بررسی تأثیر لایه نقره در انعکاس طیف مادون قرمز از سطح شیشه کم‌گسیل

ناهید خدایوندی*، علیرضا قربانی

شهر صنعتی کاوه، شرکت شیشه کاوه فلوت، آزمایشگاه تحقیق و توسعه

پیام‌نگار: **n-khodaivandi@kavehglass.com**

چکیده

شیشه کم‌گسیل[1] دارای یک پوشش کم‌گسیل بر پایه لایه نقره است. این پوشش برای کنترل انتقال گرما از میان شیشه استفاده می‌شود. وجود لایه نقره بر سطح این نوع شیشه مانع عبور اشعه مادون قرمز می‌شود. عبور زیاد در محدوده مرئی و جذب کم و همچنین بازتابش زیاد طیف مادون قرمز از خواص شیشه کم‌گسیل می‌باشد. در این مقاله تأثیر ضخامت لایه نقره در انعکاس طیف مادون قرمز از سطح این نوع شیشه بررسی شده است. نقره با روش کندوپاش RF[2] بر روی زیر لایهٔ شیشه لایه نشانی شده است. لایه نشانی در محیط پلاسمای آرگون انجام گرفته تا با تغییر ضخامت لایه نقره انعکاس طیف مادون قرمز از شیشه کم‌گسیل مورد بررسی قرار گیرد. ضخامت‌های بین ۱۰ تا ۲۵ نانومتر از تارگت نقره بر روی شیشه نشانده شده و خواص اپتیکی آن توسط دستگاه اسپکتروفتومتر Lambda950 مطالعه گردید و از دستگاه نشرسنج نیز جهت اندازه‌گیری میزان نشر استفاده شد. نتایج بدست آمده نشان می‌دهد که افزایش ضخامت لایه نقره، میزان انعکاس اشعه مادون قرمز را افزایش می‌دهد که این امر منجر به بهبود خواص شیشه کم‌گسیل، از جمله ضریب انتقال گرما[3] و ضریب کسب گرمای خورشیدی[4] می‌گردد. این دو پارامتر مهم باعث می‌شوند که این شیشه هم در تابستان و هم در زمستان عملکرد خوبی داشته باشد، در زمستان گرمای ساختمان را حفظ کرده اما اجازه عبور نور خورشید به ساختمان را می‌دهد و در تابستان از عبور گرما به داخل ساختمان جلوگیری می‌کند.

کلمات کلیدی: شیشه کم‌گسیل، لایه نقره، طیف مادون قرمز، کندوپاش[5]، ضریب انتقال گرما

۱- مقدمه

شیشه یکی ازمصالح پر مصرف ساختمان است که علاوه بر تامین نور داخل، ارتباط بصری با خارج ساختمان را امکان‌پذیر می‌سازد. اما با توجه به خاصیت عایق‌کاری کمی که دارد، همواره در فصل سرد و گرم سال مشکل‌ساز بوده است. انرژی لازم برای گرم نگه‌داشتن هوا در ساختمان‌ها در فصول سرد و خنک کردن آنها در فصول گرم، سهم قابل ملاحظه‌ای در میزان انرژی مصرفی یک کشور، به خود اختصاص می‌دهد.

تابش مستقیم خورشید مهمترین منبع انرژی خورشیدی است که به ساختمان تابیده و بیشترین بخش انرژی آن از این راه انتقال می‌یابد. علاوه بر آن بیشتر اجسام درون و بیرون ساختمان، پرتوهای مادون قرمز نور را به خود جذب کرده و گرم می‌شوند سپس گرمای جذب شده را به محیط بر می‌گردانند. از این جهت در کنار پرتوهای خورشیدی همواره جریان انرژی به داخل و خارج ساختمان نیز در طیف مادون قرمز جریان دارد. در کنار تابش، دو روش دیگر انتقال حرارت یعنی رسانش و جابجایی (همرفتی) نیز در انتقال انرژی حرارتی از راه پنجره‌ها موثرند. در پنجره‌های دوجداره انرژی از طریق رسانش بین دو سطح هر لایه و از طریق جابجایی (همرفتی) بین دو

1. Low-Emissivity(Low-E)
2. Radio Frequency
3. U-Value
4. Solar Heat Gain Coefficient
5. Sputtering

www.

لایه شیشه جابجا می‌شود [۱].

فضای بین هر یک از شیشه‌های دو جداره با گازهایی نظیر آرگون که نسبت به هوا نارساناتر است، پر می‌گردد، فاصله هوایی ایجاد شده تا حد زیادی از انتقال گرما جلوگیری می‌کند. البته در صورتی که فاصله بین دو جداره شیشه زیاد باشد، انتقال گرما به روش جابجایی صورت می‌گیرد بنابراین نباید فاصله بین دوجداره خیلی زیاد باشد. اما عامل مهمی که باعث بیشترین مقدار اتلاف انرژی گرمایی از ساختمان‌ها به بیرون می‌شود، فرار گرما به روش تابشی است. برای کاهش این اثر از شیشه‌های با پوشش خاص موسوم به کم‌گسیل[1] استفاده می‌شود. گسیل در واقع توانایی سطح شیشه در انعکاس گرما می‌باشد. درنتیجه شیشه وقتی گرم می‌شود، به جای اینکه گرمای خود را گسیل دهد، آن را بازتابش می‌کند. این شیشه‌ها انتقال گرما ناشی از اختلاف دما را که ترکیبی از پدیده‌های هدایت، جابجایی و تابش است به مقدار زیادی کاهش می‌دهند که با پارامتر ضریب انتقال گرما نشان داده می‌شود. همچنین انتقال گرمای تابشی را نیز تحت کنترل دارند که با پارامتر ضریب کسب انرژی خورشیدی[2] نشان داده می‌شود [۲و۱].

