

กระจกเงาเคลือบโครเมียมที่เคลือบด้วยเทคนิคสปัตเตอริงสำหรับกระจกเงาส่องหลังรถยนต์ Chromium Coated Mirror Deposited by Sputtering Technique for Car Rear View Mirror

นิรันดร์ วิทิตอนันต์^{1,4*} วุฒิพงศ์ ศาสนาสุปิน² และ สยาม วีรวิตกุล³
Nirun Witit-anun^{1,4*}, Wuttipong Sadsanasupin² and Siam Weerawitkul³

บทคัดย่อ

บทความนี้เป็นรายงานการเคลือบฟิล์มโครเมียมด้วยเทคนิคสปัตเตอริงสำหรับกระจกเงาส่องหลังรถยนต์เคลือบฟิล์มด้วยระบบดีซี แมกนีตรอน สปัตเตอริง บนกระจกและแผ่นซิลิคอน ตรวจสอบโครงสร้างผลึกของฟิล์มด้วยเครื่องเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ ตรวจสอบสมบัติทางแสงด้วยเครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ และวัดความหนาฟิล์มด้วยเครื่องอะตอมมิกฟอर्सไมโคร สโคป จากนั้นเคลือบฟิล์มโครเมียมบนกระจกแผ่นเรียบ นำกระจกเงาเคลือบโครเมียมที่ได้ไปตรวจวัดค่าการสะท้อนแสง ทดสอบการยึดติด การทนน้ำและความร้อน ผลการศึกษาพบว่ากระจกเงาเคลือบโครเมียมสามารถสะท้อนแสงได้ทุกความยาวคลื่นในช่วงตามองเห็น ค่าการสะท้อนแสงและส่งผ่านแสงของฟิล์มโครเมียมแปรผันตามความหนาฟิล์ม กระจกเงาเคลือบโครเมียมที่เคลือบได้ในงานวิจัยนี้มีค่าการสะท้อนแสง การยึดติด การทนน้ำและความร้อนเหมาะสมสำหรับใช้ทำกระจกเงาส่องหลังรถยนต์

คำสำคัญ : กระจกเงา กระจกเงาส่องหลังรถยนต์ โครเมียม ฟิล์มบาง แมกนีตรอน สปัตเตอริง

¹ ผู้ช่วยศาสตราจารย์, ² นิสิต ภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา จ.ชลบุรี 20131

³ บริษัท นาโน มิเรอร์ อินดัสทรี จำกัด 128/776 ซ.ไทยประกัน 1 ถ.เทพารักษ์ ต.บางเสาธง กิ่ง อ.บางเสาธง จ.สมุทรปราการ 10540

⁴ ห้องปฏิบัติการวิจัยพลาสมาสำหรับวิทยาศาสตร์พื้นผิว ศูนย์ความเป็นเลิศด้านฟิสิกส์

สำนักพัฒนานักศึกษาศึกษาและวิจัยด้านวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี สำนักงานคณะกรรมการการอุดมศึกษา จ.กรุงเทพฯ 10400

* Corresponding author. โทรศัพท์/โทรสาร 038-103-084 Email:nirun@buu.ac.th.

Abstract

The Cr film deposition by sputtering technique for the car rear view mirror was reported in this paper. The films were deposited on glass and silicon wafer substrate by DC magnetron sputtering system. The crystal structure of film was characterized by X-ray Diffractometer, the optical properties were evaluated by spectrophotometer and thickness was measured by Atomic Force Microscope. The chromium coated mirror was produced by deposition Cr film on flat glass. The chromium coated mirror was tested for reflectance, adhesion, water and heat resistance. The results showed that the chromium coated mirror can reflect all wavelengths in visible region. The reflectance and transmittance of the Cr films were varied with the film thickness. The chromium coated mirror had reflectance, adhesion, water and heat resistance suitable for the car rear view mirror.

Keywords: Mirror, Car Rear View Mirror, Chromium, Thin Film, Magnetron Sputtering

คำนำ

อุตสาหกรรมยานยนต์จัดเป็นอุตสาหกรรมสำคัญของประเทศ ปัจจุบันการผลิตรถยนต์ของประเทศไทยจัดเป็นอันดับที่ 15 ของโลก และมีมูลค่าส่งออกเป็นอันดับ 2 ของประเทศ อีกทั้งยังเป็นแหล่งรายได้ภาษีสรรพสามิตปีละกว่า 60,000 ล้านบาท (ยังไม่รวมภาษีอื่นที่เกี่ยวข้อง) สำหรับการเจริญเติบโตของอุตสาหกรรมยานยนต์ของประเทศไทยในปี พ.ศ. 2550 พบว่ามีกำลังการผลิตรถยนต์ขึ้นอีกประมาณ 850,000 คันต่อปี ทั้งนี้ หากพิจารณาทางด้านชิ้นส่วนประกอบยานยนต์ พบว่าผู้ผลิตชิ้นส่วนยานยนต์ใหญ่ที่สุด 100 รายแรกของโลก มีการดำเนินการผลิตอยู่ในประเทศไทยกว่า 55 ราย และมีผู้ผลิตชิ้นส่วนยานยนต์สนับสนุนที่เป็นของคนไทยอีกกว่า 1,000 ราย ที่อยู่ในห่วงโซ่อุปทานของการผลิต [1]

ส่วนประกอบยานยนต์ที่สำคัญอย่างหนึ่งคือกระจกเงาส่องข้าง (side mirror) และ กระจกเงาส่องหลัง (rear mirror) โดยทั่วไปทำจากกระจกแผ่นเรียบใส่นาмаเคลือบด้วยสารที่มีสมบัติการสะท้อนแสงที่เหมาะสม ซึ่งปัจจุบันนิยมใช้การเคลือบในสุญญากาศ (vacuum coating) ด้วยเทคนิคระเหยสาร (evaporation) และใช้

อะลูมิเนียม (Al) เป็นสารเคลือบ อย่างไรก็ตามแม้กระจกเงาในอุตสาหกรรมยานยนต์ที่เคลือบด้วยอะลูมิเนียม จากการระเหยสารจะเป็นผลิตภัณฑ์ที่มีคุณภาพและเป็นที่ต้องการของตลาดแล้ว แต่ก็ยังมีข้อด้อยบางประการคือ

1. การหลุดลอกของฟิล์มอะลูมิเนียม เนื่องจากพลังงานของอะลูมิเนียมที่ได้จากการระเหยสารมีค่าต่ำ ทำให้การยึดติดของฟิล์มอะลูมิเนียมกับกระจกไม่ดี เกิดปัญหาฟิล์มอะลูมิเนียมหลุดลอกได้ง่าย

2. การสะท้อนแสง อะลูมิเนียมเป็นสารที่มีค่าการสะท้อนแสงสูง ทำให้ภาพหรือแสงจากการสะท้อนของกระจกเงาอะลูมิเนียมมีความเข้มหรือสว่างมากเกินไป สบายตาเหมาะสำหรับยานยนต์บางประเภทเท่านั้น

