บทความวิจัย

สมบัติทางแสงของฟิล์มบางเงินและฟิล์มบางเงินเจือที่เคลือบด้วย ดีซี อันบาลานซ์ แมกนีตรอน สปัตเตอริง

Optical Properties of Silver and Silver Alloy Thin Films Deposited by DC Unbalanced Magnetron Sputtering

นิรันดร์ วิทิตอนันต์ วท.ม.(ฟิสิกส์)
Nirun Witit-anun M.Sc.(Physics)
นักศึกษาปริญญาเอก คณะพลังงานและวัสดุ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
Doctorate Student of Materials Technology, School of Energy and Materials, King Mongkut's University of Technology, Thonburi, Bangkok, 10140.

พัฒนะ รักความสุข D.Sc.(Electrophysics)
Pattana Rakkwamsuk
คณะพลังงานและวัสดุ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
School of Energy and Materials, King Mongkut's University of Technology, Thonburi, Bangkok, 10140.

พิเชษฐ ลิ้มสุวรรณ Ph.D.(Physics)
Pichet Limsuwan
คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
Faculty of Science, King Mongkut's University of Technology, Thonburi, Bangkok, 10140.

คำสำคัญ : ฟิล์มบางเงิน, ฟิล์มบางเงินเจือ, สมบัติทางแสง, กระจกสะท้อนความร้อน
Keywords : Silver thin films, Silver alloy thin films, Optical properties, Heat mirror

Abstract

Silver thin films possess many excellence optical properties and it is suitable for particularly energy applications. However, it easily degraded when exposed to the atmosphere. This paper presents

the results of the study on optical properties and thermal emissivity of silver alloy thin films compared to Silver thin films possess many excellence optical properties and it is suitable for particularly energy applications. However, it easily degraded when exposed to the atmosphere. This paper presents the results of the study on optical properties and thermal emissivity of silver alloy thin films compared to that of pure silver. In addition, durability testing was also conducted. Thin films of pure silver and two systems of alloy including 95%Ag-5%Cu and 92.5%Ag-7.5%Cu with a thickness of about 2 - 20 nm were deposited on slide glasses by DC unbalanced magnetron sputtering. Spectral measurements using a UV-VIS-NIR spectrophotometer showed that both silver alloy films possess spectral response characteristics almost equal to pure silver. Their values of thermal emissivity were in the range of 0.1-0.6 depending on film thickness. Durability testing of silver alloy films by annealing alloy films at 100 ° C in oxygen ambient showed no sign of deterioration of film properties. As such, these alloy films could potentially serve as a reflective layer in the system of spectrally selective thin films. Furthermore, the film system based on these alloys would be more economical for producing a low-cost heat reflective mirror.

บทคัดย่อ

ฟิล์มบางเงินมีสมบัติทางแสงที่ดีและเหมาะสมสำหรับนำมาประยุกต์ใช้งานด้านต่าง ๆ แต่ก็มีข้อด้อยเกี่ยวกับการเสื่อมสภาพเมื่ออยู่ในบรรยากาศ บทความนี้นำเสนอผลการศึกษาเปรียบเทียบสมบัติทางแสงและการเปล่งรังสีของฟิล์มบางเงินและฟิล์มบางเงินเจือ 3 ชนิด ได้แก่ 99.97%Ag, 95%Ag-5%Cu และ 92.5%Ag-7.5%Cu ที่มีความหนาในช่วง 2-20 nm ซึ่งเคลือบบนกระจกสไลด์ ด้วยระบบ ดีซี อันบาลานซ์ แมกนีตรอน สปัตเตอริง เมื่อนำฟิล์มบางที่ได้ไปตรวจสอบสมบัติทางแสงด้วย UV-VIS-NIR spectrophotometer พบว่าสมบัติทางแสงของฟิล์มบางเงินเจือทั้งสองมีค่าใกล้เคียงฟิล์มบางเงิน และเมื่อวัดค่าสภาพเปล่งรังสีด้วย emissometer พบว่ามี ค่าอยู่ในช่วง 0.1-0.6 ขึ้นกับความหนาของฟิล์ม เมื่อนำฟิล์มบางเงินเจือไปทดสอบการเสื่อมสภาพโดยนำไปอบในบรรยายกาศออกซิเจนที่อุณหภูมิ 100 ° C พบว่าฟิล์มบางเงินเจือที่ทดสอบไม่มี การเปลี่ยนแปลงทั้งทางกายภาพ สมบัติทางแสง ผลการศึกษานี้แสดงให้เห็นว่าฟิล์มบางเงินเจือเหมาะสำหรับนำมาใช้เป็นชั้นสะท้อนรังสีความร้อนของกระจกสะท้อนความร้อน

