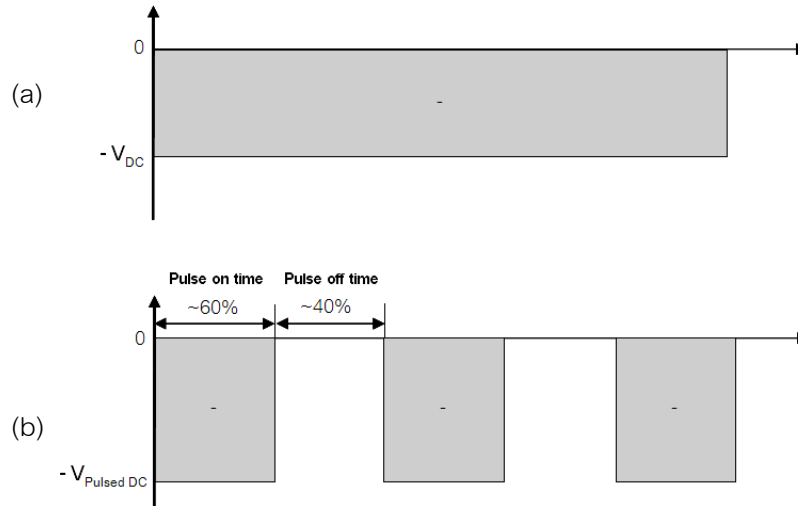
ฟิล์มบางอินเดียมทินออกไซด์ถูกนำมาใช้ประโยชน์มากมาย เช่น เป็นขั้วไฟฟ้าโปร่งแสงสำหรับจอภาพแสดงผล (Chung. *et al.*, 2005) เซลล์แสงอาทิตย์ (Hino. *et al.*, 2006) อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ (Pinheiro. *et al.*, 2008) และอื่น ๆ มากมาย โดยฟิล์มที่ดีจะต้องมีค่าสภาพต้านทานไฟฟ้าที่ต่ำ ในการประยุกต์ใช้ฟิล์มบางอินเดียมทินออกไซด์ที่เตรียมลงบนแผ่นกระจกนั้นมีความยุ่งยากต่อการเคลื่อนย้าย 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 และในการเตรียมฟิล์มบางนั้น บางเทคนิคจะทำให้เกิดความร้อนบนวัสดุรองรับที่อุณหภูมิสูงโดยเฉพาะการเตรียมฟิล์มบางด้วยเทคนิค แมกนีตรอน สปีดเตอริง (Jung. *et al.*, 2004; Zhao. *et al.*, 2005; Chung. *et al.*, 2005) เนื่องจากทำให้ฟิล์มที่เตรียมได้มีความบริสุทธิ์สูง ไม่เกิดสารตกค้างที่เป็นพิษ และมีการยึดเกาะกับวัสดุรองรับที่ดี

ในงานวิจัยนี้ผู้วิจัยมุ่งเน้นที่จะทำการศึกษาเทคนิคการเคลือบฟิล์มบางอินเดียมทินออกไซด์ด้วยเทคนิคแมกนีตรอน สปีดเตอริง แบบ ดีซี พัลส์ และ ดีซี เพื่อศึกษาอิทธิพลของกำลังไฟฟ้า เวลาที่ใช้ในการเคลือบฟิล์มต่อสมบัติต่าง ๆ ของฟิล์มโดยเฉพาะสมบัติทางไฟฟ้าและอุณหภูมิของวัสดุรองรับที่เกิดขึ้น เพื่อหาเงื่อนไขที่เหมาะสมสำหรับนำไปใช้ในการเตรียมฟิล์มลงบนวัสดุที่มีน้ำหนักเบา มีความยืดหยุ่น (Flexible) แต่ทนความร้อนได้ไม่มาก เช่น พลาสติก