จากข้อด้อยของกระจกเงาอะลูมิเนียมดังกล่าวข้างต้น ทำให้กลุ่มอุตสาหกรรมการเคลือบกระจกเงาสำหรับยานยนต์เริ่มสนใจที่จะปรับเปลี่ยนชนิดของสารเคลือบรวมถึงเทคนิคการเคลือบใหม่ เพื่อให้กระจกเงาที่ได้มีคุณภาพดียิ่งขึ้น โดยการเปลี่ยนสารเคลือบจากอะลูมิเนียม มาเป็นโครเมียม (Cr) เนื่องจากโครเมียมเป็นสารที่มีค่าการสะท้อนแสงต่ำกว่าอะลูมิเนียม ทำให้ภาพหรือแสงจากการสะท้อนของกระจกเงาโครเมียมไม่สว่างจ้ามากเกินไป ให้กระจกเงาโครเมียมให้แสงสะท้อนที่นวลตามากกว่ากระจกเงาอะลูมิเนียม แต่

โครเมียมมีจุดหลอมเหลวสูงถึง 1890°C ขณะที่อะลูมิเนียมมีจุดหลอมเหลวเพียง 660°C ทำให้การเคลือบโครเมียมด้วยเทคนิคการระเหยสารเป็นไปได้ค่อนข้างยาก ทำให้มีความพยายามในการปรับเปลี่ยนวิธีเคลือบจากการระเหยสารมาเป็นการเคลือบด้วยเทคนิคสปีดเตอริงแทน

เทคนิคสปีดเตอริงเป็นการเคลือบในสุญญากาศ เทคนิคหนึ่งที่สำคัญการชนของไอออนพลังงานสูงจากพลาสมาบริเวณผิวหน้าเป้าสารเคลือบ แล้วเกิดการถ่ายเทโมเมนตัมระหว่างไอออนพลังงานสูงกับอะตอมที่ผิวหน้าสารเคลือบ จนเกิดกระบวนการสปีดเตอริง (sputtering) แล้วทำให้สารเคลือบหลุดออกมาในรูปไอสารเคลือบ ซึ่งจะฟุ้งกระจายไปจับติดบนชิ้นงาน และเกิดการควบแน่นเป็นฟิล์มบางหรือชั้นเคลือบบนชิ้นงานในที่สุด และเนื่องจากพลังงานของไอออนจากพลาสมาที่เข้าชนเป้าสารเคลือบในกระบวนการสปีดเตอริงนั้นมีค่าสูงมาก จึงทำให้ไอสารเคลือบที่เกิดขึ้นจากเทคนิคสปีดเตอริงมีพลังงานสูงกว่าไอสารเคลือบจากเทคนิคระเหยสารหลายเท่าตัว กรณีนี้จะทำให้การยึดติดของฟิล์มบางหรือชั้นเคลือบที่เกิดขึ้นกับผิวหน้าของวัสดุรองรับหรือชิ้นงานจากการเคลือบด้วยเทคนิคสปีดเตอริงดีกว่าเทคนิคระเหยสารด้วย [2]

จากรายละเอียดข้างต้นทำให้บริษัทนาโนมิเรอร์ อินดัสทรี จำกัด ผู้ผลิตกระจกเงาสำหรับยานยนต์ และห้องปฏิบัติการวิจัยพลาสมาสำหรับวิทยาศาสตร์พื้นผิวภาควิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา มีความสนใจร่วมกันในการพัฒนากระจกเงาที่มีคุณภาพสูงกว่าแบบเดิม โดยใช้โครเมียมเป็นสารเคลือบแทนอะลูมิเนียม และเปลี่ยนเทคนิคการเคลือบจากเทคนิคระเหยสารมาเป็นเทคนิคสปีดเตอริง บทความนี้เป็นรายงานผลการวิจัยและพัฒนากระจกเงาเคลือบโครเมียมซึ่งเคลือบด้วยเทคนิคสปีดเตอริงสำหรับอุตสาหกรรมยานยนต์ ตั้งแต่การเคลือบโครเมียมบนกระจกด้วยเทคนิคสปีดเตอริง การศึกษาสมบัติทางแสงของฟิล์มโครเมียมตอนท้ายได้ทดลองเคลือบกระจกเงาส่องหลังรถยนต์ด้วยโครเมียมเพื่อทดสอบ การยึดติด การทนน้ำและ

ความร้อนตาม วิธีการของ บริษัท นาโน มิเรอร์ อินดัสทรี จำกัด ผู้ผลิตกระจกเงาสำหรับยานยนต์ เพื่อเป็นข้อมูลพื้นฐานสำหรับการประยุกต์ใช้ต่อไป

อุปกรณ์และวิธีการ

ฟิล์มโครเมียมในการศึกษานี้เตรียมขึ้นจากเครื่องเคลือบในสุญญากาศ ด้วยเทคนิค สปีดเตอริง (รูปที่ 1) ซึ่งมีห้องเคลือบทรงกระบอก ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 310.0 มิลลิเมตร สูง 370.0 มิลลิเมตร ติดเป้าโครเมียม (99.97%) เส้นผ่าศูนย์กลาง 54.0 มิลลิเมตร ที่คาโทด พร้อมภาคจ่ายไฟฟ้าแรงสูงกระแสตรง ใช้แก๊สอาร์กอน ความบริสุทธิ์สูง (99.999%) เป็นแก๊สสปีดเตอริง ระบบเครื่องสุญญากาศประกอบด้วยเครื่องสูบบแบบแพร่ไอ โดยมีเครื่องสูบลอโรตารีเป็นเครื่องสูบท้าย วัดความดันด้วยมาตรวัดความดัน ของ balzers รุ่น TPG300 พร้อมหัววัดพิรานีรูน TPR010 และหัววัดเพนนิ่งรูน IKR050 จ่ายแก๊สที่ใช้ในกระบวนการเคลือบด้วยชุดควบคุมการไหลมวล (mass flow controller) ของ MKS type247D ทั้งนี้ก่อนเคลือบทุกครั้งจะทำความสะอาดหน้าเป้าสารเคลือบ โดยการสปีดเตอริงหน้าเป้าสารเคลือบ (pre-sputtering) ประมาณ 5 นาที โดยปิดแผ่นบัง (shutter) ที่ติดระหว่างเป้าสารเคลือบกับแท่นวางชิ้นงาน

การเคลือบเริ่มจากนำชิ้นงานที่ทำความสะอาดแล้วเข้าห้องเคลือบ โดยวางบนแท่นวางชิ้นงานซึ่งปรับระยะห่างจากหน้าเป้าสารเคลือบ (d_{sp}) ได้ จากนั้นเริ่มสร้างภาวะสุญญากาศในห้องเคลือบโดยลดความดันในห้องเคลือบจนได้ความดันพื้น (base pressure ; P_b) เท่ากับ 5.0×10^{-5} มิลลิบาร์ แล้วปล่อยแก๊สอาร์กอนเข้าห้องเคลือบจนความดันในห้องเคลือบมีค่าเท่ากับ 5.0×10^{-3} มิลลิบาร์ กำหนดให้เป็นความดันขณะเคลือบ (working pressure ; P_w) จ่ายไฟฟ้ากระแสตรงให้คาโทดเพื่อเริ่มเคลือบ และจับเวลาเคลือบเมื่อเปิดแผ่นบัง จนครบเวลาที่กำหนดปิดการจ่ายไฟฟ้า แล้วจึงนำออกมาวิเคราะห์ต่อไป ฟิล์มโครเมียมที่เคลือบได้ทั้งหมดจะนำไปตรวจสอบโครงสร้างผลึกด้วยเครื่องเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ (X-ray

