

23rd Iranian Conference on Optics and Photonics and 9th Conference on Photonics Engineering and Technology

طراحی و ساخت پوشش پر توشکاف چند لایه در نواحی طول موجی ۵-۳٫۵ و ۱۲-۸ میکرومتر

محدثه آکوچکیان^۱*، محمد جان نثاری^۲، حسین احمدوند^۱

^۱دانشکده فیزیک، دانشگاه صنعتی اصفهان

^۲گروه پژوهشی لایههای نازک، صنایع اپتیک اصفهان، اصفهان، ایران

چکیده – در این پژوهش، طراحی و ساخت نمونهای از پوشش پرتوشکاف تیغهای چند لایه که قابلیت تفکیک دو ناحیهی طول موجی با بیشینهی بازتاب در ۵–۳٫۵ میکرومتر و بیشینهی عبور در ۱۲–۸ میکرومتر را دارد، گزارش شده است. این پرتوشکاف تیغهای بر بسترهی Ge و با استفاده از مواد اولیهی Ge و F625 IR به روش لایهنشانی تبخیر فیزیکی (PVD) در محفظهی خلاء توسط روش پرتو الکترونی و با بهرهگیری از روش ضخامتسنجی کریستالی ساخته شده است. در نهایت نمونهی ساخته شده دارای میانگین بازتاب ۹۳٫۶ درصد در محدودهی طول موجی ۹ میکرومتر و میانگین عبور ۹۶٫۱ و درصد در محدودهی طول موجی ۱۲–۸ میکرومتر است.

كليد واژه- پوشش پرتوشكاف چند لايه، لايهنشانى تبخير فيزيكى.

Design and fabrication of multi-layer beamsplitter coating in 3.5-5 μm & 8-12 μm wavelength regions

Mohadeseh Akouchakiyan^{1*}, Mohammad Jannesari², Hossein Ahmadvand¹

¹ Department Of Physics, Isfahan University of Technology, Isfahan, Iran

²Thin Films Research Group, Isfahan Optic Industry, Isfahan, Iran

Abstract- In this research we report the design and fabrication of multi-layers beamsplitter coating in $3.5-5\mu$ m & $8-12\mu$ m wavelength regions. These multi-layer coated optics can be used to separate $3.5-5\mu$ m (in reflection channel) and $8-12\mu$ m (in transmission channel) wavelength regions. The coating material combination used on Ge substrate was Ge as high index material and IR-F625 as high index material . Deposition was performed by physical vapor deposition (PVD) technique in a vacuum chamber by using electron gun and thermal boat. Quartz crystal was used for thickness control .Result achieve was 93.6% average reflection

in 3.5-5 μm region and 96.1% average transmission in 8-12 $\mu m.$

Keywords: multi-layer beamsplitter coating, physical vapor deposition (PVD)

٨٨١

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

۱– مقدمه

قطعات پرتوشکاف تیغهای لایه نازک، از عناصر مهم و پایه در سامانههای تصویربرداری دو طیفی به شمار میآیند. این پرتوشکافها در جداسازی دو یا چند ناحیهی طول موجی نقشی اساسی ایفا میکنند. ویژگی این پرتوشکافها، عملکرد اپتیکی بالا در جداسازی نواحی طول موجی، وزن و هزینهی ساخت کمتر (درمقایسه با پرتوشکافهای مکعبی)، پایداری محیطی بالا و ... میباشد[۱].

مبنای عملکرد این پرتوشکافها به پدیدهی تداخل امواج در لایههای نازک باز می گردد. با الهام از این پدیده و با لایهنشانی مجموعهی لایهی نازک چند لایه با ضرایب شکست و ضخامت مناسب میتوان ابزار پرتوشکاف تولید نمود. پوششهای پرتوشکاف برای بازهی مشخص طول موجی که میتواند از UV تا IR را در برگیرد و برای زاویهی فرود معین غیرعمود طراحی و ساخته میشوند[1].

با وجود پیشرفتهای زیاد در ساخت سامانههای تصویربرداری دو طیفی که در خدمات شهری گوناگون (ایمنی آتش، جنگل-بانی)، پزشکی، صنعت و بخش دفاعی کاربرد دارند[۲]، نیاز به قطعات پرتوشکاف که نواحی طول موجی ۵–۳٫۵ و ۲۲–۸ میکرومتر را از یکدیگر تفکیک نماید، افزایش یافته است. در این پژوهش، طراحی و ساخت پوشش پرتوشکاف تیغهای بر بسترهی پژوهش، طراحی و ساخت پوشش پرتوشکاف تیغهای بر بستره ژرمانیوم توصیف می شود. نشان داده خواهد شد که این مجموعه، توان بالایی در جداسازی بازههای طول موجی ۵–۳٫۵ و ۲۲–۸ میکرومتر دارا می باشد.