ขั้นตอนการทดลอง

การเคลือบฟิล์มบางอินเดียมทินออกไซด์ด้วยวิธีสปีดเตอริงนั้น 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 น้ำหนักเบาสามารถโค้งงอได้ มีความโปร่งแสงสูง เช่น แผ่นพลาสติกใสหรือวัสดุอื่น ๆ นั้น ในการเคลือบจะต้องทำการหาเงื่อนไขที่เหมาะสมโดยไม่ทำให้วัสดุรองรับนั้นเกิดความเสียหายหรือบิดงอ โดยสิ่งสำคัญที่สุดอย่างหนึ่งก็คือ ความร้อนที่เกิดขึ้นบนวัสดุรองรับซึ่งเกิดจากการถ่ายเทพลังงานของสปีดเตอริงอะตอมสู่วัสดุรองรับ ในการศึกษาอิทธิพลของกำลังไฟฟ้าต่ออุณหภูมิที่เกิดขึ้นบนวัสดุรองรับนี้จะใช้แผ่นกระจกเนื่องจากทนอุณหภูมิได้สูง (ประมาณ 500°C) และทำการวัดค่าความต่างศักย์ไฟฟ้าบนเป้าสารเคลือบ (Target voltage) กระแส

พลาสมา (Plasma current) ที่เกิดขึ้นระหว่างการเคลือบฟิล์มโดยแยกพิจารณาการเคลือบฟิล์มด้วยแหล่งจ่ายไฟฟ้า 2 แบบ คือ ดีซี (Smooth DC) ดังรูปที่ 1 (a) และ ดีซี พัลส์ (Pulsed DC) ดังรูปที่ 1 (b) ด้วยความกว้างพัลส์ (Pulse width) ของศักย์ไฟฟ้าลบที่ช่วงเวลา 5984 ns (Pulse on time) หรือประมาณ 60% และที่ความกว้างพัลส์ศักย์ไฟฟ้าเป็นศูนย์ (Ground) ที่ช่วงเวลา 4016 ns (Pulse off time) หรือประมาณ 40% ด้วยความถี่พัลส์ (Pulse frequency) ที่ 100 กิโลเฮิร์ต



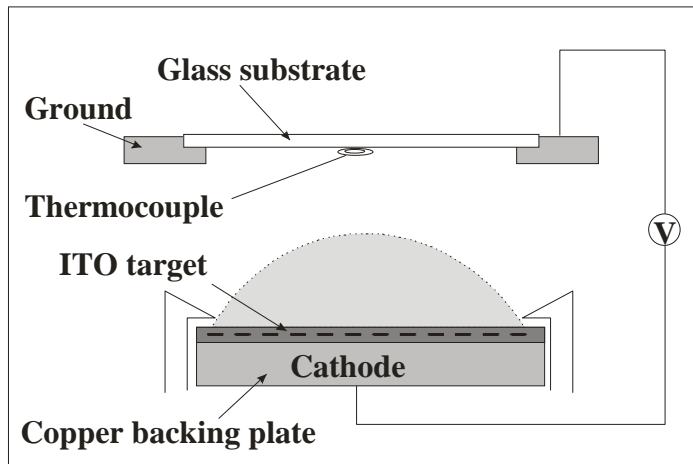
รูปที่ 1. แผนภาพกำลังไฟฟ้าแหล่งกำเนิดสปีดเตอรแบบ (a) ดีซี และ (b) ดีซี พัลส์

การวิจัยนี้เริ่มจากการจัดเตรียมวัสดุอุปกรณ์สำหรับการเคลือบฟิล์มบางอินเดียมทินออกไซด์เพื่อหาเงื่อนไขที่เหมาะสมสำหรับการเตรียมฟิล์มที่อุณหภูมิต่ำ ด้วยวิธี แมกนีตรอน สปีดเตอรแบบ ดีซี และดีซี พัลส์ โดยศึกษาสมบัติของฟิล์มเทียบกับกำลังไฟฟ้าและเวลาที่ใช้เคลือบฟิล์ม โดยมีรายละเอียดดังนี้

1. เคลือบฟิล์มบางอินเดียมทินออกไซด์ด้วยเครื่อง แมกนีตรอน สปีดเตอรแบบ โดยเปรียบเทียบกันระหว่างแหล่งกำเนิดแบบ ดีซี และ ดีซี พัลส์ ที่กำลังไฟฟ้า 25 30 และ 40 วัตต์ ด้วยเวลาการเคลือบฟิล์มค่าต่าง ๆ 100 ถึง 800 วินาที จากเป้าอินเดียมทินออกไซด์บริสุทธิ์ 99.99% (ประกอบด้วย 90 wt% In_2O_3 และ 10 wt% SnO_2) ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 3 นิ้ว หนา 0.25 นิ้ว ลงบนกระจกใสและทำการวัดค่าของอุณหภูมิกระจก กระแสพลาสมา และความต่างศักย์ไฟฟ้าที่เป้า ดังรูปที่ 2 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

