

การศึกษาพื้นผิวฟิล์มบางอินเดียมทินออกไซด์
บนแผ่นซิลิกอนจากแรงดันไฟฟ้าในการสปาร์ค

THE SURFACE STUDY OF INDIUM TIN OXIDE (ITO) THIN FILM
ON SILICON WAFER WITH SPARKING VOLTAGE

ณัฐทิ ธิงสุข^{1*}, ทวีศักดิ์ ดันอรัม², บัญชา คุณาเลา¹, อีรพงษ์ แสงบุญ¹, อัครกิตติ์ ไชยธนกุลวัฒน์¹
Nuttee Thungsuk^{1*}, Thaweesak Tanaram², Buncha Kunnalao¹, Teerawut Sarangboon¹
and Arckarakit Chaithanakulwat¹

¹หลักสูตรวิศวกรรมไฟฟ้า มหาวิทยาลัยราชภัฏธนบุรี อ.บางพลี จ.สมุทรปราการ ประเทศไทย 10540

²คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏพิบูลสงคราม อ.เมือง จ.พิษณุโลก ประเทศไทย 65000

¹Department of Electrical Engineering, Dhonburi Rajabhat University, Bang Phli, Samut-Prakan, Thailand, 10540

²Faculty of Industrial Technology, Pibulsongkram Rajabhat University, Muang, Phitsanulok, Thailand, 65000

*Corresponding author E-mail: Nuttee.t@dru.ac.th

วันที่เข้ารับ 20 มกราคม 2563

วันที่แก้ไขบทความ 15 มีนาคม 2563

วันที่ตอบรับบทความ 3 เมษายน 2563

บทคัดย่อ

การสร้างฟิล์มบางด้วยเทคนิคการสปาร์คมีต้นทุนที่ต่ำ สำหรับหลักการคือการใช้สองขั้วไฟฟ้าแรงสูงทำการสปาร์คเพื่อให้ไอระเหยของอินเดียมและดีบุกจากหลอดตกลงสู่พื้นผิวของแผ่นเวเฟอร์ซิลิกอนทางด้านล่าง โดยในงานวิจัยนี้ได้ทำการศึกษาสมบัติของฟิล์มบางอินเดียมทินออกไซด์บนแผ่นซิลิกอนจากแรงดันไฟฟ้าในการสปาร์คที่ 4 kV, 7 kV และ 10 kV ฟิล์มบางอินเดียมทินออกไซด์ที่ถูกรอบที่อุณหภูมิ 250 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 180 นาทีและได้รับการตรวจสอบพื้นผิวโดยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดร่วมกับเทคนิคการวัดการกระจายพลังงานของรังสีเอกซ์ (SEM/EDS) ซึ่งพบว่าพื้นผิวของฟิล์มบางอินเดียมทินออกไซด์เป็นลักษณะเป็นแบบอะมอร์ฟัส (Amorphous) เมื่อใช้แรงดันไฟฟ้าที่ 7 kV และ 10 kV อย่างไรก็ตามสามารถยืนยันได้ว่าที่แรงดันไฟฟ้า 4 kV ไม่สามารถพบลักษณะเฉพาะของฟิล์มได้แต่อย่างใด นอกจากนั้นที่แรงดันไฟฟ้าในการสปาร์คที่สูงขึ้นได้ส่งผลให้ฟิล์มที่ได้มีลักษณะที่สม่ำเสมอมากขึ้น

คำสำคัญ: ฟิล์มบาง, อินเดียมและดีบุก, เทคนิคการสปาร์ค, กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด

Abstract

The cost of thin film fabrication using spark technique was low. The principle is to use two electrodes of high voltages for sparking in order to let vapors of indium and tin of wire fall down to the surface on silicon wafer. In this research, the properties of indium tin oxide (ITO) thin film on silicon wafer from sparking voltage at 4 kV, 7 kV and 10 kV were studies. The ITO thin film was annealing at 250°C for 180 minutes and the surface of thin film was investigated by Scanning Electron Microscopy and Energy Dispersive X-ray Spectrometer (SEM/EDS). It was found that, the surface of ITO thin film was the Amorphous film when high voltage was 7 kV and 10 kV. However, it was confirmed that the voltage at 4 kV cannot find characteristic of the film in any way. In addition, the higher voltage of the spark was resulted in the uniform of surface in the film.

