

การเตรียมกระจกสะท้อนรังสีความร้อนโดยวิธีพ่นละอองสารเคมี

PREPARATION OF HEAT MIRROR BY SPRAY PYROLYSIS

จงจิตร หิรัญลาภ* กฤษณพงศ์ กิรติกร* และพรศ วิจารณรัฐพันธ์**
Jongjit Hirunlabh* Krissanapong Kirtikara* and Pharos Vicharnrathakan**

* คณะพลังงานและวัสดุ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
ถนนสุขสวัสดิ์ 48 บางมด ราชบุรีบูรณะ กรุงเทพฯ 10140

* School of Energy and Materials
King Mongkut's Institute of Technology Thonburi
Suksawat 48 Rd., Bangkok 10140, Thailand.

** สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย
196 ถนนพหลโยธิน จตุจักร กรุงเทพฯ 10900

** Institute Research Science and Technology of Thailand.
196 Paholyothin Rd., Chatuchak, Bangkok 10900, Thailand.

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาถึงสมบัติของกระจกสะท้อนรังสีความร้อน โดยกระบวนการพ่นละอองสารเคมีที่ผลิตขึ้นในระดับห้องปฏิบัติการ (ผลิตกระจกสะท้อนรังสีความร้อนขนาด 2.5 ซม. x 7.5 ซม. โดยฟิล์มที่ใช้เคลือบบนกระจก คือ ดีบุกออกไซด์ (SnO_2) ซึ่งมีการเจือสารฟลูออรีนที่ความเข้มข้นต่างๆ และมีการควบคุมสมบัติของฟิล์มโดยควบคุมพารามิเตอร์ในการผลิตคือ อุณหภูมิของผิวรองรับ เวลาในการเคลือบ ชนิดของสารเจือ และความเข้มข้นของสารเจือ

จากการวิจัยพบว่าฟิล์มจะมีสมบัติในการเลือกรังสีเมื่อมีการเจือสารฟลูออรีน และพบว่าสภาวะที่เหมาะสมในการเตรียมฟิล์มเคลือบกระจกคือที่อุณหภูมิ 500°C เวลาในการพ่นละออง 20 วินาที ปริมาณการเจือของอะตอมฟลูออรีนต่อดีบุกในสารละลายเท่ากับ 1 : 4 ความหนาฟิล์ม 0.60 ไมครอน ได้ค่าการส่องผ่านเฉลี่ยของรังสีช่วงอินฟราเรดที่ 750-3,200 นาโนเมตร เป็นร้อยละ 68 และค่าการสะท้อนเฉลี่ยของรังสีช่วงอินฟราเรดที่ 750-3,200 นาโนเมตร เป็นร้อยละ 14

คำสำคัญ (Keywords): กระจกสะท้อนรังสีความร้อน/การพ่นละอองสาร/ดีบุกออกไซด์/กระจกประหยัดพลังงาน/ผิวเลือกรังสี

ABSTRACT

Transparent and conducting thin films of SnO_2 and SnO_2 with doped reactants (fluorine) were deposited on $2.5 \times 7.5 \text{ cm}^2$ glass substrates by spray pyrolysis. The effects of various process parameters such as doping level of doped reactant (in solution), substrate temperature during deposition, thickness of film and carrier gas (air) flow rate on the film properties were studied. Radiative properties of prepared films in the visible and near infrared regions were measured.

The results showed that films were spectrally selective when doped with fluorine. At 500°C , 20 seconds spray time, atomic ratio of $\text{F} : \text{Sn} = 1 : 4$ in solution, and film thickness was 0.6 microns, the average transmittance was 68% at 750–3,200 nm and the average reflectance was 14% at 750–2,800 nm.

Keywords : Heat mirror / Spray pyrolysis / Tin oxide / Energy conserving window / Selective surface

1. บทนำ

กระจกสะท้อนรังสีความร้อน (Heat Mirror) เป็นกระจกที่มีสมบัติการเลือกรังสี (Selective Surface) โดยมีการสะท้อนรังสีความร้อนหรือรังสีอินฟราเรด และมีการส่องผ่านแสงในช่วงตามมองเห็นส่วนใหญ่กระจกสะท้อนรังสีความร้อนประกอบด้วยผิวรองรับ (Substrate) เป็นกระจกธรรมดา และเคลือบผิวด้วยฟิล์มบาง (Thin Film Coating) ของสารที่ให้สมบัติในการเลือกรังสี เช่น ทองคำ (Gold ; Au), เงิน (Silver ; Ag), ดีบุก (Tin ; Sn) และ ดีบุกออกไซด์ (Tin oxide; SnO_2) เป็นต้น

ปัจจุบันนิยมใช้กระจกเป็นผนังสำเร็จรูปโดยเฉพาะอาคารสูงขนาดใหญ่ ด้วยเหตุผลสำคัญคือผนังกระจกน้ำหนักน้อยกว่าซีเมนต์ร้อยละ 50-70 ทำให้ออกแบบโครงสร้างได้ประหยัด ขณะที่ความปลอดภัยเท่าเดิม และผนังกระจกสามารถมองเห็นทัศนียภาพภายนอกอาคาร ซึ่งให้ความรู้สึกที่ดีแก่ผู้ที่อยู่ในอาคาร และให้ความสวยงามภายนอก

จากเหตุผลดังกล่าวจึงมีการใช้กระจกเป็นผนังอย่างแพร่หลาย ถึงแม้กระจกที่ใช้เป็นผนังจะมีข้อดีดังกล่าว แต่