۲- طراحی

نخستین گام در طراحی یک مجموعه یپرتوشکاف تیغهای انتخاب بستره و مواد مورد استفاده است. درواقع یک مجموعه ی چند لایه شامل مواد با ضرایب شکست بالا و پایین که در محدوده ی طول موجی ۵–۳٫۵ و ۲۲–۸ میکرومتر شفاف و در دسترس بوده و دارای جذب اپتیکی اندک و چسبندگی مناسب با یکدیگر و با بستره باشند. این مواد باید دارای ضرایب انبساط خطی و ثابتهای شبکه نزدیک به هم نیز باشند و در فرود انرژی های بالا و شرایط محیطی نامناسب از مقاومت قابل قبولی برخوردار باشد، به گونه یک مجموعه لایه نشانی شده از تنش باقیمانده پایین تر برخوردار باشد[۳]. اختلاف ضریب

شکست بین دو ماده پارامتر مهمی است که در گزینش مواد باید لحاظ شود. هرچه اختلاف ضرایب شکست بین لایهها بیشتر باشد، ضخامت مجموعه لایهنشانی شده کمتر میشود و توان پرتوشکاف در تفکیک نواحی طول موجی، پهنای نواحی عبور و بازتاب و میزان عبور و بازتاب نواحی بیشتر میشود. محاسبات نظری مربوط به طراحی چنین مجموعههایی در اغلب کتابهای اپتیک لایههای نازک موجود میباشد [۴].

با توجه به این ملزومات، ژرمانیوم و IR-F625 به ترتیب به عنوان مواد با ضریب شکست بالا و پایین انتخاب شدند و بر اساس عملکرد اپتیکی بهینه و سطح تنش پسماند پایین، ژرمانیوم به عنوان بستره انتخاب شد. مادهی IR-F625 به صورت ترکیب YF3/BaF2 و در فرم دانهدانه است. این ماده با ضریب شکست ۱۳۸ در ۲۱–۲۵ میکرومتر و بازهی شفافیت ۲۱–۱۹/۰ میکرومتر از خواص مکانیکی و پایداری محیطی مطلوبی برخوردار است[۵]. ژرمانیوم نیز با ضریب شکست ۴ در ۱۲–۲۵ میکرومتر و بازهی شفافیت ۱۴–۲۰ میکرومتر نیز دارای ویژگیهای مکانیکی و پایداری محیطی مطلوبی میباشد[۶].

طراحی پوشش پرتوشکاف که در یک ناحیه یطول موج، عبور و در ناحیهای دیگر بازتاب بالایی داشته باشد، از طراحی هایی است که به ضخامت زیاد لایه ها نیازمند می باشد. ویژگی های مجموعه لایه های نازک را میتوان با نرمافزارهای شبیه سازی لایه های نازک بررسی نمود. این نرمافزارها بر روش ماتریسی که هر ماتریس ۲×۲ به یک لایه نسبت داده می شود، بنا شده اند. می توان ویژگی های عبور و بازتاب مجموعه ی لیه ها را از ماتریس می توان ویژگی های عبور و بازتاب مجموعه ی لیه ها را از ماتریس طراحی و بهینه سازی این مجموعه لایه نشانی با استفاده از نرم-افزار طراحی لایه های نازک [۸]، یک طرح شش لایه به دست آمد که ترتیب و ضخامت فیزیکی لایه های آن به صورت زیراست:

Ge/L(230)/H(380)/L(560)/H(250)/L(1220)/H(70)/Air

که L و H به ترتیب نشان دهنده ی یک چارک موج از مواد انتخابی با ضریب شکست بالا / پایین در طول موج مرجع طراحی (۴۲۵۰ نانومتر) و زاویه ی تابش ۴۵ درجه است. در صورتی که چنین طرحی بر بستره ی ژرمانیوم لایهنشانی گردد، طیف عبوری بر طبق محاسبات نرمافزار طراحی لایههای نازک به صورت زیر فراهم می شود:





شکل ۱: طیفهای بالا مربوط به پوشش پرتوشکاف بر طبق محاسبات نرم افزار طراحی میباشد. این طیفها مربوط به قطبش s، قطبش p و متوسط قطبش s و p در زاویهی ۴۵ درجه است.

نمودار افقی این طیف، برحسب طول موج و نمودار عمودی، درصد بازتاب را نشان می دهد. این طیف ها مربوط به اثرات سطح اول قطعه است که طراحی پرتوشکاف بر روی آن انجام شده است. به عبارت دیگر این طیفها، اثرات سطح دوم را نمایش نمیدهند (برسطح دوم قطعهی پرتوشکاف، در بازهای که برای عبور بالا طراحی شده است (۸–۱۲ میکرومتر)، پوشش نابازتابنده لایهنشانی می گردد). همان گونه که از طرح مشخص است انتظار می رود که پرتو نور در برخورد به پرتوشکاف تحت زاویهی ۴۵ درجه، در بازهی ۵–۵/۵ میکرومتر، دارای میانگین بازتاب ۹۳/۳ درصد (با فرض جذب اندک) و در بازه ی۲۱–۸ میکرومتر دارای میانگین عبور ۹۷/۷ درصد (با فرض جذب اندک) باشد.