บทนำ

นับตั้งแต่วิกฤตการณ์ด้านพลังงานในช่วงปี ค.ศ. 1970 เป็นต้นมา งานวิจัยเกี่ยวกับพลังงานก็ได้รับความสนใจอย่างต่อเนื่องจนถึงปัจจุบัน กระจกประหยัดพลังงานเป็นอีกหัวข้อหนึ่งที่อยู่ในความสนใจของกลุ่มวิจัยนักวิจัยทั่วโลก โดยเฉพาะอย่างยิ่ง กระจกเลือกรังสี (spectrally selective glazing) ซึ่ง U.S. Department of Energy, (1998) ให้นิยามกระจกชนิดนี้ว่าหมายถึง “ระบบกระจกที่ยอมให้รังสีอาทิตย์บางช่วงความยาวคลื่นผ่าน แต่กันไม่ให้รังสีอื่นที่ไม่ต้องการผ่าน” กรณีกระจกเลือกรังสีที่เหมาะสำหรับการประยุกต์ใช้ในงานอนุรักษ์พลังงานจะต้องเป็นกระจกที่มีค่าการส่งผ่านรังสีในช่วงตามองเห็นสูง แต่มีค่าการส่งผ่านรังสีความร้อนต่ำ ซึ่งกระจกที่มีสมบัตินี้มีชื่อเรียกเฉพาะว่า “กระจกสะท้อนความร้อน (heat reflective mirror)”

การผลิตกระจกเลือกรังสีสำหรับประยุกต์ใช้ในงานอนุรักษ์พลังงานทำได้หลายวิธี เช่น การผสมสารบางชนิดในเนื้อกระจกระหว่างการผลิต การเคลือบสารที่

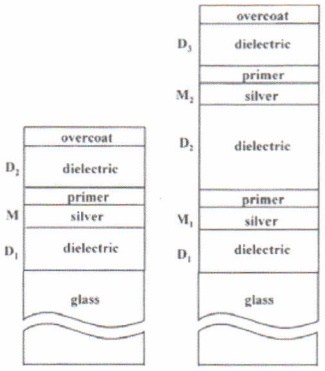
มีความเหมาะสมบนแผ่นพลาสติกแล้วนำไปติดบนกระจกแผ่นเรียบ หรือการเคลือบสารบางชนิดบนกระจกแผ่นเรียบโดยตรงในลักษณะฟิล์มบาง เป็นต้น ปัจจุบันเป็นที่ยอมรับว่ากระจกเลือกรังสีชนิดเคลือบฟิล์มบางนั้นเป็นกระจกที่น่าสนใจและมีคุณภาพดีที่สุด สำหรับการผลิตกระจกเลือกรังสีที่มีความสามารถในการสะท้อนความร้อนชนิดฟิล์มบาง สามารถแบ่งได้เป็น 4 ชนิด คือ (1) ฟิล์มบางโลหะ (metal film) เช่น Ag, Au, Cu และ Al ถ้าความหนาฟิล์มบางเหมาะสมจะส่งผ่านรังสีในช่วงตามองเห็นและสะท้อนรังสีความร้อนดีและมีค่าสภาพเปล่งรังสีต่ำแต่มีข้อเสียคือเสื่อมสภาพง่าย (2) ฟิล์มบางหลายชั้นที่มีโลหะเป็นชั้นหลัก (metal based multilayer film) ระบบฟิล์มนี้ยังคงใช้ฟิล์มบางโลหะสะท้อนรังสีความร้อน แต่จะมีชั้นของฟิล์มไดอิเล็กตริกประกบกับฟิล์มบางโลหะเพื่อลดการสะท้อนรังสีในช่วงตามองเห็นและช่วยป้องกันชั้นฟิล์มโลหะด้วย (3) ฟิล์มบางของสารกึ่งตัวนำ (semiconductor film) ฟิล์มในกลุ่มนี้จะมีแถบพลังงานกว้างมาก (wide band gap) สำหรับช่วยสะท้อนรังสีความร้อน และ (4) ฟิล์มบางในลักษณะตะแกรงตัวนำ (conducting microgrid) ตะแกรงจะมีขนาดของช่องเปิดที่เหมาะสมเพื่อให้รังสีในช่วงตามองเห็นผ่านได้แต่เล็กเพียงพอ (เมื่อเปรียบเทียบกับความยาวคลื่นของรังสีความร้อน) สำหรับการสะท้อนรังสีความร้อน ปัจจุบันการเคลือบฟิล์มบางที่ได้รับการยอมรับว่ามีประสิทธิภาพดีที่สุดและนิยมนำมาใช้ทำกระจกสะท้อนความร้อนคือแบบที่ (2) และ แบบที่ (3) (Karlsson *et al.*,1981)

