



รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์

การไม่ชอบน้ำยิ่งยวดของโครงสร้างแบบระดับชั้นของฟิล์มเขม่าเทียน

ดร. สุเมธ สกุลเสริมสุข

1 มิถุนายน 2560

สัญญาเลขที่ TRG5780184

รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์

การไม่ชอบน้ำยิ่งยวดของโครงสร้างแบบระดับชั้นของฟิล์มเขม่าเทียน

ดร. สุเมธ สกุลเสริมสุข

ภาควิชาฟิสิกส์และวัสดุศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่

สนับสนุนโดยสำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย

และมหาวิทยาลัยเชียงใหม่

(ความเห็นในรายงานนี้เป็นของผู้วิจัย สกว. ไม่จำเป็นต้องเห็นด้วยเสมอไป)

การไม่ชอบน้ำยิ่งยวดของโครงสร้างแบบระดับชั้นของฟิล์มเขม่าเทียน

บทคัดย่อ

เขม่าเทียนจากอนุภาคคาร์บอนสามารถก่อตัวเป็นฟิล์มแบบโครงสร้างแบบระดับชั้น โดยฟิล์มคาร์บอนนี้ถูกเตรียมโดยการนำกระจกสไลด์ไปกั้นเปลวไฟของเทียนไข โครงสร้างแบบระดับชั้นในระดับนาโนถูกยืนยันโดยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM) และกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องทะลุ จากข้อมูลภาพ SEM จะได้ว่าขนาดของอนุภาคในฟิล์มมีค่าเท่ากับ 49.2 ± 9.0 นาโนเมตร ซึ่งมีค่าในช่วงเดียวกับ TEM คือ 37.9 ± 8.5 นาโนเมตร มุมสัมผัสหยดน้ำบนฟิล์มคาร์บอนมีค่ามากกว่า 150° ซึ่งเป็นพื้นผิวแบบไม่ชอบน้ำยิ่งยวด จากการทดลองพบว่ามุมสัมผัสนี้จะมีค่าลดลงเมื่อเวลาที่ใช้ในการเตรียมฟิล์มมีค่าเพิ่มขึ้น โดยการลดลงของมุมสัมผัสนี้จะมีค่าอ้อมตัวที่ 150° เมื่อเวลาที่ใช้ในการเตรียมฟิล์มมีค่าเท่ากับ 180 วินาที เราอธิบายปรากฏการณ์การไม่ชอบน้ำยิ่งยวดนี้ด้วยการเปียกน้ำแบบแคชชี-แบคเตอร์ เนื่องจากพื้นผิวแบบระดับชั้นจะมีช่องว่างอยู่จำนวนมาก เราเสนอว่าการที่มุมสัมผัสขึ้นกับเวลาในการเตรียมนั้นก็เพราะว่าจำนวนช่องว่างบนพื้นผิวมีมากขึ้นนั่นเอง

คำสำคัญ: อนุภาคคาร์บอน, การไม่ชอบน้ำยิ่งยวด, มุมสัมผัส, เขม่าเทียน, โครงสร้างแบบระดับชั้น

Superhydrophobicity of hierarchical nanostructure of candle soot films

Abstract

Candle soot containing carbon nanoparticles can form hierarchical structure films. We prepared soot films by using glass slides blocking candle flame in the middle of the flame. Hierarchical nanostructure of the carbon nanoparticles films was confirmed by scanning electron microscopy and transmission electron microscopy. Particle size was measured as 49.2 ± 9.0 nm from SEM, which agrees to 37.9 ± 8.5 nm from TEM. Contact angles of water droplets on these films are more than 150° , indicating superhydrophobic surface. Decrease contact angles of water droplets was observed with increase deposition time. The decrease of contact angle was saturated at about 150° when deposition time reaches 180 s. Cassie-Baxter state was attributed to describe superhydrophobicity of carbon nanoparticles films because hierarchical nanostructure of surface provides a large fraction of hollows in the surface. We proposed the contact angle dependence on deposition time was governed by the increase of distance between nanopillars in carbon nanoparticles films.