Diffraction; XRD) ของ Rigaku รุ่น Rint 2000 ใช้ $\text{Cu-K}\alpha$ ($\lambda = 1.54056 \text{ \AA}$) ตรวจวัดแบบ 2θ -scan ด้วยมุมตกกระทบเฉียง (glazing incident angle) คงที่เท่ากับ 3° และกราดด้วยมุม 2θ จาก 20° - 65° ด้วยอัตรากราดเท่ากับ 2° ต่อนาที วัดค่าการสะท้อนแสงและค่าการส่งผ่านแสงด้วยเครื่องสเปคโตรโฟโตมิเตอร์ ตรวจวัดลักษณะพื้นผิวและความหนาฟิล์มด้วยเครื่องอะตอมมิกฟอรัซไมโครสโคป (Atomic Force Microscope; AFM) ของ Veeco Instrument Inc. รุ่น Nano Scope IV สูดทำยทดลองเคลือบกระจกเงาโครเมียมสำหรับกระจกเงาส่องหลังรถยนต์เพื่อทดสอบการสะท้อนแสง การยึดติด การทนน้ำและความร้อนตามวิธีการของ บริษัท นาโน มิเรอร์ อินคัสตรี จำกัด บริษัทผู้ผลิตกระจกเงาสำหรับยานยนต์ที่ร่วมงานวิจัย

ผลการวิจัยและอภิปรายผล

เงื่อนไขที่เหมาะสมสำหรับการเคลือบฟิล์มโครเมียม

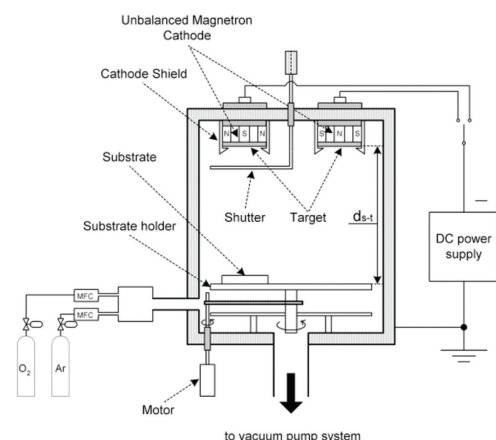
การเคลือบฟิล์มบางด้วยเทคนิคสปีดเตอริงเกิดขึ้นเมื่อไอสารเคลือบจากกระบวนการสปีดเตอริง ซึ่งเกิดขึ้น

เมื่อไอออลพลังงานสูงจากพลาสมาถูกยิงให้วิ่งเข้าชนเป้าสารเคลือบด้วยด้วยศักย์ไฟฟ้าลบ จนสารเคลือบหลุดออกมาในรูปของไอฟุ้งกระจายไปจับตัวและควบแน่นเป็นชั้นบางๆ ของสารเคลือบบนผิวหน้าของชิ้นงาน [3-4] อย่างไรก็ตามคุณภาพของชั้นเคลือบหรือฟิล์มบางที่เคลือบได้จะขึ้นกับเงื่อนไขหรือปัจจัยต่างๆ หลายประการเช่น ความดันพื้น ความดันขณะเคลือบ กำลังไฟฟ้า เวลาที่ใช้ในการเคลือบ อุณหภูมิของวัสดุรองรับ พลาสมาที่เกิดขึ้นในกระบวนการเคลือบ ทั้งนี้ระยะห่างระหว่างหน้าเป้าสารเคลือบกับวัสดุรองรับก็เป็นอีกปัจจัยหนึ่งที่มีผลต่อสมบัติของฟิล์ม [3]

รูปที่ 2 แสดงลักษณะของพลาสมาที่เกิดขึ้นในกระบวนการเคลือบและการวางชิ้นงานภายในห้องเคลือบ ทั้งนี้จะเห็นว่าเมื่อวางชิ้นงานใกล้กับเป้าสารเคลือบ (รูปที่ 2(a)) พลาสมาที่เกิดขึ้นจะมีความเข้มสูง และลดลงเมื่อระยะ d_{s-t} เพิ่มขึ้น ความเข้มของพลาสมาที่เกิดขึ้นนี้มีผลโดยตรงต่อฟิล์มโครเมียมที่เคลือบได้ จากการทดลองพบว่าชิ้นงานที่วางใกล้เป้าสารเคลือบ (รูปที่ 2(a)) และรูปที่ 2(b)) ฟิล์มโครเมียมที่เคลือบได้จะมีลักษณะเป็นฝ้า ซึ่งทำให้การสะท้อนแสงไม่ดี กรณีนี้เกิดขึ้นเนื่องจากฟิล์ม



(a)



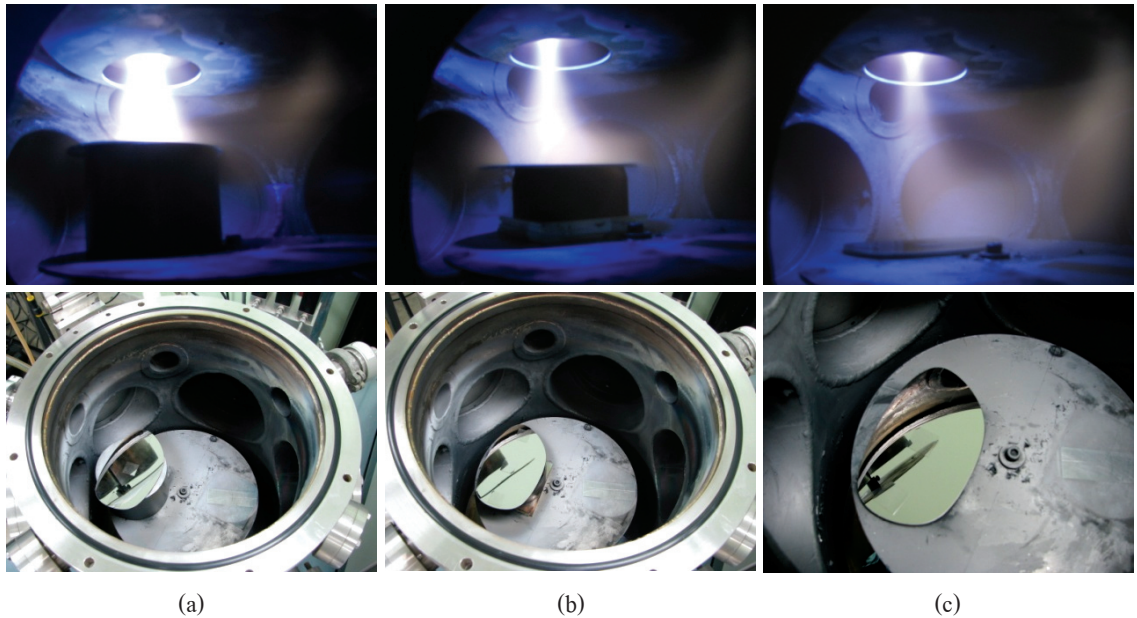
(b)

