بیست و سومین کنفرانس اپتیک و فوتونیک و نهمین کنفرانس مهندسی و فناوری فوتونیک ایران
دانشگاه تربیت مدرس
۱۲-۱۴ بهمن ۱۳۹۵
23rd Iranian Conference on Optics and Photonics and 9th Conference on Photonics Engineering and Technology
Tarbiat Modares University, Tehran, Iran
January 31- February 2, 2017

طراحی و لایه‌نشانی پالایه اپتیکی بلندگذر ۳/۷-۴/۸ میکرومتر با ویژگی انعکاس بالا در ناحیه ۹۰۰-۷۵۰ نانومتر و تک طول موج ۱۰۶۴ نانومتر

علیرضا فیروزی‌فر، محمد جان‌نثاری، حسین زابلیان، جواد شاه‌محمدی، محمود ورپایی، مهدی مردیها

گروه پژوهشی لایه‌های نازک، صنایع الکترو اپتیک صاایران، اصفهان، ایران

چکیده – در این مقاله طراحی و ساخت پالایه‌ی بلندگذر ۳/۷-۴/۸ میکرومتر با ویژگی بازتاب بالا در ناحیه ۱۰۶۴ و ۹۰۰-۷۵۰ نانومتر تحت زاویه ۴۵ درجه گزارش شده است. لایه‌نشانی در محفظه‌ی خلا توسط تفنگ الکترونی صورت گرفت. ضخامت لایه‌ها بوسیله ضخامت‌سنج کریستالی اندازه‌گیری شد. طیف تراگسیل و بازتاب نمونه‌ها به وسیله‌ی طیف‌سنج دوباریکه‌ای (*UV-VIS*) و نیز طیف سنج *FTIR* اندازه‌گیری شد. پالایه بدست‌آمده دارای کمینه بازتاب ۱/۷ درصد در ناحیه ۳/۷-۴/۸ میکرومتر و میانگین بازتاب ۹۸/۴ درصد در ناحیه ۹۰۰-۷۵۰ نانومتر و ۹۷/۸ درصد در طول موج ۱۰۶۴ نانومتر می‌باشد.

کلید واژه- پالایه اپتیکی بلندگذر، طیف‌سنج دوباریکه‌ای، طیف سنج .FTIR

Design and Fabrication of 3.7-4.8 Micrometer Long-wave Pass Filter with High Reflection on 1064 and 750-900 nm

A.R. Firoozifar, M. Jannesari, H. Zabolian, J. Shahmohammadi, M. Varpaei and M. Mardiha

Thin film research group, Sairan Electro Optic Industry, Isfahan, Iran

Abstract- In this research design and fabrication of 3.7-4.8 micrometer long-wave pass filter with high reflection on 1064 and 750-900 nm unther 45 degree has been reported. Deposition was performed in vacuum chamber using electron gun deposition method. Quartz crystal was used to monitor the thickness of thin films. Transmission spectra of coated samples were measured using a double-beam spectrophotometer and a FTIR spectrophotometer. Finally the optical long-wave pass filter with minimum reflection 3.8 percent and mean reflection of 98.4 percent in 750-900 nm range and 97.8 percent in 1064 nm was fabricated.

Keywords: long-wave pass Filter, double-beam spectrophotometer, FTIR spectrophotometer.

این مقاله به شرط در دسترس بودن در وبگاه www.opsi.ir معتبر است.

[Downloaded from opsi.ir on 2026-11-13]

۱- مقدمه

پالایه‌های بلندگذر اپتیکی در ناحیه‌ی فروسرخ مجموعه‌ی چندلایه‌ای از دو ماده با ضرایب شکست بالا و پائین می‌باشند که یک در میان در کنار یکدیگر قرار گرفته‌اند. تداخل سازنده‌ی باریکه‌های بازتاب شده از مرزها، بازتاب و تراگسیل در بازه‌ی طول‌موج طراحی‌شده را فراهم می‌آورد. لایه‌نشانی پالایه‌های دی الکتریک در ناحیه‌ی فروسرخ می‌بایست با توجه به بازه‌ی شفافیت و ضریب شکست مواد و بستره در آن ناحیه خاص صورت پذیرد. [۱]