2. ศึกษาอิทธิพลของกำลังไฟฟ้าแบบ ดีซี และ ดีซี พัลส์ ต่อสมบัติของฟิล์มและเงื่อนไขของตัวแปรที่เกิดขึ้นระหว่างการเคลือบฟิล์ม ได้แก่ กระแสพลาสมาที่เกิดขึ้นระหว่างการเคลือบฟิล์ม ความต่างศักย์ไฟฟ้าที่เป้าสารเคลือบ และอุณหภูมิของแผ่นกระจกรองรับการเคลือบฟิล์ม

3. เลือกเงื่อนไขที่เหมาะสมของกำลังไฟฟ้าโดยพิจารณาจากข้อมูลของอุณหภูมิวัสดุรองรับที่ต่ำแล้ว ศึกษาอิทธิพลของเวลาที่ใช้ในการเคลือบฟิล์ม ทดสอบสมบัติทางแสง ทางโครงสร้าง และทางไฟฟ้า ของฟิล์มอินเดียมทินออกไซด์ วิเคราะห์และสรุปผลการวิจัย



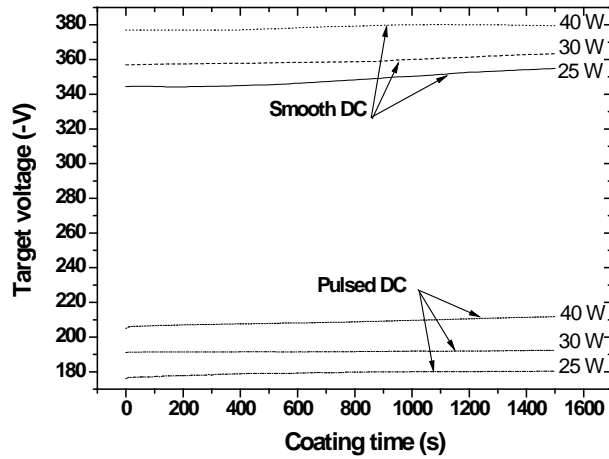
รูปที่ 2. แผนภาพของอุปกรณ์ระหว่างกระบวนการเคลือบ

ผลการทดลอง

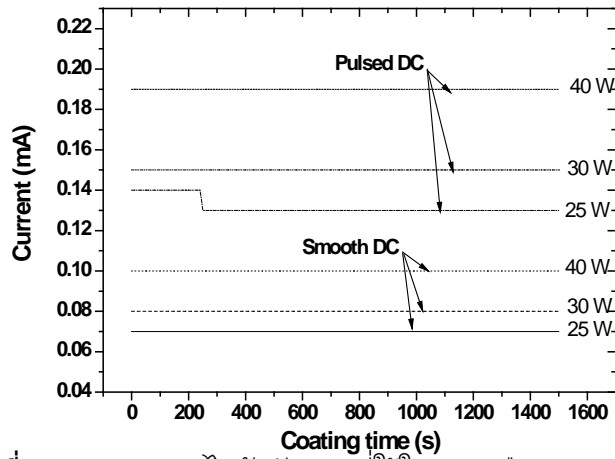
1. อิทธิพลของกำลังไฟฟ้าระหว่างการเคลือบฟิล์ม

