

ผลของความขรุขระเชิงผิวต่อความสามารถในการเปียกน้ำของฟิล์มบางคาร์บอนคล้ายเพชร

Effect of Surface Roughness on Wettability of Diamond-Like Carbon Thin Films

นฤทธิ ฝ้ายบุตร (Narit Faibut)* ดร.วิทยา อมรกิจบำรุง (Dr.Vittaya Amornkitbamrung) **

บทคัดย่อ

ทำการเตรียมฟิล์มบางคาร์บอนคล้ายเพชรประเภทไฮโดรจิเนตเตด อะมอร์ฟัสคาร์บอนโดยใช้ระบบตกสะสมไอเชิงเคมีด้วยคลื่นวิทยุจากพลาสมาแผ่นคู่ควบคุมความจุไฟฟ้าลงบนกระจกสไลด์ที่ได้รับการขัดจนมีความขรุขระต่างกัน โดยใช้ก๊าซสารตั้งต้นมีเทน และก๊าซไฮโดรเจนในอัตราส่วนที่ต่างกัน และนำไปวัดค่าความขรุขระด้วยเครื่อง AFM ค่ามุมสัมผัสน้ำมีค่าตั้งแต่ 84.8-104.8 องศา และมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อความขรุขระสูงขึ้น และเปลี่ยนแปลงอย่างเห็นได้ชัดเมื่อค่าความขรุขระมีค่าประมาณ 250 nm ขึ้นไป ฟิล์มที่มีค่าความขรุขระ 342 nm มีค่าพลังงานเชิงผิว 10.67 mJ/m² มีค่าเฉลี่ยมุมสัมผัสน้ำสูงสุดที่ 104.8 องศา

ABSTRACT

Hydrogenated amorphous carbon (a-C:H) thin films were prepared on polished glass slide substrates by capacitively coupled radio-frequency Plasma-Enhanced Chemical Vapor Deposition (PECVD) system using methane with various hydrogen mixes as source gases. The roughness of thin films were then analyzed by Atomic Force Microscope (AFM). The water contact angles were 84.8 to 104.8 degrees. The water contact angle increases with increasing film roughness, and does so clearly when the roughness is approximately higher than 250 nm. The film with 342 nm roughness and 10.67 mJ/m² surface energy shows the highest average water contact angle at 104.8 degrees.

คำสำคัญ: ไฮโดรจิเนตเตด อะมอร์ฟัสคาร์บอน ค่ามุมสัมผัสน้ำ ความขรุขระ

Key Words: Hydrogenated amorphous carbon, Water contact angle, Roughness

* นักศึกษา หลักสูตรวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น

** รองศาสตราจารย์ สาขาวิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น

บทนำ

ฟิล์มบางคาร์บอนคล้ายเพชร (diamond-like carbon, DLC) ประเภทไฮโดรเจนเทค อะมอร์ฟัสคาร์บอน หากสามารถนำไปใช้งานได้จริงจะนับเป็นฟิล์ม (film) ที่มีคุณสมบัติหลากหลายมาก เนื่องจากคุณสมบัติที่โดดเด่นหลายประการ เช่น มีความแข็งใกล้เคียงกับเพชร (Lemoine *et al.*, 2004) ทนต่อการกัดกร่อนและการเกิดปฏิกิริยาเคมี เป็นต้น สิ่งที่น่าสนใจคือการสังเคราะห์ฟิล์มคาร์บอนคล้ายเพชรสำหรับเคลือบผิวให้สามารถทำความสะอาดตัวเอง (self-cleaning) ซึ่งมีประโยชน์ใช้งานเคลือบผิวกระจกตามอาคารเพื่อป้องกันการขีดข่วนและเกิดการทำลายความสะอาดตัวเองหรือจะเป็นแผงเซลล์แสงอาทิตย์ ทั้งนี้เพื่อเป็นการประหยัดเวลาและลดสารเคมีจากการซักล้างตู้สิ่งแวดล้อม สำหรับฟิล์มคาร์บอนคล้ายเพชรในการทำให้เป็นฟิล์มไม่ชอบน้ำจำเป็นต้องทำให้ฟิล์มคงสภาพสมบัติเชิงกลต่างๆไว้ดังเดิม ซึ่งปัจจุบันนี้มีการนำพลาสมา (plasma) ของ เตตระฟลูออโรมีเทน (tetrafluoromethane, CF_4) ซึ่งเป็นก๊าซ (gas) เรืองกระจกที่ก่อให้เกิดภาวะโลกร้อน (Zhou *et al.*, 2009) แต่เมื่อพิจารณาการเกิดสมบัติไม่ชอบน้ำของใบบัวพบว่าในใบบัวนั้นมีโครงสร้างบนผิวใบที่มีลักษณะที่ขรุขระ มีโครงสร้างที่มีลักษณะเป็นขนขนาดเล็กระดับไมโครเมตร และทำให้แรงที่อนุภาคฝุ่นกระทำต่อผิวของใบนั้นน้อยเมื่อเทียบกับแรงดึงดูดระหว่างอนุภาคฝุ่นกับของเหลว จึงทำให้เกิดการทำความสะอาดตัวเอง (Neinhuis *et al.*, 1997) ดังนั้นจึงมีความเป็นไปได้ที่จะทำผิวฟิล์มให้มีความขรุขระ (roughness) เพื่อให้ได้มาซึ่งความสามารถในการทำความสะอาดตัวเอง แต่ยังคงคุณสมบัติความแข็งที่โดดเด่นของฟิล์มเอาไว้