กระจกเลือกรังสีชนิดเคลือบฟิล์มบางหลายชั้นที่นำมาใช้เป็นกระจกสะท้อนความร้อนนั้น เป็นระบบที่มีประสิทธิภาพสูง เนื่องจากสามารถควบคุมรังสีอาทิตย์ดี (solar control) มีการส่งผ่านรังสีในช่วงตามองเห็นสูงแต่ส่งผ่านรังสีความร้อนต่ำ และมีสภาพเปล่งรังสีต่ำ (low emissivity) ทำให้ไม่มีปัญหาการแผ่รังสีกลับเมื่อกระจกมีอุณหภูมิสูงขึ้น (Lampert, 1981 ; Berning, 1983) ระบบฟิล์มบางหนึ่งที่มีประสิทธิภาพ คือ ระบบฟิล์มบางหลายชั้นที่มีโลหะเป็นชั้นหลัก (รูปที่ 1) ประกอบด้วย (1) ชั้นฟิล์มบางโลหะเป็นชั้นสำหรับสะท้อนรังสีความร้อน เช่น Ag, Au, Cu, Al และ (2) ชั้นฟิล์มบางไดอิเล็กตริกเป็นชั้นสำหรับลดการสะท้อนแสงในช่วงตามองเห็นแต่สะท้อนรังสีในช่วงความร้อนได้ดี เช่น TiO_2, SnO_2, ITO, ZnO, SnO_2 บางครั้งเรียกฟิล์มชนิดนี้ว่า ระบบฟิล์มบางหลายชั้นของโลหะ-ไดอิเล็กตริก ตัวอย่างเช่น ระบบฟิล์มบางของ TiO_2/Ag/TiO_2 หรือ ZnO/Ag/ZnO หรือ TiO_2/Al/Ag/Al/TiO_2 หรือ ZnO/Al/Ag/Al/ZnO เป็นต้น (Ebisawa และAndo, 1998) ทั้งนี้จะเห็นว่าทุกระบบจะมีฟิล์มบางเงินเป็นชั้นหลัก เนื่องจากเงินมีสมบัติในการสะท้อนรังสีความร้อนได้ดีและมีสภาพเปล่งรังสีต่ำที่เรียกว่ากระจกสะท้อนความร้อนชนิดฟิล์มบางที่มีเงินเป็นชั้นหลัก (silver based heat mirror)

ถึงแม้ฟิล์มบางเงินจะมีสมบัติทางแสงที่เหมาะสำหรับใช้ทำกระจกสะท้อนความร้อน แต่ฟิล์มบางเงินก็มีข้อเสียสำคัญ คือการเสื่อมสภาพเนื่องความชื้นในบรรยากาศ จากการศึกษาของ Ando และ Miyazaki (1999) เกี่ยวกับการเสื่อมสภาพของระบบฟิล์ม ZnO/Ag/ZnO พบว่าความชื้นจะทำให้ชั้นของฟิล์มบางเงินเกิดเป็นจุดขาว เมื่อมีจำนวนมากขึ้นฟิล์มจะมีลักษณะเป็นฝ้าไม่โปร่งใส ทำให้ความสามารถในการส่งผ่านแสงลดลง โดยความชื้นจะซึมผ่านชั้นของ ZnO ไปยังชั้นของฟิล์มบางเงิน เมื่อความชื้นผ่านชั้น ZnO ลงไปถึงรอยต่อจะทำให้แรงยึดระหว่างชั้นลดลงประกอบกับความเครียดในเนื้อฟิล์มชั้นบน (ชั้น ZnO) สุดท้ายจะทำให้ฟิล์มหลุดร่อนออกจากกระจก สำหรับปัญหานี้สามารถแก้ไขได้หลายวิธีเช่น โดยการปรับปรุงสมบัติของฟิล์ม ZnO เพื่อไม่ให้ความชื้นซึมผ่านลงไปยังชั้นของฟิล์มบางเงิน โดยการเจือ ZnO ด้วย Al เป็น Al-doped ZnO หรือ AZO จะช่วยลดความเครียดในเนื้อฟิล์มและทำให้ฟิล์มทนต่อความชื้นสูงขึ้น แต่การแก้ด้วยวิธีนี้จะทำให้อัตราเคลือบของ ZnO ลดลง และถ้าเจือ Al มากเกินไปความชื้นจะทำปฏิกิริยากับ Al เกิดเป็นฝ้าได้เช่นเดียวกัน (Ando และ Miyazaki, 2001) อีกวิธีหนึ่งคือโดยการปรับปรุงสมบัติของฟิล์มบางเงินโดยการเจือฟิล์มบางเงินด้วยโลหะ

