

طراحی و ساخت قطبشگر برای هماهنگ دوم لیزر Nd:YAG

هاشم حجتی راد^۱، محمدهادی ملکی^۲، مریم قشلاقی^۳، ایران حسین زاده^۴

چکیده:

در این تحقیق، طراحی و ساخت قطبشگر برای هماهنگ دوم لیزر Nd:YAG انجام شد. این قطبشگر کاربردهای فراوانی مانند مشخصه یابی قطعات غیرخطی دارد. از لایه نشانی چندگانه جهت بهینه سازی تراگسیل مؤلفه p و بالا بردن انعکاس مؤلفه s به روش انباشت فیزیکی در خلاء (PVD) استفاده شد. سپس با استفاده از طیف سنجی درصد تراگسیل مؤلفه p قطبشگر ساخته شده ۹۶/۴ و درصد انعکاس مؤلفه s، ۲/۴۷ بدست آمد.

واژه‌های کلیدی: قطبشگر، هماهنگ دوم، لیزر Nd:YAG.

۱. مقدمه

قطبشگر قطعه‌ای اپتیکی است که پرتوهای فرودی را تنها در یک راستای قطبش مشخص عبور می‌دهد. امواج الکترومغناطیسی از دیدگاه تغییرات زمانی-فضایی مؤلفه الکتریکی خود، قطبش‌های گوناگونی دارند. برای نمونه، در قطبش‌های طبیعی و دایروی، مؤلفه میدان الکتریکی موج به‌گونه‌ای کاتوره‌ای همه راستاها را می‌پوشاند. زمینه‌های کاربردی و پژوهشی فراوانی وجود دارند که در آنها نیاز به جدا کردن یکی از این مؤلفه‌ها در یک راستای معین و دریافت یک موج الکترومغناطیسی با قطبش خطی یا تخت است. از جمله این کاربردها می‌توان به پردازش لیزری مواد،

آشکارسازی قطبش‌های گوناگون، در ارتباطات و فاصله یاب‌ها، مشخصه یابی و ساخت قطعات کریستال مایع، سنجش و تصویربرداری فلورسانسی قطبش، تداخل سنج‌ها، سیستم‌های اسپکتروسکوپی، سیستم‌های مشخصه یابی قطعات غیرخطی با استفاده از لیزر اشاره کرد.

مواد یا قطعاتی که چنین فرآیندی را به‌انجام می‌رسانند، قطبشگر نامیده می‌شوند.

قطبشگرها عموماً به سه روش ساخته می‌شوند

۱- قطبش به روش جذب گزینشی

۲- قطبش به روش پراکندگی

۳- قطبش به روش بازتاب از سطح دی الکتریک

در حالت جذب گزینشی می‌توان از صفحاتی از جنس پلیمر استفاده نمود به طوری که این صفحات از پلیمرهایی که در راستای ملکولهایی که با نظمی موازی هم چیده شده‌اند تشکیل شده است که نور را در راستای طول پلیمر جذب و در راستای عمود بر آن عبور می‌دهد. در نتیجه با جذب انتخابی در یک امتداد نور خروجی دارای میدان الکتریکی ارتعاشی در یک

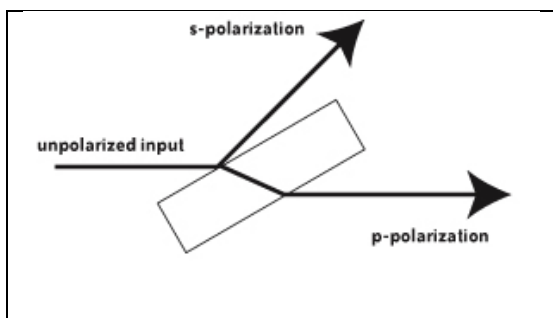
۱. کارشناس ارشد، پژوهشگاه علوم و فنون هسته‌ای، پژوهشکده لیزر و اپتیک. hhojati@aeoi.org.ir

۲. دانشیار، پژوهشگاه علوم و فنون هسته‌ای، پژوهشکده لیزر و اپتیک. mmaleki@aeoi.org.ir

۳. مربی، پژوهشگاه علوم و فنون هسته‌ای، پژوهشکده لیزر و اپتیک. mgheshlaghi@aeoi.org.ir

۴. کارشناس ارشد، پژوهشگاه علوم و فنون هسته‌ای، پژوهشکده لیزر و اپتیک. ihoseinzadeh@aeoi.org.ir

شده‌اند که فیلم‌های دی‌الکتریک با طراحی خاص مورد نیاز در یک طرف آن لایه نشانی می‌شود و در طرف دیگر دارای یک پوشش ضد بازتاب می‌باشند. این قطبشگرها برای فرود غیر عمود نور طراحی می‌شوند که شامل زوایای ۳۰، ۴۵، بروستر و دیگر زوایای دلخواه می‌باشند (شکل ۲).