วัตถุประสงค์การวิจัย

1. เพื่อศึกษาผลกระทบของความขรุขระของฟิล์มคาร์บอนคล้ายเพชรต่อค่ามุมสัมผัสของฟิล์ม
2. เพื่อหาค่าพลังงานเชิงผิว (surface energy) ของฟิล์มคาร์บอนคล้ายเพชรที่มีความขรุขระหลายค่า

วัสดุอุปกรณ์และวิธีการวิจัย

นำกระจกสไลด์ขนาด 1x3 ตารางนิ้ว ที่จะใช้เป็นวัสดุฐานรองมาขัดด้วยกระดาษทรายให้มีระดับความขรุขระต่างกัน ด้วยเบอร์ 120, 220, 400, 600, 800, 1000, 1500, 2000 จำนวน 8 ชั้น แล้วทำการเคลือบฟิล์มคาร์บอนคล้ายเพชรโดยใช้ระบบตกสะสมไอเชิงเคมีบนกระจกสไลด์ดังกล่าว โดยใช้เงื่อนไขเดียวกันดังตารางที่ 1 ทุกแผ่นรวมแผ่นที่ไม่ขัดอีก 1 แผ่นเป็น 9 แผ่นแล้วนำฟิล์มไปวัดความขรุขระด้วยเครื่อง AFM รวมทั้งวัดค่ามุมสัมผัสน้ำ และกลีเซอรอล แล้วคำนวณค่าพลังงานเชิงผิวของฟิล์มทุกชิ้นงานโดยใช้แบบจำลองค่าเฉลี่ยเรขาคณิต (geometric mean model) และแบบจำลองค่าเฉลี่ยฮาร์โมนิก (harmonic mean model)

ตารางที่ 1 ตัวแปรและเงื่อนไขการสังเคราะห์ฟิล์มบาง

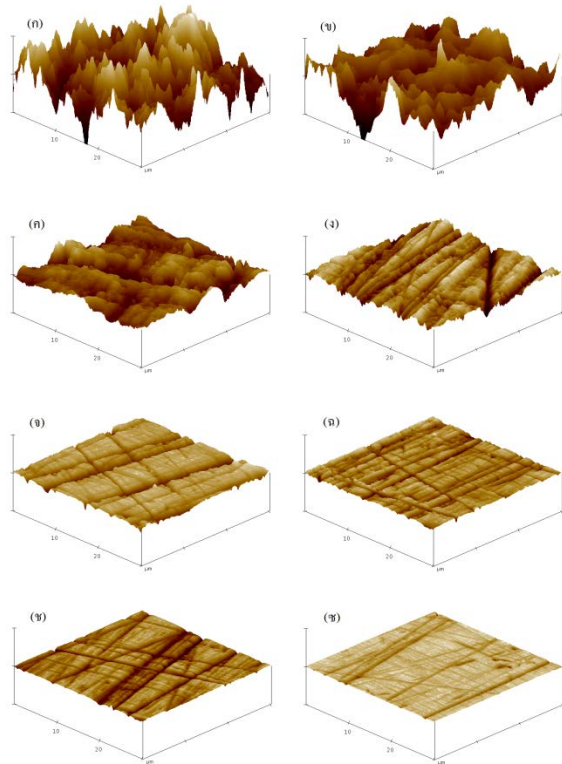
ตัวแปรควบคุม	ระดับค่า
Base pressure	1.5×10^{-5} Torr
Electrode spacing	2.0 cm
Substrate position	power electrode
Substrate temperature	**RT
Deposition time	2 hours and 30 minutes
Total flow rate	50 sccm
Methane gas	6.5%
Hydrogen gas	93.5%
Deposition power	13 W