Keywords: Carbon nanoparticles, superhydrophobicity, contact angle, candle soot, hierarchical

Executive Summary

การวิจัยนี้ศึกษาฟิล์มเขม่าจากการเผาไหม้ของเปลวเทียนซึ่งเกิดจากการเผาไหม้ที่ไม่สมบูรณ์ ซึ่งทำให้เกิดขึ้นได้โดยการใช้แผ่นแก้วสไลด์ไปกั้นตรงกลางเปลวเทียน ฟิล์มที่ได้จากการเก็บอนุภาคคาร์บอนจะถูกนำไปวิเคราะห์ด้วย SEM และ TEM เพื่อหาลักษณะสัญญาณของอนุภาคและฟิล์มที่ได้ จากการทดลองพบว่ามีมุมสัมผัสหยดน้ำบนฟิล์มคาร์บอนจะมีค่าลดลงเมื่อระยะเวลาที่ใช้ในการตกสะสมเพื่อให้เกิดฟิล์มที่ค่าเพิ่มขึ้น การใช้ AFM เพื่อหาความขรุขระเป็นไปได้อย่าง เนื่องจากอนุภาคคาร์บอนมีการจับตัวกันแบบหลวมๆ จึงทำการอธิบายความสัมพันธ์ของมุมสัมผัสหยดน้ำกับระยะเวลาที่เกิดฟิล์ม โดยการสร้างแบบจำลองที่มีพื้นฐานอยู่บนลักษณะของฟิล์ม นั่นคือการเกิดฟิล์มที่ผิวมีโครงสร้างแบบระดับขั้นหรือเฟลคเทล ซึ่งเป็นรูปแบบที่พบเห็นได้ทั่วไปในธรรมชาติ จากภาพ SEM เราสามารถอธิบายได้ว่าอนุภาคจะเริ่มจับตัวกันในระยะแรก เพื่อก่อตัวเป็นหมุดเล็กๆ จากนั้นเมื่ออนุภาคมาจับตัวมากขึ้น จึงก่อตัวขึ้นไปมีรูปแบบคล้ายเสาในระดับนาโน โดยเสานาโนนี้将有ความกว้างของเสาเล็กลงเรื่อยๆ เมื่อความสูงมีค่ามากขึ้น ดังนั้น ความกว้างระหว่างเสานาโนสองเสาจะมีค่ามากขึ้นเมื่อเวลานานขึ้น จากผลการจำลองด้วยคอมพิวเตอร์ของ ซางและคณะ [1] พบว่า ความกว้างที่เพิ่มขึ้นของผิวแบบระดับขั้นจะทำให้มุมสัมผัสหยดน้ำมีค่าลดลง ซึ่งสอดคล้องและสามารถอธิบายผลการทดลองในโครงการวิจัยได้

[1] Zhang, B., Wang, J. and Zhang, X. Effects of the hierarchical structure of rough solid surfaces on the wetting of microdroplets. *Langmuir* 29, 6652-6658 (2013).

บทที่ 1

บทนำ

เขม่าจากเปลวเทียนโดยปกติจะไม่เป็นผลึกซ์ที่ไม่พึงต้องการจากเปลวเทียน เขม่าเหล่านี้เกิดขึ้นจากการเผาไหม้ที่ไม่สมบูรณ์ของสารไฮโดรคาร์บอนในเปลวเทียน [1] เราสามารถเก็บเขม่าเทียนเหล่านี้ได้โดยการใช้วัตถุของแข็งวางขวางบริเวณภายในเปลวไฟหรือแม้แต่นำบนเปลวเทียน รอเป็นเวลา 5-10 วินาที จะเกิดฟิล์มสีดำของอนุภาคคาร์บอนที่สามารถมองเห็นได้ด้วยตาเปล่า ฟิล์มบางนี้จะประกอบด้วยอนุภาคนาโนคาร์บอนซึ่งจะมีการเชื่อมต่อกันเป็นเครือข่ายที่ซับซ้อน โดยจะเป็นโครงสร้างแบบระดับชั้น (hierarchical structure) [2] สมบัติที่น่าสนใจของฟิล์มคาร์บอนนี้คือพื้นผิวแบบไม่ชอบน้ำยิ่งยวด (superhydrophobic surface) ซึ่งพื้นผิวลักษณะแบบนี้จะมีการประยุกต์ใช้ในการเลียนแบบธรรมชาติ (biomimetic) เช่น การทำความสะอาดตัวเอง (self-cleaning effect) ซึ่งสามารถเห็นได้จากการกลิ้งของหยดน้ำบนใบบัวจะทำให้ใบบัวมีผิวที่สะอาด มุมสัมผัสของหยดของเหลวบนพื้นผิวที่เรียบ สามารถอธิบายได้จากสมการของยัง (Young's equation)

$$\gamma_{SG} = \gamma_{SL} + \gamma_{LG} \cos \theta \quad (1)$$

โดยที่ γ เป็นแรงตึงผิวตักห้อย SG, SL และ LG สำหรับผิวสัมผัส ของแข็ง-แก๊ส, ของแข็ง-ของเหลว และของเหลว-แก๊ส สำหรับพื้นผิวแบบไม่เรียบสมการของยังจะถูกดัดแปลงเพื่ออธิบายหยดน้ำที่อยู่สถานะแบบเวนเซล (Wenzel's state) [3] ดังสมการ