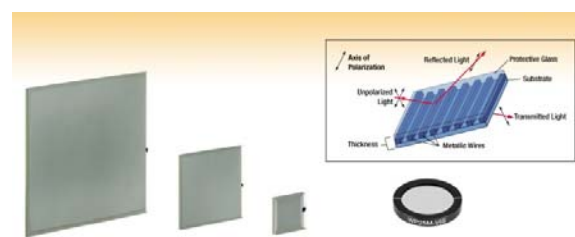
شکل ۲- قطبش نور توسط قطبشگرهای دی‌الکتریک

امروزه انواع بسیار گوناگونی از قطبشگرها موجود می‌باشند اما هر قطبشگر به علت محدودیتهایی که دارد به تنهایی جوابگوی حل تمام مسائل نیست به طوری که کاربردهای مهمی وجود دارند که هنوز قطبشگر ایده‌آلی برای آنها وجود ندارد.

۲. بخش نظری

در روش بازتاب از لایه‌های دی‌الکتریک، که در این پژوهش به کار گرفته شد، از اختلاف دامنه پرتوهای بازتابی یا تراگسیلی برای قطبش‌های گوناگون سود جسته می‌شود. می‌دانیم که ضریب بازتاب دامنه برای قطبش‌های موازی و عمود با صفحه تابش r_p و r_s در تابش با زاویه θ به مرز دو محیط با ضریب شکست نسبی n برابر است با [۲]:

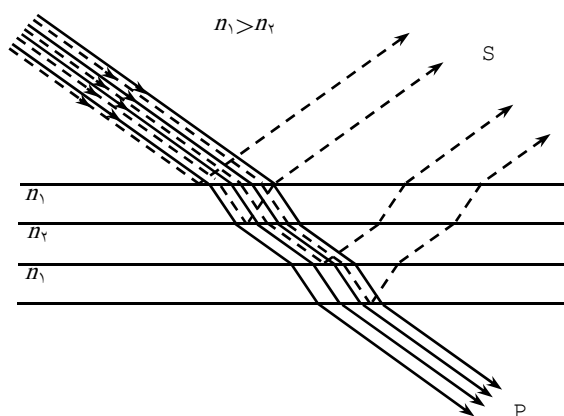
راستای خاص خواهد بود. این صفحات مثل نرده‌هایی عمل می‌کنند که میدان الکتریکی نور را در جهت نرده‌ها عبور و در جهت عمود سد می‌کنند. انواع اولیه این نوع قطبش گر با استفاده از سیم‌های نازک موازی به فاصله خیلی کم ساخته شده بود. این روش مثل استفاده کردن از یک صافی برای یکدست کردن قطبش نور است. در این روش جسم شفاف که مورد استفاده ما است فقط یک نوع قطبش را از خود عبور می‌دهد و قطبش در سایر راستاها را جذب می‌کند و در نتیجه نور عبوری حتماً قطبیده است. بلورهای دورنگ نظیر تورمالین و ورقه‌های پلاروید از جنس پلی‌وینیل الکل مثال‌هایی از این نوع قطبشگر هستند. در شکل ۱ نمونه‌ای از این قطبش گر شبکه‌ای فلزی را مشاهده می‌کنید.



شکل ۱- نمونه‌ای از قطبشگر شبکه‌ای فلزی

در قطبش به روش پراکندگی ذرات موجود در جسم مورد نظر نور تابیده را در جهت تابش جذب کرده و در جهات دیگری غیر از تابش اولیه نور را پراکنده می‌کنند. مثالی در این زمینه پراکندگی نور خورشید توسط ذرات معلق موجود در هوا می‌باشد.