รูปที่ 3 แสดงความต่างศักย์ไฟฟ้าที่เป้าสารเคลือบระหว่างการเคลือบฟิล์มแบบ ดีซี และ ดีซี พัลส์ พบว่าค่าความต่างศักย์ไฟฟ้าที่เป้าสารเคลือบของการเคลือบฟิล์มแบบ ดีซี มีค่าต่ำกว่าแบบ ดีซี พัลส์ ซึ่งมีค่าแตกต่างกันในช่วง 160–170 โวลต์ ซึ่งค่ากระแสที่เกิดขึ้นระหว่างกระบวนการเคลือบฟิล์มแบบ ดีซี จะมีค่าต่ำกว่าแบบ ดีซี พัลส์ เนื่องจากได้ทำการควบคุมให้กำลังไฟฟ้ามีค่าคงที่ อย่างไรก็ตามกำลังไฟฟ้าที่จ่ายให้กับเป้าสารเคลือบที่สูงขึ้นส่งผลให้ค่าความต่างศักย์ไฟฟ้าต่ำลง (เป็นลบมากขึ้น) และกระแสพลาสมาสูงขึ้นสำหรับการเคลือบฟิล์มทั้ง 2 แบบ ในการเคลือบฟิล์มแบบ ดีซี พัลส์ โดยมีการจ่ายไฟฟ้าแบบ Pulse on time และ Pulse off time จะส่งผลให้การฟอร์มออกไซด์ที่ผิวเป้าสารเคลือบลดลงทำให้เกิดกระแสพลาสมาได้สูงขึ้น ส่งผลให้ค่าความต่างศักย์ไฟฟ้าที่เป้าสารเคลือบมีค่าต่ำกว่าการเคลือบแบบ ดีซี ซึ่งโดยปกติในการเตรียมฟิล์มบางด้วยกระบวนการสปัตเตอร์แบบ ดีซี นั้นเมื่อมีการป้อนก๊าซออกซิเจนเข้าในระบบ ก๊าซออกซิเจนสามารถแตกตัวเป็นไอออนซึ่งเป็นก๊าซที่ไวต่อปฏิกิริยาและสามารถฟอร์มตัวกับอะตอมของสารเคลือบเป็นฟิล์มออกไซด์บนวัสดุรองรับตามต้องการ แต่ในขณะเดียวกันก็สามารถเข้าทำปฏิกิริยากับเป้าสารเคลือบและเกิดเป็นชั้นออกไซด์ที่ผิวเป้าซึ่งเรียกว่า Target poisoning ทำให้เป้าสารเคลือบมีความต้านทานเพิ่มขึ้น นั่นคือกระแสจะลดลงและค่าความต่างศักย์ไฟฟ้าที่เป้าสารเคลือบจะสูงขึ้น ซึ่งแสดงดังรูปที่ 3 และรูปที่ 4 ผลที่ได้นี้มีความสอดคล้องกับรายงานการวิจัยก่อนหน้า (Aiempanakit *et al.*, 2009) ของการเคลือบฟิล์มอินเดียมทินออกไซด์แบบต่อเนื่องและไม่ต่อเนื่อง

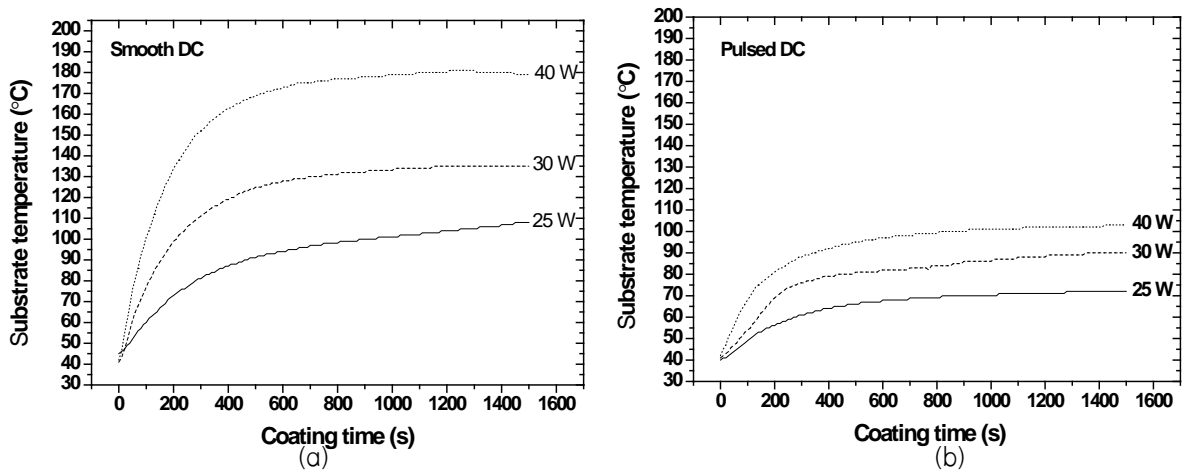
รูปที่ 5 แสดงอุณหภูมิของกระจกที่ใช้เป็นวัสดุรองรับการเคลือบฟิล์ม ผลที่ได้แสดงให้เห็นว่าการเคลือบฟิล์มที่จ่ายกำลังไฟฟ้าให้กับขั้วแคโทดแบบ ดีซี พัลส์ จะให้ค่าอุณหภูมิของวัสดุรองรับที่ต่ำกว่าการเคลือบฟิล์มแบบ ดีซี เนื่องจากพลังงานที่ถ่ายเทจากสปัตเตอร์อะตอมมาที่วัสดุรองรับจะไม่มีต่อเนื่องเหมือนกับการเคลือบฟิล์มแบบ ดีซี และประกอบกับผลของค่าความต่างศักย์ไฟฟ้าเฉลี่ยที่เป้าสารเคลือบมีค่าต่างกันถึง 160–170 โวลต์ ซึ่งส่งผลต่อค่าของสนามไฟฟ้าที่ใช้เร่งอาร์กอนไอออนสำหรับวิ่งเข้าชนอะตอมของเป้าสารเคลือบ นั่นคือ ส่งผลต่อพลังงานของสปัตเตอร์อะตอมและอุณหภูมิของวัสดุรองรับ ดังนั้นการเคลือบแบบ ดีซี พัลส์ จึงเหมาะสำหรับใช้เคลือบฟิล์มลงบนวัสดุที่ทนความร้อนได้ไม่มาก อย่างไรก็ตามกำลังไฟฟ้าที่ป้อนให้แก่ขั้วแคโทดที่เพิ่มขึ้นก็จะส่งผลให้อุณหภูมิของวัสดุรองรับเพิ่มสูงขึ้นตาม