Keywords: Thin film, Indium and tin, Sparking technique, Scanning electron microscopy (SEM)

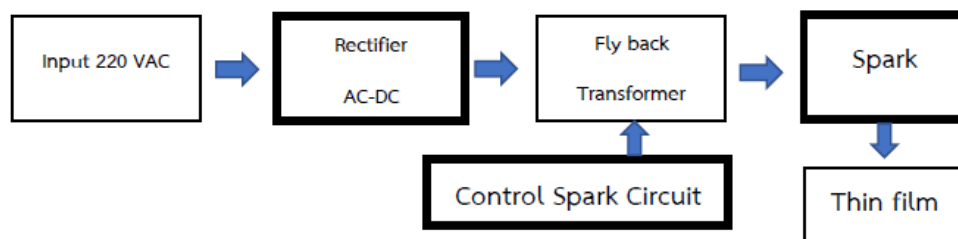
1. บทนำ

ฟิล์มบางของอินเดียมทินออกไซด์จัดเป็นสารโปร่งแสงที่มีคุณสมบัติในการนำไฟฟ้าที่มีความสำคัญอย่างยิ่งในการพัฒนาทางด้านอุตสาหกรรมอิเล็กทรอนิกส์ เนื่องจากสามารถนำไปประยุกต์ใช้ทำเป็นขั้วไฟฟ้าของเครื่องใช้ไฟฟ้าชนิดต่างๆ อย่างแพร่หลาย เช่น OLED-display, organic solar cells เป็นต้น (Rhaleb, *et al.*, 2002; Harith & Mariam, 2013 และ Jeffrey & David, 2012) โดยเทคนิคสำหรับการสร้างฟิล์มมีอยู่หลายวิธีเช่น การทำให้เป็นไอด้วยความร้อน การสปัตเตอริง หรือการสร้างด้วยวิธี ทางเคมี (Jun *et al.*, 2010; László *et al.*, 2011 และ Thian-Khok *et al.*, 2012) แต่วิธีการเหล่านี้มีต้นทุนในการสร้างฟิล์มบางที่สูง

การสร้างฟิล์มบางด้วยเทคนิคการสปาร์คเป็นเทคโนโลยีในการสร้างฟิล์มบางที่มีต้นทุนในการผลิตค่อนข้างต่ำ (Thongpan *et al.*, 2019) โดยทำให้โมเลกุลของอากาศระหว่างขั้วคาโทดและแอโนดแตกตัวเป็นไอออนลบพุ่งเข้าชนคาโทดส่วนอิเล็กตรอนพุ่งเข้าชนแอโนดทำให้เกิดการสปาร์คและทำให้สสารที่มีอนุภาคระดับนาโนไปถึงขนาดไมโครของสสารนั้นตกสะสมของบนฐานรองจนเกิดเป็นฟิล์มบาง ซึ่งในงานวิจัยนี้ได้ศึกษาแรงดันไฟฟ้าในการสปาร์คเพื่อสร้างฟิล์มอินเดียมทินออกไซด์ลงบนแผ่นซิลิกอน และได้ทำการตรวจสอบฟิล์มเบื้องต้นจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM/EDS)