บางชนิด เช่น Pt, Pd หรือ Cu เป็นต้น (Arbab, 1997) โลหะที่เจือในเงินนี้จะทำให้ฟิล์มบางเงินมีความแข็งเพิ่มขึ้น ทนความชื้นดีขึ้น อีกทั้งยังช่วยลดการเกิดจุดขาวในชั้นของฟิล์มบางเงินด้วย

แม้ฟิล์มบางเงินและฟิล์มบางเงินเจือจะมีสมบัติทางแสงที่น่าสนใจดังกล่าวข้างต้น แต่การศึกษาเกี่ยวกับสมบัติทางแสงของฟิล์มบางเงินเจือยังมีค่อนข้างน้อย



รูปที่ 1 การจัดเรียงของระบบฟิล์มบางสำหรับกระจกเลือกรังสีชนิดสะท้อนความร้อนแบบฟิล์มบางหลายชั้นที่มีเงินเป็นชั้นหลัก (a) ฟิล์มบางเงินชั้นเดียว, (b) ฟิล์มบางเงินสองชั้น

โดยเฉพาะอย่างยิ่งฟิล์มบางที่เตรียมจากกระบวนการสปัตเตอริง งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาการเตรียมฟิล์มบางเงินและฟิล์มบางเงินเจือ สำหรับใช้ในกระจกเลือกรังสีชนิดสะท้อนความร้อน โดยจะได้ศึกษาเปรียบเทียบสมบัติทางแสงและสภาพเปล่งรังสีของฟิล์มบางทั้งหมด ซึ่งเคลือบบนกระจกสไลด์ด้วยระบบ ดีซี อันบาลานซ์ แมกนีตรอน สปัตเตอริง และในตอนท้ายได้ทดสอบการเสื่อมสภาพของฟิล์มบางเงินเจือ ซึ่งข้อมูลทั้งหมดนี้จะเป็นพื้นฐานสำหรับการพัฒนากระจกเลือกรังสีชนิดสะท้อนความร้อนแบบฟิล์มบางต่อไป

วัสดุ อุปกรณ์และวิธีดำเนินการ

ฟิล์มบางเงินและฟิล์มบางเงินเจือ ในการทดลองนี้เตรียมขึ้นจากเครื่องเคลือบในสุญญากาศระบบ ดีซี อันบาลานซ์ แมกนีตรอน สปัตเตอริง ที่สร้างขึ้นเอง ดังแสดงในรูปที่ 2 เครื่องเคลือบนี้ มีห้องเคลือบทรงกระบอกเส้นผ่านศูนย์กลาง 310.0 mm สูง 370.0 mm สามารถติดตั้งคาโทด ขนาด 54.0 mm จำนวน 2 ชุด พร้อมภาคจ่ายไฟฟ้าแรงสูงกระแสตรง ระบบเครื่องสูบสุญญากาศของเครื่องเคลือบประกอบด้วยเครื่องสูบแบบแพร่ไอซึ่งมีเครื่องสูบกลโรตารีเป็นเครื่องสูบท้าย สำหรับการวัดความดันภายในภาชนะสุญญากาศใช้มาตรวัดความดันของ balzers รุ่น TPG300 โดยใช้หัววัดแบบพิรานี รุ่น TPR010 และหัววัดแบบเพนนิ่งรุ่น IKR050 การจ่ายแก๊สอาร์กอนในกระบวนการเคลือบควบคุมด้วย mass flow controller ของ MKS type247D

ขั้นตอนการเคลือบเริ่มจากนำกระจกสไลด์ที่ทำความสะอาดแล้วเข้าสู่ภาชนะสุญญากาศ จากนั้นลดความดันในภาชนะสุญญากาศให้ได้ความดันพื้น (base pressure) เท่ากับ 3.0x10-5 mbar เติมแก๊สอาร์กอนความบริสุทธิ์สูง (99.999%) เข้าภาชนะสุญญากาศให้ได้ความดันทำงาน (working pressure) เท่ากับ 3.0×10^{-3} mbar เพื่อทำการเคลือบ ทั้งนี้ก่อนการเคลือบฟิล์มบางทุกครั้งจะต้องทำความสะอาดหน้าเป้าสารเคลือบโดยการสปัตเตอร์หน้าเป้าสารเคลือบ (pre sputtering) ในบรรยากาศของแก๊สอาร์กอนความบริสุทธิ์สูง ประมาณ 10 นาที โดยปิดแผ่นบัง (shutter) ที่ติดตั้งระหว่างเป้าสารเคลือบกับแท่นวางวัสดุรองรับ เงื่อนไขการเคลือบฟิล์มบางทั้งหมดดังแสดงในตารางที่ 1

