

การเพิ่มสมบัติความชอบน้ำ โดยใช้เทคนิคพลาสมา บนพื้นผิวเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดซิลิกอน

THE IMPROVEMENT OF HYDROPHILIC PROPERTIES BY PLASMA TECHNIQUE ON SILICON PHOTOVOLTAIC SURFACE

ทวีศักดิ์ ตันอร่าม¹ และณัฐทิพย์ ถึงสุข^{2*}

Thaweesak Tan-a-ram¹ and Nuttee Tongsuk^{2*}

¹คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม, มหาวิทยาลัยราชภัฏพิบูลสงคราม

²สาขาวิศวกรรมไฟฟ้า, มหาวิทยาลัยราชภัฏธนบุรี

*corresponding author e-mail: nuttee.t@dru.ac.th, tummut555@hotmail.com

(Received: 10 April 2018 ; Revised: 27 November 2018 ; Accepted: 30 March 2019)

บทคัดย่อ

การเพิ่มสมบัติการชอบน้ำได้ส่งผลถึงสมบัติการยึดเกาะระหว่างพื้นผิววัสดุสำหรับเซลล์แสงอาทิตย์เพิ่มขึ้นทำให้สามารถป้องกันความชื้นที่เข้าไปสู่เซลล์แสงอาทิตย์ได้ โดยในงานวิจัยครั้งนี้จะศึกษาความเหมาะสมของระบบพลาสมาแบบไอเคมีระเหย ที่ความดันต่ำ ความถี่สูงโดยใช้ก๊าซอาร์กอนและก๊าซไนโตรเจนผสมกันด้วยการเปลี่ยนแปลงพารามิเตอร์ 3 แบบ คือ เวลาในการทำพลาสมา กำลังในการทำพลาสมา และอัตราส่วนการผสมกันของก๊าซอาร์กอนกับก๊าซไนโตรเจน สำหรับการตรวจสอบสมบัติดังกล่าวได้ใช้เครื่องมือวัดมุมสัมผัสน้ำสำหรับการวัดสมบัติความชอบน้ำของพื้นผิวซิลิกอนโดยพารามิเตอร์ที่เหมาะสม สำหรับการทำพลาสมาบนพื้นผิวจะใช้กำลังของพลาสมา และเวลาที่ใช้สำหรับการทำพลาสมา 300 W และ 10 นาที ตามลำดับ และให้ปริมาณการไหลของก๊าซอาร์กอนกับก๊าซไนโตรเจน 10.0 L/min กับ 0.4 L/min ตามลำดับ ซึ่งทำให้มุมสัมผัสน้ำลดลงจาก 35.9 องศา เหลือ 12.8 องศา เนื่องจากไนโตรเจนราติดคอลจะเข้าไปทำปฏิกิริยากับพื้นผิว และได้ส่งผลให้พื้นผิวดังกล่าวถูกปรับปรุง และเพิ่มสมบัติการยึดเกาะ

คำสำคัญ: สมบัติความชอบน้ำ พื้นผิวซิลิกอน พลาสมา เซลล์แสงอาทิตย์

Abstract

The improvement of hydrophilic properties have an impact to increase adhesives properties of silicon surface for photovoltaic could protect the moisture into the cell. In this

research, the optimization of a low-pressure high-frequency plasma Chemical Vapor Deposition (CVD) system was studied an effect of a mixture of Argon and Nitrogen gas flow rates for hydrophilic characteristic. The three parameter with the time for plasma treatment, radio frequency (RF) power and a mixture of Argon and Nitrogen flow rates was investigated for propose system. The improved adhesive property of the surface was confirmed by using contact angle meter for measured the hydrophilic properties. It was found that the optimize parameters for the surface plasma treatment was 300 W RF power and 10 min on plasma treatment time, respectively The Argon and Nitrogen gas flow rate were 10.0 L/min and 0.4 L/min. It was also confirmed that the contact angle decreased from 35.9 to 12.8 degree. The nitrogen radicals react to silicon surface results in surface modification and therefore the adhesive property improved.