$$\cos \theta' = r \cos \theta \quad (2)$$

โดยที่ r คือ อัตราส่วนของพื้นที่ที่แท้จริงของผิวขรุขระต่อพื้นที่แบบโปรเจก (geometric projected area) หรือเรียกว่า ตัวประกอบความขรุขระ θ เป็นมุมสัมผัสบนผิวเรียบ θ' เป็นมุมสัมผัสบนผิวขรุขระ ซึ่งโดยทั่วไปแล้วจะมีค่ามากกว่า θ สมการเวนเซลจะใช้กรณีที่หยดน้ำที่แทรกตัวเข้าไปในช่องว่างของผิวขรุขระ ทำให้ไม่มีช่องว่างระหว่างหยดน้ำกับผิว สำหรับหยดน้ำบนผิวที่ประกอบด้วยวัสดุสองเฟส นั่นคือของแข็งกับอากาศ เราต้องใช้สมการแคชชี-แบคเตอร์ [4] ดังสมการ

$$\cos \theta' = f \cos \theta + f - 1 \quad (3)$$

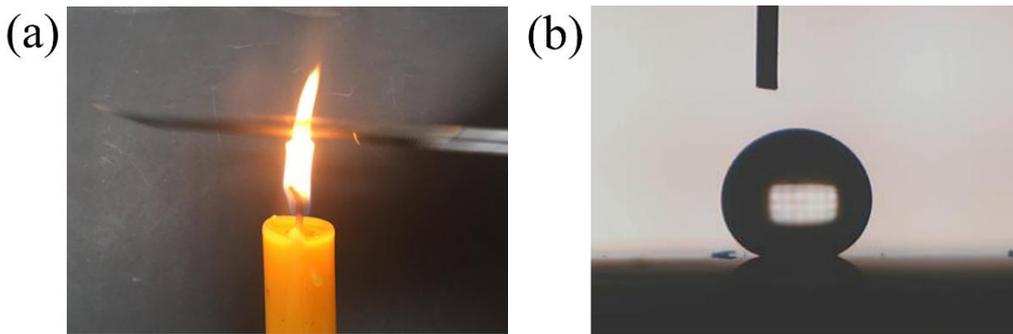
โดยที่ f เป็นสัดส่วนพื้นที่ของของแข็งกับของเหลว ดังนั้น $1-f$ เป็นสัดส่วนพื้นที่ของของแข็งกับอากาศ

โครงสร้างแบบระดับชั้นเป็นตัวประกอบที่สำคัญสำหรับผิวในธรรมชาติเพื่อที่จะมีสมบัติไม่ชอบน้ำยิ่งยวด การเคลือบด้วยสารที่มีพลังงานยึดเหนี่ยวที่น้อย เช่น แวกซ์ที่เคลือบอยู่บนวัสดุฐานมีมุมสัมผัสประมาณ 103° [5] แต่มีค่าน้อยกว่ามุมสัมผัสของผิวไม่ชอบน้ำยิ่งยวด ผิวที่ขรุขระนั้นไม่เหมือนผิวที่เรียบ โดยจะมีหยดของเหลวจะมีผิวสัมผัสกับทั้งบริเวณที่เป็นของแข็งและบริเวณที่เป็นอากาศ สำหรับผิวสัมผัสแบบนี้ช่องว่างที่เป็นลักษณะคล้ายร่องจะทำหน้าที่กักอากาศ ลักษณะของวัตถุหรือผิวที่โป่งนูนจะยึดผิวสัมผัสของเหลวกับอากาศ ทำให้หยดของเหลวมีความเสถียรทางพลังงาน [6]

ในงานวิจัยนี้ ผู้วิจัยรายงานการลดลงของมุมสัมผัสเมื่อเวลาที่ใช้เตรียมฟิล์มคาร์บอน โดยใช้เทคนิคการวิเคราะห์ ได้แก่ กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องทะลุ เพื่อหาลักษณะพื้นฐานของอนุภาคและวิเคราะห์อนุภาคที่เกิดขึ้น อีกทั้งทำการวัดการเพิ่มความหนาของฟิล์มเทียบกับเวลาเตรียม รวมทั้งผู้วิจัยได้ให้คำอธิบายการขึ้นกับมุมสัมผัสของหยดน้ำต่อเวลาในการเตรียมฟิล์มอนุภาคคาร์บอน