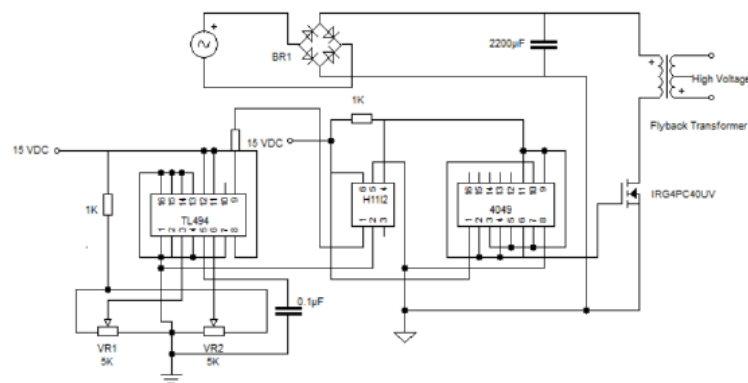
2. การออกแบบการทดลอง

การสร้างฟิล์มบางด้วยเทคนิคการสปาร์ค มีส่วนประกอบด้วยส่วนที่สำคัญ 3 ส่วน ได้แก่ วงจรเรียงกระแส (Rectifier circuit) วงจรควบคุมการสปาร์ค (spark circuit) และการสปาร์คจากไฟฟ้าแรงสูงความถี่สูงเพื่อสร้างฟิล์มบาง ซึ่งสามารถผลิตแรงดันไฟฟ้า 1-10 kV และความถี่ 1-10 kHz ดังแสดงในภาพที่ 1



ภาพที่ 1 บล็อกไดอะแกรมการทำงานของการสร้างฟิล์มบางด้วยเทคนิคการสปาร์ค

วงจร Rectifier ทำการเปลี่ยนระดับแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับเป็นแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงให้มีค่าอยู่ระหว่าง 0-20 Vdc จากการปรับค่าแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับโดยหม้อแปลงวารีแอก ซึ่งแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงด้านเอาต์พุตถูกนำไปเข้าเป็นอินพุตของหม้อแปลงฟลายแบคต่อไป



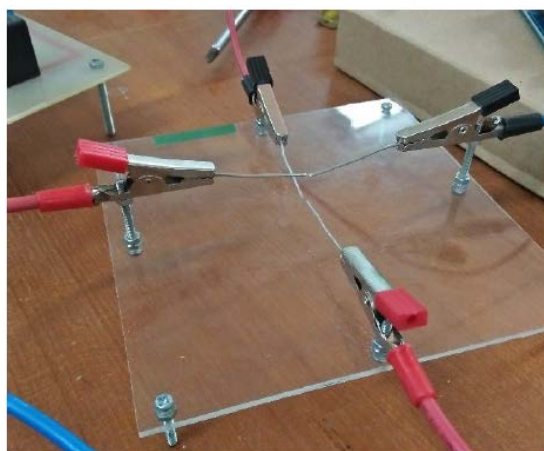
ภาพที่ 2 วงจรควบคุมการสปาร์ค

ภาพที่ 2 แสดงวงจรควบคุมการสปาร์คได้ใช้วงจรสร้างความถี่สูงจากไอซีเบอร์ TL494 ซึ่งเป็นตัวสร้าง Pulse width modulation (PWM) สำหรับควบคุมการสวิตชิงของอุปกรณ์ นอกจากนั้น IGBT เบอร์ IRG4PC50UD ถูกนำมาใช้สำหรับการสวิตชิงให้กับหม้อแปลงฟลายแบคเบอร์ TLF14511F และสร้างเป็นวงจรดังกล่าวได้ดังแสดงในภาพที่ 3



ภาพที่ 3 วงจรที่สมบูรณ์ของการผลิตฟิล์มบางด้วยเทคนิคสปาร์ค

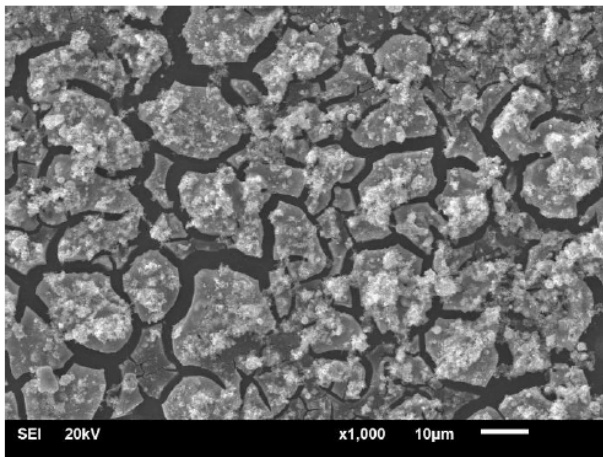
ภาพที่ 4 แสดงการทำงานการผลิตฟิล์มบางด้วยเทคนิคสปาร์ค ซึ่งได้ทำต่อเอาต์พุตเป็น 2 ชุด สำหรับนำมาจ่ายให้กับหลอดสองชนิดคือหลอดอินเดียมกับหลอดทิน โดยเว้นระยะห่างของอิเล็กโทรดขั้วบวกและด้านขั้วลบที่ 2 mm ไอละลองจากเทคนิคการสปาร์คได้ตกลงไปด้านล่างซึ่งส่งผลให้เกิดการสะสมแล้วเป็นฟิล์มบนแผ่นซิลิกอนเวเฟอร์