สำหรับเป้าสารเคลือบที่ใช้สำหรับเตรียมฟิล์มบางทั้ง 3 ชนิดที่ใช้ในการทดลองนี้มีลักษณะเป็นแผ่นกลมขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง ขนาด 54.0 mm โดยฟิล์มบางแต่ละชนิดนั้นจะเตรียมจาก เป้าสารเคลือบต่างๆ ดังนี้ได้แก่ (1) 99.97%Ag, (2) 95%Ag-5%Cu และ (3) 92.5% Ag-7.5%Cu ฟิล์มบางทั้งหมดจะเคลือบบนกระจกสไลด์

ตารางที่ 1 เงื่อนไขการเคลือบของฟิล์มบางที่ใช้ในการทดลอง

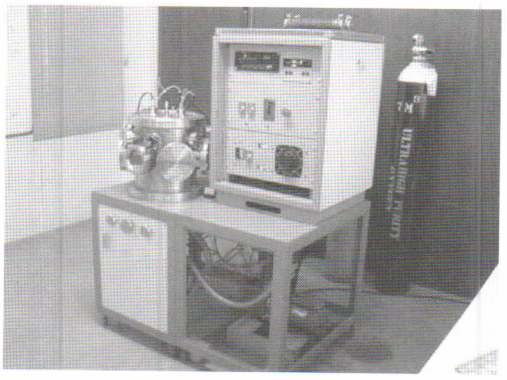
Target	99.97%Ag	95%Ag-5%Cu	92.5%Ag-7.5%Cu
Substrate		25x75 mm glass slide	
Substrate temperature		room temperature	
Base pressure		$3.0x10^{-5}$ mbar	
Working pressure		$3.0x10^{-3}$ mbar	
DC input power		42 W	
Deposition rate	0.65 nm/sec	0.41 nm/sec	0.39 nm/sec
Film thickness		2-20 nm	

ขนาด 2.5x7.5 cm ขณะเคลือบจะควบคุมความดันรวมและกำลังไฟฟ้าที่จ่ายให้กับคาโทดมีค่าคงที่ตลอดการเคลือบ สำหรับความหนาฟิล์มที่เคลือบได้จะหาจากอัตราเคลือบของระบบ ซึ่งทำได้โดยการเคลือบฟิล์มบางที่เวลาต่างๆ แล้วนำไปวัดความหนาด้วยเทคนิค FE-SEM เพื่อคำนวณหาอัตราเคลือบของระบบ โดยความหนาฟิล์มที่ใช้ในการทดลองนี้อยู่ในช่วง 2-20 nm

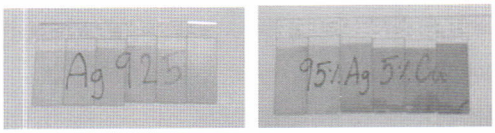
ฟิล์มบางที่ได้จะนำไปตรวจสอบส่วนผสมทางเคมีด้วย EDX วัดค่าสภาพการส่งผ่านแสงในช่วงความยาวคลื่น 300 - 2,100 nm ด้วย เครื่อง UV-VIS-NIR spectrophotometer ของ Shimadzu model MPC-31000 และวัดค่าสภาพการเปล่งรังสีด้วย emissometer สำหรับการทดสอบการเสื่อมสภาพของฟิล์มบางเงินเจือ ทดลองโดยนำฟิล์มบางไปอบที่อุณหภูมิ 100 °C ในบรรยากาศออกซิเจนเป็นเวลา 12 ชั่วโมง จากนั้นนำไปวัดค่าสภาพการส่งผ่านแสงด้วย เครื่อง UV-VIS-NIR spectrophotometer เพื่อเปรียบเทียบค่าสภาพการส่งผ่านแสงก่อนและหลังการอบ

ผลการวิจัยและอภิปรายผล

ลักษณะทางกายภาพของฟิล์มบางเงินหรือฟิล์มบางเงินเจือที่เคลือบได้เมื่อมองด้วยตาเปล่าพบว่ามีการกระจายตัวของสารเคลือบ เงินหรือเงินเจือ สม่ำเสมอดีทั่วทั้งชิ้นงาน และเนื่องจากฟิล์มบางที่เคลือบมีความหนาน้อยมาก (อยู่ในช่วง 2-20 nm) ทำให้ฟิล์มบางที่ได้ยังสามารถส่งผ่านแสงในช่วงตามองเห็นได้ดี (ความยาวคลื่นประมาณ 400-780 nm) รูปที่ 3 เป็นตัวอย่างฟิล์มบางเงินเจือที่ความหนาต่างๆ จะเห็นว่าฟิล์มบางที่ได้นั้นบางมากในระดับที่แสงยังสามารถส่งผ่านได้ดีซึ่งจะสังเกตได้จากยังมองเห็นตัวอักษรด้านหลังกระจก อย่างไรก็ดีแม้ว่าฟิล์มบางที่ได้จะโปร่งแสงแต่ก็ยังมีสีออกเทาเล็กน้อย (เมื่อแสงส่งผ่าน) ขณะที่การสะท้อนแสงของฟิล์มบางยังให้ สีเงินของเป้าสารเคลือบได้อย่างชัดเจน ทั้งนี้เมื่อนำฟิล์มบางที่ได้ไปตรวจสอบส่วนผสมทางเคมีด้วยเทคนิค EDX (ของฟิล์มบางที่มีความหนาฟิล์มประมาณ 1 μm) พบว่าฟิล์มบางที่เคลือบได้ทั้งหมดมีอัตราส่วนของเงิน : ทองแดง เช่นเดียวกับเป้าสารเคลือบที่ใช้ทดลอง