پارامترهای عبور نور مرئی، عبور پرتوهای مضر فرابنفش، ضریب انتقال گرما و ضریب کسب گرمای خورشیدی در شیشه کم‌گسیل مهم هستند و باید به آن‌ها توجه شود. پارامتر عبور نور مرئی در ارزیابی پنجره‌های کارآمد انرژی از نقطه نظر تأمین نور ساختمان مفید است. در مناطقی که نور خورشید کم است مسلماً باید از شیشه‌هایی استفاده کنیم که قابلیت عبور نور بیشتری داشته باشد و بالعکس در مناطقی که نور خورشید زیاد است برای جلوگیری از تابش شدید نور خورشید به داخل ساختمان باید از شیشه‌هایی که عبور نور کمتری دارند استفاده کرد [۲].

این ویژگی‌ها موجب شده است که تا امروزه از این نوع شیشه در سطح وسیعی از دنیا استفاده شود.

۱-۱ ضریب انتقال گرما

ضریب انتقال گرما پارامتری است که مقدار انتقال گرما از هر جسم را نشان می‌دهد و برای بیان میزان عایق‌کاری شیشه نیز به‌کارمی‌رود و بر حسب (W/m^2 °C) بیان می‌شود و شامل انتقال گرمای هدایتی، جابجایی و تابشی برای یک پنجره در شرایط محیطی مشخص می‌باشد. ضریب انتقال گرما هرچه کوچک‌تر باشد به معنی انتقال گرمای کمتر و در نتیجه عایق‌کاری بیشتر است. استفاده از شیشه‌های کنترل‌کنندهٔ انرژی که مقدار انتقال گرمای آن بسیار کمتر از شیشه تک جداره معمولی است باعث صرفه‌جویی بیشتر انرژی می‌گردد. فرض کنید در زمستان دمای بیرون صفر درجه سانتی‌گراد است می‌خواهید دمای ساختمان را در ۲۱ درجه سلسیوس حفظ کنید. اگر پنجره شما شیشه ۴ میلیمتر تک جداره معمولی باشد که مقدار انتقال گرمای آن ($W/m^{2o}C$) ۵٫۸ است، به ازای هر مترمربع شیشه، ۵٫۸×۲۱=۱۲۱٫۸w انرژی گرمایی نیاز است. در مورد شیشه دوجداره معمولی که مقدار انتقال گرمای آن ($W/m^{2o}C$) ۲٫۷ است، ۲٫۶×۲۱=۵۴٫۶w انرژی حرارتی مورد نیاز است در صورتی که در مورد شیشه کم‌گسیل دوجداره که مقدار انتقال گرمای آن($W/m^{2o}C$) ۱/۱ است، ۱٫۱×۲۱=۱٫۲۳W انرژی گرمایی ضروری است. شیشه کم‌گسیل جهت کنترل دمای ساختمان حدودا ۸۰٪ انرژی گرمایی کمتری در مقایسه با شیشه معمولی نیاز دارد که این مقدار معادل صرفه جویی ۲۵ لیتر نفت در ماه می باشد. بنابراین در زمستان سوخت کمتر و در نتیجه هزینه کمتری جهت گرم نگه داشتن ساختمان مورد نیاز می‌باشد. این صرفه‌جویی می‌تواند برای فصول گرم نیز در نظر گرفته شود [۲و۱].

۱-۲ ضریب کسب گرمای خورشیدی

ضریب کسب گرمای خورشیدی بیان‌کنندهٔ عبور گرما و انرژی خورشید از شیشه می‌باشد. بدون توجه به دمای خارج، گرما می‌تواند از میان شیشه به وسیله تابش مستقیم یا غیرمستقیم خورشید به صورت انعکاس از زمین یا سطوح دیگر نیز کسب شود. بعضی از تابش‌ها مستقیماً از میان شیشه عبور می‌کنند و برخی دیگر ممکن است جذب شیشه شده و سپس به صورت غیر مستقیم وارد فضای ساختمان شوند. ضریب کسب گرمای خورشیدی عددی مابین ۰ و ۱ است و هر چه کمتر، یعنی گرمای خورشیدی کمتری از پنجره عبور می‌کند و برعکس. علی‌رغم اینکه کاهش تابش نور خورشید از درون پنجره در برخی از آب و هواها و در بعضی فصول به نفع ماست، اما در فصل زمستان بیشینه بودن کسب گرمای خورشیدی می‌تواند بسیار مفید باشد. به همین خاطر شیشه‌های کم‌گسیل در چندین

1. Low Emissivity (Low-E)
2. G-Value (SHGC)

www.SID.ir
Archive of SID

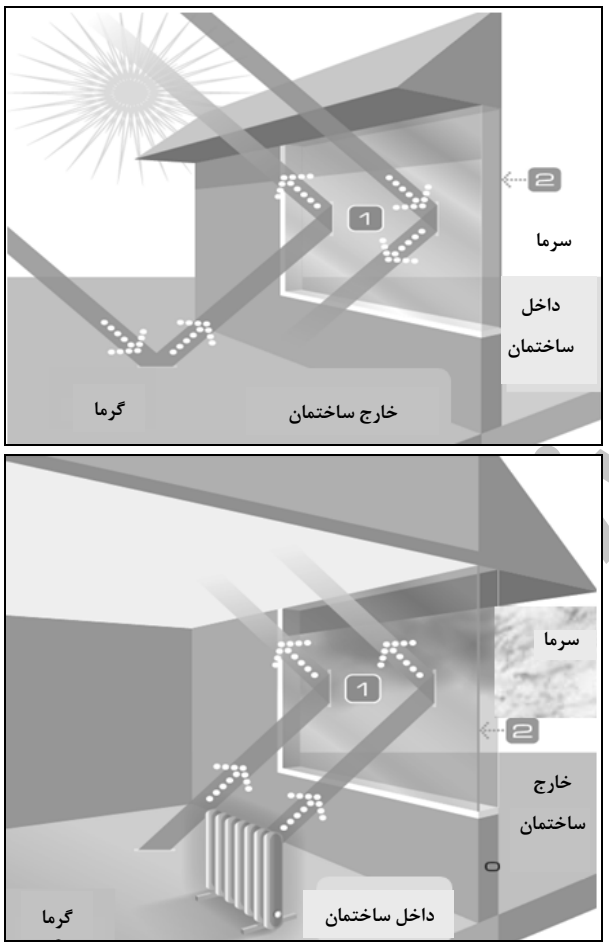
نوع تولید می‌شوند که علیرغم اینکه همگی دارای ضریب انتقال گرمای پایین هستند اما ضریب کسب گرمای خورشیدی متفاوت دارند که این امر باعث عملکرد بهتر آنها در مناطق آب و هوایی متفاوت خواهد شد. برای انتخاب شیشه‌های کم‌گسیل مناسب برای هر منطقه آب و هوایی باید به دو پارامتر ضریب انتقال گرما و ضریب کسب گرمای خورشیدی توجه کرد. ضریب انتقال گرمای کم شیشه‌های کم‌گسیل باعث می‌شود که این شیشه‌ها عایق حرارتی خوبی باشند و تبادل گرمایی را از طریق هدایتی، جابجایی و تابشی کاهش دهند و اما شیشه‌های کم‌گسیل به خاطر تفاوت در کسب گرمای خورشیدی به چند دسته تقسیم می‌شوند که عبارتند از:

- شیشه کم‌گسیل با ضریب کسب گرمای خورشیدی بالا که اتلاف گرما را کاهش می‌دهد اما به گرمای خورشید اجازه عبور می‌دهند. در مناطقی که طول فصول سرد بیشتر از فصل‌های گرم هستند، پنجره‌هایی با این نوع شیشه‌ها مناسب‌ترند. عملکرد این شیشه‌ها در فصل زمستان بهتر از فصول دیگر است؛
- شیشه کم‌گسیل با ضریب کسب گرمای خورشیدی متوسط، این نوع شیشه‌ها اتلاف گرما را کاهش می‌دهند و امکان کسب نور خورشید را در حد قابل قبولی فراهم می‌کنند، لذا برای هر دو منطقه سرد و گرم مناسبند؛
- شیشه‌های کم‌گسیل با کسب گرمای خورشیدی پائین، در مناطقی که آب و هوایی گرم دارند، یا تابستان گرمتر، ایده‌آل می‌باشند. شیشه‌های (Low-E-Sun) از این دسته‌اند که می‌توانند مانند شیشه رفلکس در رنگ‌های مختلف وجود داشته باشند و حتی می‌توانند مانند شیشه معمولی بدون رنگ باشند.

دو پارامتر مهم شیشه‌های کنترل‌کنندهٔ انرژی یعنی ضریب انتقال گرما و ضریب کسب گرمای خورشیدی باعث می‌شود که این شیشه هم در تابستان و هم در زمستان عملکرد خوبی داشته باشد، در زمستان گرمای ساختمان را حفظ می‌کند اما اجازه عبور گرمای خورشید به ساختمان را می‌دهد و در تابستان از عبور گرما به داخل ساختمان جلوگیری می‌کند [۳].

۱-۳ عملکرد شیشه کم‌گسیل

با پوشش دادن لایه‌های بسیار نازک فلز و اکسید فلز بر روی شیشه، با تجهیزات بسیار پیشرفته و تکنولوژی نانو، شیشه‌هایی تولید می‌گردد که تا حد زیادی کاستی‌های شیشه معمولی را خصوصاً در رابطه با اتلاف و کسب انرژی حرارتی جبران می‌کند. در عین حال تامین نور مرئی را که از خواص اصلی شیشه است حفظ می‌نماید. در واقع شیشه کم‌گسیل شیشه‌ای است که انتقال گرمای بسیار کمتری نسبت به شیشه معمولی دارد و مانند یک عایق گرمایی شفاف عمل می‌کند. شکل (۱) را ببینید. در زمستان که داخل اتاق گرم تر است مانع عبور گرمای آن به خارج می‌شود و در تابستان که محیط بیرون گرم تر است مانع از نفوذ آن به داخل اتاق می‌گردد. در نتیجه در مصرف انرژی می‌توان صرفه جویی قابل توجهی کرد. [۳و۴]

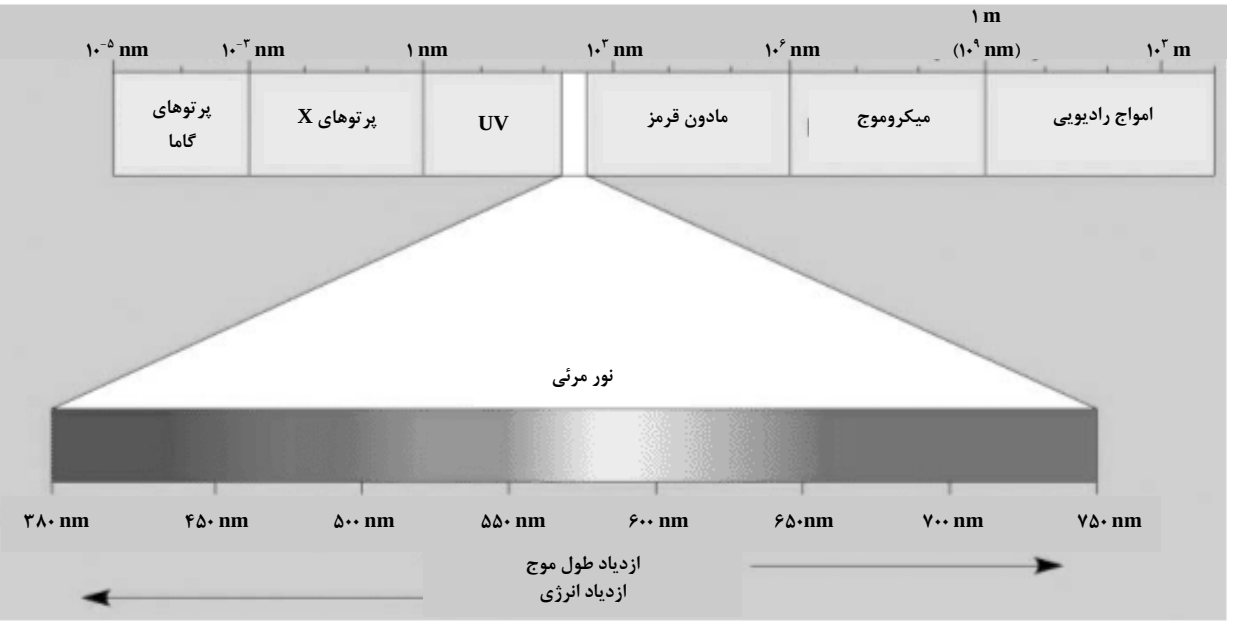


شکل ۱- عملکرد شیشه کم‌گسیل در تابستان و زمستان

نور خورشید ترکیبی از طول موج‌های مختلف است که محدودهٔ پرتوهای ماورای بنفش (۲۸۰nm-۳۸۰nm)، محدودهٔ مرئی (۳۸۰nm-۷۵۰nm) و محدوده مادون قرمز (۷۵۰nm-۳۰۰۰nm) نانومتر مورد بحث این مقاله می باشد. شکل (۲) را ببینید.