در روش سوم معمولاً از قطبشگرهای فیلم‌های نازک دی‌الکتریک برای عبور و بازتاب مولفه‌های قطبش استفاده می‌گردد. قطبشگرهای فیلم نازک باریکه نور فرودی را با بازدهی بالاتر از ۹۸٪ به مولفه‌های بازتابی و عبوری دلخواه تقسیم می‌کنند ولی از ناحیه طیفی و زاویه‌ای محدودی نیز برخوردارند. قطبشگرهای فیلم نازک تخت از یک صفحه شیشه‌ای مسطح تشکیل



شکل ۳: طرح شماتیک قطبشگرهای بازتابی ساخته شده به روش لایه‌نشانی. [۱]

قطبشگرهای فیلم نازک دی الکتریک معمولاً در لبه Stopband منطقه بازتاب بالا کار می کنند و شامل مجموعه ای از لایه هایی با ضخامت ربع موج و یا غیر ربع موج هستند. وقتی نور تحت زاویه غیر عمود به قطبشگر فیلم نازک برخورد می کند پهنای Stopband برای نور قطبیده P باریکتر از پهنای آن در زاویه فرود عمود می باشد در حالی که پهنای باند برای مؤلفه S عریض تر می شود. بنابراین ناحیه باریکی از طول موج وجود دارد که در آن مؤلفه P نور قطبیده دارای عبور بالا و مؤلفه S آن دارای بازتاب بالا می باشد.

قطبشگرهای فیلم نازک از مزایای منحصربفردی نسبت به بقیه قطبشگرها برخوردارند:

- این نوع قطبشگرها در محدوده وسیعی از طول موج ها قابل طراحی و ساخت می باشند .
- از مزایای این نوع قطبشگرها می توان به طراحی و ساخت بهینه جهت جداسازی مؤلفه های S و P هماهنگ های اصلی لیزر Nd:YAG در تنها یک قطعه اشاره نمود.
- این قطبشگرها از بالاترین عبور نسبت به بقیه قطبشگرها برخوردارند.

$$\begin{cases} r_s = \frac{\cos \theta - \sqrt{n^2 - \sin^2 \theta}}{\cos \theta + \sqrt{n^2 - \sin^2 \theta}} \\ r_p = \frac{-n^2 \cos \theta + \sqrt{n^2 - \sin^2 \theta}}{n^2 \cos \theta + \sqrt{n^2 - \sin^2 \theta}} \end{cases}$$

از سوی دیگر، اگر زاویه تابش برابر با زاویه بروستر باشد، خواهیم داشت: $\theta_B = \tan^{-1} n$

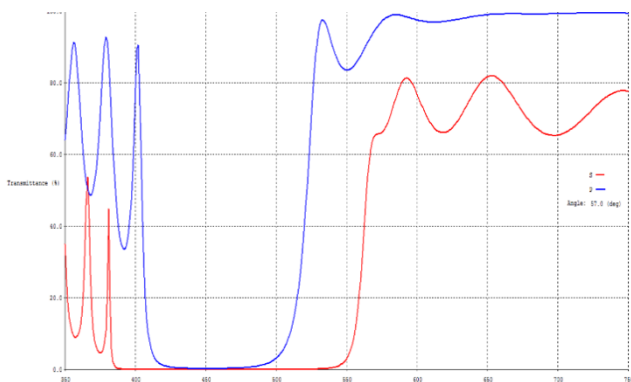
$$\begin{cases} r_s = \frac{\cos(\tan^{-1} n) - \sqrt{n^2 - \sin^2(\tan^{-1} n)}}{\cos(\tan^{-1} n) + \sqrt{n^2 - \sin^2(\tan^{-1} n)}} \\ r_p = 0 \end{cases}$$