บทที่ 2 การเตรียมชิ้นงาน

อนุภาคคาร์บอนในการทดลองนั้นเตรียมไปได้จากเขม่าเทียน โดยใช้แผ่นแก้วสไลด์กั้นเปลวเทียนจากเทียนไข แผ่นสไลด์ถูกถือไว้กลางเปลวเทียนดังแสดงในรูปที่ 1a และเลื่อนไปด้านข้างอย่างช้าๆ เพื่อให้อนุภาคเคลือบไปทั่วทั้งแผ่น จากนั้นนำแผ่นแก้วสไลด์ไปหยดด้วยหยดน้ำจากเข็มฉีดยาแล้ววัดมุมสัมผัสของหยดน้ำ รูปที่ 1b แสดงมุมสัมผัสหยดน้ำมากกว่า 150 องศา ระหว่างเส้นรอยต่อของน้ำ-อากาศ กับเส้นรอยต่อของของแข็ง-อากาศ ซึ่งบ่งบอกว่าฟิล์มของอนุภาคคาร์บอนมีผิวแบบไม่ชอบน้ำยิ่งยวด ฟิล์มอนุภาคคาร์บอนนี้จะถูกตรวจวัดลักษณะเฉพาะจากกล้องจุลทรรศน์แบบส่องกราด JSM 6335F (FE-SEM) และกล้องจุลทรรศน์แบบส่องทะลุ FEI Tecnai G2 (TEM) เพื่อตรวจวัดลักษณะของฟิล์มที่ได้และวิเคราะห์ห้ขนาดของอนุภาคคาร์บอน



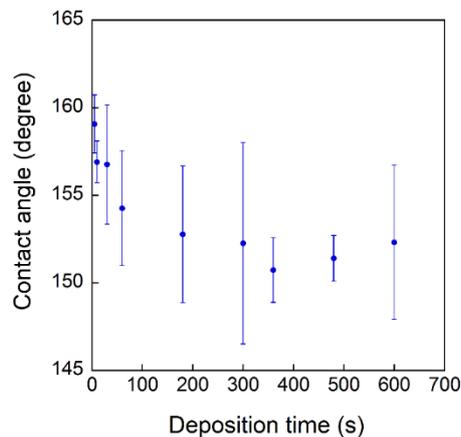
รูปที่ 1 (a) การเตรียมฟิล์มคาร์บอนบนแผ่นแก้วสไลด์ (b) หยดน้ำบนฟิล์มคาร์บอนแสดงสมบัติไม่ชอบน้ำยิ่งยวด