ภาพที่ 4 การวางหลอดอินเดียมกับหลอดทิน สำหรับการสปาร์ค

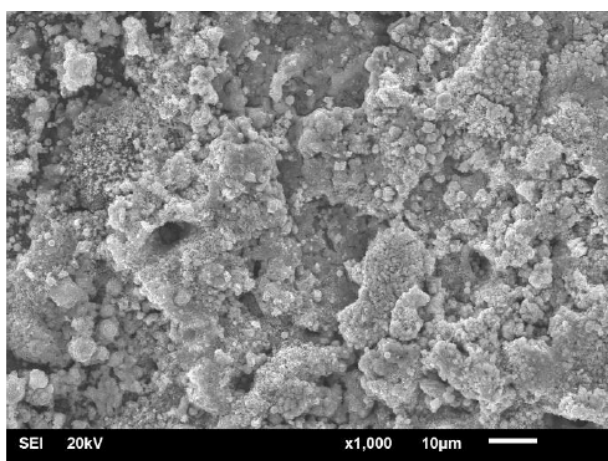
เงื่อนไขในงานวิจัยนี้สำหรับสร้างฟิล์มคือได้ใช้แรงดันสปาร์คเป็น 4 kV, 7 kV และ 10 kV และระยะเวลาในสปาร์คที่ 30 นาทีหลังจากนั้นได้นำตัวอย่างชิ้นงานไปทำการอบที่อุณหภูมิ 250 C ที่เวลา 180 โดยสัณฐานวิทยาของฟิล์มบาง อินเดียมทินออกไซด์ ได้รับการตรวจสอบโดย SEM / EDS ยี่ห้อ JEOL รุ่น SM-6610LV ในเงื่อนไขที่แตกต่างกันของแรงดันไฟฟ้าที่ใช้ในการสปาร์ค

3. ผลการทดลอง



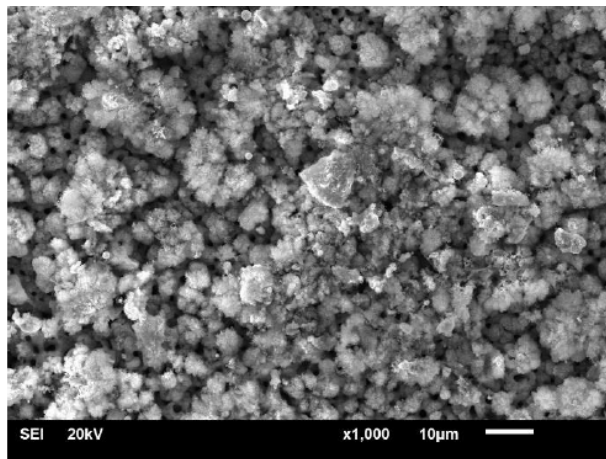
ภาพที่ 5 พื้นผิวฟิล์มบางอินเดียมทินออกไซด์บนแผ่น silicon wafer ใช้แรงดันไฟฟ้า 4 kV

ภาพที่ 5 แสดงภาพพื้นผิวอินเดียมทินออกไซด์บนพื้นผิวซิลิคอนเวเฟอร์จาก SEM ด้วยกำลังขยาย 1,000 เท่าจากแรงดันสปาร์คที่ 4 kV สำหรับการสร้างฟิล์มบางด้วยเทคนิคการสปาร์คเมื่ออบที่อุณหภูมิ 250 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 180 นาที ซึ่งพบว่าพื้นผิวไม่ใช่พื้นผิวฟิล์มเนื่องจากไอของอินเดียมและดีบุกแพร่กระจายเป็นหย่อม ๆ นอกจากนี้ไอของอินเดียมและดีบุกบนซิลิคอนเวเฟอร์ยังไม่ได้เชื่อมต่อกันอย่างสมบูรณ์ ซึ่งยืนยันได้ว่าแรงดันไฟฟ้าสำหรับการสปาร์คที่ 4 kV ไม่สามารถทำให้เกิดเป็นเนื้อฟิล์ม อินเดียมทินออกไซด์ ได้