การใช้พลังงานของอาคารพบว่าพลังงานความร้อนที่ถ่ายเทจากภายนอกผ่านกระจกเข้ามาภายในตัวอาคารจะมีมากกว่าผนังซีเมนต์จึงจำเป็นต้องใช้เครื่องปรับอากาศขนาดใหญ่ และใช้พลังงานไฟฟ้ามากขึ้น ซึ่งเป็นความสูญเสียค่อนข้างมาก โดยเฉพาะในเมืองร้อน ในการแก้ปัญหาเหล่านี้ ส่วนหนึ่งใช้กระจกตัดแสง เช่น กระจกสีต่างๆ ซึ่งลดการส่องผ่านความร้อนได้บางส่วน แต่ทำให้แสงสว่างในอาคารไม่เพียงพอ เนื่องจากกระจกสีจะลดทั้งแสงสว่าง และรังสีอินฟราเรด ในปัจจุบันมีการศึกษาและผลิตกระจกเคลือบสารเพื่อสะท้อนรังสีความร้อน โดยยอมให้แสงสว่างผ่านในการใช้งานจะต้องพิจารณาสภาพแวดล้อมว่าใช้ในเมืองหนาวหรือใช้ในเมืองร้อน ซึ่งจะมี ความแตกต่างกันในเรื่องการส่องผ่านพลังงาน เนื่องจากความต้องการพลังงานในช่วงที่ไม่เหมือนกันคือ การใช้พลังงานของประเทศแถบเมืองหนาวจะต่างจากประเทศแถบเมืองร้อน เนื่องจากในประเทศที่มีอากาศเย็นจะได้รับพลังงานจากดวงอาทิตย์เป็นระยะเวลาสั้นๆ ในแต่ละวันของฤดูหนาว ประเทศในแถบนี้ จึงต้องการแสงสว่างมาก และยังต้องการรังสีความร้อนจากดวงอาทิตย์ให้ผ่านเข้าไปภายในอาคารมาก เพื่อความอบอุ่นภายในอาคารและต้องการเก็บรักษาพลังงานความร้อนจากการคายพลังงาน

ของวัตถุภายในอาคาร (อากาศภายนอกมีอุณหภูมิต่ำกว่า) จึงต้องมีการป้องกันการสูญเสียพลังงานความร้อนโดยการกักพลังงานเหล่านี้ไว้ภายในอาคาร ประเทศแถบนี้ต้องมีการควบคุมพลังงานให้มีการส่องผ่านพลังงานตั้งแต่ช่วง 200 นาโนเมตรจนถึง 2 ไมครอน และลดการสูญเสียความร้อนตั้งแต่ช่วง 2 ไมครอนขึ้นไป สำหรับในประเทศเมืองร้อนมีการรับพลังงานจากดวงอาทิตย์ปริมาณสูงในทุกๆ ฤดูกาล โดยเฉพาะในฤดูร้อนอากาศจะร้อนมากกว่าปกติ เนื่องจากการรับพลังงานจากดวงอาทิตย์ประมาณ 12 ชั่วโมงต่อวัน ทำให้สภาวะอากาศค่อนข้างร้อน การควบคุมพลังงานภายในอาคารจะต้องให้แสงสว่างผ่านเข้ามาได้ในช่วง 300-750 นาโนเมตร และให้การสะท้อนพลังงานของอาคารที่มีค่าสูงในช่วงที่สูงกว่า 750 นาโนเมตร ซึ่งเป็นการสะท้อนความร้อนจากการแผ่รังสีอาทิตย์ ดังนั้นในการผลิตกระจกสะท้อนรังสีความร้อนจะต้องพิจารณาถึงลักษณะภูมิอากาศของผู้ใช้ว่าอยู่ในแถบอากาศแบบใด ซึ่งมีความจำเป็นในการใช้พลังงานในช่วงต่างๆ ที่ไม่เหมือนกัน

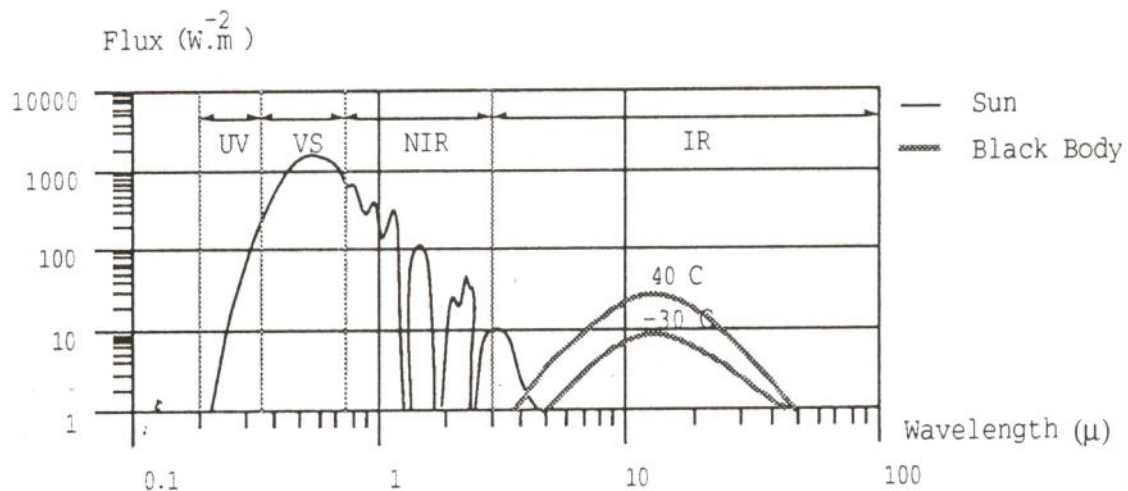
การใช้กระจกสะท้อนรังสีความร้อนจะให้ผลดีกว่าการใช้กระจกตัดแสงเนื่องจากกระจกสะท้อนรังสีความร้อนเพียงอย่างเดียว โดยที่ไม่รบกวนแสงสว่างซึ่งจะประหยัดพลังงานในการใช้ไฟฟ้าแสงสว่างและการปรับอากาศ การติดตั้งกระจกสะท้อนรังสีความร้อนจะเป็นเช่นเดียวกันการติดตั้งกระจกธรรมดา การดูแลรักษาจะเป็นไปตามปกติ

ของการใช้กระจกเป็นผนัง นอกจากการใช้กับอาคารกระจกสะท้อนรังสีความร้อนยังสามารถประยุกต์เพื่อการใช้งานอื่นๆ เช่น ใช้เป็นผิวเลือกแสงอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์และใช้เป็นแผ่นปิดแผงรับรังสีอาทิตย์ได้อย่างมีประสิทธิภาพ

จากทฤษฎีการแผ่รังสีของดวงอาทิตย์และวัตถุดำ (Solar and Black Body Radiation) การแผ่รังสีสามารถแบ่งได้ตามความยาวคลื่นออกเป็น 3 ช่วง คือ

1. ช่วงรังสีพลังงานสูง (High Energy Solar (HES)) ซึ่งช่วงนี้จะรวมช่วงของรังสีเหนือม่วง (Ultraviolet) ซึ่งมีความยาวคลื่น 200-350 นาโนเมตร และแสงที่ตามองเห็นมีความยาวคลื่น 350-750 นาโนเมตร
2. ช่วงรังสีใกล้อินฟราเรด (Near Infrared (NIR)) มีความยาวคลื่น 750-2,000 นาโนเมตร
3. ช่วงอินฟราเรด (Infrared (IR)) จะมีความยาวคลื่น 2,000-100,000 นาโนเมตร