Keywords: Hydrophilic properties, Silicon surface, Plasma, Photovoltaic

บทนำ

โครงสร้างของเซลล์แสงอาทิตย์ประเภทซิลิกอนมีหลายชั้น แต่ส่วนประกอบหลักจะเป็นตัวเซลล์แสงอาทิตย์ แผ่นพลาสติกชนิดเอทิลีนไวนิลแอสีเตด (EVA) และกระจก โดยที่ตัวเซลล์แสงอาทิตย์ผลิตจากสารกึ่งตัวนำที่ทำหน้าที่เปลี่ยนพลังงานแสงอาทิตย์เป็นพลังงานไฟฟ้าได้โดยตรง แต่อย่างไรก็ตามตัวเซลล์แสงอาทิตย์เพียงอย่างเดียวไม่สามารถที่จะนำไปใช้งานได้ อันเนื่องจากตัวโครงสร้างที่เป็นสารกึ่งตัวนำที่มีความแข็งแรงน้อย และมีความเปราะบางสูง ดังนั้นในการผลิตเซลล์แสงอาทิตย์เพื่อจำหน่ายจำเป็นที่จะต้องเพิ่มความแข็งแรงทางโครงสร้างโดยใช้แผ่นพลาสติกชนิด EVA และกระจกเพื่อประกบกับตัวของเซลล์แสงอาทิตย์ โดยที่แผ่นพลาสติก EVA ใช้เพื่อป้องกันความชื้นที่จะเข้าไปในตัวเซลล์ ส่วนกระจกทำหน้าที่เป็นการเพิ่มความแข็งแรงทางโครงสร้างกับช่วยในเรื่องการทำความสะอาด และการรับแสง การเพิ่มคุณสมบัติความชอบน้ำของพื้นผิวซิลิกอนยังมีผลต่อการส่งผ่านความร้อน และอัตราการระเหยน้ำของพื้นผิวซิลิกอน (Dong-Ki Lee et al., 2017) รวมถึงการพัฒนาวัสดุชนิดทำความสะอาดตัวเอง (Self-Cleaning Material) (Lin Weihao et al., 2018) จึงเป็นที่มาของงานวิจัยนี้

จากสภาพอากาศร้อนชื้นของประเทศทางภูมิภาคเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ที่มีสภาพภูมิอากาศชุ่มชื้นในฤดูฝน และแห้งแล้งในฤดูแล้งอย่างชัดเจน หรือมีฝนตกชุ่มชื้นเกือบตลอดทั้งปี นั้นอาจจะส่งผลให้มีความชื้นที่อาจจะเล็ดลอดเข้าไปที่ตัวเซลล์แสงอาทิตย์จากรอยประกอบด้วยแผ่นพลาสติก EVA กับตัวของเซลล์แสงอาทิตย์ ซึ่งความชื้นที่เข้าไปจะส่งผลถึงประสิทธิภาพของ

เซลล์แสงอาทิตย์ที่ลดลง (Xizu Wang et al., 2012) รวมทั้งอาจเกิดการเสียหายได้ (Huaquan Wang al., 2018) ซึ่งถ้าทำการเพิ่มการยึดเกาะระหว่างตัวเซลล์แสงอาทิตย์ กับแผ่นพลาสติก EVA ให้มากขึ้นจะทำให้ความชื้นเข้าไปในตัวเซลล์ได้ยากขึ้น (Sanja Kostica et al., 2018 ; Mohsen Heshmati et al., 2016) ซึ่งพบว่าการทำทรีตเมนต์จากกระบวนการพลาสมา สามารถจะเพิ่มสมบัติการยึดเกาะของวัสดุได้ (N.Thungsuk et al., 2015) โดยการใช้พลาสมาสำหรับเพิ่มสมบัติการยึดเกาะต้องกระทำที่อุณหภูมิต่ำ เพื่อไม่ให้เกิดผลกระทบต่อตัวเซลล์ที่ผลิตมาจากสารกึ่งตัวนำ (Ghada Dushaq et al., 2017 ; Tarun Singh et al., 2018) โดยระบบพลาสมาแบบไอเคมีระเหยจะมีความเหมาะสมสำหรับการปรับปรุงพื้นผิว อันเนื่องมาจากในระหว่างการทำงานมีอุณหภูมิต่ำ (T.Yuji et al., 2011) นอกจากนั้นยังพบว่าสมบัติการยึดเกาะของวัสดุที่มากขึ้นจะขึ้นอยู่กับวัสดุที่เคลือบขึ้นบนพื้นผิวที่มากขึ้น ซึ่งจะส่งผลถึงสมบัติความชอบน้ำของวัสดุมากขึ้น (N.Thungsuk et al., 2014)

ในงานวิจัยนี้ได้ทำการศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการเปลี่ยนแปลงพารามิเตอร์ของระบบพลาสมา เช่น ปริมาณของก๊าซ ค่ากำลังในการทำพลาสมา และเวลาที่ใช้สำหรับการทำพลาสมาบนพื้นผิวซิลิกอน ด้วยระบบพลาสมาแบบไอเคมีระเหย ที่ความดันต่ำ ความถี่สูง โดยใช้ก๊าซอาร์กอน และไนโตรเจนผสมกัน เพื่อเพิ่มสมบัติการยึดเกาะโดยทำการตรวจสอบจากสมบัติความชอบน้ำ