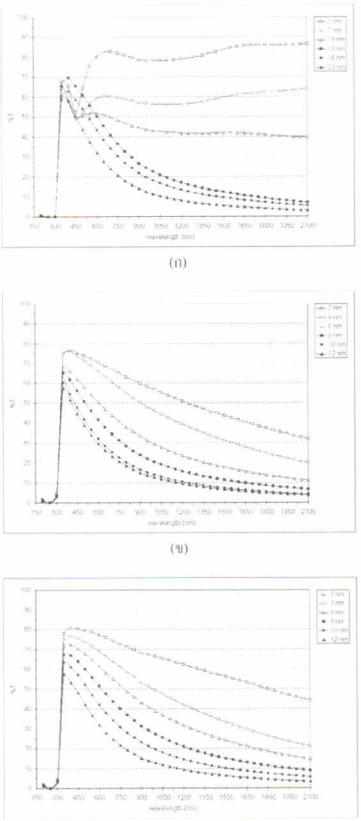


รูปที่ 2 ระบบ ดีซี อันบาลานซ์ แมกนีตรอน สปัตเตอริง ที่ใช้ในการเตรียมฟิล์มบางที่สร้างขึ้นเอง



รูปที่ 3 ลักษณะของฟิล์มบางเงินเจือที่ได้จากการทดลอง จะเห็นว่าแสงยังคงส่งผ่านได้ดี ทำให้สามารถมองเห็นตัวอักษรด้านหลัง

ค่าสภาพการส่งผ่านแสงของฟิล์มบางเงินและฟิล์มบางเงินเจือที่ความหนาต่าง ๆ ดังแสดงในรูปที่ 4 ทั้งนี้จะเห็นว่ามีค่าแปรตามความยาวคลื่นแสงที่พิจารณาและความหนาของฟิล์มที่ศึกษาโดยมีค่าสภาพการส่งผ่านสูงสุดมากกว่า 70% ที่ความยาวคลื่น 350 nm สำหรับกรณีฟิล์มบางเงิน (รูปที่ 4 (a)) พบว่าที่ความหนาไม่เกิน 9 nm ค่าสภาพการส่งผ่านแสงจะต่ำที่ความยาวคลื่น 450 nm และมีค่าสภาพการส่งผ่านแสงในช่วงคลื่นความร้อน (ความยาวคลื่นมากกว่า 700 nm) ค่อนข้างสูงแต่เมื่อความหนาตั้งแต่ 12 nm ขึ้นไปจะพบว่าค่าสภาพการส่งผ่านแสงในช่วงคลื่นความร้อนจะต่ำ ซึ่งต่างจากกรณีฟิล์มบางเงินเจือทั้งสองระบบที่มีทองแดงเป็นส่วนผสม (95%Ag-5%Cu และ 92.5%Ag-7.5%Cu) (รูปที่ 4 (b) และ (c)) พบว่าสมบัติทางแสงของฟิล์มบางทั้งสองชนิดนี้มีลักษณะคล้ายคลึงกัน กล่าวคือมีค่าสภาพการส่งผ่านแสงที่ความยาวคลื่นต่าง ๆ มีค่าใกล้เคียงกันสำหรับทุกความหนาของฟิล์ม โดยเฉพาะในช่วงคลื่นความร้อนจะพบว่าเมื่อความหนาฟิล์มเพิ่มมากขึ้นการส่งผ่านก็จะลดลงแต่ยังมีค่าน้อยกว่าฟิล์มบางเงินที่ความหนาเดียวกันเล็กน้อย เนื่องจากเมื่อฟิล์มบางเงินและฟิล์มบางเงินเจือที่เคลือบมีความหนาน้อย ๆ ลักษณะของฟิล์มบางนั้นอะตอมหรือโมเลกุลของเงินที่พอกพูน (deposited) บนกระจกรองรับนั้นจะยังไม่ต่อเนื่องเป็นแผ่นของฟิล์มบางเงิน แต่จะกระจุกตัวรวมกันเป็นกลุ่ม ๆ ในลักษณะเป็นกลุ่มก้อน (islands formed) ทำให้การสะท้อนรังสีในช่วงคลื่นความร้อนยังไม่ดี จึงมีการส่งผ่านรังสีในช่วงนี้สูง