การแผ่รังสีอาทิตย์จะแผ่รังสีส่วนใหญ่ในช่วงของรังสีพลังงานสูง และช่วงรังสีใกล้อินฟราเรด ซึ่งเป็นรังสีความร้อนเมื่อรังสีอาทิตย์ตกกระทบวัตถุหรือผิวโลกจะมีการดูดกลืนพลังงาน (Absorption) การแผ่รังสีในช่วงต่างๆ ทำให้วัตถุมีอุณหภูมิสูงขึ้นและแผ่รังสีออกมาในรูปรังสีความร้อน (IR) เรียกว่าการสูญเสียความร้อนโดยการแผ่รังสี ซึ่งการแผ่รังสีจะขึ้นอยู่กับอุณหภูมิของวัตถุ ดังรูปที่ 1 แสดงการแผ่รังสีอาทิตย์พลังงานส่วนใหญ่จะอยู่ในช่วง 250-3,500 นาโนเมตร



รูปที่ 1 การแผ่รังสีของดวงอาทิตย์และวัตถุดำ

และการแผ่รังสีของวัตถุดำจะแผ่ออกในช่วงความยาวคลื่น 5-50 ไมครอน

2. การสำรวจงานวิจัยที่ผ่านมา

ได้มีการศึกษาวิจัยการชุบเคลือบผิวเลือกวัสดุที่สมบัติในการให้แสงสว่างส่องผ่าน และสะท้อนรังสีความร้อนแบบฟิล์มบางทั้งแบบชั้นเดียวหรือหลายชั้น โดยสารที่นิยมกันคือ metal oxides หรือพวก metal/dielectric films และ polymer films ซึ่งทำได้หลายกระบวนการเช่น วิธีทางกายภาพ โดยการ vacuum evaporative และ sputtering technique ซึ่งสามารถชุบเคลือบทั้งบนกระจกและพลาสติก หรือวิธีทางเคมีเช่น Chemical Vapor Deposit (C.V.D.) ในปัจจุบันสามารถชุบเคลือบได้บนกระจกเท่านั้น โดยเฉพาะกระบวนการทางเคมีเป็นเทคนิคที่น่าสนใจเนื่องจากสามารถควบคุมสมบัติผิวเคลือบที่ต้องการได้ และราคาไม่แพงนักเช่นการเตรียมกระจกสะท้อนรังสีความร้อนด้วยละอองสารเคมี มีแนวโน้มว่าจะเป็นเทคโนโลยีที่นำมาใช้ได้ในระดับอุตสาหกรรม เป็นเทคโนโลยีที่ง่าย สะดวก ราคาถูก ใช้อุปกรณ์ต่ำ ได้ผิวเคลือบที่สม่ำเสมอ

C.M. LAMPERT (1981) ได้ศึกษาวิจัยการชุบเคลือบผิวเลือกวัสดุ ซึ่งให้สมบัติในการให้แสงสว่างผ่าน และสะท้อนรังสีความร้อน โดยสารที่นิยมใช้กันคือ Metal Oxides ซึ่งทำได้หลายกระบวนการเช่น การระเหยภายใต้สุญญากาศ วิธี Sputtering และการเคลือบด้วยวิธีไอสารเคมี โดยเฉพาะวิธีทางเคมีเป็นวิธีที่น่าสนใจเนื่องจากสามารถควบคุมคุณภาพผิวเคลือบที่ต้องการได้ และราคาไม่แพง

A.K. ABASS และคณะ (1988) ได้ศึกษาการเคลือบ SnO_2 และ $\text{SnO}_2 : \text{I}$ โดยวิธีละอองสารเคมี พบว่าได้สมบัติการส่องผ่าน 95% บนฟิล์ม $\text{SnO}_2 : \text{I}$ 0.3% และได้มีการศึกษาของ AGASHE C. et. al. (1988) พบว่าในการชุบเคลือบกระจกสะท้อนรังสีความร้อนด้วยละอองสารเคมีของ SnO_2 และ $\text{SnO}_2 : \text{F}$ บนกระจก Corning 7059 ได้ลักษณะฟิล์มหนา 0.165 ไมครอน มีสมบัติให้แสงสว่างส่องผ่านได้ถึง 86% (0.4-0.9 ไมครอน)

สำหรับประเทศไทยนั้น ทางสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรีได้ทำการศึกษาวิจัยการเตรียมกระจกสะท้อนรังสีความร้อนที่มีสมบัติในการเลือกรังสี โดยมีการสะท้อนคลื่นความร้อนหรือรังสีอินฟราเรด (ความยาวคลื่น 2 ไมครอนขึ้นไป) และไม่ลดทอนการส่องผ่านของแสงช่วงตามองเห็นนั้นโดยวิธี 1. การระเหยสารภายใต้สุญญากาศ 2. การสเป็คเตอริ่ง และ 3. วิธีละอองสารเคมี การสำรวจการวิจัยภายในประเทศ พบว่าการผลิตกระจกสะท้อนรังสีความร้อนซึ่งผลิตโดยวิธีการระเหยสารให้สมบัติไม่ค่อยดีนัก เนื่องจากสารเคลือบเคลือบผิว substrate ไม่แน่น และการผลิตในระดับอุตสาหกรรมในประเทศนั้นได้ใช้เทคนิคการผลิตแบบสเป็คเตอริ่ง ซึ่งได้กระจกที่มีคุณภาพดีแต่ราคาการผลิตสูง ดังการทำวิจัยนี้เพื่อจะทำกระจกสะท้อนรังสีความร้อนที่ดี โดยวิธีการพ่นละอองสารเคมี (Spray Pyrolysis) ซึ่งมีความเป็นไปได้และราคาถูก