วิธีดำเนินการวิจัย

ขั้นตอนการดำเนินการวิจัย

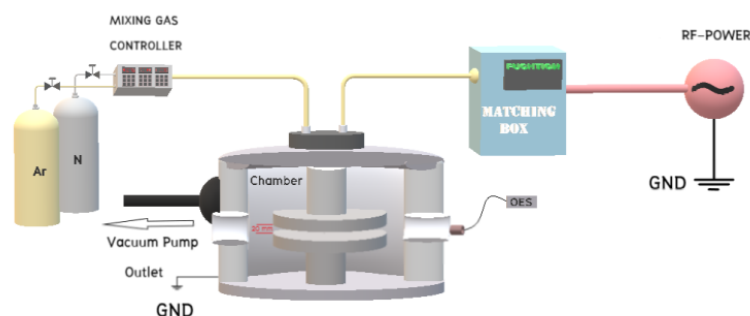
1. จัดเตรียมแผ่นซิลิกอนชนิดที่ใช้ในการสร้างเซลล์แสงอาทิตย์เพื่อการทดสอบ
2. ทดสอบหาค่าความชอบน้ำของแผ่นซิลิกอน วิธีการแบบ Sessile drop ก่อนการทำทรีตเมนต์
3. ทำการทรีตเมนต์ โดยปรับเปลี่ยนค่าพารามิเตอร์ ดังนี้
 - 3.1 เวลาในการทำพลาสมาแตกต่างกันตั้งแต่ 2–10 นาที
 - 3.2 กำลังในการทำพลาสมาแตกต่างกันที่ 100–300 W
 - 3.3 อัตราส่วนการผสมกันของก๊าซอาร์กอนกับก๊าซไนโตรเจนด้วยการให้ปริมาณก๊าซอาร์กอนเป็น 10 L/min ต่อปริมาณ และก๊าซไนโตรเจนที่แตกต่างกันที่ 0.2–1.0 L/min
4. ทดสอบหาค่าความชอบน้ำของแผ่นซิลิกอนวิธีการแบบ Sessile drop หลังการทำทรีตเมนต์
5. เปรียบเทียบค่าความชอบน้ำของแผ่นซิลิกอน ก่อน และหลังการทำทรีตเมนต์

6. วิเคราะห์ผล อภิปรายผล และสรุปผลการดำเนินการวิจัย

การดำเนินงานวิจัย

แสดงได้ดังภาพที่ 1 แผนผังแสดงระบบของพลาสมาแบบไอเคมีระเหยที่ความดันต่ำ ความถี่สูงที่ใช้ในงานวิจัยในครั้งนี้ โดยส่วนประกอบหลักของระบบจะประกอบไปด้วยห้องสุญญากาศ อุปกรณ์ควบคุมอัตราการไหลของก๊าซ แหล่งจ่ายกำลังชนิด radio frequency พร้อมอุปกรณ์ควบคุม (matching box) ป้อนสุญญากาศ และก๊าซที่ใช้ โดยที่อิเล็กโทรดของพลาสมาทั้งด้านบน และด้านล่างจะมีเส้นผ่านศูนย์กลางเป็น 200 mm และถูกตั้งไว้ห่างกันที่ 20 mm โดยอิเล็กโทรดแต่ละอันมีรูขนาด 1 mm จำนวน 145 รู สำหรับการทำให้พลาสมา และเรียงต่อกันเป็นกริดมีความห่างแต่ละรู 12 mm โดยป้อนสุญญากาศจะถูกติดตั้งอยู่ทางด้านข้างของห้องสุญญากาศ

สำหรับงานวิจัยในครั้งนี้ได้ใช้แผ่นซิลิกอนเป็นวัสดุสำหรับการทดลอง ทำการทรีตเมนต์ที่พื้นผิวของแผ่นซิลิกอนดังกล่าวด้วยระบบพลาสมาแบบไอเคมีระเหยที่ความดันต่ำความถี่สูง โดยมีการใช้ก๊าซอาร์กอนกับก๊าซไนโตรเจน และกำหนดความดันในห้องสุญญากาศที่ 3.2×10^{-2} Pa ตลอดการทดลอง จากนั้นทำการศึกษาการเปลี่ยนแปลงพารามิเตอร์ 3 แบบ คือ เวลาในการทำพลาสมา กำลังในการทำพลาสมา และอัตราส่วนการผสมกันของก๊าซอาร์กอนกับก๊าซไนโตรเจน โดยที่เวลาในการทำพลาสมาที่แตกต่างกันตั้งแต่ 2–10 นาที การใช้กำลังในการทำพลาสมาที่แตกต่างกันที่ 100–300 W และอัตราส่วนที่แตกต่างกันของก๊าซอาร์กอนกับก๊าซไนโตรเจน ด้วยการให้ปริมาณก๊าซอาร์กอนเป็น 10 L/min ต่อปริมาณ และก๊าซไนโตรเจนที่แตกต่างกันที่ 0.2–1.0 L/min