در این پژوهش تلاش شده تا با انباشت یک مجموعه‌ی تمام دی‌الکتریک بر سطح بستره سیلیکون اپتیکی که برای ناحیه طول موجی ۳/۷ تا ۴/۸ میکرومتر طراحی و ساخته شده، بازتاب پایین در این ناحیه طول موجی و نیز بازتاب بالا در ناحیه طول موجی ۷۵۰ تا ۹۰۰ نانومتر و طول‌موج ۱۰۶۴ نانومتر تحت زاویه فرودی ۴۵ درجه حاصل شود. این پالایه جهت جداسازی باریکه‌ی نور فرودی به یک دوربین که در دو ناحیه ۳/۷ تا ۴/۸ میکرومتر و ۷۵۰ تا ۹۰۰ نانومتر همراه با یک فاصله‌سنج که در طول‌موج ۱۰۶۴ نانومتر کار می‌کند استفاده می‌شود.

۲- مواد و روش‌ها

از ویژگی‌های لازم برای مواد مورد استفاده در مجموعه‌ی پالایه‌ی تمام دی‌الکتریک فوق می‌توان به شفافیت و عدم وجود جذب اپتیکی در بازه‌ی ۵-۳ میکرومتر و فروسرخ نزدیک، استحکام مکانیکی و نیز پایداری محیطی مطلوب اشاره نمود. میزان بازتاب در هر ناحیه به اختلاف ضرایب شکست دو ماده بستگی دارد. هرچه تفاوت ضریب شکست بیشتر باشد، دستیابی به هدف اپتیکی مورد نظر در مجموعه بیشتر فراهم می‌شود. پهنای ناحیه‌ی بازتاب نیز تابع اختلاف ضریب شکست دو ماده است. محاسبات نظری مربوط به طراحی چنین مجموعه‌هایی، در اغلب کتاب‌های اپتیک لایه-های نازک موجود می‌باشد[۲]. با توجه به مطالب گفته شده، از دو ماده‌ی سیلیکون و دی‌اکسید سیلیکون ساخت شرکت Umicore با خلوص ۹۹/۹۹۹ درصد به عنوان مواد لایه‌نشانی و از سیلیکون به عنوان بستره استفاده گردید. در مقایسه با بقیه مواد اکسیدی، SiO_2 با ضریب شکست ۱/۴ (در طول‌موج ۳ میکرومتر) و بازه‌ی طول‌موجی شفافیت ۹-۲/ میکرومتر از بهترین خواص مکانیکی و پایداری محیطی برخوردار می‌باشد. سیلیکون با ضریب شکست ۳/۴ (در طول‌موج ۳ میکرومتر) و بازه‌ی شفافیت ۹-۱ میکرومتر نیز دارای ویژگی‌های مکانیکی و پایداری محیطی مطلوبی می‌باشد [۳]. بسترها قبل از اجرای فرایند لایه‌نشانی به روش استاندارد تمیز شدند [۴]. اجرای پروسه‌ها توسط دستگاه لایه‌نشانی BAK-760 انجام شد. خلا شروع لایه‌نشانی 1×10^{-5} میلی بار و دمای لایه‌نشانی ۲۵۰ درجه سانتیگراد انتخاب شد. نرخ انباشت برای SiO_2 و Si به ترتیب ۰/۵ و ۰/۴ نانومتر بر ثانیه انتخاب شد. طیف‌سنج دوباریکه‌ای (UV-VIS) و نیز طیف سنج FTIR جهت طیف سنجی از نمونه‌ها استفاده شدند.

۳- طراحی

ویژگی‌های اپتیکی لایه‌های نازک در این پژوهش با استفاده از نرم‌افزار طراحی لایه‌های نازک مکلئود[۱] طراحی و بهینه سازی شد. در این نرم افزار با تعریف مواد با ضریب شکست‌های کاملا کنترل شده و نیز با تعریف محدوده‌های طیفی که مورد انتظار ما می‌باشد می‌توان ضخامت‌های بهینه هر یک از لایه‌ها را با دقت یک دهم نانومتر تعیین نمود. سپس ضخامت‌ها به دستگاه لایه‌نشانی شناسانده شده و پارامترهای دیگر همچون دما، آهنگ لایه‌نشانی، زمان عملیات گلو[۲] و دیگر پارامترها بر اساس تجربه‌های موجود اجرا می‌شوند. طرح پالایه مورد نظر که توسط نرم‌افزار مکلئود بدست آمده است در جدول شماره ۱ مشاهده می گردد. طیف بازتاب مربوط به طراحی انجام شده که توسط نرم‌افزار مکلئود تحت زاویه فرودی ۴۵ درجه ترسیم شده است نیز در شکل شماره ۱ مشاهده می‌گردد. طیف ارائه شده در شکل ۱ میانگین طیف‌هایی با قطبش های s و p می‌باشد که بصورت طیف میانگین ترسیم شده است. در این طراحی میانگین بازتاب در بازه ۳/۷ تا ۴/۸ میکرومتر برابر ۰/۵ درصد و برای بازه ۷۵۰ تا ۹۰۰ نانومتر برابر ۹۸/۹ درصد و در تک طول موج ۱۰۶۴ نانومتر برابر با ۹۷ درصد می‌باشد. شایان ذکر است که این پالایه دارای بازتاب بالا در ناحیه ۷۵۰ تا ۹۰۰ نانومتر و تک طول موج ۱۰۶۴ می‌باشد اما در بازه ۳/۷ تا ۴/۸