กระบวนการพ่นละอองสารเคมี เป็นการเตรียมสารเคมีให้อยู่ในรูปของสารละลายเหลวแล้วพ่นลงบน substrate เพื่อเข้าทำปฏิกิริยาบนผิว substrate ข้อดีของวิธีการนี้จะคล้ายคลึงกับวิธีการเคลือบผิวด้วยไอสารเคมี อีกทั้งยังไม่ต้องยุ่งยากในการทำสารเคมีให้เป็นไอเหมือนวิธีการเคลือบผิวด้วยไอสารเคมี ในการทำกระจกสะท้อนรังสีความร้อนซึ่งนิยมใช้สารเคลือบผิวคือ ดีบุกออกไซด์ (SnO_2) ดีบุกออกไซด์เจือด้วยฟลูออรีน ($\text{SnO}_2 : \text{F}$) หรืออินเดียมทินออกไซด์ ($\text{In}_2\text{O}_3 : \text{Sn}$) ซึ่งการเคลือบโดยวิธีนี้สามารถกระทำโดยเตรียมสารให้อยู่ในรูปของสารละลาย $\text{SnCl}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ ในเอทานอล แล้วฉีดผ่านหัวพ่นให้เป็นละอองสารเคมี ลงบนชิ้นงานที่ร้อนประมาณ $450-600^\circ\text{C}$ โดยมีการควบคุมการใส่แก๊สออกซิเจนเข้าทำปฏิกิริยาด้วย จะเกิดปฏิกิริยา Pyrolysis คือ



จะได้ฟิล์มของดีบุกออกไซด์ ซึ่งเป็นฟิล์มที่สะท้อนรังสีความร้อน นอกจากนี้กรรมวิธีการเตรียมสารละลายอาจจะอยู่ในรูปของสารประกอบอื่นๆ ได้อีก เช่น Mono-

butyl tin trichloride (MBTC) แต่หลังจากเกิดปฏิกิริยาแล้วจะได้ฟิล์มดีบุกออกไซด์ซึ่งสมบัติของฟิล์มที่ได้และสภาวะการเคลือบโดยการเตรียมสารแต่ละชนิดมีความแตกต่างกันเล็กน้อย

3. วิธีดำเนินการวิจัยและอุปกรณ์ : กระบวนการเตรียมกระจกสะท้อนรังสีความร้อนด้วยละอองสารเคมี

3.1 เครื่องผลิตกระจกสะท้อนรังสีความร้อนด้วยละอองสารเคมีระดับห้องปฏิบัติการแสดงดังรูปที่ 2 ประกอบด้วย

1. เครื่องให้ความร้อนกระจก (Hot plate heater)
2. ระบบพ่นละอองสารเคมี
3. เครื่องวัดอุณหภูมิผิวกระจก (Thermocouple)
4. บีมลม
5. ถังบรรจุสารละลาย
6. ระบบดูดแก๊สทิ้ง

3.2 สารเคมี

- | | |
|------------------------------------|-------|
| 1. SnCl_4 | 30 g |
| 2. H_2O | 37 ml |
| 3. $\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$ | 30 ml |
| 4. NH_4Cl | |

3.3 กรรมวิธีการผลิต

1. ล้างกระจกขนาด 2.5 x 7.5 ตร.ซม. ให้สะอาดโดยใช้เครื่องทำความสะอาดอัลตราโซนิก (Ultrasonic Cleaner) แล้วทิ้งให้แห้ง

2. นำไปวางบนเครื่องให้ความร้อนจนอุณหภูมิกระจกได้ถึงระดับที่ต้องการ ($450-460^\circ\text{C}$)

3. พ่นละอองสารเคมีบนกระจก

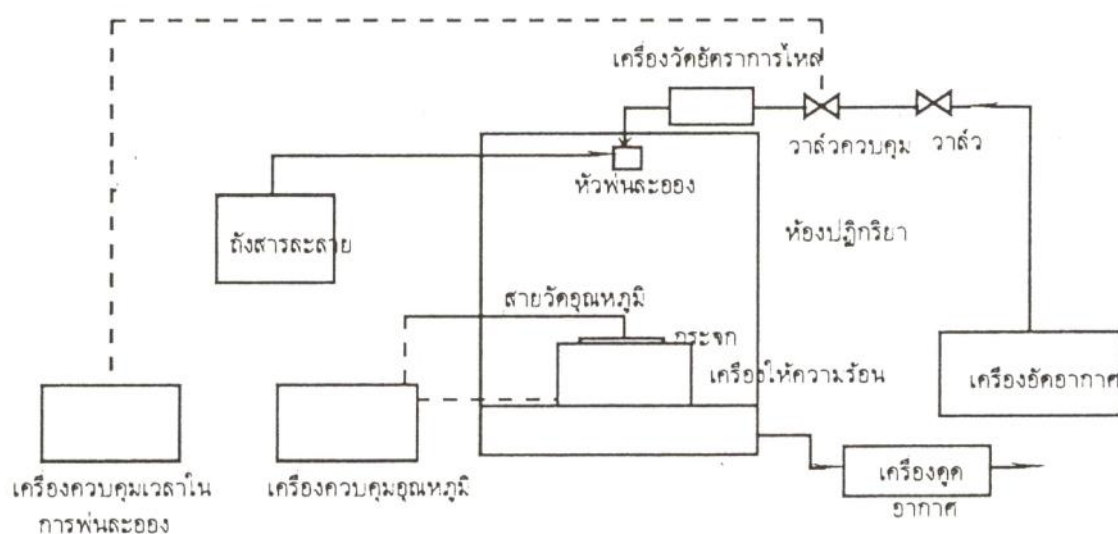
4. นำกระจกที่เคลือบไปวัดสมบัติ เช่น ความหนา การส่องผ่าน การสะท้อนรังสี และส่วนประกอบของฟิล์ม

4. ผลการทดลองและการวิเคราะห์

4.1 ผลของเวลาในการพ่นกับความหนาฟิล์ม

ผลของเวลาในการพ่นกับความหนาฟิล์มดังแสดงในรูปที่ 3

จากผลการทดลองพบว่าเมื่อมีการเพิ่มเวลาในการพ่นละออง ความหนาฟิล์มจะเพิ่มขึ้นโดยจากการวัดความหนาของฟิล์มด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบกราดลำแสง (Scanning Electron Microscope) โดยตัดภาคตัดขวางของกระจกสะท้อนรังสีความร้อนแล้วนำไปวัดค่าความหนาของฟิล์มที่เคลือบ ที่เวลาในการพ่นละออง 5-20 วินาที และที่อุณหภูมิในการเตรียมฟิล์ม $450-600^\circ\text{C}$ โดยที่อุณหภูมิการเตรียมฟิล์มที่ 450°C ได้ทำการวัดความหนาของฟิล์มที่เวลาในการพ่นละออง 5, 10 และ 20 วินาที วัดค่าความหนา 0.12, 0.35 และ 0.59 ไมครอนตามลำดับ ส่วนที่