**RT คืออุณหภูมิห้อง และเมื่อเวลาผ่านไปมีการเพิ่มขึ้นน้อยกว่า 20°C

ผลการวิจัยและการวิเคราะห์

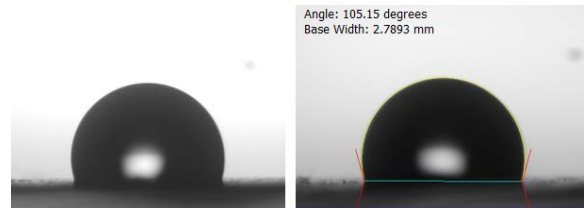
ขนาดความขรุขระค่าเฉลี่ยรากกำลังสอง (R_q) ของฟิล์มจากการวัดค่าความขรุขระของฟิล์มด้วยเครื่อง AFM โหมดกึ่งสัมผัส ขนาด 30x30 ตารางไมครอน พบว่าฟิล์มมีค่าความขรุขระที่แตกต่างกันหลายระดับ ค่าความขรุขระที่มีค่ามากที่สุดได้จากฟิล์มที่เคลือบบนวัสดุฐานรองที่ขัดด้วยกระดาษทรายเบอร์หยาบที่สุด และฟิล์มมีความขรุขระโดยประมาณ 342.2 นาโนเมตร

ดังรูปที่ 1 (ก) และฟิล์มที่มีความขรุขระน้อยที่สุดคือฟิล์มที่เคลือบบนวัสดุฐานรองที่ขัดด้วยกระดาษทรายเบอร์ละเอียดที่สุด มีความขรุขระโดยประมาณ 13.4 นาโนเมตร ดังรูปที่ 1 (ข) ส่วนฟิล์มที่เคลือบบนวัสดุฐานรองที่ไม่ได้รับการขัดผิวใดๆ จะมีความขรุขระประมาณ 0.2 นาโนเมตร ซึ่งเป็นความขรุขระโดยธรรมชาติของฟิล์มบางไฮโดรจิเนตเตด อะมอร์ฟัสคาร์บอน



รูปที่ 1 ลักษณะพื้นผิวของฟิล์มที่มีค่าความขรุขระต่างกัน

เมื่อนำฟิล์มที่มีค่าความขรุขระแตกต่างกันดังกล่าวไปวัดค่ามุมสัมผัสน้ำและกลีเซอรอล โดยทำการวัดที่อุณหภูมิ 23 °C ความชื้นสัมพัทธ์ 60-65 % จากนั้นคำนวณค่าพลังงานเชิงผิวทั้งส่วนเชิงกระจายและส่วนเชิงขั้ว โดยใช้แบบจำลองค่าเฉลี่ยเรขาคณิต และแบบจำลองค่าเฉลี่ย ฮาร์โมนิก จะได้ค่าพลังงานเชิงผิวออกมาดังตารางที่ 2 และตารางที่ 3 ตามลำดับ



รูปที่ 2 ลักษณะหยดน้ำกลั่นขจัดไอออนบนผิวฟิล์มที่มีค่ามุมสัมผัสมากที่สุดที่ ~105 องศา

1. คำนวณค่าพลังงานเชิงผิวโดยใช้แบบจำลองค่าเฉลี่ยเรขาคณิต โดยใช้สมการที่ 1

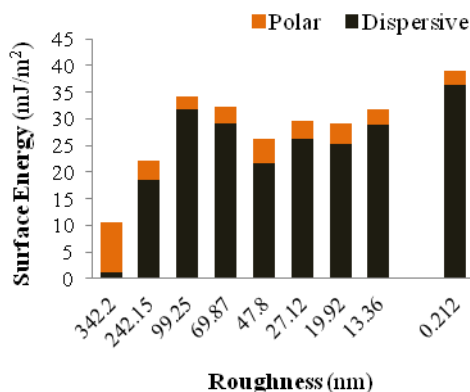
$$1 + \cos \theta_{ms} = 2\sqrt{\gamma_s^d} \left[\frac{\sqrt{\gamma_l^d}}{\gamma_{lv}} \right] + 2\sqrt{\gamma_s^p} \left[\frac{\sqrt{\gamma_l^p}}{\gamma_{lv}} \right] \dots\dots(1)$$

เมื่อ γ_l^d แรงตึงผิวของของเหลวส่วนเชิงกระจาย
 γ_l^p แรงตึงผิวของของเหลวส่วนเชิงขั้ว
 γ_s^d พลังงานเชิงผิวของของแข็งส่วนเชิงกระจาย
 γ_s^p พลังงานเชิงผิวของของแข็งส่วนเชิงขั้ว
 θ_{ms} เป็นมุมที่เสถียรที่สุด