Archive of SID

www.



شکل ۲- طول موج‌های نور خورشید

از مواد فلزی NiCr، Ag و سرامیکی SiAl جهت لایه نشانی روی سطح شیشه می توان استفاده کرد تا شیشه از یک مادهٔ جاذب گرما (گسیل بالا) به مادهٔ بازتاب کنندهٔ گرما (کم‌گسیل) تبدیل شود. درواقع دارای عبور نور مرئی بالا و عبور گرمای پایین باشد که این خاصیت سبب کاهش انتقال گرما از شیشه می‌گردد. [۵]

در این میان لایه نقره که موضوع مورد بحث این مقاله است، تأثیر بسیار بالایی در انعکاس طیف مادون قرمز خورشید دارد. نقره فلزی است که رسانایی گرمایی و الکتریکی بسیار خوبی دارد. البته فلزات طلا و مس نیز چنین خواصی دارند ولی به دلیل اینکه جبران جذب رنگ این لایه‌ها توسط سایر لایه‌های دی‌الکتریک تقریبا غیر ممکن است قابل مقایسه با نقره نیستند. یک شیشه کم‌گسیل باید ضمن داشتن خاصیت انعکاس بالای طیف مادون قرمز، قدرت عبور بالای طیف مرئی را نیز داشته باشد. لذا در افزایش ضخامت لایه نقره باید هر دو مقوله را در نظر گرفت. نقره یک ماده نرم و کم دوام است که تحت تأثیر دما اکسید می‌شود. بنابراین لایه نقره خالص باید محافظت شود ولی در ضمن خواص نوری آن باید متعارف باشد. لذا لایه‌های دیگری بر روی لایه نقره نشانده می‌شوند. می‌بایست حداقل یک لایه دی‌الکتریک بین شیشه و لایه نقره و همچنین بالای لایه نقره قرار گیرد. لایه‌های بالایی برای افزایش مقاومت لایه کم‌گسیل نسبت به خط و خش نشانده می‌شوند [۷و۶].

به دلیل تأثیر مستقیم لایه نقره بر انعکاس طیف مادون قرمز، در این مطالعه ضخامت‌های بین ۱۰ تا ۲۵ نانومتر به روش کندوپاش بر روی زیر لایه شیشه نشانده شده است و خواص نوری آن نیز اندازه‌گیری شده تا تأثیر ضخامت بر انعکاس طیف مادون قرمز بررسی گردد.

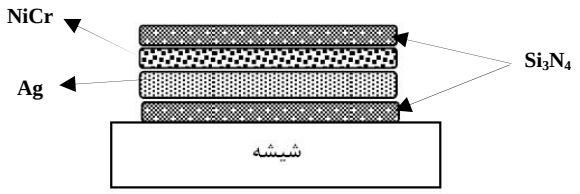
هدف از انجام این مطالعه بررسی اثر ضخامت لایه نقره در میزان انعکاس اشعه مادون قرمز از سطح شیشه‌های کم‌گسیل می‌باشد.

۲- مواد و روشها

همانطور که ذکر شد، شیشه‌های کم‌گسیل از پوشش دادن چندین لایه فلزی و اکسیدی یا نیترید فلزی با ضخامت‌های کنترل شده روی سطح شیشه ایجاد می‌شود. ترکیب لایه‌های نقره و (نیکل-کروم) و (سیلیس- آلومینیم) روی سطح شیشه، با ضخامتی در حد نانومتر برای تولید شیشه کم‌گسیل در نظر گرفته شد. در این ترکیب ضخامت لایه نقره جهت بررسی تأثیر ضخامت لایه نقره در میزان انعکاس طیف مادون قرمز متغیر است. با تغییر ضخامت لایه نقره خواص شیشه کم‌گسیل تغییر می‌کند و نوع خاصی از شیشه‌های کم‌گسیل ایجاد می‌گردد. ضمن توجه به ارتقای خاصیت انعکاس طیف مادون قرمز باید به مقوله عبور نور مرئی نیز توجه داشت. لذا ضخامت لایه‌های دیگر نیز تغییر داده شد. ظاهر بی‌رنگ و

www.SID.ir
Archive of SID

شفاف این شیشه مشابه شیشه‌های بدون پوشش می‌باشد، شکل (۳) چیدمان لایه‌ها را روی سطح شیشه نشان می‌دهد.



شکل ۳- چیدمان لایه‌ها در شیشه کم‌گسیل

برای لایه با نشانی یکنواخت بر روی سطح شیشه نیاز به توزیع پلاسمای یکنواخت، کمترین سطح کنش و واکنش بین پلاسما و شیشه و کنترل یکنواختی گازهای فعال ورودی و تنظیم و بازخورد بهتر در نواحی مختلف می‌باشد [۷و۸].

در این مقاله، لایه نازک نقره به روش کندوپاش RF بر روی شیشه فلوت سفید با ضخامت ۴mm لایه نشانی شده است. کندوپاش یا به طور دقیق تر، کندوپاش مواد (معمولاً مواد جامد) به وسیله بمباران یون‌های گاز خنثی، قدیمی ترین فرایند خلأ برای تولید لایه‌های نازک است. [۷] در شکل (۴) نمایی از خط تولید نشان داده شده است.