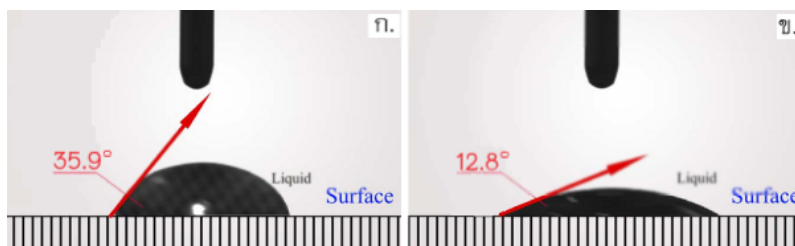


ภาพที่ 1 ระบบของพลาสมาแบบไอเคมีระเหยที่ความดันต่ำความถี่สูง

หลังจากการทำพลาสมาที่พื้นผิวซิลิกอนด้วยระบบพลาสมาแบบไอเคมีระเหยที่ความดันต่ำความถี่สูงแล้ว จึงนำแผ่นซิลิกอนมาตรวจสอบสมบัติความชอบน้ำด้วยเครื่องวัดมุมสัมผัสน้ำ โดยใช้ Contact angle meter ยี่ห้อ Kyowa รุ่น CA-D ที่ใช้ปริมาณน้ำสำหรับตรวจสอบเป็น $1 \mu\text{L}$ และใช้วิธีการแบบ Sessile drop (S. Nagashima et al., 2010) สำหรับการตรวจสอบ

ผลการวิจัย

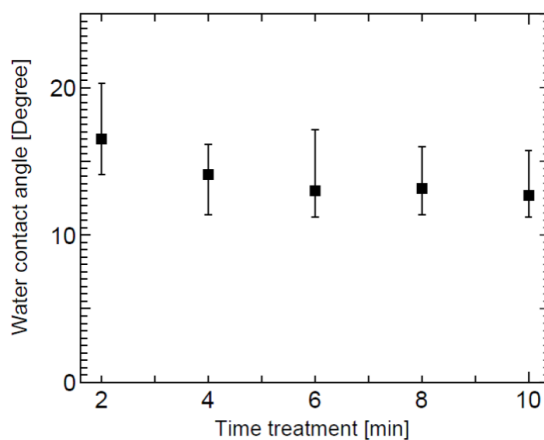
จากการศึกษาพบว่า มุมของหยดน้ำที่กระทำกับพื้นผิวซิลิกอน จากการวัดด้วยเครื่องวัดมุมสัมผัสน้ำที่ใช้วิธีการแบบ Sessile drop และใช้น้ำบริสุทธิ์ปริมาณ $1\ \mu\text{l}$ สำหรับตรวจสอบสามารถแสดงได้ดังภาพที่ 2 โดยในภาพ ที่ 2 ก) สังเกตได้ว่ามุมของหยดน้ำที่กระทำกับพื้นผิวมีมุมเป็น 35.9° องศา ซึ่งเกิดจากที่พื้นผิวของซิลิกอนที่ยังไม่ได้รับการทำทรีตเมนต์จากพลาสมา ส่วนภาพที่ 2 ข) เป็นภาพของมุมของหยดน้ำที่กระทำกับพื้นผิวซิลิกอนเช่นเดียวกัน แต่พื้นผิวดังกล่าวจะได้รับการทำทรีตเมนต์จากระบบพลาสมาแบบไอเคมีระเหยที่ความดันต่ำความถี่สูงที่ใช้ปริมาณการไหลของก๊าซอาร์กอน และก๊าซไนโตรเจนเป็น $10\ \text{L/min}$ และ $0.4\ \text{L/min}$ และใช้เวลาในการทำพลาสมาที่ 10 นาที ในขณะที่ใช้กำลังในการทำพลาสมา $300\ \text{W}$ ซึ่งสังเกตได้ว่ามุมของหยดน้ำที่กระทำกับพื้นผิวจะมีค่าที่ลดลงเป็น 12.8° องศา โดยจากการตรวจสอบทำให้ทราบว่าเมื่อทำการทรีตเมนต์ที่พื้นผิวซิลิกอนด้วยพลาสมาจะส่งผลถึงสมบัติความชอบน้ำที่เพิ่มมากขึ้น