ตารางที่ 2 ค่าพลังงานเชิงผิวของฟิล์มจากแบบจำลองค่าเฉลี่ยเรขาคณิต

ชื่อ	ค่าเฉลี่ยความขรุขระ (nm)	Surface Energy (mJ/m ²)		
		Polar	Dispersive	Total
aCH-1r	0.212	10.14	24.09	34.23
aCH-2r	342.20	-4.25	109.68	105.42
aCH-3r	242.15	4.31	57.69	62.00
aCH-4r	99.25	6.14	33.99	40.13
aCH-5r	69.87	7.01	30.24	37.33
aCH-6r	47.80	6.74	29.29	36.03
aCH-7r	27.12	6.38	31.69	38.07
aCH-8r	19.92	6.55	30.92	37.47
aCH-9r	13.36	6.38	32.87	39.25

เมื่อนำค่าพลังงานเชิงผิวมาเขียนแผนภูมิแท่ง
สร้างความสัมพันธ์กับค่าความขรุขระได้ดังรูปที่ 3



รูปที่ 3 ค่าพลังงานเชิงผิวทั้งส่วนเชิงขั้วและเชิง

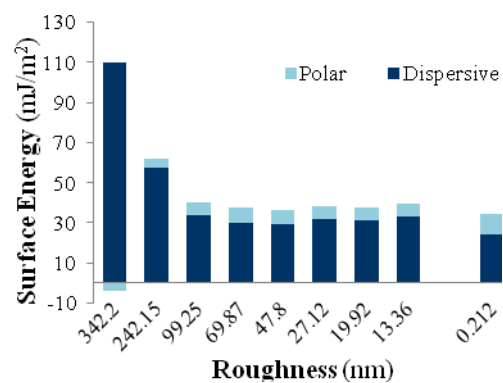
กระจายของฟิล์มที่ได้จากแบบจำลองค่าเฉลี่ย
เรขาคณิตเทียบกับค่าความขรุขระ

2. คำนวณค่าพลังงานเชิงผิวโดยใช้แบบจำลอง
ค่าเฉลี่ยฮาร์โมนิกโดยใช้สมการที่ 2

$$(1 + \cos \theta_{ms}) \gamma_{lv} = \frac{4\gamma_s^d \gamma_l^d}{\gamma_s^d + \gamma_l^d} + \frac{4\gamma_s^p \gamma_l^p}{\gamma_s^p + \gamma_l^p} \dots\dots(2)$$

ตารางที่ 3 ค่าพลังงานเชิงผิวของฟิล์มจากแบบจำลอง
ค่าเฉลี่ยฮาร์โมนิก

ชื่อ	ค่าเฉลี่ย ความ ขรุขระ (nm)	Surface Energy (mJ/m ²)		
		Polar	Dispersive	Total
aCH-1r	0.212	2.66	36.34	39.00
aCH-2r	342.20	9.48	1.19	10.67
aCH-3r	242.15	3.62	18.56	22.18
aCH-4r	99.25	2.47	31.75	34.22
aCH-5r	69.87	3.12	29.06	32.18
aCH-6r	47.80	4.53	21.59	26.12
aCH-7r	27.12	3.45	26.20	29.65
aCH-8r	19.92	3.66	25.35	29.01
aCH-9r	13.36	2.82	29.00	31.82



รูปที่ 4 ค่าพลังงานเชิงผิวทั้งส่วนเชิงขั้วและเชิง

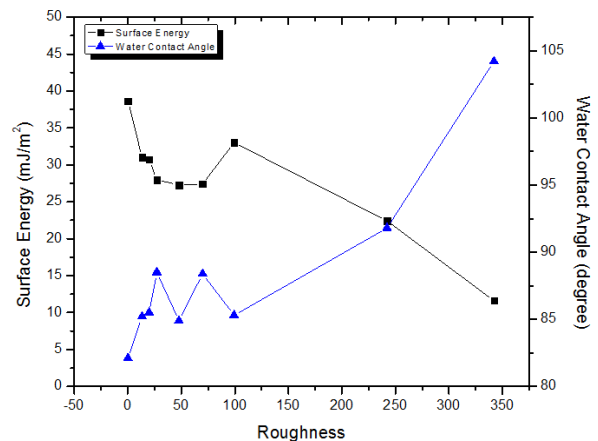
กระจายของฟิล์มที่ได้จากแบบจำลองค่าเฉลี่ย
ฮาร์โมนิกเทียบกับค่าความขรุขระ