รูปที่ 1 เครื่องเคลือบในสุญญากาศระบบ ดีซี แมกนีตรอน สปีดเตอริง ที่ใช้ในงานวิจัย

(a) ลักษณะของเครื่องเคลือบ (b) ไดอะแกรมของเครื่องเคลือบ

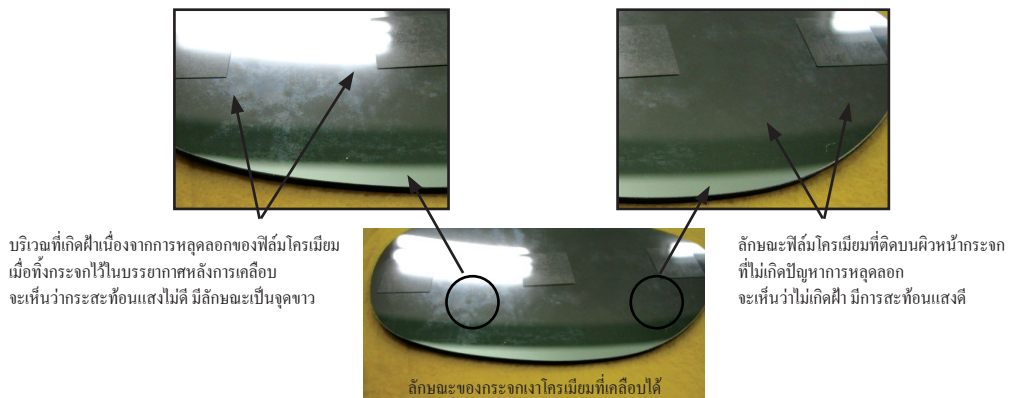
โครเมียมมีการหลุดลอกจากผิวหน้าของกระจก (รูปที่ 3) อย่างไรก็ดีปัญหานี้กลับไม่เกิด เมื่อระยะ d_{s-t} เท่ากับ 16 เซนติเมตร เพราะชิ้นงานอยู่ห่างจากเป่าสารเคลือบมากพอที่จะทำให้ไอสารเคลือบที่หลุดจากเป่าสารเคลือบแล้วมาควบแน่นเป็นชั้นฟิล์มที่ผิวหน้าของชิ้นงานมีเวลาใน

การคายความร้อนและฟอร์มตัวอย่างช้าๆ เป็นชั้นฟิล์ม ทำให้การยึดติดกับกระจกดีไม่ทำให้เกิดปัญหาการหลุดลอกจากผิวหน้ากระจกจนทำให้มีลักษณะคล้ายฝ้าที่ผิวหน้าของกระจกเงา ทั้งนี้เงื่อนไขที่เหมาะสมสำหรับการเคลือบฟิล์มโครเมียมในงานวิจัยนี้สรุปได้ดังตารางที่ 1



รูปที่ 2 ลักษณะของพลาสมาและการวางชิ้นงานในกระบวนการเคลือบที่ระยะ d_{s-t} ต่างๆ

(a) ระยะ $d_{s-t} = 10$ เซนติเมตร (b) ระยะ $d_{s-t} = 13$ เซนติเมตร (c) ระยะ $d_{s-t} = 16$ เซนติเมตร



รูปที่ 3 ลักษณะฝ้าที่เกิดขึ้นบนผิวหน้าของกระจก เมื่อเคลือบด้วยระยะ d_{s-t} น้อยๆ

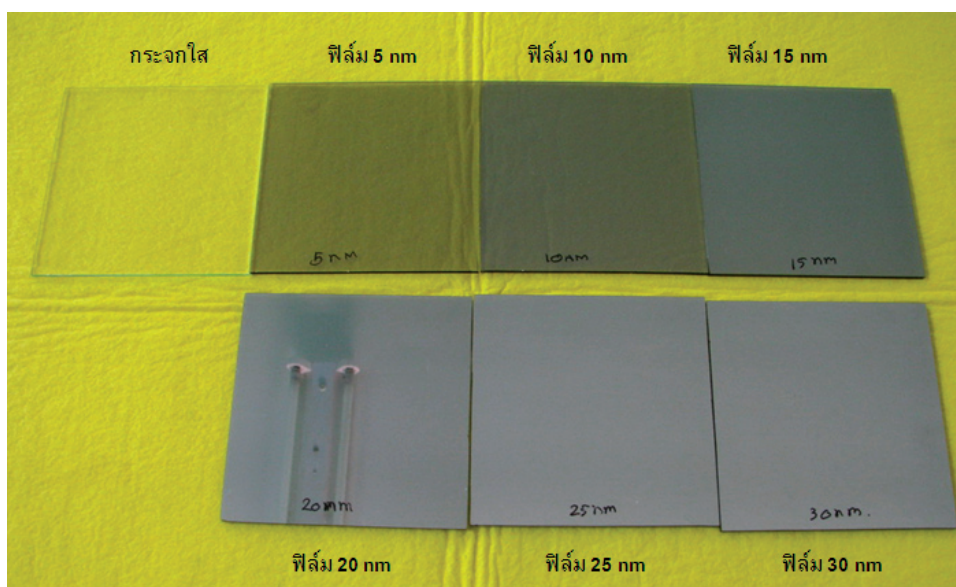
ตารางที่ 1 เงื่อนไขที่เหมาะสมสำหรับเคลือบฟิล์มโครเมียม

Base pressure (Pb)	5×10^{-5} mbar
Working pressure (Pw)	5×10^{-6} mbar
Voltage	420 V
Current	500 mA
d_{s-t}	16 cm
Coat rate	0.13 nm/sec