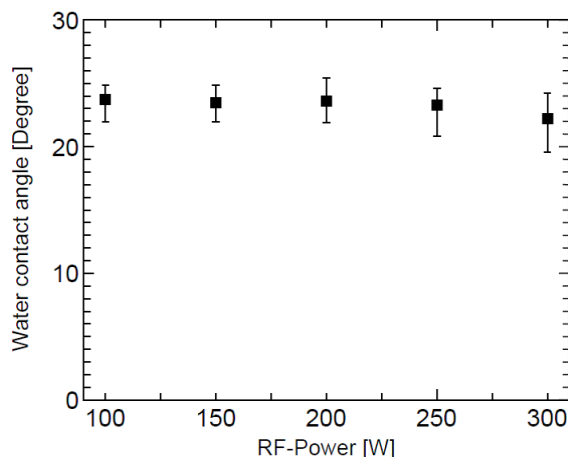
ภาพที่ 2 มุมของหยดน้ำที่กระทำกับพื้นผิวซิลิกอน ก) พื้นผิวที่ไม่ได้ทำพลาสมา ข) พื้นผิวที่ได้รับการทำพลาสมา

ภาพที่ 3 แสดงค่าเฉลี่ยมุมสัมผัสของน้ำเมื่อเปลี่ยนแปลงพารามิเตอร์ด้านเวลาจากระบบพลาสมาแบบไอเคมีระเหยที่ความดันต่ำความถี่สูง โดยการให้กำลังในการทำพลาสมาเป็น $300\ \text{W}$ คงที่ตลอดการทดลอง ในขณะที่อัตราการไหลของก๊าซอาร์กอน และก๊าซไนโตรเจนเป็น $10\ \text{L/min}$ และ $0.4\ \text{L/min}$ ตามลำดับ โดยใช้เวลาสำหรับการทำพลาสมา 2, 4, 6, 8 และ 10 นาทีตามลำดับ ซึ่งพบว่าเมื่อทำการให้เวลาในการทำพลาสมามากขึ้นได้ส่งผลให้มุมของหยดน้ำที่กระทำกับพื้นผิวมีค่าลดลงจาก 17° องศา เมื่อใช้เวลา 2 นาที เป็นประมาณ 14° องศา จากการใช้เวลาในการทำพลาสมา 10 นาที โดยมุมของหยดน้ำที่ลดลงสามารถบ่งบอกได้ว่าสมบัติความชอบน้ำบนพื้นผิวของซิลิกอนเพิ่มมากขึ้น ซึ่งเป็นผลจากราติคอลลที่เกิดจากกระบวนการพลาสมาเข้าไปเปลี่ยนแปลงพื้นผิวของซิลิกอนดังกล่าว

ภาพที่ 4 แสดงค่าเฉลี่ยมุมสัมผัสของน้ำ เมื่อเปลี่ยนแปลงพารามิเตอร์ด้านกำลังในการทำพลาสมา จากระบบพลาสมาแบบไฮเคมีระเหยที่ความดันต่ำความถี่สูง โดยใช้เวลา 4 นาที สำหรับการทำพลาสมา อัตราการไหลของก๊าซอาร์กอน และก๊าซไนโตรเจนเป็น 10 L/min และ 0.4 L/min ตามลำดับ ตลอดจนการทดลอง ในขณะที่กำลังในการทำพลาสมาจะเปลี่ยนแปลงเป็น 100, 150, 200, 250 และ 300 W ตามลำดับ ซึ่งพบว่ามุมของหยดน้ำที่กระทำกับพื้นผิวมีค่าลดลงเมื่อทำการเพิ่มกำลังในการทำพลาสมา โดยการลดลงของมุมหยดน้ำที่สัมผัสพื้นผิวจาก 24.8 องศา เหลือ 19.6 องศา เมื่อให้กำลังในการทำพลาสมาเป็น 100 W และ 300 W ตามลำดับ โดยมุมของหยดน้ำที่ลดลงส่งผลให้สมบัติความชอบน้ำเพิ่มมากขึ้น ซึ่งสมบัติความชอบน้ำที่เพิ่มมากขึ้นนี้จะส่งผลให้สมบัติการยึดเกาะของวัสดุดีขึ้น