---

[۱] Essential Macleod

[۲] Glow discharge proces

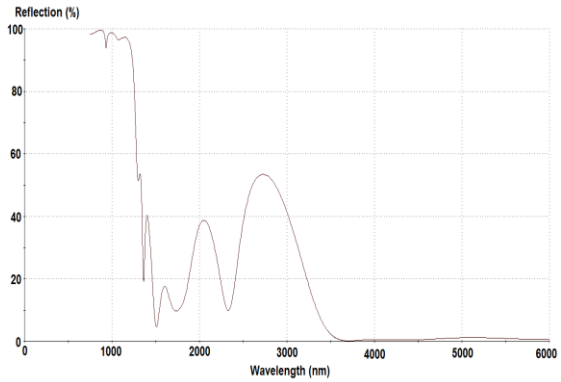
این مقاله به شرط در دسترس بودن در وبگاه www.opsi.ir معتبر است.

[Downloaded from opsi.ir on 2026-11-13]

جدول ۱: لایه‌ها و ضخامت‌های نرم افزار مکلئود برای طراحی پالایه

شماره لایه	بستره (Si)	ضخامت (نانومتر)
۱	SiO2	۴۹/۷
۲	Si	۳۴۷/۱
۳	SiO2	۱۰۰/۳
۴	Si	۲۸۴/۸
۵	SiO2	۱۴۱/۳
۶	Si	۷۵/۹
۷	SiO2	۱۴۵/۶
۸	Si	۶۶/۵
۹	SiO2	۱۸۱/۵
۱۰	Si	۵۱/۸
۱۱	SiO2	۱۰۶۵/۱

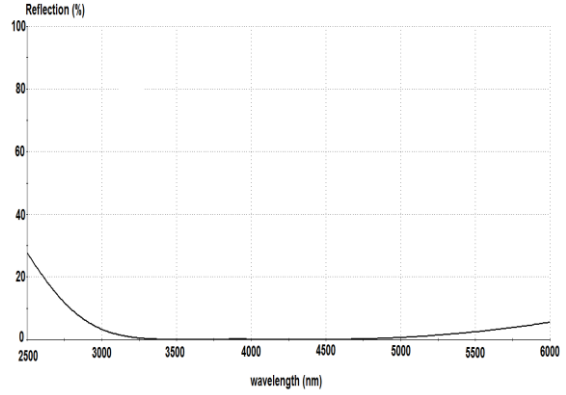
میکرومتر بطور عبوری عمل می کند. از این رو سمت دیگر این پالایه می‌بایست با لایه‌نشانی پهن باند ضد بازتاب در بازه ۳/۷ تا ۴/۸ لایه‌نشانی گردد. طرح لایه‌نشانی پهن باند ضد بازتاب مورد نظر که توسط نرم افزار مکلئود بدست آمده است در جدول شماره ۲ مشاهده می‌گردد. در این طراحی میانگین بازتاب در بازه‌ی۳/۷ تا ۴/۸ میکرومتر برابر ۰/۳ درصد می‌باشد.



شکل ۱: طیف بازتاب مربوط به پالایه توسط نرم‌افزار مکلئود تحت زاویه ۴۵ درجه.

جدول ۲: لایه‌ها و ضخامت‌های نرم افزار مکلئود برای طراحی لایه نشانی پهن باند ضد بازتاب.