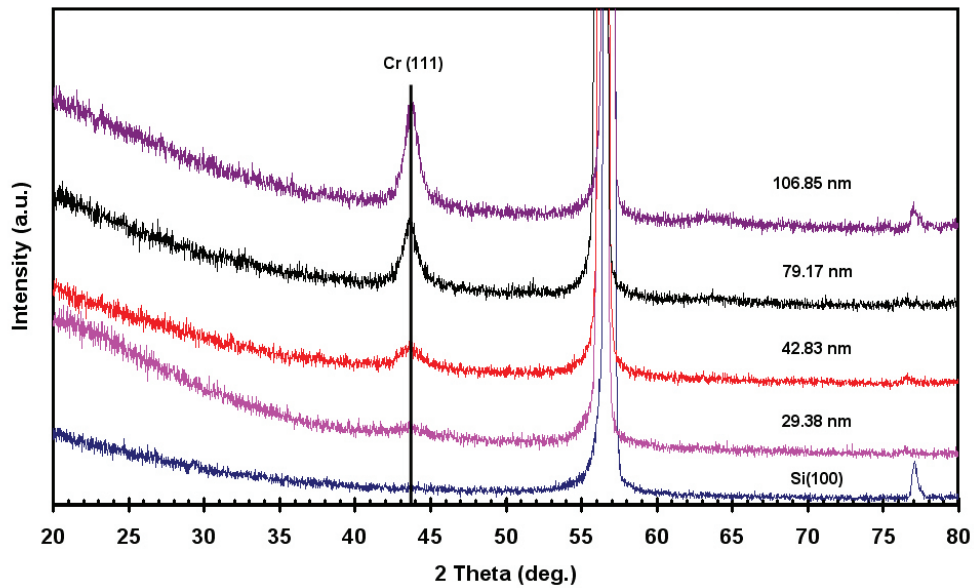
สมบัติทางกายภาพและโครงสร้างผลึกของฟิล์มโครเมียม

เมื่อพิจารณาลักษณะทางกายภาพของฟิล์มโครเมียมที่เคลือบบนกระจกใส (รูปที่ 4) ด้วยตาเปล่าพบว่าชั้นงานที่เคลือบได้มีสีเทาเคลือบกระจายตัวสม่ำเสมอทั่วผิวหน้าชิ้นงาน กรณีฟิล์มโครเมียมความหนาแน่น (5-10 นาโนเมตร) กระจกเคลือบฟิล์มโครเมียมมีสีเทาอ่อน มีการสะท้อนและส่งผ่านแสงได้บางส่วน แต่เมื่อความหนาฟิล์มเพิ่มขึ้น (มากกว่า 15 นาโนเมตร) กระจก

เคลือบฟิล์มโครเมียมจะมีสีเงินเข้มของโครเมียม การสะท้อนแสงเพิ่มขึ้นส่วนการส่งผ่านแสงลดลง ทั้งนี้เมื่อนำฟิล์มโครเมียมไปตรวจวัดโครงสร้างผลึกด้วยเทคนิค XRD พบรูปแบบการเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ที่มุม $2\theta = 43.50^\circ$ (รูปที่ 5) ซึ่งตรงกับ Cr (111) โดยเมื่อความหนาฟิล์มเพิ่มขึ้นความเข้มของรูปแบบการเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์เพิ่มขึ้นด้วย



รูปที่ 4 ลักษณะของกระจกใสแผ่นเรียบที่เคลือบด้วยฟิล์มโครเมียมที่ความหนาต่างๆ

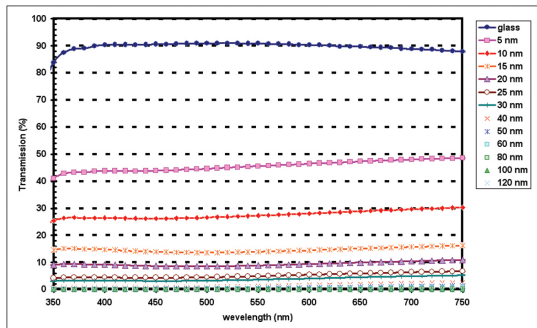


รูปที่ 5 รูปแบบการเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ของฟิล์มโครเมียมที่มีความหนาต่างๆ

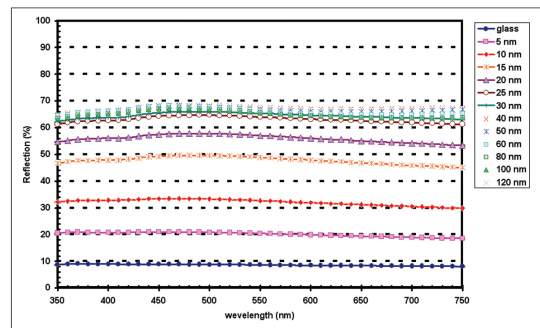
สมบัติทางแสงของฟิล์มโครเมียม

รูปที่ 6 และ รูปที่ 7 แสดงค่าการสะท้อนและส่งผ่านแสงของฟิล์มโครเมียมที่ความยาวคลื่นแสงในช่วงตามองเห็น (350 – 750 นาโนเมตร) ซึ่งวัดด้วยเครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ ทั้งนี้จะเห็นได้ว่าที่ความหนาฟิล์มคงที่ค่าหนึ่ง ฟิล์มโครเมียมสามารถส่งผ่านแสงได้ดีเท่ากันตลอดความยาวคลื่นที่พิจารณา และเป็นเช่นเดียวกันสำหรับกรณีการสะท้อนแสง สำหรับเหตุผลที่โลหะโครเมียมซึ่งจะทึบแสงเมื่ออยู่ในสภาพก้อน (bulk) แต่

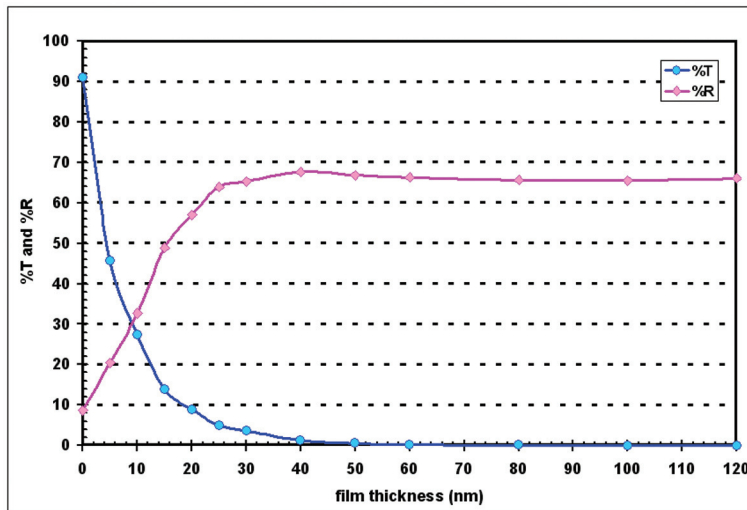
เมื่ออยู่ในสภาพของฟิล์มบางกลับพบว่าสามารถส่งผ่านแสงได้บางส่วน เนื่องจากเมื่อฟิล์มมีความหนาในระดับนาโนเมตร อะตอมของโครเมียมที่ถูกสปีดเทอริงออกมาพอกพูน (deposited) บนผิวหน้าของกระจกจะยังไม่ต่อเนื่องเป็นแผ่นฟิล์ม แต่จะกระจุกตัวรวมกันเป็นลักษณะกลุ่มก้อน (islands formed) กระจายทั่วผิวหน้ากระจก ทำให้มีช่องว่างพอที่แสง ตกกระทบบางส่วนสามารถส่งผ่านได้ ทำให้ฟิล์มโลหะที่มีความหนาในระดับนาโนเมตรสามารถส่งผ่านแสงได้บางส่วน