รูปที่ 3. กราฟความต่างศักย์ไฟฟ้าที่เป้าสารเคลือบกับเวลาที่ใช้ในการเคลือบ



รูปที่ 4. กราฟกระแสไฟฟ้ากับเวลาที่ใช้ในการเคลือบ

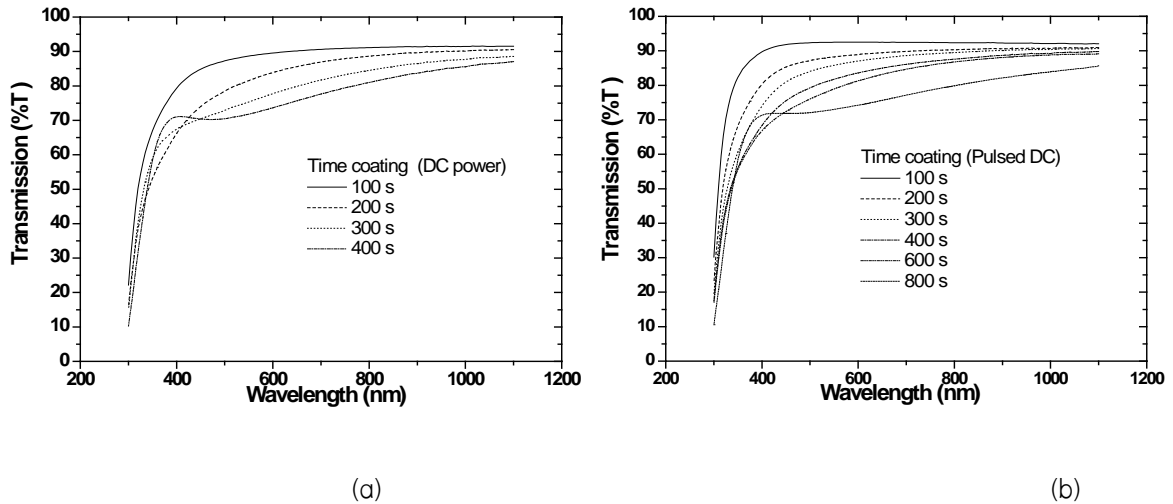


รูปที่ 5. อุณหภูมิของกระจกที่ใช้เป็นวัสดุรองรับการเคลือบฟิล์มกรณี (a) ดีซี และ (b) ดีซี พัลส์