จากตารางที่ 2 และ 3 เมื่อพิจารณาค่ามุมสัมผัสน้ำ
จะพบว่าฟิล์มที่มีค่าความขรุขระเฉลี่ย 342.2 nm ให้ค่า
มุมสัมผัสน้ำมากที่สุดที่ประมาณ 104 องศา รองลงมา
คือฟิล์มที่มีความขรุขระเฉลี่ย 242.15 nm ให้ค่ามุม
สัมผัสน้ำที่ประมาณ 94 องศา ส่วนฟิล์มที่ให้ค่ามุม
สัมผัสน้ำน้อยที่สุดที่ประมาณ 84 องศา คือฟิล์มที่วัสดุ
ฐานรองไม่ได้รับการปรับปรุงผิวด้วยกระดาดทราย
และมีความขรุขระน้อยที่สุดที่ 0.212 nm และฟิล์มที่มี
ความขรุขระตั้งแต่ 99.25 nm จนถึง 13.36 nm ค่ามุม
สัมผัสน้ำมีค่าที่ใกล้เคียงกันที่ประมาณ 88-89 องศา
เมื่อเปรียบเทียบกับค่ามุมสัมผัสน้ำของฟิล์มคาร์บอน
คล้ายเพชรประเภทที่มีธาตุไฮโดรเจน เช่น a-C:H หรือ
ta-C:H ซึ่งมีค่าระหว่าง 71.3-91.7 องศา แล้วแต่ปัจจัย
อื่นเช่นสัดส่วนโครงสร้าง sp^3 ความหนาแน่น เป็นต้น
นับว่ามีค่าสูงกว่ามากทีเดียว (Piazza & Morell, 2009)
ส่วนมุมสัมผัสกลีเซอรอลนั้นมีค่าพอๆกัน แทบจะอยู่
ในช่วงฮิสเทอรีซิส (hysteresis) ของค่ามุมที่วัดออกมา
จากฟิล์มเงื่อนไขเดียวเสียด้วยซ้ำ และจะเห็นว่าไม่มี
แนวโน้มที่ไปในทิศทางเดียวกันกับค่ามุมสัมผัสจากน้ำ
เมื่อเทียบกับงานวิจัยของ Banerjee et al. ที่สังเคราะห์
ฟิล์มด้วยระบบ DC-PECVD โดยใช้ความดันสูง 100
mbar ซึ่งทำให้ฟิล์มมีค่าความขรุขระค่าเฉลี่ยรากกำลัง
สองสูง และฟิล์มยังมีค่ามุมสัมผัสมากที่สุดถึง 140 องศา

โดยเทียบกับฟิล์มความขรุขระตั้งแต่ประมาณ 5- 435 nm โดยที่ค่ามุมสัมผัสน้ำค่าดังกล่าวฟิล์มมีค่าความขรุขระถึง 435 nm โดยประมาณ (Banerjee et al., 2010) นอกจากนี้แล้วในการทดลองของกลุ่มวิจัยนี้ยังเห็นการเปลี่ยนแปลงของมุมสัมผัสจากกลีเซอรอลที่ขึ้นกับความขรุขระของฟิล์มก่อนข้างชัดเจน อย่างไรก็ตามจากงานวิจัยของกลุ่มดังกล่าวที่ความขรุขระ 371.6 nm มีค่ามุมสัมผัสน้ำเพียง 85 องศาเท่านั้น ส่วนมุมสัมผัส กลีเซอรอลเป็น 60 องศา ซึ่งนับว่าต่ำเมื่อเทียบกับงานวิจัยนี้ความสัมพันธ์พลังงานเชิงผิวและมุมสัมผัสกับค่าความขรุขระของฟิล์ม a-C:H ที่ได้จากการทดลองในตารางที่ 4 แสดงดังรูปที่ 5

ตารางที่ 4 ค่าพลังงานเชิงผิวและค่ามุมสัมผัสน้ำของฟิล์ม

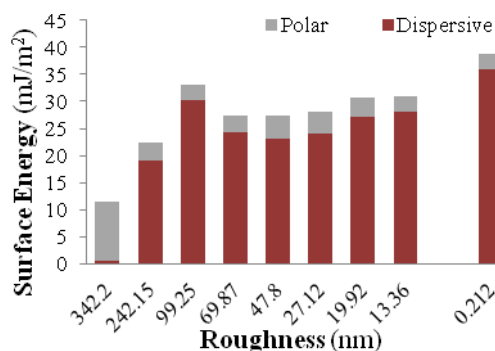
ชื่อ	ค่าเฉลี่ยความขรุขระ (nm)	มุมสัมผัสน้ำ (องศา)	
		θ_{ms}	S.D.
aCH-1r	0.212	84.6	0.92
aCH-2r	342.20	104.8	1.00
aCH-3r	242.15	94.2	2.08
aCH-4r	99.25	88.2	1.16
aCH-5r	69.87	87.8	1.32
aCH-6r	47.80	89.2	2.50
aCH-7r	27.12	88.8	1.70
aCH-8r	19.92	88.8	1.22
aCH-9r	13.36	88.8	1.26