รูปที่ 6 ค่าการส่งผ่านแสงของฟิล์มโครเมียมที่ความยาวคลื่นแสงในช่วงตามองเห็น



รูปที่ 7 ค่าการสะท้อนแสงของฟิล์มโครเมียมที่ความยาวคลื่นแสงในช่วงตามองเห็น



รูปที่ 8 ค่าการสะท้อนแสงและค่าส่งผ่านแสงกับความหนาฟิล์มของฟิล์มโครเมียม ที่ความยาวคลื่นแสงเท่ากับ 550 นาโนเมตร

รูปที่ 8 แสดงค่าการสะท้อนและส่งผ่านแสงของฟิล์มโครเมียม ที่ความยาวคลื่น 550 นาโนเมตร (ค่ากลางของความยาวคลื่นแสงในช่วงตามองเห็น) พบว่าค่าการสะท้อนแสงและค่าการส่งผ่านแสงของฟิล์มโครเมียมจะแปรผันตามความหนาฟิล์มโครเมียมที่เคลือบได้

เมื่อพิจารณาค่าการส่งผ่านแสง ในรูปที่ 8 พบว่ากรณีกระจกเปล่าไม่มีการเคลือบฟิล์ม กระจกเปล่าจะมีค่าการส่งผ่านแสงสูงถึง 92% แต่เมื่อเคลือบกระจกด้วยฟิล์มโครเมียมพบว่าค่าการส่งผ่านแสงจะลดลงอย่าง

รวดเร็ว จาก 45% เหลือ 5% ในช่วงความหนาฟิล์มเท่ากับ 5-25 นาโนเมตร และเมื่อฟิล์มที่เคลือบหนาขึ้นในช่วง 25-40 นาโนเมตร ค่าการส่งผ่านแสงจะลดลงอย่างช้าๆ จนมีค่าเข้าใกล้ศูนย์เมื่อฟิล์มหนามากกว่า 50 นาโนเมตร เนื่องจากเมื่อฟิล์มบางมากๆ (ความหนาในช่วง 5-25 นาโนเมตร) อะตอมของโครเมียมซึ่งเป็นสารเคลือบเมื่อพุ่งกระจายไปจับที่ผิวหน้าของกระจกจะอยู่ในลักษณะเป็นกลุ่มก้อนยังไม่เชื่อมต่อกันเป็นแผ่นฟิล์มทำให้แสงส่งผ่านได้เด่นน้อยกว่ากรณีที่ไม่เคลือบฟิล์ม และเมื่อ

ฟิล์มมีความหนาเพิ่มขึ้นประมาณ 25-40 นาโนเมตร กลุ่มของสารเคลือบเริ่มโตขึ้นทำให้แสงผ่านได้น้อยลง ซึ่งสุดท้ายเมื่ออะตอมของสารเคลือบโตขึ้นจนเชื่อมต่อกันเป็นแผ่นฟิล์ม ไม่มีลักษณะเป็นกลุ่มก้อน ทำให้ค่าการส่งผ่านแสงของฟิล์มโครเมียมลดลงจนทึบแสงในที่สุด

ทำนองเดียวกับค่าการส่งผ่านแสง เมื่อพิจารณา ค่าการสะท้อนแสงในรูปที่ 8 พบว่ากระจกเปล่าที่ไม่มีการเคลือบฟิล์มจะมีค่าการสะท้อนแสงน้อยมากประมาณ 8% แต่เมื่อเคลือบฟิล์มโครเมียมบนกระจกพบว่า ค่าการสะท้อนแสงจะสูงขึ้นอย่างรวดเร็ว จาก 20% เป็น 64% ในช่วงความหนาฟิล์มเท่ากับ 5-25 นาโนเมตร เนื่องจากเริ่มมีอะตอมของโครเมียมที่ผิวหน้ากระจก ซึ่งสามารถสะท้อนแสงได้ อะตอมของโครเมียมจะค่อยๆ เพิ่มขึ้นในช่วง 25-40 นาโนเมตร จนมีค่าสูงสุดประมาณ 68% ที่ความหนาฟิล์มเท่ากับ 40 นาโนเมตร เนื่องจากฟิล์มโครเมียมที่เกิดขึ้นยังไม่ต่อเนื่องกันเป็นแผ่นฟิล์มทำให้มีช่องว่างให้แสงบางส่วนส่งผ่าน ขณะที่แสงบางส่วนมีการสะท้อนกลับ และเมื่อฟิล์มโครเมียมมีความหนามากกว่า 50 นาโนเมตร ค่าการสะท้อนแสงจะไม่เพิ่มขึ้นอีก แสดงว่าโครเมียมสามารถสะท้อนแสงได้สูงสุดประมาณ 68%

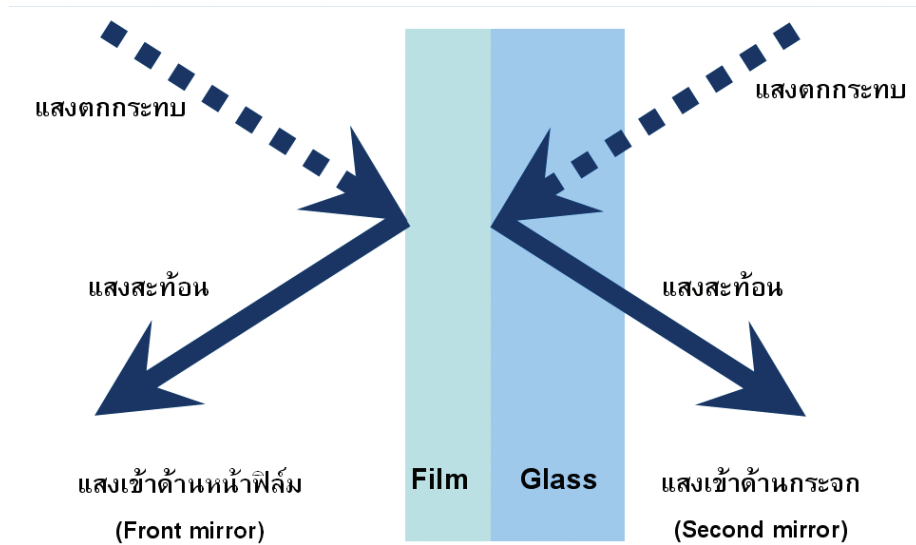
การทดสอบกระจกเงาเคลือบโครเมียมตามวิธีการของโรงงาน

จากข้อมูลเกี่ยวกับการเคลือบฟิล์มโครเมียมบนกระจกข้างต้น ผู้วิจัยได้นำเงื่อนไขและข้อมูลต่างๆ มาใช้เคลือบกระจกแผ่นเรียบใสให้เป็นเคลือบกระจกเงาโครเมียมสำหรับทำกระจกเงาส่องหลังรถยนต์ แล้วจึงนำไปทดสอบสมบัติต่างๆ ได้แก่ การสะท้อนแสง การยึดติดและการทนน้ำและความร้อน ตามวิธีการของโรงงานที่ร่วมงานวิจัย ผลการศึกษาพบว่า