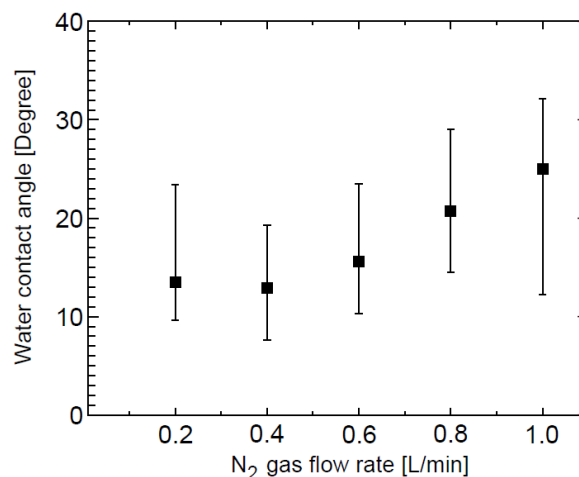


ภาพที่ 3 ค่าเฉลี่ยมุมสัมผัสของน้ำเมื่อเปลี่ยนแปลงพารามิเตอร์ด้านเวลา



ภาพที่ 4 ค่าเฉลี่ยมุมสัมผัสของน้ำเมื่อเปลี่ยนแปลงพารามิเตอร์ด้านกำลังในการทำพลาสมา

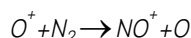
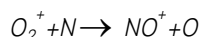
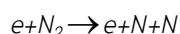
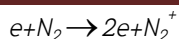
ภาพที่ 5 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างมุมของหยดน้ำที่กระทำกับพื้นผิวกับปริมาณการไหลของก๊าซไนโตรเจนที่ใช้ในสำหรับการทำพลาสมา โดยที่อัตราการไหลของก๊าซอาร์กอนเป็น 10 L/min คงที่ตลอดการทดลอง ส่วนก๊าซไนโตรเจนถูกปรับเปลี่ยนเป็น 0.2, 0.4, 0.6, 0.8 และ 1.0 L/min ตามลำดับ ในขณะที่ใช้เวลาสำหรับการทำพลาสมา 4 นาที และกำลังในการทำพลาสมาเป็น 300 W คงที่ตลอดการทดลอง ซึ่งจากรูปสังเกตได้ว่าเมื่อทำการเพิ่มปริมาณการไหลของก๊าซไนโตรเจนจาก 0.2 และ 0.4 L/min ได้ส่งผลให้มุมของหยดน้ำที่กระทำกับพื้นผิวซิลิกอนมีค่าลดลงจาก 9.6 และ 7.6 องศา แต่เมื่อปรับอัตราการไหลของก๊าซไนโตรเจนมากขึ้นเป็น 0.6, 0.8, และ 1.0 L/min ได้ส่งผลให้มุมของหยดน้ำมีค่าเพิ่มขึ้นมากกว่าอัตราการไหลของก๊าซไนโตรเจนที่ 0.2 และ 0.4 L/min ซึ่งพบว่าอัตราการไหลของก๊าซไนโตรเจนที่ 0.4 L/min ส่งผลให้สมบัติความชอบน้ำมีค่าสูงสุดเนื่องจากมุมของหยดน้ำมีค่าที่ต่ำสุด ซึ่งสามารถยืนยันได้ว่าการใช้พลาสมาแบบไอเคมีระเหยที่ความดันต่ำความถี่สูงนั้นทำให้ก๊าซไนโตรเจนเกิดเป็นราดิคอลและทำปฏิกิริยากับพื้นผิวซิลิกอน ส่งผลถึงมุมสัมผัสน้ำที่เปลี่ยนแปลงไป เมื่อใช้ Linear Regression โดยวิธี Power Equation เพื่อการทำนายผลเช่นเดียวกันกับภาพที่ 3 และ 4 ทำให้ได้สมการเป็น $y=21.638 \times 0.3675$ ในขณะที่ $r^2=0.9910$



ภาพที่ 5 ค่าเฉลี่ยมุมสัมผัสของน้ำจากการปรับพารามิเตอร์ด้านอัตราไหลของก๊าซไนโตรเจน

อภิปรายผล

การทำพลาสมาจะทำให้เกิดปฏิกิริยาที่พื้นผิวซิลิกอน ซึ่งเป็นผลมาจากการให้สนามไฟฟ้าที่มีค่าสูงแก่ก๊าซที่เป็นกลาง โดยสนามไฟฟ้าที่มีความเข้มสูงนั้นจะทำให้ก๊าซที่ส่งผ่านเข้าไปเกิดการแตกตัวโดยการแตกตัวของก๊าซไนโตรเจนสามารถแสดงจากปฏิกิริยาดังนี้ (Fumiyoshi Tochikubo et al., 2002)