ضخامت (نانومتر)	بستره (Si)
۱۳۴/۴	SiO2
۱۱۵/۰	Si
۷۷۳/۳	SiO2



شکل ۲: طیف بازتاب ترسیم شده مربوط به لایه‌نشانی پهن باند ضد بازتاب توسط نرم‌افزار مکلئود تحت زاویه ۴۵ درجه.

طیف بازتاب مربوط به طراحی انجام شده که توسط نرم‌افزار مکلئود تحت زاویه فرودی ۴۵ درجه ترسیم شده است در شکل شماره ۲ مشاهده می‌گردد.

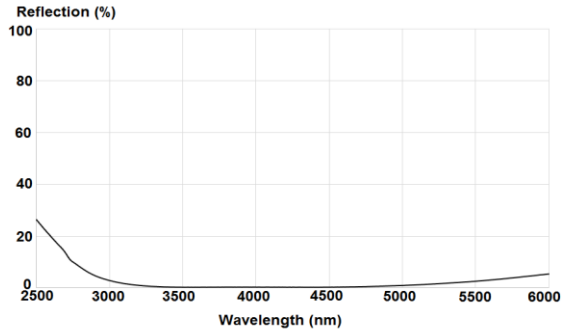
۴- نتایج و بحث

پس از بدست آوردن ضریب تبدیل[۳] ضخامت برای هر یک از لایه‌های SiO_2 و Si برای دستگاه، مبادرت به اجرای فرایند لایه‌نشانی کردیم. ضریب تبدیل از تقسیم ضخامت واقعی لایه، بر ضخامت نمایش داده شده توسط کریستال دستگاه بدست می‌آید. در ابتدا یک سمت بستره با پوشش پهن‌باند ضدبازتاب لایه‌نشانی شد که طیف بازتاب آن در محدوده ۲۵۰۰ تا ۲۵۰۰۰ نانومتر تحت زاویه ۴۵ درجه با استفاده از قطبنده ZnSe که توسط طیف‌سنج FTIR اندازه‌گیری شد، در شکل شماره ۳ مشاهده می‌گردد. میانگین بازتاب در بازه ۳/۷ تا ۴/۸ میکرومتر برابر ۰/۴ درصد بدست آمد که قابل قبول است. سپس سمت دیگر قطعه با پوشش ۱۱ لایه مربوط به پالایه طراحی شده لایه‌نشانی گردید. طیف‌سنجی بازتابی FTIR با شرایط قبل، از سمتی که لایه‌نشانی پالایه انجام شده بود، صورت گرفت. میانگین بازتاب در بازه ۳/۷ تا ۴/۸ میکرومتر تحت زاویه ۴۵ درجه برابر ۱/۷ درصد بدست آمد که قابل قبول است. اختلاف این مقدار با مجموع مقادیر بازتاب طراحی مربوط به هر دو پوشش که برابر با ۰/۸ درصد بود، ناشی از عواملی همچون خطا در طیف‌سنجی، خطا در کنترل دقیق استکیومتری مواد و در نتیجه خطا در ضریب

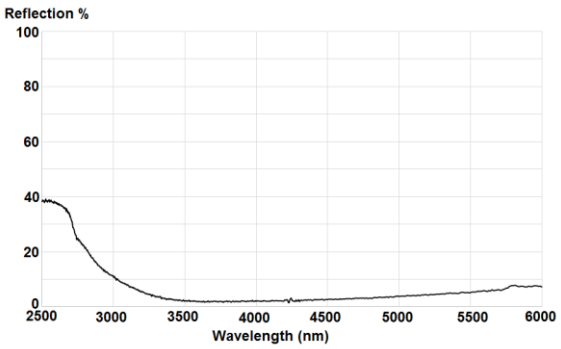
[۳] Tooling factor

این مقاله به شرط در دسترس بودن در وبگاه www.opsi.ir معتبر است.

[Downloaded from opsi.ir on 2026-11-13]

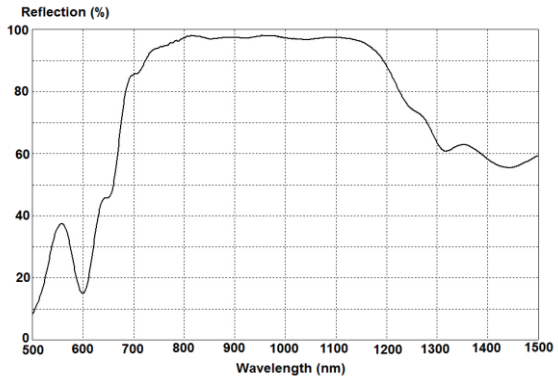


شکل ۳: طیف بازتاب اندازه‌گیری شده پوشش پهن‌باند ضد بازتاب تحت زاویه ۴۵ درجه اندازه‌گیری شده توسط طیف سنج FTIR.