รูปที่ 5 ความสัมพันธ์ระหว่างค่ามุมสัมผัสและพลังงานเชิงผิวจากแบบจำลองค่าเฉลี่ยเรขาคณิตกับค่าความขรุขระของฟิล์ม

จากรูปที่ 5 พบว่าค่าพลังงานเชิงผิวจากแบบจำลองค่าเฉลี่ยเรขาคณิตมีค่าไม่สอดคล้องกับค่ามุมสัมผัสน้ำเท่าใดนัก และนอกจากนี้ยังขัดกับแนวโน้มค่ามุมสัมผัสที่วัดได้ เช่นฟิล์มที่มีความขรุขระ 0.212 nm ซึ่งเป็นฟิล์มที่มีค่ามุมสัมผัสต่ำสุดที่ 84.6 องศา กลับมีค่าพลังงานเชิงผิวต่ำที่สุดที่ 34.23 mJ/m² ซึ่งค่าดังกล่าวเป็นค่าที่เป็นปกติของฟิล์ม a-C:H ที่มีความหนาแน่น 1.7-1.8 g/cm³ ซึ่งพลังงานเชิงผิวจะมีค่าอยู่ที่ประมาณ 32-34 mJ/m² (Piazza & Morell, 2009) แต่ที่ค่าความขรุขระสูงพลังงานเชิงผิวกลับลดลง เมื่อพิจารณางานวิจัยของ Banerjee et al. ที่สังเคราะห์ฟิล์มด้วยระบบ PECVD แก๊สตั้งต้นอะเซทิลีนที่มีความดันสูงพบว่าฟิล์มมีความขรุขระสูงมาก โดยประมาณ 5-435 nm เมื่อวัดพลังงานเชิงผิวออกมาโดยใช้แบบจำลองค่าเฉลี่ยเรขาคณิตกลับพบว่าค่าพลังงานเชิงผิวสุทธิมีค่าสูงตั้งแต่ 47.66-61.76 nm ซึ่งนับว่าสูงผิดปกติ ที่สำคัญคือมีทิศทางที่ไม่สอดคล้องกับค่ามุมสัมผัสน้ำเลย เมื่อพิจารณาค่าพลังงานเชิงผิวที่ค่าความขรุขระสูงๆ จากผลการทดลองในตารางที่ 2 พบว่าเริ่มมีความไม่สอดคล้องกับแนวโน้มความขรุขระทั้งนี้อาจจะเป็นขีดจำกัดของแบบจำลองดังกล่าวสำหรับฟิล์มที่มีความขรุขระสูงๆ ก็เป็นไปได้ นอกจากนี้ค่าพลังงานเชิงผิว

ที่คำนวณได้จากแบบจำลองค่าเฉลี่ยฮาร์โมนิกยังพบว่า มีค่าที่ผิดปกติค่อนข้างมาก สืบเนื่องจากค่าพลังงานเชิงผิวของฟิล์มที่ผิวมีความขรุขระ 342.2 nm นั้น ค่าพลังงานเชิงผิวมีค่าพลังงานส่วนเชิงขั้วที่ติดลบ ซึ่งไม่น่าจะเป็นไปได้สำหรับฟิล์มคาร์บอนคล้ายเพชร อย่างไรก็ตามผลการคำนวณพลังงานเชิงผิวจากแบบจำลองค่าเฉลี่ยเรขาคณิตกับขนาดความขรุขระสำหรับกรณีความขรุขระต่ำกว่าหลักร้อยนาโนเมตรนั้น ให้ผลออกมาค่อนข้างสอดคล้องกัน เมื่อหาค่าพลังงานเชิงผิวจากวิธีมุมเฉลี่ยแล้วนำค่าพลังงานเชิงผิวจากวิธีมุมเฉลี่ยมาเฉลี่ยกับพลังงานเชิงผิวที่หาจากวิธีมุม θ_{adv} และ θ_{rec} โดยใช้แบบจำลองค่าเฉลี่ยเรขาคณิต พบว่าได้แนวโน้มที่ชัดเจนขึ้นดังรูปที่ 6



รูปที่ 6 ค่าพลังงานเชิงผิวทั้งส่วนเชิงขั้วและเชิงกระจายของฟิล์มจากแบบจำลองค่าเฉลี่ยเรขาคณิตจากวิธีเฉลี่ยมุม