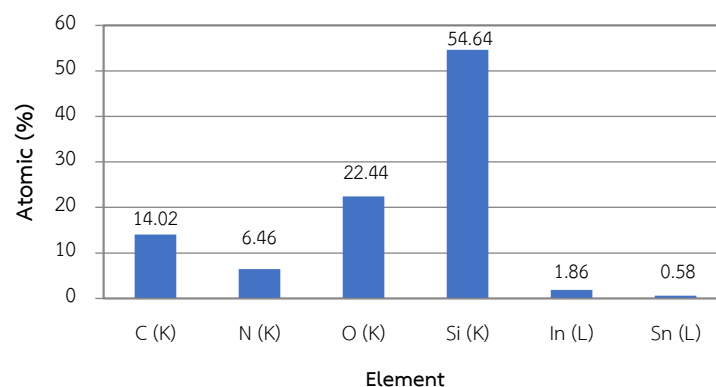
ภาพที่ 6 พื้นผิวฟิล์มบางอินเดียมทินออกไซด์บนแผ่น Silicon wafer ใช้แรงดันไฟฟ้า 7 kV

ภาพที่ 6 แสดงภาพพื้นผิวอินเดียมทินออกไซด์บนพื้นผิวซิลิกอนเวเฟอร์จาก SEM ด้วยกำลังขยาย 1,000 เท่าจากแรงดันสปาร์คที่ 7 kV เมื่อเงื่อนไขในการอบเช่นเดียวกับภาพที่ 5 ซึ่งพบว่าพื้นผิวของพื้นผิวเริ่มเกิดเป็นเนื้อฟิล์ม จากการเชื่อมต่อของไอละอองอินเดียมและไอละอองทิน แต่ฟิล์มที่เกิดขึ้นนั้นยังไม่มีระเบียบเสมอทั่วทั้งพื้นที่ โดยยังคงมีความสูงบ้างต่ำบ้าง ซึ่งลักษณะที่เกิดขึ้นนี้ยืนยันได้ว่าสัญญาณของพื้นผิวเป็นภาพแบบอะมอร์ฟัส (Amorphous)



ภาพที่ 7 พื้นผิวฟิล์มบางอินเดียมทินออกไซด์บนแผ่น silicon wafer ใช้แรงดันไฟฟ้า 10 kV

ภาพที่ 7 แสดงภาพพื้นผิวอินเดียมทินออกไซด์บนพื้นผิวซิลิกอนเวเฟอร์จาก SEM ด้วยกำลังขยาย 1,000 เท่าจากแรงดันสปาร์คที่ 10 kV เมื่อเงื่อนไขในการอบเช่นเดียวกับภาพที่ 5 ซึ่งสังเกตได้ว่าไอละอองที่ตกลงพื้นผิวรองรับมีลักษณะที่เป็นฟิล์มที่มีความสม่ำเสมอมากกว่าการให้แรงดันไฟฟ้าที่ 7 kV แต่อย่างไรก็ตามยังคงยืนยันได้ว่าสัญญาณของพื้นผิวเป็นภาพแบบอะมอร์ฟัส (Amorphous) เช่นเดียวกับการให้แรงดันไฟฟ้าในการสปาร์คที่ 7 kV ในภาพที่ 6



ภาพที่ 8 ปริมาณของธาตุบนแผ่นฟิล์มอินเดียมทินออกไซด์จากวิเคราะห์ด้วย EDS

ภาพที่ 8 แสดงปริมาณของธาตุบนแผ่นฟิล์มอินเดียมทินออกไซด์ที่มี Silicon wafer substrate ด้วยการวิเคราะห์ด้วย EDS แบบส่องกราด ซึ่งพบว่าปริมาณที่มากที่สุดเป็น Silicon อันเนื่องจากวัสดุรองรับเป็น Silicon wafer แต่อย่างไรก็ตามธาตุที่ถูกทำเป็นฟิล์มอินเดียมทินออกไซด์สามารถที่พบได้เช่นเดียวกัน โดยที่ปริมาณของอินเดียมเป็น 1.86% และปริมาณของทินเป็น 0.58% ซึ่งสามารถยืนยันได้ว่าเทคนิคการสปาร์คสามารถเตรียมฟิล์มอินเดียมทินออกไซด์ได้