รูปที่ 2 แผนภาพการผลิตกระจกสะท้อนรังสีความร้อนโดยการพ่นละอองสารเคมีระดับห้องปฏิบัติการ

อุณหภูมิการเตรียมฟิล์มที่ 600°C ได้ทำการวัดความหนาของฟิล์มที่เวลาในการพ่นละออง 5, 10 และ 20 วินาที วัดค่าความหนาได้ 0.15, 0.38 และ 0.62 ไมครอน ตามลำดับ คิดเป็นอัตราการเพิ่มขึ้นของความหนาจะเท่ากับ 0.030 ไมครอนต่อวินาที ที่อุณหภูมิการเตรียมฟิล์ม 450°C และ อัตราการเพิ่มของความหนา 0.031 ไมครอนต่อวินาที ที่อุณหภูมิการเตรียมฟิล์ม 600°C

4.2 ผลการวัด X-Ray Diffraction ของฟิล์ม
ผลจากการวัดส่วนประกอบของฟิล์มด้วยเครื่อง X-Ray Diffraction โดยกรมวิทยาศาสตร์บริการ และกรมทรัพยากรธรณี พบว่าฟิล์มที่เคลือบบนกระจกเป็นฟิล์มของ SnO_2 จากการพิจารณาทារางการเลี้ยวเบนที่มุมต่างๆ ของสาร SnO_2 ดังแสดงในรูปที่ 4 และผลการวัดค่าการเลี้ยวเบนของฟิล์มบนกระจกที่วัดได้มีค่าใกล้เคียงกันที่มุมต่างๆ จึงสรุปได้ว่าฟิล์มที่เคลือบบนกระจกเป็นฟิล์มของดีบุกออกไซด์และมีโครงสร้างเป็นผลึก ดังรูปที่ 5

4.3 ผลของเวลาในการพ่นละออง

จากการทดลองเตรียมฟิล์มโดยใช้เวลาในการพ่นละอองสารที่ 5, 10 และ 20 วินาที พบว่าเมื่อเวลาในการพ่นละอองเพิ่มขึ้นจะมีการสะท้อนรังสีความร้อนเพิ่มขึ้น และการส่องผ่านรังสีความร้อนลดลง ดังรูปที่ 6

4.4 ผลของความเข้มข้นของสารเจือฟลูออรีน

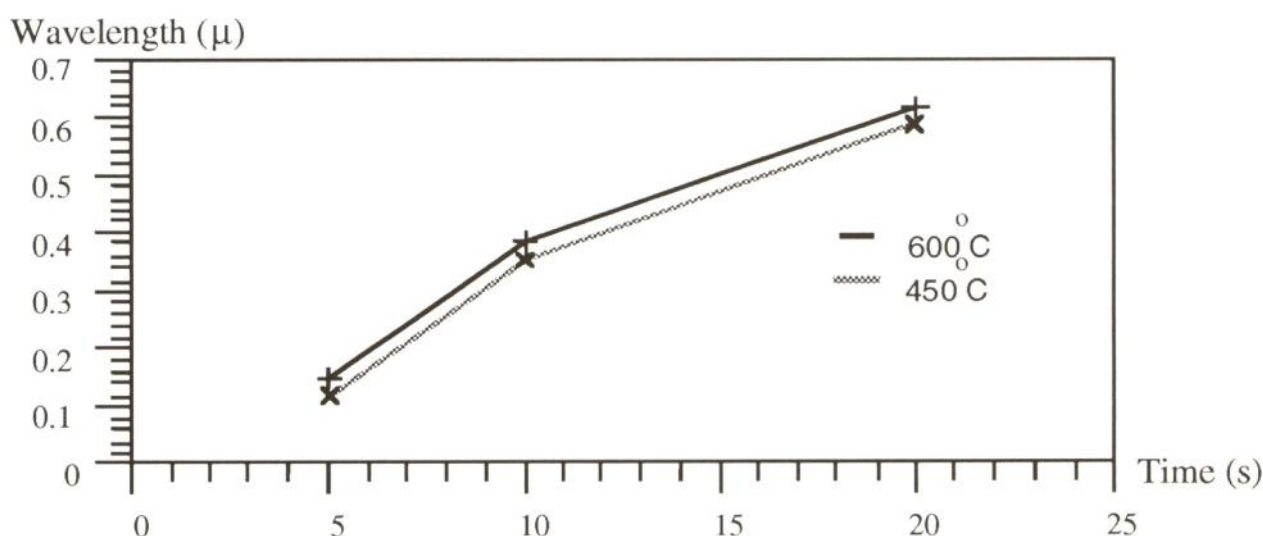
จากการทดลองเตรียมฟิล์มโดยเจือสารฟลูออรีนที่มีความเข้มข้นต่างกันว่า 0, 0.25, 0.5 และ 1.0 อะตอมของฟลูออรีนต่อดีบุก พบว่าเมื่อความเข้มข้นของฟลูออรีนเพิ่มขึ้นจะมีการสะท้อนรังสีความร้อนเพิ่มขึ้น ดังรูปที่ 7

4.5 ผลของอุณหภูมิ

จากการทดลองเตรียมฟิล์มโดยใช้อุณหภูมิในการเตรียมฟิล์มที่ 450, 500, 550 และ 600°C พบว่าเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิให้ผลการสะท้อนรังสีต่างกัน ไม่มากนัก ดังรูปที่ 8