จากรูปที่ 6 โดยที่แบ่งการพิจารณาออกเป็น 2 กลุ่ม คือฟิล์มกลุ่มที่ความขรุขระตั้งแต่ 99.25 nm ถึง 342.2 nm และกลุ่มที่มีความขรุขระตั้งแต่ 69.87 nm ลงมาจนถึง 0.212 nm จะเห็นได้ว่ากลุ่มหลังจะมีค่าพลังงานเชิงผิวที่สัมพันธ์กับค่าความขรุขระ คือค่าพลังงานเชิงผิวที่มากขึ้นเมื่อฟิล์มมีความขรุขระต่ำลง และนอกจากนี้ยังสัมพันธ์กับแนวโน้มค่ามุมสัมผัสของน้ำด้วย คือมุมสัมผัสนี้มีค่าลดลงเมื่อความขรุขระลดลง แต่สำหรับกลุ่มแรกค่าพลังงานเชิงผิวของฟิล์มที่มี

ค่าเฉลี่ยความขรุขระ 99.25 nm นั้นกลับมีค่าที่สูงและต่ำเกินไปโดยไม่มีความสัมพันธ์กับค่ามุมสัมผัสของน้ำที่วัดได้เลยและจากผลการทดลองข้างต้นหากสามารถถือได้ว่าฟิล์มมีสมบัติและองค์ประกอบเชิงเคมีที่ใกล้เคียงกันเนื่องจากสังเคราะห์ภายใต้เงื่อนไขเดียวกัน จะพบว่าความสามารถในการเปียกน้ำของฟิล์มมีการเปลี่ยนแปลงขึ้นอยู่กับขนาดความขรุขระของผิวฟิล์ม ค่าพลังงานเชิงผิวของของแข็งที่เกิดขึ้นนั้นได้รับผลจากแรงแอดฮีชัน (adhesion) ซึ่งเป็นแรงระหว่างอะตอมของของเหลวกับของแข็งที่สัมผัสกัน และแรงโคฮีชัน (cohesion) หรือแรงระหว่างอะตอมของของเหลวเอง ถ้าแรงแอดฮีชันมีมากกว่าแรงโคฮีชัน ค่ามุมสัมผัสที่วัดออกมาจะมีค่าน้อยและสำหรับฟิล์ม a-C:H แล้ว ยังมีปัจจัยอื่นๆอีก เช่น หมู่ฟังก์ชันที่ผิว ค่าสัดส่วนโครงสร้าง sp^3 และ sp^2 ที่ผิวฟิล์ม ความหนาแน่นของฟิล์ม เป็นต้น โดยที่พลังงานเชิงผิวส่วนเชิงขั้วนั้นเชื่อว่าได้รับผลมาจากสภาพขั้วของโมเลกุลและส่วนเชิงกระจายซึ่งเชื่อว่ามาจากแรงแวนเดอร์วาลส์ (van der Waals) (Holmberg *et al.*, 2002) สำหรับฟิล์มคาร์บอนคล้ายเพชรที่สังเคราะห์ขึ้นนั้นเป็นฟิล์มประเภท a-C:H ซึ่งมีทั้งธาตุคาร์บอนและธาตุไฮโดรเจนในฟิล์ม โดยทั่วไปแล้วความหนาแน่นจะอยู่ประมาณ 1.5-1.8 g/cm³ สัดส่วนโครงสร้างแบบ sp^3 ที่พบจะเป็นโครงสร้างที่มีธาตุไฮโดรเจนปะปนเสมอ โดยเฉพาะระบบที่มีความหนาแน่นพลาสมาดำๆเช่นระบบ PECVD ดังนั้นความหนาแน่นธาตุคาร์บอนที่ผิวจะน้อยทำให้แรงดึงดูดไปยังอะตอมที่ผิวน้อย เป็นสาเหตุให้มีพลังงานเชิงผิวดำ แรงโคฮีชันน้อยเมื่อเทียบกับแรงแอดฮีชัน และถ้าแรงโคฮีชันของของแข็งน้อยกว่าโคฮีชันของของเหลว ก็จะทำให้เกิดพื้นผิวใหม่เกิดขึ้น ยิ่งถ้าที่ผิวมีพันธะว่าง เช่นผิวฟิล์มประเภท ta-C ที่มีพันธะว่าง มีโอกาสที่ฟิล์มจะมีธาตุออกซิเจนที่ผิว ซึ่งธาตุดังกล่าวมีผลทำให้แรงแอดฮีชันมีค่าเพิ่มขึ้น ค่ามุมสัมผัสน้ำมีค่าน้อยจนเกือบเป็นศูนย์ (Zhou *et al.*, 2009) และนอกจากนี้ยังน่าจะเป็นไปได้ว่าค่าความขรุขระสูงระดับ 100 nm ขึ้นมาโดยประมาณ ค่า