รูปที่ 4 ค่าสภาพการส่งผ่านแสงของฟิล์มบางเงินและฟิล์มบางเงินเจือแปรค่าตามความหนา
(ก) 99.97%Ag (ข) 95%Ag-5%Cu
(ค) 92.5%Ag-7.5%Cu

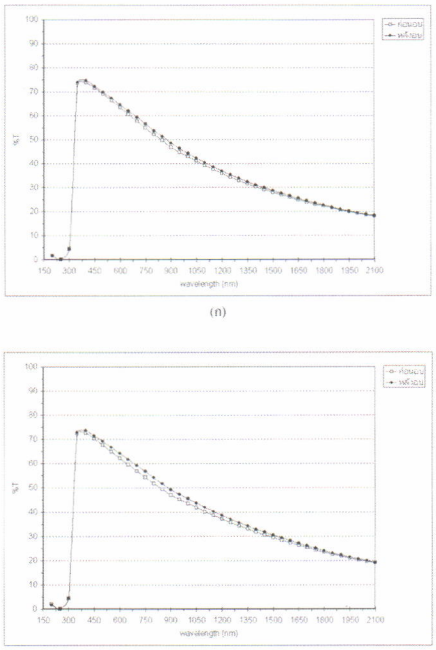
เมื่อนำฟิล์มทั้งหมดไปตรวจวัดค่าสภาพการเปล่งรังสีของฟิล์มบางด้วย emissometer พบว่าค่าที่ได้จะแปรตามความหนาฟิล์ม ซึ่งสอดคล้องกับรายงานของ Arbab (1997) ที่รายงานว่าเมื่อความหนาฟิล์มบางเงินเพิ่มขึ้นค่าสภาพการเปล่งรังสีจะลดลงเข้าใกล้ค่าสภาพการเปล่งรังสีของเงินในสภาพก้อน (bulk) จากการทดลองพบว่าค่าสภาพการเปล่งรังสีของฟิล์มบางที่ใช้ในการศึกษาครั้งนี้ยังมีค่าค่อนข้างสูงอยู่ในช่วง 0.1-0.6 (เมื่อเปรียบเทียบกับเป้าเงินซึ่งมีค่าประมาณ 0.04)

ทั้งนี้เพื่อทดสอบผลของการเจือเงินด้วยทองแดงในด้านการทนต่อการเสื่อมสภาพเมื่อพิจารณาทางกายภาพและสมบัติทางแสง พบว่าเมื่อนำฟิล์มบางเงินเจือทั้งสองระบบไปอบที่อุณหภูมิ 100°C ในบรรยากาศออกซิเจนเป็นเวลา 12 ชั่วโมง โดยเปรียบเทียบลักษณะทางกายภาพและค่าสภาพการส่งผ่านแสงของฟิล์มบางเงินเจือก่อนและหลังการอบ พบว่าลักษณะทางกายภาพและสมบัติทางแสงของฟิล์มบางเงินเจือที่ใช้ทดลองก่อนและหลังการอบไม่มีการเปลี่ยนแปลงกล่าวคือ ไม่เกิดจุดขาว ฝ้าหรือการหลุดลอกของฟิล์มบางเงินเจือ และเมื่อนำไปตรวจวัดค่าสภาพการส่งผ่านแสงพบว่าค่าที่ได้ยังคงมีค่าเท่าเดิมก่อนการทดสอบ จากรูปที่ 5 ซึ่งเป็นค่าสภาพการส่งผ่านแสงของฟิล์มบางเงินเจือทั้งสองระบบเปรียบเทียบก่อนและหลังการทดสอบจะพบว่ามีค่าเท่าเดิมไม่เปลี่ยนแปลง อีกทั้งยังคงแสดงพฤติกรรมการสะท้อนความร้อนเช่นเดิมอีกด้วย

จากทดลองพบว่า ฟิล์มบางเงินเจือทั้งหมดที่ใช้ทดลองจะมีค่าสภาพการส่งผ่านแสงที่แตกต่างกันตามความหนา และถึงแม้ว่าฟิล์มบางเงินเจือจะยังมีการส่งผ่านรังสีในช่วงคลื่นความร้อนบ้าง แต่ถ้าพิจารณาเปรียบเทียบกับค่าสภาพการส่งผ่านแสงในช่วงตามองเห็นจะพบว่าฟิล์มบางเงินเจือสามารถส่งผ่านแสงในช่วงตามองเห็นได้ค่อนข้างสูง มากกว่า 55% อีกทั้งยังไม่เสื่อมสภาพเมื่ออยู่ในบรรยากาศออกซิเจนที่อุณหภูมิสูงด้วย ฟิล์มบางเงินเจือจึงมีศักยภาพที่จะนำมาเป็นชั้นสะท้อนความร้อนของกระจกเลือกรังสีชนิดสะท้อนความร้อน