4. สรุป

การศึกษาแรงดันไฟฟ้าในการสปาร์คเพื่อสร้างฟิล์มอินเดียมทินออกไซด์ลงบนแผ่นซิลิกอนสำเร็จไปด้วยดีจากการใช้แรงดันไฟฟ้าสำหรับการสปาร์คของลวดอินเดียมและลวดทินที่ต่างกันว่า 4 kV, 7 kV และ 10 kV ความถี่ในการสวิตซ์ที่ 10 kHz ทำให้เกิดเป็นไอละอองขนาดเล็กแล้วตกลงสู่แผ่นรองรับ จากนั้นทำการอบที่อุณหภูมิ 250 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 180 นาที และสัญญาณของฟิล์มที่เกิดขึ้นได้รับการตรวจสอบจากการใช้ SEM/EDS ในการวิเคราะห์ ซึ่งสามารถยืนยันได้ว่าที่แรงดันไฟฟ้าในการสปาร์คที่ 4 kV ไม่สามารถทำให้เกิดเนื้อฟิล์มได้ แต่อย่างไรก็ตามพบว่าเมื่อเพิ่มแรงดันไฟฟ้าสูงขึ้นเป็น 7 kV และ 10 kV โดยสังเกตสัญญาณที่ได้รับการตรวจสอบโดย SEM พบว่าเกิดเป็นฟิล์มเป็นแบบอะมอร์ฟัส (Amorphous) นอกจากนั้นยังยืนยันได้ว่าเมื่อแรงดันสปาร์คที่สูงขึ้นได้ส่งผลให้ฟิล์มที่ได้มีลักษณะที่สม่ำเสมอมากขึ้น แต่อย่างไรเมื่อทำการทดสอบด้วยเทคนิค EDS พบว่าปริมาณอินเดียมและทินที่เกิดขึ้นยังค่อนข้างน้อยจึงต้องมีการพัฒนาต่อไปในอนาคต

5. เอกสารอ้างอิง

- Harith, I., Mariam, M. (2013). Preparation of ITO thin film by Sol-Gel method. **International Journal of Electrical Engineering**. 1(6), 18-22.
- Jeffrey, M. G., & David, W. S. (2012). Deposition of indium tin oxide by atmospheric pressure chemical vapour deposition. **Thin Solid Films**, 520(12), 4110-4113.
- Jun, M., Hiroyuki, I., Hayato, T., Osamu, T., & Yasushi, I. (2010). Electrochromic phenomenon in indium-tin oxide thin films deposited by RF magnetron sputtering. **Thin Solid Films**, 518(21), S6-S931.
- László, K., Szilvia, P., & Imre, D. (2011). Preparation of transparent conductive indium tin oxide thin films from nanocrystalline indium tin hydroxide by dip-coating method. **Thin Solid Films**, 519(10), 3113-3118.

- Rhaleb, H. E. L., Benamar, E., Rami, M., Roger, J. P., Hakam, A., & Ennaoui, A. (2002). Spectroscopic ellipsometry studies of index profile of indium tin oxide films prepared by spray pyrolysis. **Applied Surface Science**, 201(1–4), 138-145.
- Thian-Khok, Y., Sek-Sean, T., Chen-Hon, N., Seong-Shan, Y., Yeh-Yee, K., György, S., Zsolt, E.H., Jason, M., Yoke-Khin, Y., & Teck-Yong, T. (2012). Pulsed laser deposition of indium tin oxide nanowires in argon and helium. **Materials Letters**, 66(1), 280-281.
- Thongpan, W., Louloudakis, D., Pooseekheaw, P., Kumpika, T., Kantarak, E., Panthawan, A., Tuantranont, A., Thongsuwan, W., & Singjai, P. (2019). Electrochromic properties of tungsten oxide films prepared by sparking method using external electric field. **Thin Solid Films**, 682, 135-141.