บทที่ 3

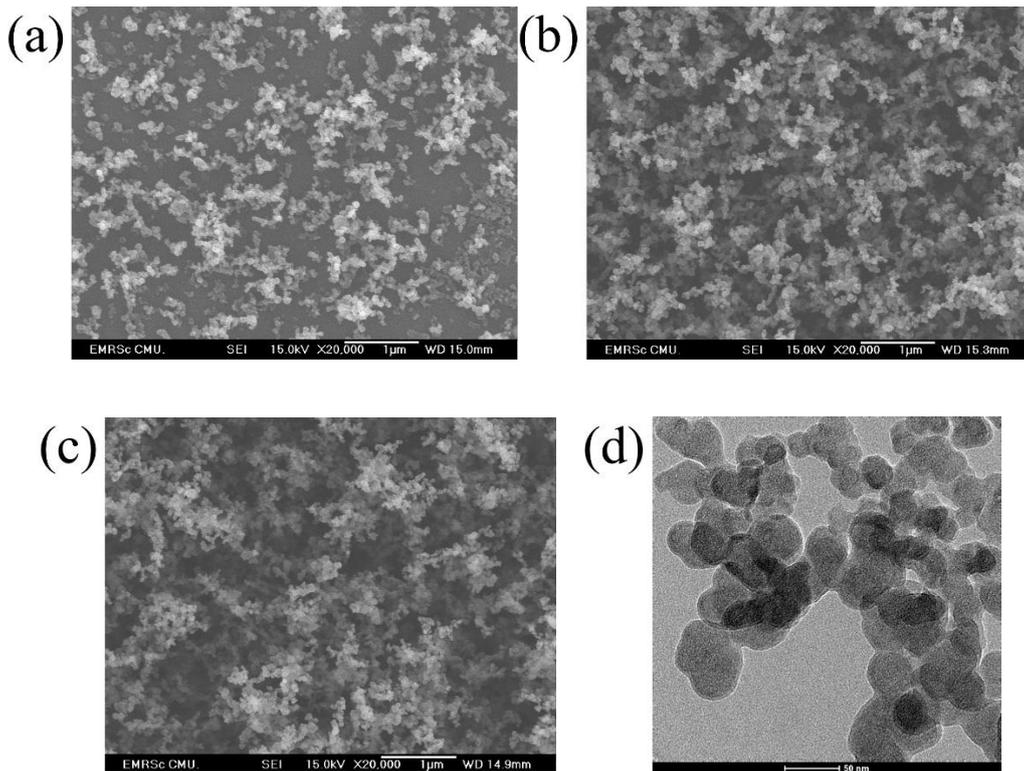
ผลการทดลอง

3.1 มุมสัมผัสของหยดน้ำและลักษณะของพื้นผิวฟิล์มคาร์บอน

มุมสัมผัสของหยดน้ำถูกวัดบนฟิล์มของอนุภาคคาร์บอนสำหรับการเตรียมฟิล์มที่ใช้เวลาแตกต่างกัน รูปที่ 2 แสดงมุมสัมผัสที่ลดลงเทียบกับเวลาในการเตรียมฟิล์ม การใช้เวลาเตรียมที่สั้น 2 วินาทีทำให้ได้มุมสัมผัสที่มากที่สุด 161.3 องศา มุมสัมผัสที่สังเกตได้มีค่าลดลงเมื่อใช้เวลาเตรียมฟิล์มนานมากขึ้น ความสัมพันธ์ระหว่างมุมสัมผัสกับเวลาในการเตรียมมีลักษณะคล้ายกับการลดลงแบบเอ็กโปเนนเชียลการลดลงของมุมสัมผัสจะมีค่าอิมิตัวที่ประมาณ 157 องศา ซึ่งจะเริ่มเกิดขึ้นเมื่อการเตรียมฟิล์มใช้เวลา 180 วินาทีเป็นต้นไป ภาพ SEM ในรูปที่ 3a-c แสดงการวิวัฒนาการของรูปร่างของอนุภาคคาร์บอนในฟิล์มคาร์บอนเมื่อทำการเตรียมฟิล์มเป็นเวลา 2 วินาที, 10 วินาที และ 2 นาที ขนาดของอนุภาคในรูป SEM วัดได้เท่ากับ 49.2 ± 9.0 นาโนเมตร และสามารถสังเกตโครงสร้างแบบระดับชั้นของฟิล์มคาร์บอน การเชื่อมต่อ เกาะกันของอนุภาคคาร์บอนสามารถเห็นได้จากรูป TEM ดังแสดงในรูปที่ 3d ขนาดอนุภาคคาร์บอนวัดได้เท่ากับ 37.9 ± 8.5 นาโนเมตร ซึ่งค่าที่ได้ถือว่าสอดคล้องกับค่าที่ได้จาก SEM นอกจากนี้จากในรูป TEM เราจะพบว่าอนุภาคคาร์บอนเป็นโครงสร้างแบบอสัณฐาน อนุภาคคาร์บอนเกิดจากตัวก่อเขม่าจากการก่อตัวของสารไฮโดรคาร์บอนแบบอะโรมาติก เขม่าเหล่านี้จะก่อตัวจากการรวมตัวกันของสารไฮโดรคาร์บอนและอะเซทิลีน [1]



รูปที่ 2 ค่ามุมสัมผัสของหยดน้ำบนฟิล์มบางคาร์บอนเทียบกับเวลาในการตกสะสม



รูปที่ 3 ภาพ SEM ของฟิล์มอนุภาคคาร์บอนบนแก้วสไลด์โดยใช้เวลาดกสะสมเท่ากับ (a) 2 วินาที (b) 10 วินาที (c) 2 นาที (d) ภาพ TEM ของอนุภาคคาร์บอนโดยใช้การดกสะสม 2 นาที