พลังงานเชิงผิวที่คำนวณ ได้เริ่มมีความไม่แม่นยำ ทั้งนี้ในการใช้งานแบบจำลองค่าเฉลี่ยเรขาคณิตนั้น มีสมมติฐานคือรอยต่อระหว่างของแข็งและของเหลวทดสอบนั้นจะต้องมีอากาศแทรกอยู่ (Holmberg *et al.*, 2002) เมื่อความขรุขระมีมากขึ้น ของเหลวซึ่งมีความหนืดต่ำอาจสามารถแทรกลงไปได้ง่ายขึ้น อย่างไรก็ตาม ยังไม่สามารถสรุปได้ ณ ที่นี้ว่าเพราะเหตุใด แต่อย่างน้อยที่สุดทำให้ทราบได้ว่าค่าความขรุขระของฟิล์มส่งผลต่อความสามารถในการเปียกน้ำของฟิล์ม โดยจุดที่เริ่มส่งผลกระทบอย่างเห็นได้ชัดนั้นไม่สามารถระบุได้แม่นยำ เนื่องจากข้อมูลความขรุขระนั้นไม่ต่อเนื่อง แต่สามารถระบุอย่างคร่าวๆว่าเริ่มเห็นการเปลี่ยนแปลงของมุมสัมผัสน้ำที่ความขรุขระตั้งแต่ประมาณ 250 nm ขึ้นไป

สรุปผลการทดลอง

จากการทดลองค่ามุมสัมผัสของฟิล์มคาร์บอนคล้ายเพชรที่เคลือบบนวัสดุฐานรองที่มีความขรุขระประมาณ 350 nm มีค่าสูงที่สุดโดยมีค่ามุมสัมผัสน้ำเฉลี่ยสูงถึง 104.8 องศา ซึ่งสำหรับฟิล์มที่มีความขรุขระเฉลี่ยที่ประมาณ 0.2 nm มีค่าเพียง 84.6 องศา เท่านั้น และค่าความขรุขระที่เริ่มส่งผลต่อค่ามุมสัมผัสจนทำให้เกิดคุณสมบัติไม่ชอบน้ำอยู่ที่ประมาณ 250 nm ขึ้นไป แต่ที่ความขรุขระต่ำๆ ในหลักสิบนานโนเมตรแทบไม่ส่งผลต่อความสามารถในการเปียกน้ำของฟิล์มหรือส่งผลน้อยมาก การหาค่าพลังงานเชิงผิวโดยใช้แบบจำลองค่าเฉลี่ยเรขาคณิตและ แบบจำลองค่าเฉลี่ยฮาร์โมนิกสำหรับฟิล์มคาร์บอนคล้ายเพชรที่มีค่าความขรุขระหลักร้อยนาโนเมตรขึ้นไปมีความคลาดเคลื่อนสูง นอกจากนี้ยังทำให้ทราบว่าแม้สมบัติเชิงเคมีของวัสดุจะเป็นแบบเดียวกัน แต่หากความขรุขระของพื้นผิวต่างกัน ก็ส่งผลกระทบต่อพลังงานเชิงผิวของวัสดุได้

กิตติกรรมประกาศ

โครงการวิจัยนี้สำเร็จลุล่วงลงได้โดยได้รับการสนับสนุนเงินทุนวิจัยจาก โครงการทุนเรียนดี

วิทยาศาสตร์แห่งประเทศไทย และทุนสนับสนุนการวิจัยจากศูนย์นาโนเทคโนโลยีแห่งชาติ (NANOTEC) ในส่วนของการติดตั้งเครื่องมือสำหรับทำการวิจัยจนสามารถติดตั้งเครื่องมือได้อย่างสมบูรณ์

เอกสารอ้างอิง

- Holmberg, K., Shah, DO., and Schwuger, MJ. (Eds.). 2002. Handbook of applied surface and colloid chemistry Vol. 1-2. New York: John Wiley & Sons.
- Zhou, Y., Wang, B., Zhang, X., Zhao, M., Li, E., and Yan, H. 2009. The modifications of the surface wettability of amorphous carbon films [Electronic version]. Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects, (335), 128–132.
- Piazza, F., and Morell, G. 2009. Wettability of hydrogenated tetrahedral amorphous carbon. Diamond and Related Materials, (18), 43–50.
- Banerjee, D., Mukherjee, S., and Chattopadhyay, KK. 2010. Controlling the surface topology and hence the hydrophobicity of amorphous carbon thin films [Electronic version]. Carbon, (48), 1025–1031.
- Neinhuis, C., and Barthlott, W. 1997. Characterization and distribution of water-repellent, self-cleaning plant surfaces [Electronic version]. Annals of Botany, (79), 667–677.
- Lemoine, P., Quinn, JP., Maguire, P., and McLaughlin, JA. 2004. Comparing hardness and wear data for tetrahedral amorphous carbon and hydrogenated amorphous carbon thin films [Electronic version]. Wear, (257), 509–522.