شکل ۴: طیف بازتاب اندازه‌گیری شده از سمت پوشش پالایه تحت زاویه ۴۵ درجه اندازه‌گیری شده توسط طیف سنج FTIR. .

شکست شکست مواد و نیز به علت خطا در بدست آوردن ضریب تبدیل جهت ضخامت‌سنجی مواد می‌باشد. طیف‌سنجی بازتابی UV-VIS در محدوده ۵۰۰ تا ۲۵۰۰ نانومتر تحت زاویه ۴۵ درجه با استفاده از قطبنده دستگاه از سمتی که لایه‌نشانی پالایه انجام شده بود صورت گرفت که در شکل شماره ۵ مشاهده می‌گردد. میانگین بازتاب در بازه ۷۵۰ تا ۹۰۰ نانومتر برابر ۹۸/۴ درصد بدست آمد که قابل قبول است. همچنین بازتاب در طول موج ۱۰۶۴ نانومتر برابر ۹۷/۸ بدست آمد که قابل قبول می‌باشد. قطعه تولید شده پس از انجام آزمون طیف‌سنجی، مورد تست چسبندگی و سایش ملایم مطابق با استاندارد MIL-F-48616 در آزمایشگاه لایه‌نشانی شرکت صنایع الکترواپتیک صاایران که دارای استاندارد ISO/IEC 17025:2005 می‌باشد قرار گرفت که هر دو آزمون را با موفقیت پشت سر گذاشت. همچنین این قطعه در آزمایشگاه شرایط محیطی مورد آزمون رطوبت و حرارت و برودت و مه نمکی مطابق با استاندارد MIL-F-48616 قرار گرفت که این آزمون ها را با موفقیت پشت سر گذاشت.



شکل ۵: طیف بازتاب میانگین دو قطبش s و p اندازه‌گیری شده از قطعه تحت زاویه ۴۵ درجه اندازه‌گیری شده توسط طیف سنج UV-VIS.

۵- نتیجه‌گیری

می‌توان با لایه‌نشانی یک مجموعه‌ی چندلایه‌ای از مواد دی-الکتریک با ضرایب شکست بالا و پایین و نیز از طریق کنترل شرایط انباشت، پالایه بلندگذر با کمینه بازتاب در بازه ۳/۷ تا ۴/۸ میکرومتر و بیشینه بازتاب در ناحیه ۷۵۰ تا ۹۰۰ نانومتر و تک طول موج ۱۰۶۴ تحت زاویه ۴۵ درجه بر بستره سیلیکون تولید کرد. بکارگیری سامانه‌ی ضخامت-سنجی کریستالی با دقت بالا در فرآیند لایه‌نشانی، دقت و تکرارپذیری ساخت پالایه را بسیار افزایش می‌دهد.

سپاسگزاری

از آقای مهندس محمود ورپایی جهت همکاری‌های صمیمانه در راستای بکارگیری هرچه بهتر دستگاه لایه‌نشانی تشکر می‌نمایم.

مراجع

[1] H. A. Macleod, *Thin Film Optical Filters*, Fourth Edition, Chapter 6, Thin Film Center Inc, Tucson, Arizona, USA, 2010.
[2] H. A. Pulker, *Coating On Glass*, Second Edition, p. 441, Basic Research Laboratory, Balzers AG, Liechtenstein, ELSEVIER, 1999.
[3] Palik, E. D., *Handbook of Optical Constants in Solids*, Academic Press, 1985.
[4] S.A.R. Firoozifar, A. Behjat, E. Kadivar, S.M.B. Ghorashi, M. Borhani Zarandi, "A study of the optical properties and adhesion of zinc sulfide anti-reflection thinfilm coated on a germanium substrate", Journal of Applied Surface Science, Vol. 258, pp. 818 – 821, 2011.

این مقاله به شرط در دسترس بودن در وبگاه www.opsi.ir معتبر است.

[Downloaded from opsi.ir on 2026-11-13]