2. การศึกษาอิทธิพลของเวลาที่ใช้ในการเคลือบฟิล์ม

ในการศึกษาอิทธิพลของเวลาที่ใช้ในการเคลือบฟิล์มอินเดียมทินออกไซด์นั้นจะเลือกใช้เงื่อนไขของกำลังไฟฟ้าต่ำสุดคือที่ 25 วัตต์ ของการเคลือบแบบ ดีซี และ ดีซี พัลส์ ซึ่งในการวิจัยได้ทดลองจ่ายกำลังไฟฟ้าที่ต่ำกว่าค่านี้แต่ไม่สามารถเคลือบฟิล์มได้เนื่องจากพลังงานไม่พอที่จะสร้างสภาวะโกลว์ดิซชาร์จ (Grow

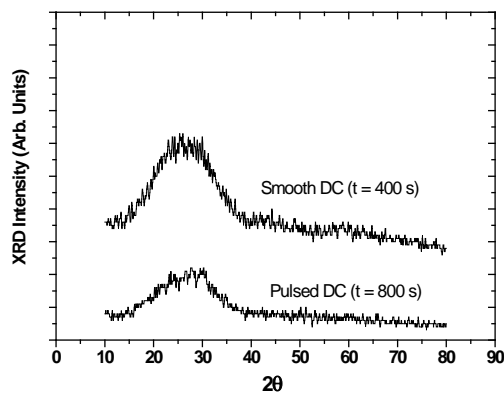
discharge) ได้ ทั้งนี้ได้ทำการเตรียมฟิล์มที่เวลาต่าง ๆ กัน หลังจากนั้นนำฟิล์มที่ได้ไปวิเคราะห์สมบัติต่าง ๆ ต่อไป รูปที่ 6 แสดงค่าการส่งผ่านแสงของฟิล์มอินเดียมทินออกไซด์พบว่าเมื่อเวลาในการเคลือบฟิล์มเพิ่มขึ้นค่าการส่งผ่านแสงจะลดต่ำลงดังรูปที่ 6 (a) ที่เวลาการเคลือบฟิล์ม 400 วินาที จะเริ่มเกิดฟิสิกการแทรกสอดของแสงขึ้นที่ความยาวคลื่นประมาณ 400 นาโนเมตร ซึ่งลักษณะดังกล่าวจะคล้ายคลึงกันกับกรณีรูปที่ 6 (b) ที่เวลาการเคลือบฟิล์ม 800 วินาที ลักษณะที่เกิดขึ้นเป็นอิทธิพลจากความหนาฟิล์มโดยถ้าฟิล์มมีความหนาเพิ่มขึ้นก็จะเกิดฟิสิกการแทรกสอดของแสงชัดเจนขึ้นและมีจำนวนเพิ่มมากขึ้น (Swanepoel, 1983)



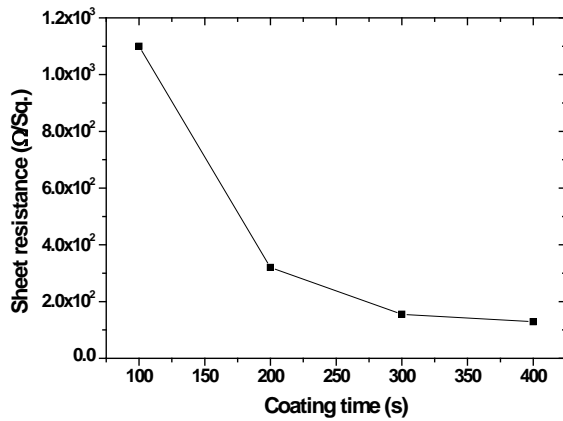
รูปที่ 6. การส่งผ่านแสงของฟิล์มอินเดียมทินออกไซด์กรณี (a) ดีซี และ (b) ดีซี พัลส์

ดังนั้นการเคลือบฟิล์มแบบ ดีซี พัลส์ จะให้อัตราการเคลือบฟิล์มที่ต่ำกว่าการเคลือบฟิล์มแบบ ดีซี ซึ่งแตกต่างกันประมาณเท่าตัว โดยดูจากเวลาที่ใช้เคลือบต้องมากกว่าเท่าตัวจึงจะได้ลักษณะฟิสิกการแทรกสอดคลื่นแสงที่เหมือนกัน เหตุผลดังกล่าวนี้มีความสอดคล้องกับอุณหภูมิของวัสดุรองรับเพราะถ้าอัตราการเคลือบฟิล์มสูงซึ่งเป็น แบบ ดีซี แสดงว่าสปีดเตออร์อะตอมที่ตกเคลือบมีจำนวนมากกว่าในช่วงเวลาเท่ากันเมื่อเทียบกับแบบ ดีซี พัลส์ ทำให้อุณหภูมิที่สะสมบนวัสดุรองรับมีค่าสูงขึ้นอย่างรวดเร็วและมีค่ามากกว่า