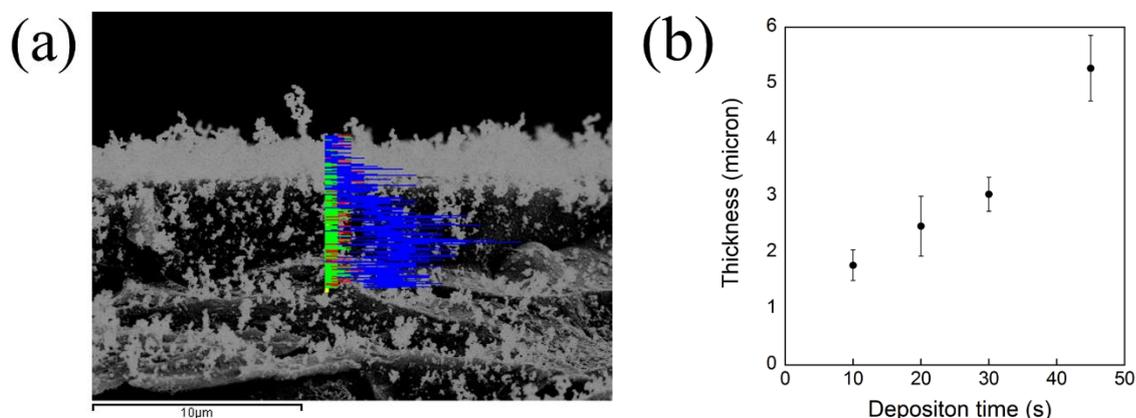
3.2 ความหนาของฟิล์ม

ความหนาของฟิล์มสามารถวัดได้จากภาพ SEM ส่วนตัดขวางแสดงในรูปที่ 4(a) สำหรับการดกสะสมอนุภาคคาร์บอนเป็นเวลา 20 วินาที เส้นสแกน EDS ถูกใช้ในการวัดส่วนตัดขวางของฟิล์มคาร์บอนเพื่อใช้ในการแยกชั้นฟิล์มกับแก้วสไลด์ รูปที่ 4(b) แสดงการเพิ่มขึ้นของความหนาของฟิล์มคาร์บอนเมื่อเวลาการดกสะสมเพิ่มขึ้น เราตั้งสมมุติฐานการเปียกของฟิล์มคาร์บอนว่าจะคล้ายกับการไม่ชอบน้ำของแกรไฟต์ [7] โดยที่ลักษณะโครงสร้างแบบระดับขั้นของฟิล์มคาร์บอนทำให้มีช่องว่างบนพื้นผิวจำนวนมาก ช่องว่างเหล่านี้จะกักอากาศไว้ได้หยดน้ำได้ มีปัจจัยสองอย่างที่เหมาะสมกับฟิล์มที่ไม่ชอบน้ำ สำหรับการเปียกในสถานะเวนเซล (Wenzel state) จะมีเฉพาะผิวรอยต่อแบบของเหลว-ของแข็งบนพื้นผิวที่อยู่ด้านล่างของหยดน้ำเท่านั้น จะไม่มีอากาศอยู่ด้านล่างของหยดน้ำ จากสมการที่ (1) หยดน้ำจะมีมุมสัมผัสที่มากขึ้นถ้าตัวประกอบความขรุขระ (r) มีค่าเพิ่มขึ้น พื้นผิวของฟิล์มคาร์บอนที่เกิดจากการดกสะสมนานจะมีความขรุขระมากขึ้นซึ่งสังเกตได้จากรูป SEM อย่างไรก็ตาม ผลการทดลองที่ได้ไม่สอดคล้องกับผลที่คาดการณ์ไว้จากการเปียกในสถานะเวนเซล ซึ่งนี้ น่าจะสามารถอธิบายได้จากการเปียกในสถานะแคสซี-แบคเตอร์ ซึ่งหยดน้ำจะไม่แทรกเข้าไปในช่องว่างระหว่างฟิล์มคาร์บอน ดังนั้น หยดน้ำจึงมีรอยต่อสองแบบ คือ ของเหลว-ของแข็ง กับ ของเหลว-อากาศ

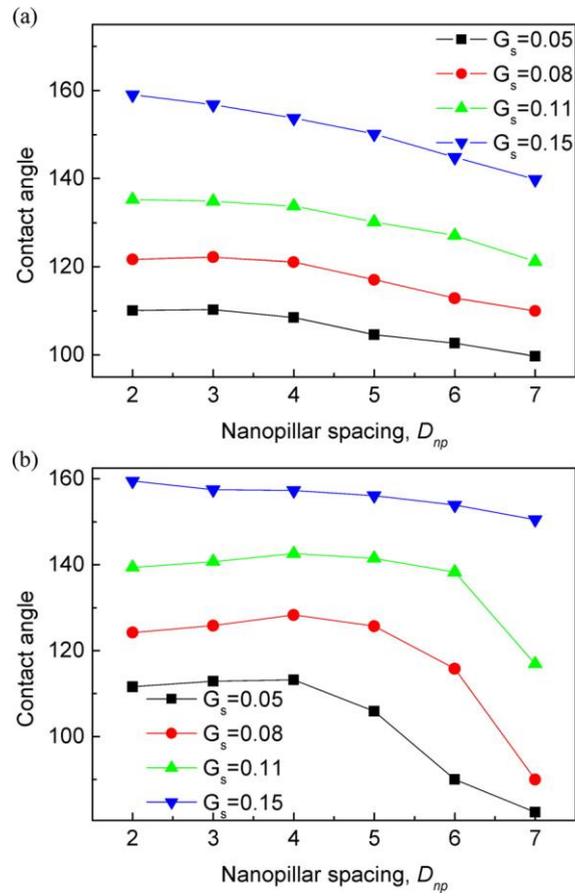
เพื่อที่จะทำการอธิบายความสัมพันธ์ของมุมสัมผัสหยดน้ำกับเวลาในการดกสะสม โครงสร้างคาร์บอนสามารถมองอย่างประมาณได้ว่าเป็นโครงสร้างแบบเสา [8] เนื่องจาก เราไม่ทราบระยะห่างระหว่าง