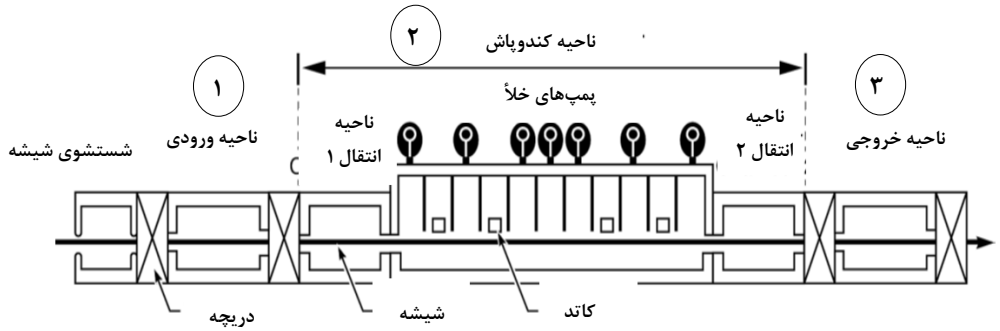
از تارگت نقره تخت به دلیل یکنواختی سطح پاشش برای لایه نشانی نقره بر روی زیر لایه شیشه استفاده شده است. لایه نقره با ضخامت بیشتر تا حد قابل توجهی طیف IR را منعکس می‌کند ولی مقدار زیادی از نور مرئی را جذب می‌نماید. هدف، کاهش جذب نور با ثابت نگه داشتن هدایت است. این هدف با لایه‌های زیری و رویی نقره که همان لایه ای از Si_3N_4 می‌باشد، تامین گردید [۶].

ضخامت‌های ۱۰، ۱۵، ۲۰، ۲۵ نانومتر از نقره بر روی شیشه نشانده شد. البته نیاز به لایه‌های پایه و زیرین Si_3N_4 و NiCr جهت محافظت از لایه نقره و فراهم سازی یک رنگ طبیعی در هنگام عبور نور از شیشه می‌باشد.

در ابتدا سیستم لایه نشانی برای نشاندن ضخامت ۱۰نانومتر از تارگت نقره بر روی شیشه آماده گردید. تمیزی سطح یکی از عوامل مهم کیفیت پوشش است. از این رو قبل از انجام لایه نشانی و پوشش دهی سطح شیشه مورد استفاده باید با آب دی‌یون به خوبی تمیز و سپس با استفاده از خشک کن سطح شیشه خشک گردد. ضخامت شیشه زیر لایه ۴mm و ابعاد ۲۰۰cm×۲۲۵cm می‌باشد. لایه نشانی در محیط پلاسما در خلأ با فشار حدود 10^{-6}bar انجام شد. کاتد قرار داده شده در محیط پلاسما به جریان برق ولتاژ بالا اتصال داشته و در مجاورت هر کاتد، تارگت که در حقیقت ماده پوشش دهنده است، قرار گرفت، جنس این تارگت‌ها از نقره، (نیکل- کروم)، مواد سرامیکی مانند (سیلیس- آلومینیم) است.

پس از ایجاد خلأ، گاز آرگون با فشار بسیار پایین در محفظه تزریق شد بطوریکه فشار محفظه به حدود 10^{-6}bar رسید. با اعمال ولتاژ بالا به گاز آرگون، این گاز یونیزه شده و الکترون خود را از دست می‌دهد و بار مثبت پیدا می‌کند در فضای پلاسمای ایجاد شده، آرگون با بار مثبت به شدت به سطح تارگت که به کاتد منفی اتصال دارد برخورد می‌کند و باعث کنده شدن اتم‌های فلزی از سطح تارگت می‌گردد و در نهایت، لایه نشانی صورت می‌گیرد. همانطور که بمباران یونی آرگون ادامه دارد اتم‌های فلزی بیشتری از سطح تارگت کنده می‌شود و باعث پوشش دهی بیشتر سطح شیشه با فلز می‌گردد. در صورتیکه بخواهیم فلز به صورت اکسیدی یا نیتریدی روی سطح شیشه پوشش داده شود، گاز نیتروژن یا اکسیژن با فشار پایین و تنظیم شده، به فضای پلاسما تزریق می‌گردد [۷-۹].

جزئیات هر یک از لایه‌ها از قبیل نوع تارگت، گاز، ضخامت لایه‌ها در جدول‌های (۱) تا (۴) آورده شده است.



شکل ۴- شمای خط تولید

Archive of SID
www.

جدول ۱- شرایط لایه نشانی نمونه ۱

نوع تارگت	SiAl	Ag	NiCr	SiAl
نوع لایه	Si_3N_4	Ag	NiCr	Si_3N_4
توان (kw)	۸۰	۵	۵	۸۰
ضخامت(nm)	۲۲	۱۰	۲	۲۲
سرعت لایه نشانی (nm/s)۸				

جدول ۲- شرایط لایه نشانی نمونه ۲

نوع تارگت	SiAl	Ag	NiCr	SiAl
نوع لایه	Si_3N_4	Ag	NiCr	Si_3N_4
توان(kw)	۸۰	۵	۵	۸۰
ضخامت(nm)	۳۳	۱۵	۳	۳۳
سرعت لایه نشانی (nm/s)۶/۲				

جدول ۳- شرایط لایه نشانی نمونه ۳

نوع تارگت	SiAl	Ag	NiCr	SiAl
نوع لایه	Si_3N_4	Ag	NiCr	Si_3N_4
توان(kw)	۸۰	۵	۵	۸۰
ضخامت(nm)	۴۴	۲۰	۴	۴۴
سرعت لایه نشانی (nm/s)۵/۷				

جدول ۴- شرایط لایه نشانی نمونه ۴

نوع تارگت	SiAl	Ag	NiCr	SiAl
نوع لایه	Si_3N_4	Ag	NiCr	Si_3N_4
توان(kw)	۸۰	۵	۵	۸۰
ضخامت(nm)	۵۵	۲۵	۵	۵۵
سرعت لایه نشانی (nm/s)۴/۱				

از هر یک از جام‌های آزمایش شده تحت شرایط جدول‌های (۱) تا (۴) نمونه‌ای به ابعاد ۱۰cm×۱۰cm جهت آزمون‌های اپتیکی و خورشیدی گرفته شد. لایه‌های نشانده شده با دستگاه طیف سنج نوری (UV/Vis) مدل Lambda950 سنجیده شد. در نمودار(۱)، منحنی انعکاس طیف مادون قرمز و نمودار (۲) درصد عبور نور مرئی نمونه‌های با ضخامت لایه نقره ۱۰، ۱۵، ۲۰ و ۲۵ نشان داده شده است.