که نشان می دهد مؤلفه P بی هیچ بازتابی و مؤلفه S به گونه ای پاره ای تراگسیلیده می شوند. همزمان، بخشی از مؤلفه S نیز به گونه ای خالص بازتابیده می شود. به زبان دیگر، برای یک پرتو فرودی با قطبش دایروی یا طبیعی، پرتو بازتابی دارای قطبش خطی S و پرتو تراگسیلی دارای قطبش بیضوی با چیرگی قطبش P خواهد بود. از اینجا می توان دریافت که اگر این روند در چندین مرز پی در پی تکرار شود، رفته رفته از ناخالصی قطبشی پرتو تراگسیلی نیز کاسته خواهد شد و سرانجام می توان به دو باریکه بازتابی و تراگسیلی جداگانه با قطبش های خطی S و P دست یافت. چالش بنیادی در این زمینه، اختلاف فاز باریکه های به هم رسیده از مرزهای پی در پی است، که می تواند به تداخل کاتوره ای آنها بیانجامد. برای چیرگی بر این چالش، این سطوح را به روش لایه نشانی فراهم می آورند تا با دستکاری ضخامت آنها بتوان اختلاف فازهای گفته شده را به شیوه ای کنترل نمود که هر دسته از باریکه های بازتابی و تراگسیلی در بیرون تداخلی سازنده داشته باشند. این روند، که این پروژه بر آن پایه استوار است، به گونه ای بسیار ساده شده در شکل ۳ نشان داده شده است.

دستیابی به ویژگی‌های اپتیکی دلخواه به دست می‌آید. طراحی انجام شده برای این منظور به صورت زیر می باشد.

$$0.5H (LH)^{10} L .5H$$

سپس در صورت لزوم با تغییر جزئی ضخامت لایه ها می توان به ویژگی های تعیین شده دست یافت [۵].



شکل ۴: نمودار طیف تراگسیلی نمونه طراحی شده

۳. بخش تجربی

در بخش تجربی کار ابتدا به انتخاب مواد لایه نشانی می پردازیم. از جمله موادی که در طول موج ۵۳۲ نانومتر دارای جذب انرژی پایینی می باشند می توان از TiO_2 ، HfO_2 و SiO_2 نام برد. در این لایه نشانی ما از مواد TiO_2 و SiO_2 که دارای اختلاف ضریب شکست مطلوبی در این ناحیه هستند استفاده کردیم. هر دو این مواد به راحتی ذوب شده و مواد بسیار مناسب برای لایه نشانی می باشند. و با توجه به پژوهش های صورت گرفته آستانه تخریب لیزری نسبتاً بالایی نیز دارند.

جنس زیرلایه به دلیل ضریب جذب پایینی که در ناحیه مورد نظر دارد BK7 انتخاب شد.

قبل از لایه نشانی، ابتدا زیرلایه با استون و الکل شسته شده و با پارچه بدون پرز تمیز و خشک شد. سپس زیرلایه بر روی چتر نصب و در داخل دستگاه لایه نشانی قرار داده شد. دستگاه لایه نشانی که در این

- آنها بهترین کیفیت اپتیکی را از لحاظ پراکندگی پایین و اعوجاج بسیار کم جبهه موج و انحرافات ناچیز باریکه نور دارا می باشند.
- آنها می توانند به گونه ای ساخته شوند که پایداری محیطی بسیار خوب و آستانه تخریب بالایی داشته باشند.
- این قطبشگرها به علت محدودیت بازه طول موجی برای سیستمهای لیزری و سیستمهایی که نیاز به باند باریک طول موجی دارند بسیار مناسب می باشند.

برای طراحی این لایه‌ها، نرم‌افزارهای بسیاری همانند Macleod در دست هستند که می‌توان در این زمینه از آنها سود جست [۳]. با این همه، باید دانست این نرم‌افزار برای به دست آوردن تعداد و ضخامت لایه‌ها از روش بهینه‌سازی^۱ بهره می‌گیرد. در این روش، نرم‌افزار با دریافت بیناب یا شدت‌های بازتابی و تراگسیلی، تعداد و ضخامت لایه‌های بایسته را برپایه روش سعی و خطا برآورد می‌نماید. از همین رو، هر یک از لایه‌های پیشنهاد شده ممکن است از ضخامت جداگانه‌ای برخوردار باشند، که ناگفته پیداست از دیدگاه کاربردی چندان مطلوب نمی‌نماید. از سوی دیگر، وجود اندکی خطای آزمایشگاهی در اندازه‌گیری ضخامت هر یک از این لایه‌های نشانده شده، که در عمل ناگزیر خواهد بود، به انباشتگی خطا و از همین رو به از دست رفتن ویژگی‌های کارکردی دلخواه قطبش‌گر ساخته شده خواهد انجامید. برای چیرگی بر این چالش، که این گروه پیش از این در کار با این نرم‌افزار با آن رو به رو بوده است، نخست با بهره‌گیری از روابط تحلیلی در دست و با فرض یک ضخامت اپتیکی یکسان (یک ربع طول موج مرکزی) برای هر دسته از لایه‌های با ضریب شکست پایین L و بالا H، تعداد و ضخامت بایسته برای