เสานาโน แต่ค่าระยะห่างนี้ควรจะสัมพันธ์กับความขรุขระของพื้นผิว การวัดความขรุขระของพื้นผิวจากเครื่อง กล้องจุลทรรศน์แรงอะตอม (atomic force microscope, AFM) เป็นเรื่องท้าทายมากสำหรับฟิล์มคาร์บอน เนื่องจากอนุภาคคาร์บอนยึดกันอยู่กันแบบหลวมๆ การสแกนเข็ม AFM จึงสามารถขยับหรือทำให้อนุภาค คาร์บอนเคลื่อนที่ได้ หรือแม้แต่ทำให้อนุภาคหลุดมาติดกับเข็ม ทั้งหมดนี้ส่งผลให้ภาพที่ได้จาก AFM นั้น เบลอ ดังนั้น เราจึงสร้างแบบจำลองเพื่อใช้ในการอธิบายโครงสร้างอนุภาคคาร์บอนบนพื้นฐานการเกิดอนุภาค กล่าวคือ การตกสะสมอนุภาคคาร์บอนทำให้เกิดการรวมกลุ่มกันของอนุภาคบนแก้วสไลด์เกิดเป็นโครงสร้าง คล้ายกับเสานาโนเล็กๆขึ้น อย่างไรก็ตาม ในตอนแรกอนุภาคไม่ได้กระจายไปทั่วแก้วสไลด์ ยังมีหลายบริเวณ ที่ไม่มีอนุภาคคาร์บอนไปปกคลุม ซึ่งจะเห็นได้จากรูปที่ 3(a) จากนั้น อนุภาคคาร์บอนจะมาเกาะเพิ่มใน โครงสร้างก่อนหน้า ทำให้เสานาโนมีความสูงเพิ่มขึ้น จากลักษณะโครงสร้างแบบระดับชั้นจะทำให้ความ กว้างของเสานาโนนี้มีขนาดเล็กลงเมื่อเสานาโนนี้มีความสูงเพิ่มขึ้น นี้จะทำให้ระยะห่างระหว่างเสานาโนใน บริเวณใกล้เคียงเสามีค่าเพิ่มขึ้น เมื่อไม่นานมานี้ มีงานวิจัยเสนอสมการเชิงทฤษฎีเพื่ออธิบายมุมสัมผัสหยดน้ำ บนพื้นผิวที่มีเสานาโนที่เป็นระเบียบ [10] งานในอนาคต เราสามารถที่จะปรับปรุงสมการเหล่านี้เพื่อให้ใช้ได้ กับเสานาโนที่มีรูปร่างไม่เป็นระเบียบซึ่งน่าจะให้ข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับลักษณะของเสานาโนได้

การจำลองหยดน้ำที่มีขนาดไมโครเมตรบนโครงสร้างแบบระดับชั้นถูกคำนวณโดยกระบวนการ แลตติซโบซมานต์โดยคณะวิจัยของโบ ซาง [9] ซึ่งระบุว่าเกิดการลดลงของค่ามุมสัมผัสหยดน้ำเมื่อเพิ่ม ระยะห่างระหว่างเสานาโน ดังแสดงในรูปที่ 5 ดังนั้น การลดลงของมุมสัมผัสหยดน้ำบนฟิล์มอนุภาคคาร์บอน สามารถอธิบายได้จากการเพิ่มขึ้นของระยะห่างระหว่างเสานาโนบนพื้นผิวฟิล์ม แม้ว่ามุมสัมผัสจะเพิ่มขึ้นเมื่อ ความยาวของเสานาโนมีค่าเพิ่มขึ้นเช่นกัน แต่มีผลต่อผลการทดลองน้อยมาก จึงสามารถเพิกเฉยได้ นอกจากนี้ เมื่อเวลาในการตกสะสมนานกว่า 180 วินาที มุมสัมผัสจะเริ่มมีค่าคงที่ที่ 151° ซึ่งเป็นไปได้ว่า ระยะห่างระหว่างเสานาโนน่าจะมีค่าคงที่ การเพิ่มความหนาของฟิล์มโดยการเพิ่มเวลาการตกสะสมน่าจะทำ ให้อนุภาคคาร์บอนที่เกิดใหม่ไปเกาะกับโครงสร้างเดิม ทำให้เพิ่มระดับชั้นของโครงสร้างก่อนหน้า



รูปที่ 4 (a) ภาพตัดขวางของฟิล์มอนุภาคคาร์บอน 20 วินาที มีเส้นสแกน EDS เพื่อบอกระดับธาตุ (b) ความ หนาของฟิล์มอนุภาคคาร์บอนเทียบกับเวลาการตกสะสม