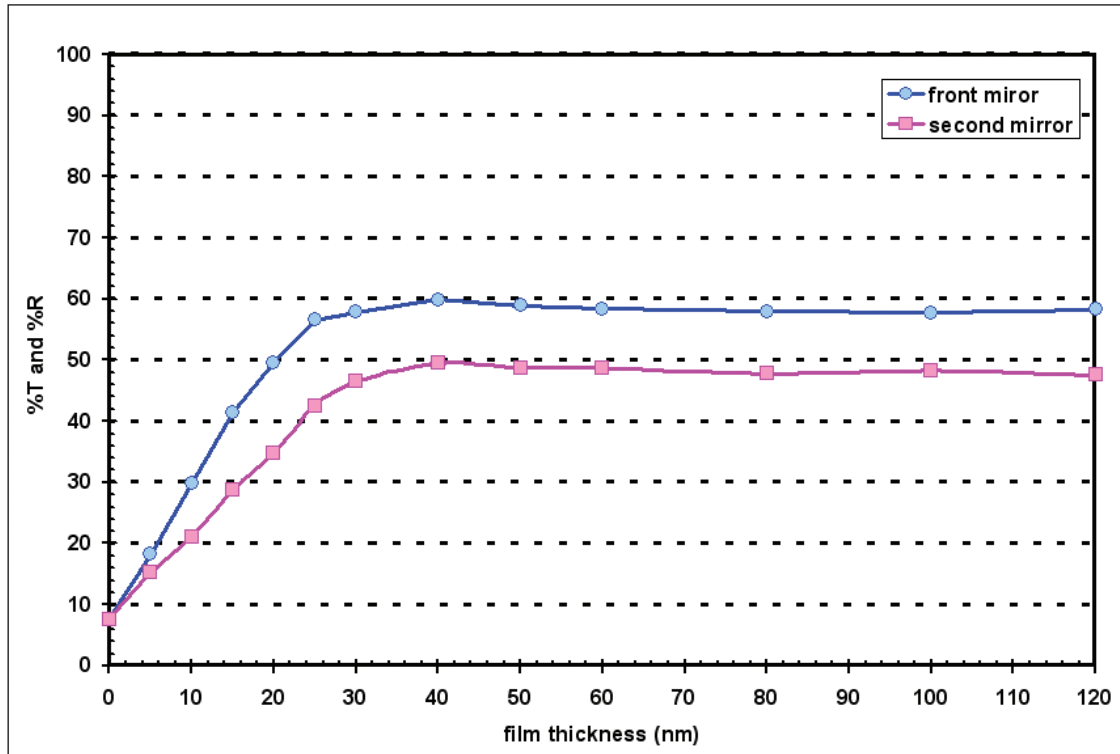
1. สมบัติการสะท้อนแสง เมื่อนำกระจกเงาที่เคลือบด้วยโครเมียมที่ความหนาต่างๆ กันไปตรวจวัดค่าการสะท้อนแสงทั้งในกรณีแสงเข้าทางด้านหน้าฟิล์ม (เรียกกระจกเงาชนิดนี้ว่า front mirror) และ กรณีแสงเข้าทางด้านหน้ากระจกแล้วไปสะท้อนฟิล์มด้านหลัง

(เรียกกระจกเงาชนิดนี้ว่า second mirror) (รูปที่ 9) พบว่าค่าการสะท้อนแสงของ front mirror จะมีค่าสูงมากกว่า second mirror สำหรับทุกความหนาของฟิล์ม (รูปที่ 10) เนื่องจากกรณี second mirror แสงจะต้องผ่านกระจกไปสะท้อนที่ฟิล์มโครเมียมซึ่งอยู่ด้านหลังก่อนจะสะท้อนกลับมาด้านหน้าของกระจกทั้งนี้อาจเกิดการดูดกลืนพลังงานแสงของสารที่ใช้ทำกระจกหรือเกิดการสะท้อนกลับไป-มาแล้วเกิดการแทรกสอดในเนื้อกระจก ทำให้ค่าการสะท้อนแสงต่ำ ซึ่งต่างจากกรณี front mirror ที่แสงจะตกกระทบที่ผิวหน้าของฟิล์มและสะท้อนกลับโดยตรง (รูปที่ 9) นอกจากนี้ยังพบว่าเมื่อฟิล์มที่เคลือบมีความหนามากขึ้น ค่าการสะท้อนแสงจะสูงขึ้นตามความหนาฟิล์มทั้งในกรณี front mirror และ second mirror จนเข้าใกล้ค่าคงที่ค่าหนึ่ง ในงานวิจัยนี้พบว่าเมื่อฟิล์มหนาเท่ากับ 40 นาโนเมตร ค่าการสะท้อนแสงสูงสุด ในกรณีของ front mirror จะมีค่าประมาณ 60% ส่วน second mirror พบว่าจะมีค่าการสะท้อนแสงสูงสุดประมาณ 50% เท่านั้น (รูปที่ 10)

2. สมบัติการยึดติด การยึดติดของฟิล์มที่ทำหน้าที่สะท้อนแสงเป็นสมบัติสำคัญของกระจกเงา ได้นำกระจกเงาโครเมียมมาทดสอบการยึดติดตามวิธีทดสอบของโรงงาน ด้วยการใช้น้ำกรดรีบนผิวหน้าฟิล์มเป็นตารางแล้วปิดทับด้วยเทปใสจากนั้นดึงเทปใสเข้าหาตัวผู้ทดสอบ โดยความสามารถในการยึดติดของฟิล์มประเมินจากเนื้อฟิล์มที่หลุดออกจากผิวหน้ากระจกติดเทปใสออกมา ผลทดลองในงานวิจัยนี้พบว่ากรณีฟิล์มมีความหนาในช่วง 15-25 นาโนเมตร ไม่พบว่ามีฟิล์มหลุดลอก แต่เมื่อฟิล์มมีความหนามากกว่า 50 นาโนเมตร พบว่าเริ่มมี เนื้อฟิล์มหลุดติดเทปใสออกมาแสดงให้เห็นว่าความหนาฟิล์มมีผลต่อการยึดติดของฟิล์มบนผิวหน้าชิ้นงาน สอดคล้องกับงานวิจัยของ [5-6] ซึ่งรายงานว่าฟิล์มบางที่มีความหนาน้อยจะยึดติดชิ้นงานดีกว่าฟิล์มที่มีความหนามาก เนื่องจากเมื่อความหนาของฟิล์มบางเพิ่มขึ้นแรงยึดติดระหว่างอะตอมในเนื้อสารเคลือบจะมีค่าสูงกว่าแรงยึดติดของเนื้อสารเคลือบกับชิ้นงานส่งผลให้เกิดความเครียดค้าง (residual stress) ในเนื้อฟิล์ม ทำให้ฟิล์ม



รูปที่ 9 ลักษณะแสงตกกระทบบและแสงสะท้อนของกระจกเคลือบฟิล์มแบบ front mirror และ second mirror



รูปที่ 10 ค่าการสะท้อนแสงของกระจกเงาโครเมียมแบบ front mirror และ second mirror ที่ความหนาฟิล์มต่างๆ