โดยภายในบริเวณที่เกิดพลาสมาจะมีโมเลกุล อะตอม ไฮออน รวมทั้งราดิคอลเกิดขึ้นในบริเวณดังกล่าวด้วย โดยเฉพาะอย่างยิ่งราดิคอลที่เกิดขึ้นจากก๊าซไนโตรเจนในระบบพลาสมาดังกล่าว โดยไนโตรเจนราดิคอลได้เข้าไปทำปฏิกิริยากับพื้นผิวบนแผ่นซิลิกอนซึ่งส่งผลให้มุมของหยดน้ำมีค่าที่เปลี่ยนแปลงไป และได้ส่งผลถึงสมบัติของน้ำ แต่อย่างไรก็ตามราดิคอลที่เกิดขึ้นบนพื้นผิวของแผ่นซิลิกอนไม่ได้ทำให้เกิดพันธะใหม่ แต่ได้เข้าไปเพิ่มปริมาณของราดิคอลในพื้นผิวของแผ่นซิลิกอน ซึ่งสามารถยืนยันการเกิดราดิคอลได้จากการที่มุมสัมผัสของหยดน้ำระหว่างการใช้พลาสมา และไม่ใช้พลาสมาแบบไอระเหยเคมีมีความแตกต่างกันอย่างชัดเจน แต่อย่างไรก็ตามราดิคอลบนพื้นผิวของแผ่นซิลิกอนคงอยู่แค่ชั่วขณะ

สรุปผลการวิจัย

งานวิจัยการเพิ่มสมบัติความชอบน้ำโดยการใช้เทคนิคพลาสมา บนพื้นผิวเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดซิลิกอน จากการทรีตเมนต์ด้วยระบบพลาสมาแบบไอเคมีระเหยที่ความดันต่ำ ความถี่สูงดังกล่าวสำเร็จไปด้วยดี ด้วยการยืนยันผลจากสมบัติความชอบน้ำที่มากขึ้นเมื่อทำการเปลี่ยนแปลงกำลังในการทำพลาสมา เวลาที่ใช้สำหรับการทรีตเมนต์ และปริมาณการไหลของก๊าซไนโตรเจน โดยที่การวัดด้วยเครื่องวัดมุมสัมผัสน้ำ พบว่ามุมสัมผัสน้ำที่มีค่าน้อยเกิดจากปริมาณของก๊าซไนโตรเจน ที่ 0.4 L/min กับเวลาที่ 10 นาที แต่ในส่วนกำลังของการทำพลาสมา จะช่วยให้มุมสัมผัสน้ำลดลงได้น้อยกว่า 2 องศาประกอบข้างต้น แต่อย่างไรก็ตามด้วยความไม่เหมาะสมในการที่จะเพิ่มเวลาสำหรับการทำพลาสมาที่จะส่งผลต่อเวลา และปริมาณก๊าซที่เสียไป จึงกล่าวได้ว่าพารามิเตอร์ด้านกำลังของพลาสมา และเวลาสำหรับการทำทรีตเมนต์เป็น 300 W และ 4 นาทีตามลำดับ และปริมาณการไหลของก๊าซไนโตรเจนกับอาร์กอนเป็น 0.4 L/min กับ 10 L/min ตามลำดับเป็นค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสม สำหรับการเพิ่มสมบัติการยึดเกาะบนพื้นผิวซิลิกอน เมื่อพื้นผิวซิลิกอนมีคุณสมบัติการยึดเกาะมากขึ้น สามารถนำไปประยุกต์ใช้ในการเปลี่ยนแปลงชนิดวัสดุที่ใช้เสริมความแข็งแรง เพื่อลดน้ำหนักของเซลล์แสงอาทิตย์ อีกทั้งยังสามารถเปลี่ยนแปลงรูปร่างของเซลล์แสงอาทิตย์ให้โค้งงอได้มากขึ้น (Dong-Ki Lee et al., 2017)

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับทุนอุดหนุนการวิจัยจาก สำนักงานคณะกรรมการการวิจัยแห่งชาติ (วช.) ประจำปี 2561 คณะผู้วิจัยขอขอบคุณ วช. ที่ให้การสนับสนุนงานวิจัยครั้งนี้

คณะผู้วิจัยขอขอบคุณ Assoc.Prof.Dr.Toshifumi Yuji และศูนย์ปฏิบัติการพลาสมา มหาวิทยาลัยมิยาซากิ ประเทศญี่ปุ่น ที่อนุเคราะห์ ห้องปฏิบัติการสำหรับงานวิจัย คณะผู้วิจัยขอขอบคุณ รองศาสตราจารย์ ดร.ณรงค์ มั่งคั่ง ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะครุศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี ที่ให้คำปรึกษาตลอดงานวิจัย