همچنین جهت اندازه‌گیری میزان گسیل گرما از سطح، نمونه‌هایی به ابعاد ۲۰cm×۲۰cm از جام‌های مورد آزمایش گرفته شد سپس با دستگاه Emissivity Meter مدل (TIR100-2) اندازه‌گیری شد که نمودار (۱) منحنی داده‌های بدست آمده را نشان می‌دهد.

۳- نتایج و بحث

جهت بررسی تأثیر ضخامت لایه نقره در میزان انعکاس طیف مادون قرمز، خواص اپتیکی و نشر هر یک از نمونه‌ها به ترتیب با دستگاه‌های اسپکتروفتومتر (UV/Vis) مدل Lambda950 و دستگاه نشرسنج مدل (TIR100-2) اندازه‌گیری شد. به منظور دستیابی به بهینه‌ترین ضخامت جهت کاهش عبور طیف مادون قرمز از شیشه‌های کم‌گسیل، تغییرات طیف نور مرئی و طیف مادون قرمز و همچنین درصد گسیل گرمای هر یک از نمونه‌ها بررسی شد.

همان‌گونه که در شکل (۵) مشاهده می‌شود، با افزایش ضخامت لایه نقره از ۱۰ نانومتر تا ۲۵ نانومتر درصد انعکاس طیف مادون قرمز افزایش می‌یابد.

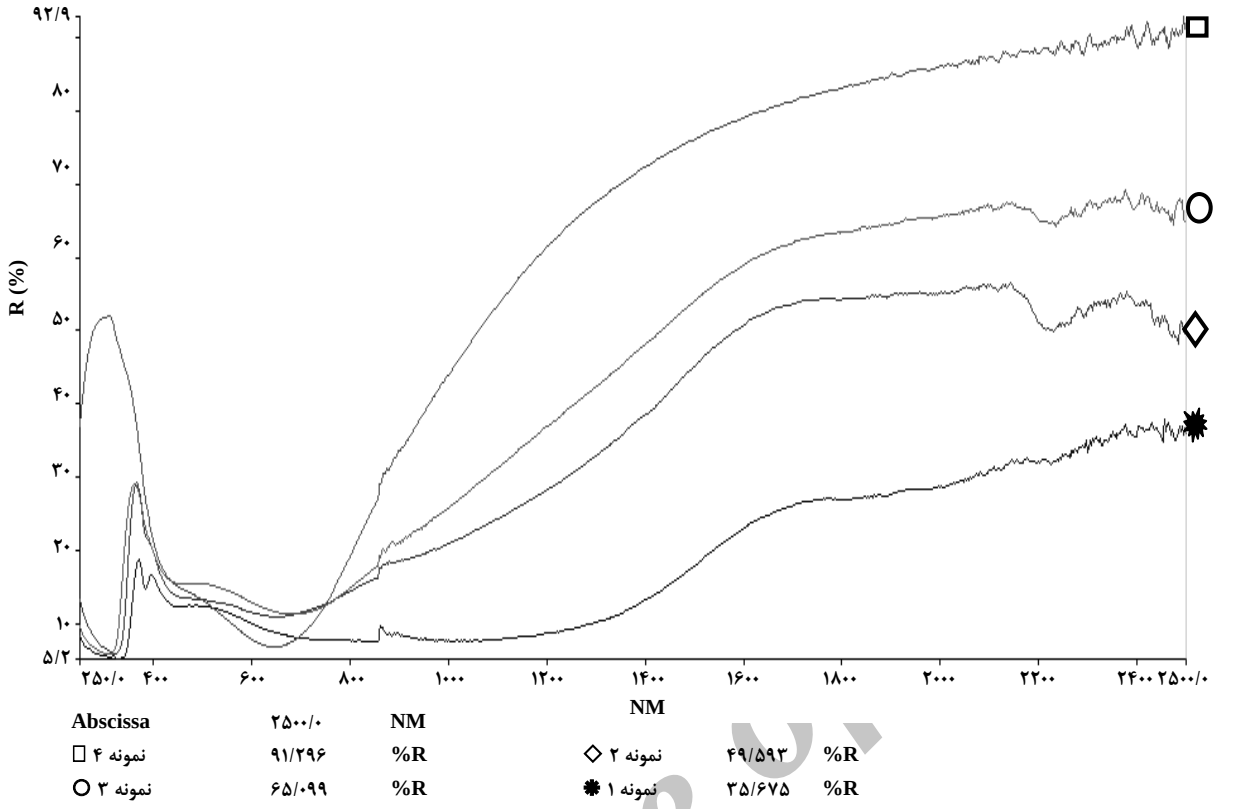
نتایج بدست آمده از اندازه‌گیری نمونه‌های مورد آزمایش، در محدودهٔ ۲۵۰nm تا ۲۵۰۰nm در شکل (۶) نیز نشان می‌دهد که با افزایش ضخامت لایه نقره یک روند کاهشی عبور اشعه مادون قرمز مشاهده می‌شود.