สรุปผลการวิจัย

จากการศึกษาพบว่าค่าสภาพการส่งผ่านแสงและค่าสภาพเปล่งรังสีของฟิล์มบางเงินและฟิล์มบางเงินเจือที่ใช้ในการทดลองนี้พบว่าจะแปรค่าตามความหนาฟิล์มและเมื่อเปรียบเทียบระหว่างฟิล์มบางเงินและฟิล์มบางเงินเจือพบว่าค่าสภาพการส่งผ่านแสงของฟิล์มบางเงินเจือ มีค่าใกล้เคียงฟิล์มบางเงิน ค่าสภาพเปล่งรังสีของฟิล์มบางเงินเจือมีค่าค่อนข้างสูงอยู่ในช่วง 0.1-0.6 เมื่อเทียบกับโลหะเงิน



รูปที่ 5 ค่าสภาพการส่งผ่านแสงของฟิล์มบางเงินเจือที่อบในบรรยากาศออกซิเจนที่อุณหภูมิ 100°C เปรียบเทียบระหว่างก่อนอบและหลังอบ
(ก) ฟิล์มบางเงินเจือส่วนผสม 95%Ag-5%Cu
(ข) ฟิล์มบางเงินเจือส่วนผสม 92.5% Ag-7.5%Cu

ในสภาพก้อนซึ่งมีค่าประมาณ 0.04 เมื่อนำฟิล์มบางเงินเจือไปอบ ในบรรยากาศออกซิเจนที่อุณภูมิ 100°C นาน 12 ชั่วโมง ไม่พบการเสื่อมสภาพของฟิล์มบางเงินเจือทั้งทางด้านกายภาพและสมบัติทางแสง ผลการศึกษานี้ชี้ให้เห็นว่าฟิล์มบางเงินที่เจือด้วยทองแดงนั้นมีสมบัติที่น่าสนใจและเหมาะสำหรับการนำมาใช้เป็นชั้นสะท้อนความร้อนของกระจกเลือกรังสี ชนิดสะท้อนความร้อนทั้งในด้านสมบัติทางแสงที่สามารถส่งผ่านแสงในช่วงตามองเห็นได้ดี มีการส่งผ่านรังสีในช่วงคลื่นความร้อนต่ำที่สำคัญไม่เกิดการเสื่อมสภาพเมื่ออยู่ในบรรยากาศออกซิเจนที่อุณหภูมิสูง ฟิล์มบางเงินที่เจือด้วยทองแดง

จึงเป็นตัวเลือกหนึ่งที่น่าสนใจสำหรับนำมาใช้ใน การผลิตกระจกเลือกรังสีชนิดสะท้อนความร้อนแบบฟิล์มบางหลายชั้นต่อไป

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ ได้รับทุนอุดหนุนการวิจัยจาก กองทุนเพื่อส่งเสริมการอนุรักษ์พลังงาน สำนักงานนโยบายและแผนพลังงาน ผ่านมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี ผู้วิจัยขอขอบคุณไว้ ณ ที่นี้

เอกสารอ้างอิง

Ando, E. & M.Miyazaki, (2001). Moisture resistance of the low-emissivity coatings with a layer structure of Al-doped ZnO/Ag/Al-doped ZnO, Thin Solid Films. (392), p.289-293.

Ando, E. & M.Miyazaki. (1999). Moisture degration mechanism of silver-based low-emissivity, Thin Solid Films. (351), p.308-312.

Arbab, M. (1997). Thin Film Materials for High Transmittance-Low Emissivity Vacuum Coatings-A Review. PPG Technology Journal. (3:12), p.29-47.

Berning, P.H. (1983). Principle of Design of Architectural Coatings, Applied Optics. (22:24), p. 4127-4141.

Ebisawa, J. & E.Ando. (1998). Solar Control Coating on Glass. Current Opinion in Solid State & Materials Scinece. (3), p. 386-390.

Karlsson, B., E.Valkonen, T.Karlsson &C. G.Ribbing. (1981). Materials for solar-transmitting heat-reflecting coatings. Thin Solid Films. (86), p. 91-98.

Lampert, C.M. (1981). Heat Mirror Coatings for Energy Conserving Windows. Sloar Energy Materials. (6), p. 1-41.

U.S.Department of Energy, (1998). Spectrally Selective Glazings. Retrieved December 15, 2005 from the World Wide Web: http://www.eere.energy.gov/femp/pdfs/FTA_Glazings.pdf