รูปที่ 5 แสดงผลของระยะห่างระหว่างเสาโนโดยมีค่าความยาวของเสาโนเป็น (a) 2 และ (b) 5 ตามลำดับ

[9]

บทที่ 4

สรุปผลการทดลอง

เรารายงานการความสัมพันธ์ของมุมสัมผัสหยดน้ำบนฟิล์มบางของอนุภาคคาร์บอนกับระยะเวลาการตกตะกอนของอนุภาค ยังพบอีกว่าฟิล์มบางคาร์บอนนี้มีผิวที่ไม่ชอบน้ำโดยมีมุมสัมผัสที่มากที่สุดคือ 161.3° ซึ่งเราสามารถอธิบายโดยใช้การเปียกในสถานะแคชชี-แบคเตอร์ โดยมุมสัมผัสหยดน้ำมีค่าลดลงเมื่อระยะเวลาในการตกตะกอนเพิ่มขึ้น โครงสร้างแบบเครือข่ายนาโนในฟิล์มบางสามารถอธิบายได้โดยการเกิดเสานาโนแบบไม่เป็นระเบียบ โดยมุมสัมผัสหยดน้ำที่มีค่าลดลงก็เนื่องจากการเพิ่มขึ้นของระยะห่างระหว่างเสานาโนเหล่านี้ ความซับซ้อนของโครงสร้างนี้ดูเหมือนจะมีค่าคงที่เมื่อเวลาที่ใช้ในการตกตะกอนเป็น 180 วินาที ซึ่งจะทำให้มีมุมสัมผัสหยดน้ำเท่ากับ 151° การวิจัยนี้เสนอความเข้าใจที่มากขึ้นเกี่ยวกับการเปียกของหยดน้ำบนฟิล์มคาร์บอนที่มีโครงสร้างแบบระดับชั้น ซึ่งอาจจะเป็นประโยชน์ต่อการพัฒนาพื้นผิวที่ไม่เปียกน้ำ เช่น ผิวของโซลาร์เซลล์ ผิวของตัวเรือเพื่อให้เรือเคลื่อนที่ได้เร็วขึ้นและมีหอยหรือสัตว์ทะเลมาเกาะน้อยลง กระจกรถยนต์ เป็นต้น

เอกสารอ้างอิง

- [1] Mansurov, Z. A. Soot formation in combustion processes (review). *Combustion, explosion, and shock waves*, 41, 727-744 (2005).
- [2] Seo, K, Kim, M. and Kim D.H. Candle-based process for creating a stable superhydrophobic surface. *Carbon* 68, 583-596 (2014).
- [3] Wenzel, R. N. *Ind. Eng. Chem.* Resistance of solid surfaces to wetting by water. 28, 988-994 (1996).
- [4] Cassie, A.B.D., Baxter, S. *Trans. Faraday Soc.* Wettability of porous surfaces. 40, 546-551 (1944).
- [5] Kamusewitz, H., Possart, W., Paul, D. The relation between Young's equilibrium contact angle and the hysteresis on rough paraffin wax surfaces. *Colloids Surf. A*, 156, 271-279 (1999).
- [6] Nosonovsky, M. Multiscale roughness and stability of superhydrophobic biomimetic interfaces. *Langmuir*, 23, 3157-3161 (2007).
- [7] Kozbial, A., Li, Z., Sun, J., Gong, X., Zhou, F., Wang, Y., Xu, H., Liu, H. and Li, L. Understanding the intrinsic water wettability of graphite. *Carbon* 74, 218-225 (2014).
- [8] Yoshimitsu, Z., Nakajima, A., Watanabe, T. and Hashimoto, K. Effects of surface structure on the hydrophobicity and sliding behavior of water droplets. *Langmuir* 18, 5818-5822 (2002).
- [9] Zhang, B., Wang, J. and Zhang, X. Effects of the hierarchical structure of rough solid surfaces on the wetting of microdroplets. *Langmuir* 29, 6652-6658 (2013).
- [10] Suzuki, S. and Ueno, K. Apparent contact angle calculated from a water repellent model with pinning effect. *Langmuir* 33, 138-143 (2017).

Output ที่ได้จากโครงการ

1. Apinya Hankhuntond, Pisith Singjai and **Sumet Sakulsermsuk**, *Superhydrophobicity of hierarchical nanostructure of candle soot films*. Journal of Physics: Conference Series **2017** (in process, under review)
2. Posak Tippo, Pisith Singjai, Suparb Choopun and **Sumet Sakulsermsuk**, *Structural and electrical properties of BCN films* (manuscript in preparation)