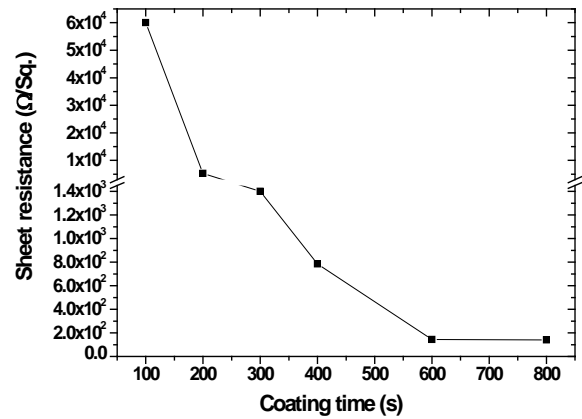
รูปที่ 7 แสดงผลการวิเคราะห์โครงสร้างด้วยเครื่องเอกซเรย์ดิฟแฟรคโตมิเตอร์ของฟิล์มอินเดียมทินออกไซด์ที่เคลือบแบบ ดีซี และ ดีซี พัลส์ ด้วยเวลาการเคลือบ 400 และ 800 วินาที ตามลำดับ ผลที่ได้แสดงให้เห็นว่าฟิล์มทั้ง 2 เงื่อนไขด้วยความหนาใกล้เคียงกันมีโครงสร้างแบบอสัณฐาน (Amorphous structure) เนื่องจากฟิล์มที่เคลือบมีความหนาน้อยเกินไปที่จะทำการวิเคราะห์โครงสร้างแบบผลึกได้ประกอบกับกำลังงานที่ใช้ในการเคลือบฟิล์มมีค่าต่ำเกินไปคือ 25 วัตต์ ทำให้ฟิล์มมีการพอร์มตัวเป็นผลึกได้ยาก



รูปที่ 7. ผลการวัดเอกซเรย์ดิฟแฟรคชัน



(a)



(b)

รูปที่ 8. ผลการวัดสมบัติทางไฟฟ้า (a) ดีซี และ (b) ดีซี พัลส์

รูปที่ 8 แสดงผลการวิเคราะห์สมบัติทางไฟฟ้า พบว่าฟิล์มอินเดียมทินออกไซด์ที่เคลือบด้วยเงื่อนโซ ดีซี และ ดีซี พัลส์ ที่กำลังไฟฟ้า 25 วัตต์ เมื่อความหนาของฟิล์มเพิ่มขึ้น (ดูจากเวลาที่ใช้เคลือบเพิ่มขึ้น) ค่าความต้านทานเชิงแผ่นมีค่าลดลง ซึ่งสอดคล้องกับผลของ Kim และคณะกับ Hao และคณะ (Kim. *et al.*, 2003; Hao. *et al.*, 2008) แต่เมื่อเปรียบเทียบฟิล์มอินเดียมทินออกไซด์ระหว่างที่เคลือบด้วยเงื่อนโซ 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

สรุปผลการทดลอง

จากการศึกษาการเตรียมฟิล์มบางอินเดียมทินออกไซด์ที่เคลือบโดยวิธี ดีซี และ ดีซี พัลส์ พบว่าการเคลือบฟิล์มที่จ่ายกำลังไฟฟ้าให้กับขั้วแคโทดแบบ ดีซี พัลส์ จะทำให้ค่าอุณหภูมิของวัสดุรองรับต่ำกว่าการเคลือบฟิล์มแบบ 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) ที่ให้ความอนุเคราะห์ในการใช้เครื่องสำหรับวิเคราะห์สมบัติ

ฟิล์มบาง สุกต๋ายขอบคอบคุณ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคล ฐัญบุรี ที่ให้การสนับสนุนทุนวิจัย งบประมาณแผ่นดิน ประจำปี พ.ศ. 2553 สำหรับการท้าววิจัยในครั้งนี

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.