เอกสารอ้างอิง

- Dong-Ki Lee ,Young Hak Cho, Jong Whi Lee and Min Soo Park. (2017). Wettability of microstructured Pyrex glass with hydrophobic and hydrophilic properties. **Surface and Coatings Technology**, 319, 213–218
- Fumiyoshi Tochikubo and Hideyuki Arai. (2002). Numerical Simulation of Streamer Propagation and Radical Reactions in Positive Corona Discharge in N_2/NO and $N_2/O_2/NO$. **Japanese Journal of Applied Physics**, 41(2A), 844–852.
- Ghada Dushaq, Mahmoud Rasras and Ammar Nayfeh. (2017). Low temperature deposition of germanium on silicon using Radio Frequency Plasma Enhanced Chemical Vapor Deposition. **Thin Solid Films**, 636, 585–592.
- Huaquan Wang, Hongsheng Luo, Huankai Zhou, Xingdong Zhou, Xin Xing Zhang, Wenjing Lin, ... Yihang Zhang. (2018). Dramatically enhanced strain- and moisture-sensitivity of bioinspired fragmentized carbon architectures regulated by cellulosenanocrystals. **Chemical Engineering Journal**, 345, 452–461.
- J.K. Rath, M. Brinza, Y. Liu, A. Borreman and R.E.I. Schropp. (2010). Fabrication of thin film siliconsolar cells on plastic substrate by very high frequency PECVD. **Solar Energy Materials and Solar Cells**, 94 (9), 1534–1541.
- Lin Weihao, Chen Shengnan, Wang Jianxun, Jia Shaohui, Song Chenlu, Liu Yong and Han Gaorong. (2018). Study on structural, optical and hydrophilic properties of FTO/TiO₂ tandem thin film prepared by aerosol-assisted chemical vapor deposition method. **Surface and Coatings Technology**, 358.
- Mohsen Heshmati, Reza Haghani and Mohammad Al-Emrani. (2016). Effects of moisture on the long-term performance of adhesively bonded FRP/steel joints used in bridges. **Composites Part B**, 92, 447–462.
- N. Thungsuk, P. Nuchuay, D. Hirotsu, Y. Okamura, K. Nakabayashi, H. Kinoshita, ... N. Kasayapanand. (2014). Development of low-pressure high-Frequency plasma chemical vapor deposition method on surface modification of Silicon wafer. **Vacuum**, 109, 166–169.

- N. Thungsuk, T. Yuji, N. Mungkung, Y. Okamura, A. Fujimaru, H. Kinoshita, D. Hirotsu, ... N. Kasayapanand. (2015). The Development of Polyethylene Naphthalate Films by Low-pressure High-frequency Plasma Chemical Vapor Deposition System with Advance Oxidations Process. **Journal of Advanced Technologies**, 18(1), 123–128.
- Sanja Kostica, Vivian Merka, John K. Berga, Philipp Hassa, Ingo Burgerta and Etienne Cabanea. (2018). Timber–mortar composites: The effect of sol–gel Surface modification on the wood–adhesive interface. **Composite Structures**, 201, 828–833.
- S. Nagashima, T. Hasebe, A. Kamijo, Y. Yoshimoto, A. Hotta, H. Morita, ... Suzuki. (2010). Effect of oxygen plasma treatment on non–thrombogenicity of diamond–like carbon films. **Diamond and Related Materials**, 19(7–9), 861–865.
- Tarun Singh Yadav, Ashok Kumar Sharma, Anil Kottantharayil and Prabir Kanti Basu. (2018). Low-cost and low-temperature chemical oxide passivation process for large area single crystalline silicon solar cells. **Solar Energy**, 169, 270–276.
- T. Yuji, N. Mungkung, Y. Kiyota, D. Uesugi, M. Kawano, K. Nakabayashi, ... H. Akatsuka. (2011). Surface Modification of Si Wafer by Low-Pressure High-Frequency Plasma Chemical Vapor Deposition Method. **IEEE Trans. on Plasma Science**, 39(6), 1427–1431.
- Xizu Wang, Cindy Xinxin Zhao, Gu Xu, Zhi-Kuan Chen and Furong Zhu. (2012). Degradation mechanisms in organic solar cells: Localized moisture encroachment and cathode reaction. **Solar Energy Materials and Solar Cells**, 104, 1–6.