P	S	درصد عبور
۰/۲۷	۹۸/۳۵	نظری
۲/۴۷	۹۶/۴	تجربی

جدول ۱: درصد عبور برای مؤلفه های p و s

۴. نتیجه گیری

با استفاده از لایه نشانی چندگانه طراحی و ساخت قطبشگر برای کاربردهای گوناگون که با استفاده از هامونیک دوم لیزر Nd:YAG صورت می گیرد، انجام شد. با استفاده از تغییر ضخامت هر چند اندک لایه ها بعد از طراحی می توان میدان الکتریکی را در داخل لایه ها کاهش داد و باعث افزایش آستانه تخریب لیزری شد [۵].

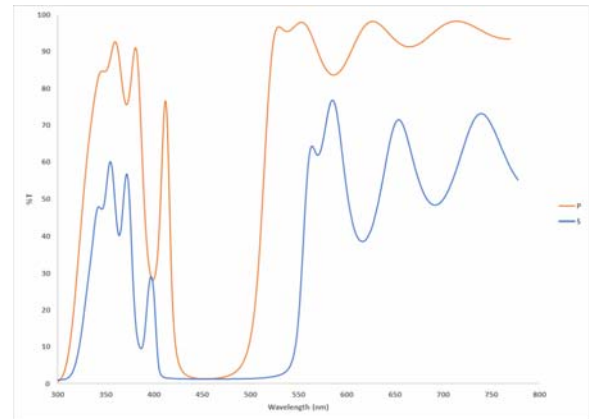
مراجع

- [1] T. Baur and S. McClain, "Polarization Issues in Optical Design" in *Optical System Design*, edited by Robert Fischer, (SPIEpress, McGraw-Hill, 2008), Chap 19.
- [2] J. M. Bennett, "Polarization," in *Handbook of Optics*, edited by M. Bass, (McGraw-Hill, New York, 1995).
- [3] H. A. Macleod; *Thin-film Optical Filters*. (4th edition.) Adam Hilger, Bristol (2010).
- [4] F. Y. Genin; C. J. Stolz; *Morphologies of laser-induced damage in hafnia-si3N4 multilayer mirror and polarizer coatings* (1996).

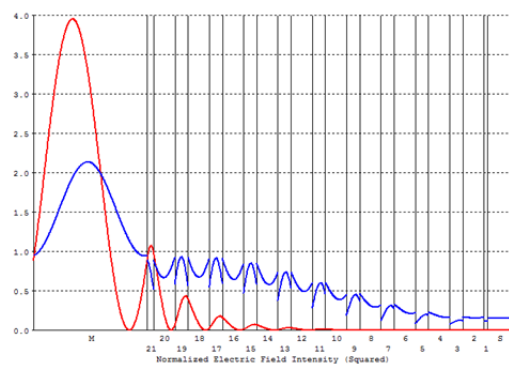
[۵] هاشم حجتی راد، محمدهادی ملکی، سعید باطبی، قاسم عزیزآبادی، زهرا شفیق زاده، «تاثیر توزیع میدان الکتریکی بر آستانه تخریب لیزری چند لایه ها»، کنفرانس فیزیک ایران، ص ۷۲۶-۷۲۹، ۱۳۸۸.

تحقیق استفاده شده دستگاه لایه نشانی BALZERS مدل BA510 می باشد.

بعد از قرار دادن مواد و زیرلایه ها در داخل دستگاه، فشار محفظه به حد فشار 5×10^{-6} Torr رسانده شد. قبل از لایه نشانی، با روش Glow-Discharge در داخل محفظه تمیزکاری انجام گرفت. مواد توسط تفنگ الکترونی و در فشار جزئی اکسیژن 1.5×10^{-4} Torr لایه نشانی شد و ضخامت لایه ها توسط ضخامت سنج کریستالی اندازه گیری شد. جدول ۱ نتایج اندازه گیری درصد تراگسیلی مؤلفه های S و نمونه لایه نشانی شده نشان می دهد.



شکل ۵: نمودار تراگسیلی مؤلفه های p و s قطبشگر ساخته شده



شکل ۶: نمودار شدت میدان الکتریکی بهینه سازی شده