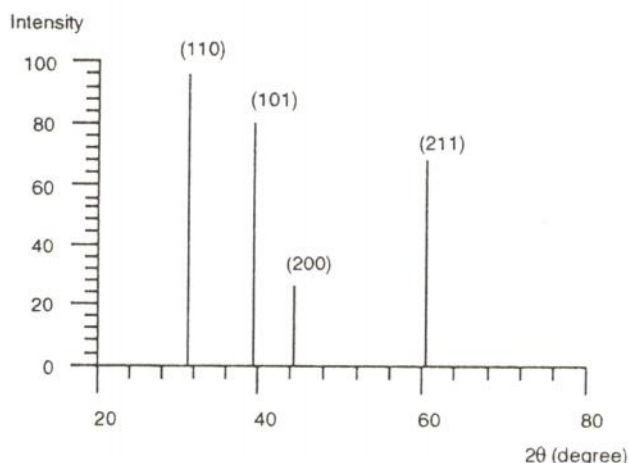
4.6 วิเคราะห์ผลการทดลอง

จากผลการทดลองเตรียมฟิล์มดีบุกออกไซด์ด้วยวิธีพ่นละอองสาร ที่สภาวะต่างๆ ให้ค่าการส่องผ่านและการสะท้อนรังสีแตกต่างกัน โดยเมื่อนำเอาค่าการส่องผ่านและการสะท้อนรังสีมาเฉลี่ยเพื่อพิจารณาการส่องผ่านและการสะท้อนรังสีในช่วงต่างๆ สามารถแบ่งออกเป็นช่วงที่สำคัญสำหรับกรณีกระจกสะท้อนรังสีความร้อนได้ 2 ช่วงคือ ช่วงแสงตามองเห็น (350-750 นาโนเมตร) และช่วงรังสีอินฟราเรด (750-3,200 นาโนเมตร) ในการทดลองได้เลือกศึกษาอิทธิพลของ 3 ตัวแปรคือ เวลาในการพ่น

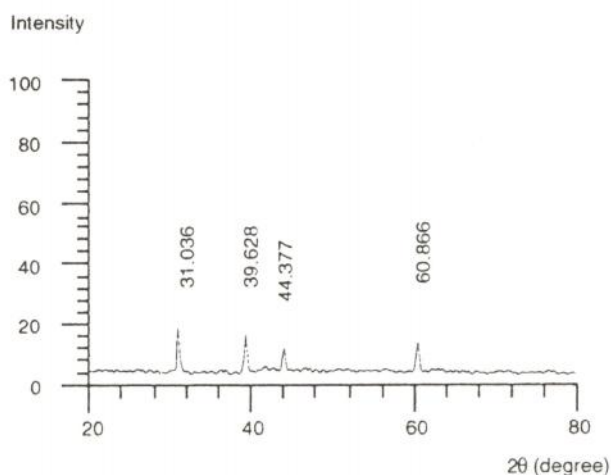


รูปที่ 3 ผลของเวลาพ่นละอองต่อความหนาฟิล์มดีบุกออกไซด์ที่อุณหภูมิ 450 และ 600°C และเวลาในการพ่นละออง 5, 10 และ 20 วินาที

ละออง (5, 10 และ 20 วินาที) ระดับสารเจือฟลูออรีน (0, 1:4, 1:2 และ 1:1 อะตอมฟลูออรีนต่อดีบุก) และ อุณหภูมิของผิวรองรับ (450, 500, 550 และ 600 C)



รูปที่ 4 Standard X-ray diffraction pattern of SnO_2



รูปที่ 5 X-ray diffraction pattern of SnO_2 film of Heat Mirror

สามารถสรุปได้ว่าเมื่อใช้เวลาในการพ่นละออง 20 วินาที ค่าการส่องผ่านเฉลี่ยในช่วงของรังสีอินฟราเรดมีค่าประมาณ 95-99 เปอร์เซ็นต์ แม้ว่าจะเปลี่ยนอุณหภูมิและความเข้มข้นของสารเจือ ดังรูปที่ 9 และเมื่อเวลาในการพ่นละอองเพิ่มขึ้นจะมีค่าการส่องผ่านเฉลี่ยในช่วงรังสีอินฟราเรดลดลง เนื่องจากเมื่อการพ่นละอองเพิ่มมากขึ้นความหนาฟิล์มจะเพิ่มเป็นสัดส่วนตามกัน และทำให้ค่าการส่องผ่านรังสีเฉลี่ยช่วงอินฟราเรดจะ

ลดลงตามสมบัติของกระจกสะท้อนรังสีความร้อน

เมื่อเปรียบเทียบผลของระดับสารเจือพบว่าฟิล์มที่ไม่เจือสารจะมีการส่องผ่านเฉลี่ยในช่วงของรังสีอินฟราเรดประมาณร้อยละ 95-100 และในกรณีฟิล์มที่มีการเจือสารจะมีค่าการส่องผ่านเฉลี่ยในช่วงอินฟราเรดลดลงใกล้เคียงกันในระดับสารเจือต่างๆ เนื่องจากการเพิ่มสารเจือในฟิล์มทำให้ฟิล์มมีสมบัติทางด้านปริมาณของอิเล็กตรอนอิสระเพิ่มมากขึ้น ซึ่งทำให้สมบัติการนำไฟฟ้าของฟิล์มดีขึ้นและสามารถสะท้อนรังสีความร้อนได้มากขึ้น

ส่วนอิทธิพลของอุณหภูมิในการเตรียมฟิล์มต่อสมบัติการส่องผ่านเฉลี่ยของฟิล์มสำหรับช่วงรังสีอินฟราเรดไม่สามารถแสดงความแตกต่างของสมบัติของฟิล์มสะท้อนรังสีความร้อนได้นั้น อาจเนื่องจากระบบการควบคุมอุณหภูมิที่ผิวกระจกนั้นทำได้ยากอีกทั้งในการวัดอุณหภูมิของผิวกระจกนั้นสามารถวัดอุณหภูมิในตอนเริ่มต้นกระบวนการเตรียมฟิล์มเท่านั้น และเมื่อใช้ช่วงอุณหภูมิที่ไม่แตกต่างกันมากนักทำให้ผลที่วัดยังไม่สามารถอธิบายความแตกต่างได้ ซึ่งในส่วนนี้น่าจะมีการพัฒนาศึกษาระบบควบคุมอุณหภูมิที่ผิวกระจกให้ได้ค่าที่แน่นอนและมีความสม่ำเสมอตลอดผิวกระจก

5. สรุปและข้อเสนอแนะ

จากผลการศึกษาทดลองหาสมบัติของฟิล์มที่เหมาะสม ในการเตรียมกระจกสะท้อนรังสีความร้อนพบว่า สภาวะที่เหมาะสมที่ให้สมบัติทางแสงโดยให้การส่องผ่านรังสีเฉลี่ยในช่วงอินฟราเรดที่ความยาวคลื่น 750-3,200 นาโนเมตรต่ำสุดคือ