۳- نتایج تجربی

لایهنشانی به روش تبخیر فیزیکی در محفظه ی خلاء و توسط تفنگ الکترونی انجام پذیرفت. شستشو بستره نقشی اساسی در پایداری پوشش ساخته شده اجرا می کند. بنابراین قبل از لایه نشانی، بستره ژرمانیوم به کمک مواد شیمیایی و در حضور امواج فراصوت شسته شده و بلافاصله پیش از لایهنشانی به منظور حذف کامل آلودگیها، در محفظه ی خلاء در برابر بمباران یونی قرار گرفتند. فشار پایه ی محفظه در حین لایه نشانی ⁹ ۲۰× میلی بار در نظر گرفته شد. نرخ انباشت لایهها و ضخامت توسط کریستال پیزوالکتریک اندازه گیری شدند. بررسیهای انجام شده با اجرای چند آزمایش تحقیقاتی نشان داد که جهت استحکام و پایداری پوشش و چسبندگی لایهها به هم و بستره و کاهش تنش، از یک لایه واسط اکسیدایتریوم ((Y₂O₃) با ضخامت ناباشت

Y₂O₃ ، گاز اکسیژن به منظور جلوگیری از نقض استوکیومتری در هنگام رشد آن به درون چمبره تزریق می شود. لایه نشانی با انجام پروسههای تحقیقاتی و محاسبه پارامترهای بهینهی بدست آمده انجام پذیرفت. خلاصهای از پارامترهای بهینه در جدول ۱ آورده شده است.

مادہ	نرخ انباشت (A°⁄s)	فشارجزئی اکسیژن (mbar)	دما (°c)
Ge	١.	4×1• -8	۱۸۰
IR-F625	۱۵	4×1• -8	۱۸۰

جدول۱) پارامترهای انباشت لایهها

طیف بازتاب پوشش با طیف سنج تبدیل فوریه مادون قرمز (FTIR) اندازه گیری شد. وجه دوم پوشش ساخته شده به جهت امکان مقایسه ی اطلاعات تئوری شکل ۱ و نتایج تجربی اندازه-گیری، ناصاف گردید و سطح صیقل آن از بین برده شد. شکل ۲ منحنی بازتاب نسبی مجموعه ی ساخته شده نسبت به طلا در زاویه ۴۵ درجه در محدوده ی طول موجهای مورد نظر را نشان می دهد.



شکل۲: طیفهای بالا مربوط به اندازه گیری پوشش پرتوشکاف ساخته شده نهایی می اشد. این طیفهای بازتاب نسبی، مربوط به قطبش s، قطبش p و متوسط قطبش s و p می باشد و در دستگاه FTIR و نسبت به طلا در زاویه ۴۵ درجه گرفته شده است.

این نتایج پس از لایه نشانی تک لایهها و استخراج پارامترهای بهینهی آن، چندین مرحله بهینهسازی و مهندسی معکوس طیف و حذف خطاهای متقارن و غیرمتقارن حین انباشت به دست آمد. با توجه به طیفسنجیهای انجام گرفته، مشخص شد که نور با برخورد تحت زاویه ۴۵ درجه، با میانگین ۹۳٫۶

درصد در بازهی ۵–۳٫۵ میکرومتر بازتاب می شود و با میانگین ۹۶٬۱ ۹۶٬۱ درصد در ۱۲–۸ میکرومتر عبور می کند و به این ترتیب این دو ناحیهی طول موجی از یکدیگر تفکیک می شوند.

۴- نتیجه گیری

می توان با لایه نشانی یک مجموعه چندلایه از مواد با ضرایب شکست بالا و پایین و کنترل شرایط انباشت، یک پوشش پرتوشکاف تیغهای در محدودهی فروسرخ میانی با میانگین بازتاب ۹۳/۶ در ۵–۳/۵ میکرومتر و میانگین عبور ۹۶/۱ در ۱۲– ۸ میکرومتر تولید کرد. بررسیها نشان می دهد که مقادیر به دست آمده با نتایج بهتری نسبت به پژوهش های قبلی حاصل شده است.

مراجع

- Al-Azzawi, A., *Photonics: Principles and Practices*. 2006: CRC Press. p.233
- J. A. Savage , Infrared Optical Materials and Antireflection Coating, Adam Hilger Ltd., Briston and Boston Publication, 1985.
- [3] Harris, D.C., Materials for infrared windows and domes properties and performance. 1999, SPIE: Bellingham, Wash. (1000 20th St. Bellingham WA 98225-6705 USA): p. 205
- [4] Macleod H. A. *Thin Film Optical Filters*,p 209,CRC Press,New York (2010)
- [5] http://www.thinfilmproducts.umicore.com
- [6] Daniel C. Harris, Materials for infrared windows and domesproperties and performance, SPIE – Inst.Soc.Opt.Eng.(1999).ISBN 0-8194-3482-5.
- [7] Ronald R. Willy, practical Design and Production of Optical Thin Film, Secound Edition, p.382, Marcel Dekker Press, 2002
- [8] A. Macleod and C. Clark, *optical Coating Design with the Essential Macleod*: Thin Film Center, Incorporated,2012

٨٨۴