با توجه به اینکه در شیشه کم‌گسیل مهم ترین پارامتر درصد نشر گرما از این نوع شیشه می‌باشد لذا در شکل (۷) منحنی تغییرات میزان گسیل گرما در نتیجه افزایش ضخامت لایه نقره بررسی شده است. همانطور که مشاهده می‌شود میزان گسیل گرما، با افزایش ضخامت لایه نقره کاهش می‌یابد. اگر چه کاهش یافتن میزان گسیل گرما از سطح شیشه کم‌گسیل بسیار مهم است و تأثیر مستقیمی بر

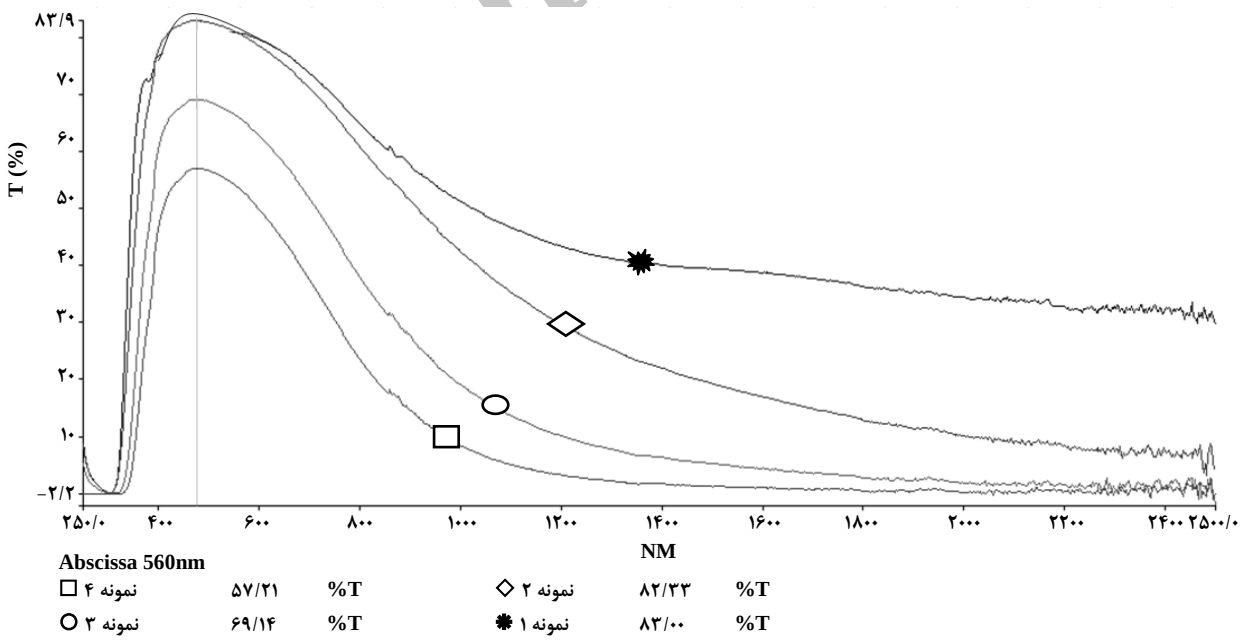
Archive of SID

www.SID.ir

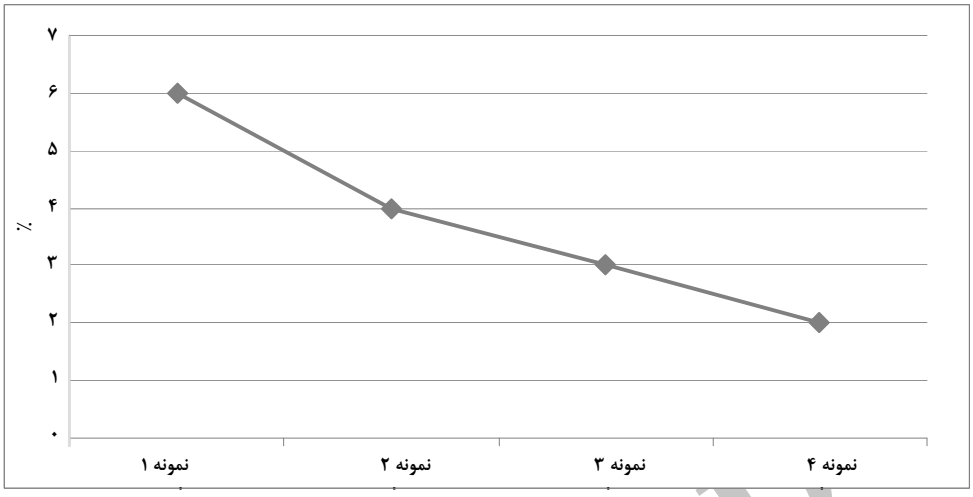
ضریب انتقال گرما و ضریب کسب گرمای خورشیدی دارد ولی باید به پارامتر درصد عبور نور مرئی نیز توجه داشت، زیرا با افزایش ضخامت لایه نقره و به نسبت افزایش ضخامت سایر لایه‌ها درصد عبور نور مرئی کاهش خواهد یافت.



شکل ۵- مقایسه درصد انعکاس طیف خورشید نمونه‌های ۴،۳،۲،۱ در محدوده ۲۵۰ تا ۲۵۰۰ نانومتر



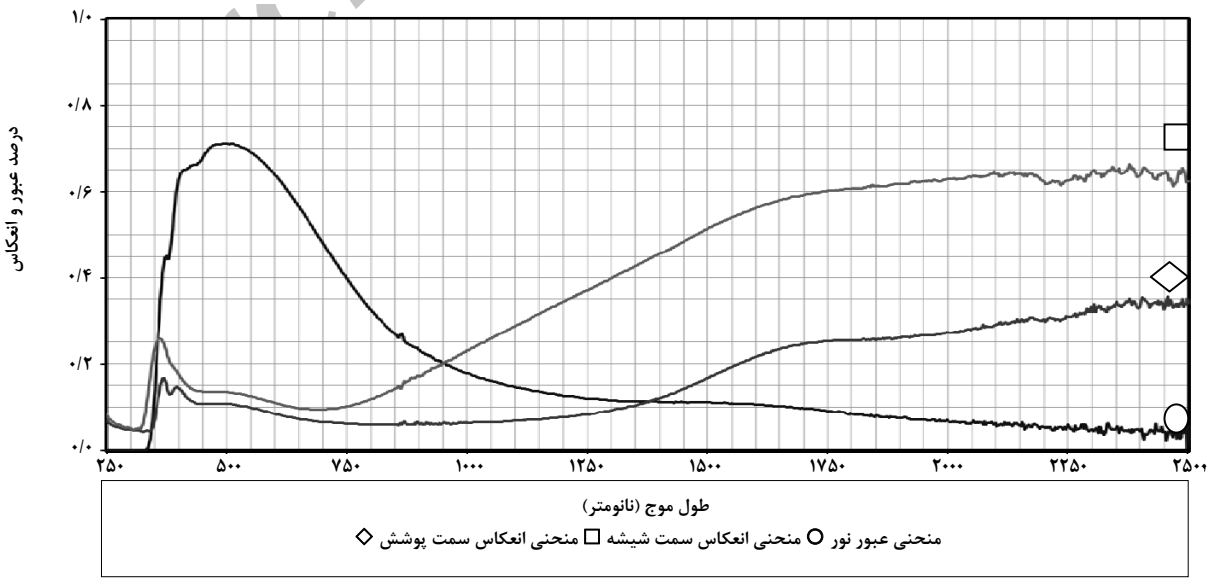
شکل ۶- مقایسه درصد عبور طیف خورشید نمونه‌های ۴،۳،۲،۱ در محدودهٔ ۲۵۰ تا ۲۵۰۰ نانومتر