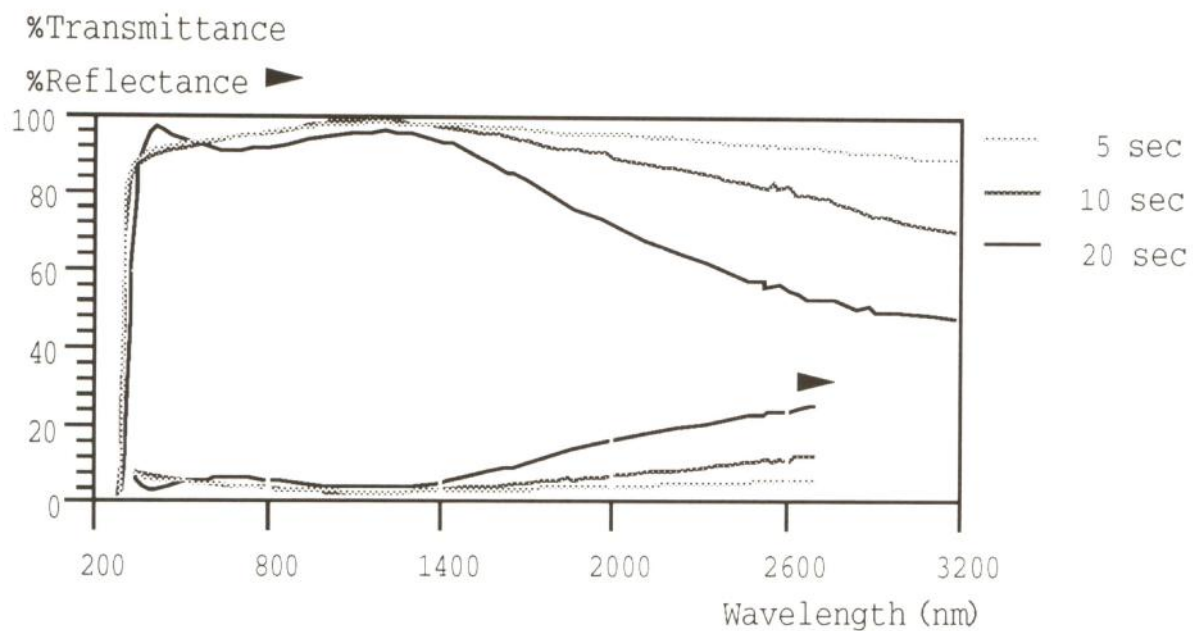
เวลาที่ใช้ในการพ่นละออง 20 นาที

อุณหภูมิผิวกระจก 500 C

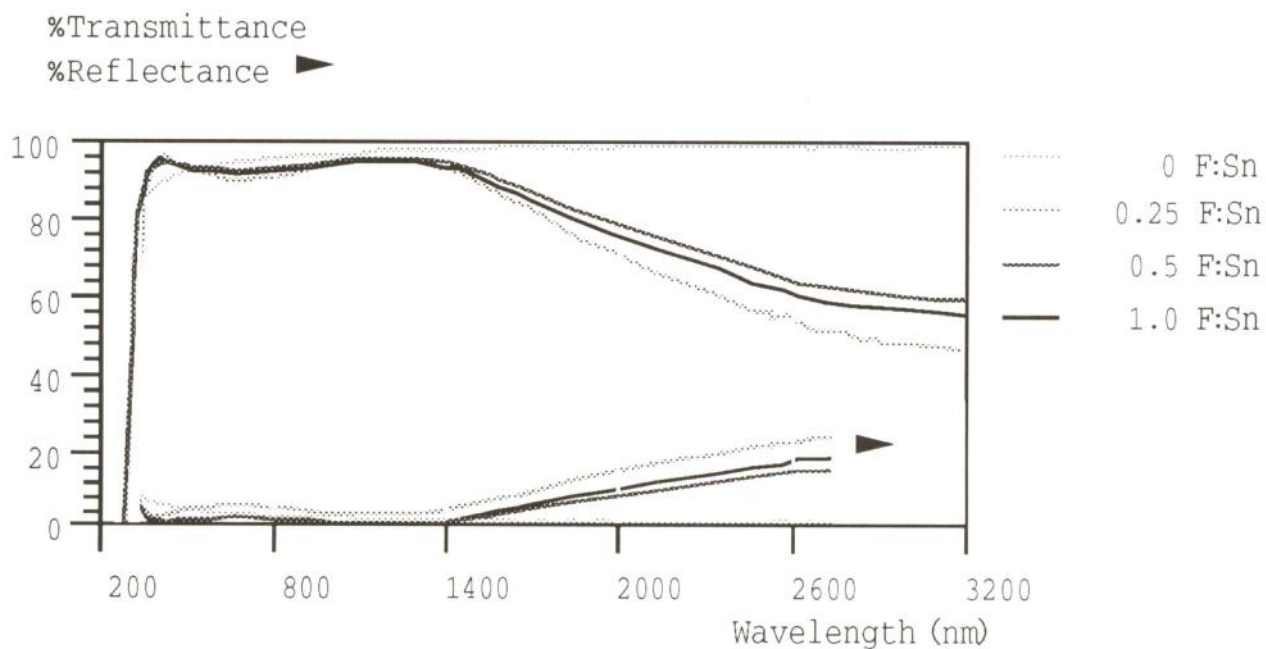
ระดับปริมาณสารเจือ 1 : 4 อะตอมของฟลูออรีนต่อดีบุก