ที่มีความหนาหลากหลายหลุดลอกจากชิ้นงานได้ง่ายกว่าฟิล์มที่มีความหนาน้อย โดยความเครียดคงค้างที่เกิดขึ้นในเนื้อฟิล์มที่มีความหนาอาจมีสาเหตุหลายประการ เช่น เป็นผลจากความร้อนที่เกิดขึ้นเองในกระบวนการเคลือบฟิล์ม หรือเป็นผลจากความแตกต่างของสัมประสิทธิ์การขยายตัว (thermal expansion coefficient) ของอะตอมสารเคลือบที่เป็นเนื้อฟิล์มและอะตอมของชิ้นงานหรือวัสดุรองรับ เป็นต้น [7-8]

3. สมบัติการทนน้ำและความร้อน เนื่องจากการใช้งานจริงกระจกเงาส่องหลังรถยนต์จะอยู่ในสภาพแวดล้อมที่อาจต้องสัมผัสน้ำหรือความร้อน ทำให้สารหรือฟิล์มที่เคลือบอาจหลุดลอกออกจากผิวกระจกได้ ดังนั้นกระจกเงาคุณภาพสูงต้องสามารถทนน้ำและความร้อนได้ดี งานวิจัยนี้ได้นำกระจกเงาเคลือบโครเมียมที่มีความหนาฟิล์มตั้งแต่ 15 – 100 นาโนเมตร มาทดสอบโดยแช่ในน้ำ DI ที่มีค่า pH ประมาณ 6-8 ที่อุณหภูมิ 40 °C นาน 120 ชั่วโมง ผลการศึกษาพบว่ากระจกเงาเคลือบโครเมียมทุกชิ้นในการทดสอบไม่มีการหลุดลอกของฟิล์มแสดงว่ากระจกเงาโครเมียมที่เคลือบด้วยเทคนิคสปีดเตอริงสามารถทนน้ำและความร้อนได้เป็นอย่างดี เนื่องจากพลังงานของไอสารเคลือบโครเมียมที่ได้จากกระบวนการสปีดเตอริงมีค่าสูงมาก ซึ่งเมื่อวิ่งเข้าชนและควบแน่นพอกพูนเป็นชั้นของโครเมียมบางๆ บนผิวหน้าของกระจกนั้น ไอสารเคลือบพลังงานสูงนี้จะมีการฝังตัวลงในเนื้อของผิวกระจกเล็กน้อย ก่อนจับตัวและฟอร์มเป็นชั้นของฟิล์มต่อเนื่องทั่วผิวหน้ากระจก ทำให้ฟิล์มโครเมียมที่เคลือบได้มีการยึดติดกับผิวหน้าของกระจกดี กระจกเงาเคลือบโครเมียมจึงสามารถทนน้ำ และความร้อนได้ดี

สรุปผลการวิจัย

ฟิล์มโครเมียมที่เคลือบบนกระจกใสด้วยเทคนิคสปีดเตอริงในงานวิจัยนี้มีการกระจายตัวของสารเคลือบสม่ำเสมอทั่วชิ้นงาน เมื่อฟิล์มบางมากกระจกเคลือบฟิล์มโครเมียมจะมีการสะท้อนและส่งผ่านแสงได้บางส่วน แต่เมื่อฟิล์มหนาขึ้นการสะท้อนแสงของกระจก

เคลือบฟิล์มโครเมียมจะเพิ่มขึ้นขณะที่การส่งผ่านแสงลดลง เครื่องเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ระบุว่าชั้นฟิล์มที่เคลือบเป็นโครเมียม ค่าการสะท้อนแสงของฟิล์มโครเมียมเพิ่มขึ้นตามความหนาฟิล์ม และมีค่าสูงสุดประมาณ 68% ที่ความหนาฟิล์มเท่ากับ 40 นาโนเมตร ส่วนค่าการส่งผ่านแสงลดลงเมื่อความหนาฟิล์มเพิ่มขึ้น โดยจะมีค่าเข้าใกล้ศูนย์เมื่อฟิล์มมีความหนามากกว่า 50 นาโนเมตร กระจกเงาโครเมียมที่เคลือบด้วยเทคนิคสปีดเตอริงในงานวิจัยนี้มีค่าการสะท้อนแสง การยึดติด การทนน้ำและความร้อนเหมาะสมสำหรับใช้ทำกระจกเงาส่องหลังรถยนต์

คำขอบคุณ

ผู้วิจัยขอขอบคุณ สำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย (สกว.) ฝ่ายอุตสาหกรรม โครงการโครงการอุตสาหกรรมสำหรับปริญญาดริ ประจำปี 2551 สำหรับทุนอุดหนุนการวิจัย (รหัสโครงการ I251A05015) และ บริษัท นาโน มิเรอร์ อินดัสทรี จำกัด สำหรับชิ้นงานที่ใช้ทดลอง อุปกรณ์สำหรับทดสอบการยึดติด การทนน้ำ การทนความร้อนของกระจกเงาเคลือบโครเมียมในงานวิจัยนี้

เอกสารอ้างอิง

- [1] สถาบันยานยนต์. (2550). โครงการจัดทำแผนแม่บทอุตสาหกรรมยานยนต์ (พ.ศ.2550-2554). สืบค้นเมื่อวันที่ 20 มกราคม 2551 จาก [http:// www.thaiauto.or.th/technical_document/document/โครงการแผนแม่บท.pdf](http://www.thaiauto.or.th/technical_document/document/โครงการแผนแม่บท.pdf).
- [2] พิเชฐ ลิ้มสุวรรณ และธนาภา รัตนะ. (2547). การวิจัยและพัฒนาการเคลือบผิวโลหะด้วยวิธีสปีดเตอริงตามแผนปรับโครงสร้างอุตสาหกรรม ระยะที่ 2. สำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย: กรุงเทพฯ.
- [3] Bunshah, R.F. (1994). **Handbook of deposition technologies for films and coatings**. New Jersey: Noyes Publications.

- [4] Wasa, K. and Hayakawa, S. (1992). **Handbook of sputter deposition technology: principles, technology and applications**. New Jersey: Noyes Publications.
- [5] Sheeja, D., Tay, B.K., Leong, K.W. and Lee, C.H. (2002). "Effect on film thickness on the stress and adhesion of diamond-like carbon coatings," **Diamond and Related Materials**. **11**, 1643-1647.
- [6] Wei, C. and Yen, J.Y. (2007). "Effect of film thickness and interlayer on the adhesion strength of diamond like carbon films on different substrates," **Diamond and Related Materials**. **16**, 1325-1330.
- [7] Varias, A.G., Mastorakos, I. and Aifantis, E.C. (1999). "Numerical simulation of interface crack in thin films," **International Journal of Fracture**. **98**, 195-207.
- [8] Kitamura, T., Hirakata, H. and Itsuji, T. (2003). "Effect of residual stress on delamination from interface dege between nano-films," **Engineering Fracture Mechanics**. **70**, 2089-2101.