شکل ۷- درصد گسیل اشعه IR از نمونه‌های ۱، ۲، ۳ و ۴

در شکل (۶) مشاهده می شود که لایه‌های نمونه ۴ با تأثیر بیشتری تغییر رنگ می دهند به طوریکه درصد عبور نور مرئی به ۵۷٪ می‌رسد. به علاوه از شکل (۷) مشاهد می‌شود که گسیل گرما از نمونه ۴ با ضخامت لایه نقره ۲۵ به حدود ۲ درصد کاهش می‌یابد. در نمونه ۴ با وجود اینکه کم‌گسیل می‌باشد عبور نور مرئی بسیار کاهش می‌یابد، ولی نمونه ۳ یک تناسب بین عبور طیف مادون قرمز و نور مرئی برقرار می‌کند. شکل (۸) همزمان درصد عبور و انعکاس محدودهٔ اشعه مضر ماورای بنفش، طیف مرئی و مادون قرمز نمونه ۳ را نشان می‌دهد.

در این نمودار به طور ویژه فقط شرایط اپتیکی نمونه ۳ در سه محدودهٔ اشعه مضر ماورای بنفش (۳۸۰nm -۲۸۰nm) ، طیف مرئی (۷۵۰nm -۳۸۰nm) و طیف مادون قرمز (۲۵۰۰nm -۷۸۰nm) بررسی شده است. همانطور که در نمودار مشاهده می‌شود عبور محدودهٔ اشعه مضر ماوراء بنفش بسیار کم و حدود ۴۰٪ است و عبور در محدودهٔ اشعه مرئی حدود ۶۹٪ و عبور اشعه مادون قرمز نیز روند کاهشی دارد. طبق نمودار درصد انعکاس اشعه مادون قرمز از دو سمت نمونه ۳ روند افزایشی دارد.



شکل ۸- عملکرد نمونه ۳ در محدوده ۲۵۰nm تا ۲۵۰۰nm

www.SID.ir

۴- نتیجه‌گیری

لایه‌های نازک Ag، Si3N4 و NiCr به روش کندوپاش برروی شیشه نشانده شد که در این لایه نشانی ضخامت‌های لایهٔ نقره بین ۱۰ تا ۲۵ نانومتر بود. براساس تحلیل نمودار اپتیکی و درصد گسیل اشعه مادون قرمز لایه‌ها مشخص گردید که افزایش ضخامت لایه نقره تا حدود ۲۵ نانومتر تأثیر بسزایی در افزایش انعکاس طیف مادون قرمز دارد ولی با توجه به اینکه در مورد شیشه‌های کم‌گسیل پارامتر عبور نور مرئی نیز مهم می‌باشد لذا ضخامت ۲۰ نانومتر، به لحاظ اینکه ضمن انعکاس طیف مادون قرمز، عبور طیف مرئی مناسبی را نیز به همراه دارد لذا به عنوان ضخامت بهینه در نظر گرفته می‌شود.

مراجع

[۱] امیری شهبازی، م.،"کاربردها و بازاریابی شیشه‌های پوشش داده شده". صص۴۰-۱۰۷، انتشارات لیتوگرافی سیب آرا، (۱۳۸۴).

[۲] بختیاری، س.، حریری، م.، خدابنده، ن.، طهماسبی، ف.، فیاض، ر.، کاری، ب.، ویسه، س.، هدایتی، ج.، "اصول و روش‌های عایق کاری حرارتی بر اساس مبحث ۱۹ مقررات ملی ساختمان (صرفه جویی در مصرف انرژی)"، صص ۱-۹۱، انتشارات مرکز تحقیقات ساختمان، (۱۳۸۸).

[3] Leftheriotis, G., Yianoulis, P., "Glazings and Coatings" Comprehensive Renewable Energy, Volume 3, Pages 313-355, (2012).

[4] Schaefer, C., Bräuer, G., Szczyrbowski, J., "Low emissivity coatings on architectural glass", Surface and Coatings Technology, Volume 93, Issue 1, Pages 37-45, (August 1997).

[5] Mohelnikova, J., "Materials for reflective coatings of window glass applications".

[6] Construction and Building Materials, Volume 23, Issue 5, Pages 1993-1998, (May 2009).

[7] Martın-Palma, R. J., Vázquez, L., Martínez-Duart, J. M., Malats, R., "Silver-based low-emissivity coatings for architectural windows", Optical and structural properties Solar Energy Materials and Solar Cells, Volume 53, Issues 1–2, Pages 55-66, (12 May 1998).

[۸] سوالونی، ه.، "مبانی علم سطح در نانو فانوری، جلد اول:فیزیک سطح، فصل مشترک و لایه‌های نازک"، صص ۲۱۷-۲۵۳، انتشارات دانشگاه تهران، (۱۳۸۳).

[9] Milton, O., in handbook of "material science of thin films" Pages 203-273,(1998)

[10] Ho Park, S., Sun Lee, K., Sivasankar Reddy, A., "Low emissivity Ag/Si/glass thin films deposited by sputtering", Solid State Sciences, Volume 13, Issue 11, Pages 1984-1988, (November 2011).

Archive of SID