ความหนาฟิล์ม 0.6 ไมครอน

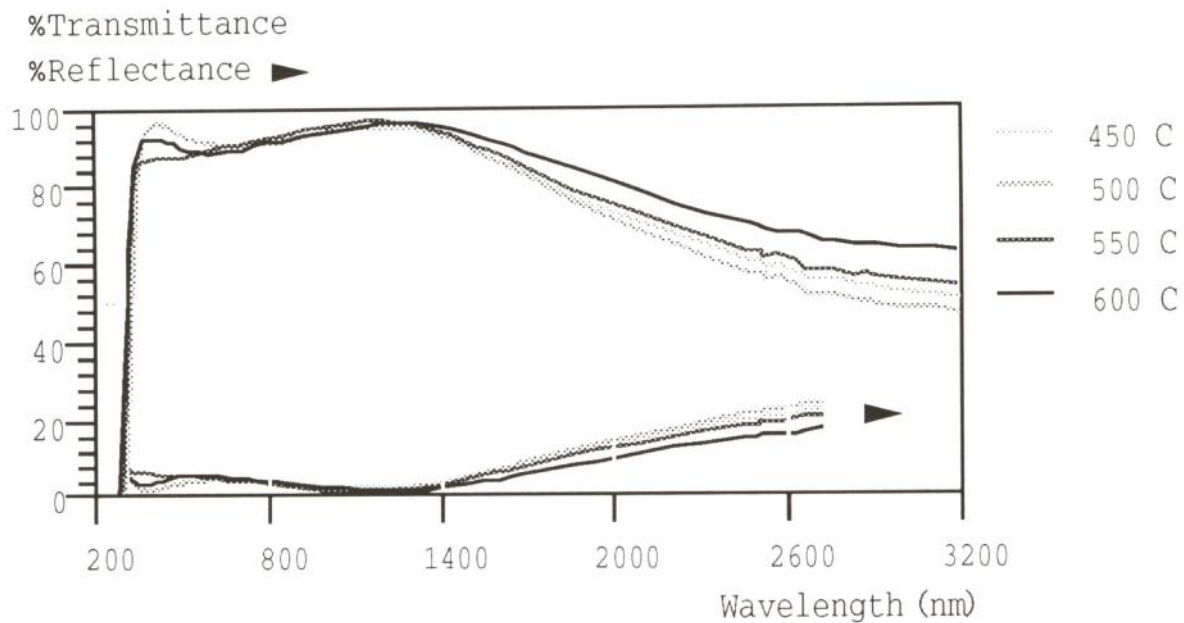
โดยให้ค่าการส่องผ่านเฉลี่ยในช่วงของรังสีช่วงอินฟราเรดที่ 750-3,200 นาโนเมตร เท่ากับร้อยละ 68 และค่าการสะท้อนเฉลี่ยของรังสีช่วงอินฟราเรดที่ 750-2,800 นาโนเมตร เป็นร้อยละ 14



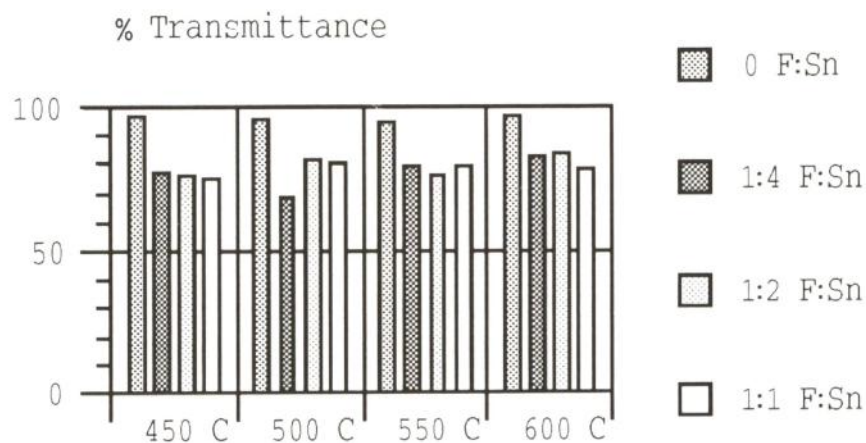
รูปที่ 6 การเตรียมฟิล์มดีบุกออกไซด์ที่สภาวะ 500° C เวลาในการพ่นละออง 5, 10 และ 20 วินาที ที่ 0.25 F : Sn



รูปที่ 7 การเตรียมฟิล์มดีบุกออกไซด์ที่สภาวะ 500° C เวลาในการพ่นละออง 20 วินาที ที่ 0.0, 0.25, 0.5 และ 1.0 F : Sn



รูปที่ 8 การเตรียมฟิล์มดีบุกออกไซด์ที่สภาวะ 450, 500, 550 และ 600° C เวลาในการพ่นละออง 20 วินาที ความเข้มข้นของฟลูออรีนต่อดีบุกในสารละลาย 0.25



รูปที่ 9 การส่องผ่านรังสีเฉื่อยช่วงอินฟราเรดของฟิล์ม SnO_2 ที่เวลาในการพ่นละออง 20 วินาที

จะเห็นว่าในงานวิจัยนี้ฟิล์มที่เตรียมได้จากกระบวนการพ่นละอองสารเคมีนั้นมีสมบัติของกระจกสะท้อนรังสีตามต้องการในระดับห้องปฏิบัติการ อันเป็นแนวทางในการพัฒนาและนำไปสู่ในระดับโรงงานต้นแบบหรือระดับอุตสาหกรรม

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ส่วนหนึ่งได้รับการสนับสนุนจากหมวดทุนอุดหนุนการวิจัย ประจำปีงบประมาณ 2535-2537 จากการพิจารณาสนับสนุนของสำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ กระทรวงวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยี และสิ่งแวดล้อม

เอกสารอ้างอิง

1. C.M. Lampert, "Heat Mirror Coatings for Energy Conserving Window", Solar Energy Material, Vol. 6, 1981, pp. 1-41.
2. C.M. Lampert, "Solar Optical Materials for Innovative Window Design", Energy Research, Vol. 7, 1983, pp. 359-374.
3. D.D. Allred, "Spectrally Selectively Surfaces by Chemical Vapor Deposition", Solar Energy Materials, Vol. 12, 1985, pp. 87-129.
4. J.S. EM Svensson and C.G. Granquist, "Electrochromic Coatings for Smart Window", Solar Energy Materials, Vol. 12, 1985, pp. 391-402.
5. H. Haitjema and J.Elieh, "The Physical Properties of Fluorine-doped Tin oxide Films and The Influence of Ageing and Impurity Effects", Solar Energy Materials, Vol. 16, 1987, pp. 79-90.
6. C. Agashe; M.G. Takwale; B.R.Marathe and V.G.Bhide, "Structural Properties of $\text{SnO}_2:\text{F}$ Film Deposited by Spray Pyrolysis", Solar Energy Materials, Vol. 17, 1987, pp. 99-117.
7. H. Haitjema; J.J.Elich and C.J.Hoogendoorn, "The Optical, Electrical and Structural Properties of Fluorine-doped, Pyrolytically Sprayed Tin oxide Coatings", Solar Energy Materials, Vol. 18, 1989, pp. 283-279.
8. H. Demiryont and K.E.Nietering, "Structure and Optical Properties of Tin oxide Film", Solar Energy Materials, Vol. 19, 1989, pp. 79-84.
9. R.F. Bunshah, "Deposition Technologies for Films and Coatings", Noyes Publications, New Jersey, 1982.