



## طراحی و ساخت پوشش ضدبازتاب از مواد $\text{YbF}_3$ و $\text{ZnS}$ بر روی بستر $\text{ZnSe}$ مورد نیاز در لیزرهای گاز کربنیک

محمدهادی ملکی<sup>۱\*</sup>، سعید جلوانی<sup>۱</sup>، ایران حسین‌زاده لیش<sup>۱</sup>، هاشم حجتی‌راد<sup>۱</sup>، مریم قشلاقی<sup>۱</sup>، هدی ملاحی<sup>۲</sup>

۱. پژوهشکده‌ی فوتونیک و فناوری‌های کوانتومی، پژوهشگاه علوم و فنون هسته‌ای، سازمان انرژی اتمی ایران، صندوق پستی: ۱۴۱۵۵-۱۳۳۹، تهران - ایران

۲. گروه فیزیک، دانشکده علوم پایه، دانشگاه آزاد اسلامی واحد تهران مرکزی، صندوق پستی: ۱۴۶۹۶۶۹۱۹۱، تهران - ایران

\*Email: mmaleki@aeoi.org.ir

### مقاله‌ی پژوهشی

تاریخ دریافت مقاله: ۹۹/۱/۱۹ تاریخ پذیرش مقاله: ۹۹/۶/۳

### چکیده

قطعات اپتیکی با پوشش ضدبازتاب ساخته شده بر روی زیرلایه  $\text{ZnSe}$  به عنوان یکی از قطعات اپتیکی اصلی لیزر گاز کربنیک محسوب می‌شوند. محدوده طول موجی این پوشش‌های ضدبازتاب در ناحیه فروسرخ دور و در طول موج ۱۰۶۰۰ nm است. معمولاً برای پوشش ضد بازتاب از مواد  $\text{YF}_3$  و  $\text{ZnS}$  استفاده می‌شود. اگرچه برای ساخت آینه‌های بازتاب از جنس طلا و نقره برای طول موج  $1.6 \mu\text{m}$ ، کارهای پژوهشی متعددی در کشور انجام گرفته است، در مورد پنجره اپتیکی ضد بازتاب و یا قسمتی از آن در این طول موج پژوهشی صورت نگرفته است. برای ساخت پوشش ضدبازتاب ابتدا خواص مواد مورد استفاده در این ناحیه طول موجی مورد بررسی قرار گرفت که از میان آن‌ها دو ماده  $\text{ZnS}$  و  $\text{YbF}_3$  انتخاب شدند. سپس طراحی ضدبازتاب در طول موج ۱۰۶۰۰ nm با استفاده از این دو ماده توسط نرم‌افزار Macleod انجام گرفت. در مرحله تجربی، لایه‌نشانی به روش تبخیر فیزیکی در خلأ بر روی یک طرف زیر لایه  $\text{ZnSe}$  توسط دستگاه لایه‌نشانی Balzers- Ba510 انجام شد. عملکرد قطعه بر خروجی لیزر گاز کربنیک ۱۰ W بررسی شده و میزان عبور باریکه لیزر از ضدبازتاب استاندارد، زیرلایه پولیش‌شده و ضدبازتاب طراحی و ساخته شده، مورد اندازه‌گیری قرار گرفت. نتایج نشان‌دهنده عبور میانگین ۷۷٫۸۴٪ در طول موج مورد نظر در قطعه با پوشش ضدبازتاب در صفر درجه ساخته شده است. ریخت‌شناسی و ضخامت لایه‌ها با استفاده از تصویربرداری SEM انجام شده است.

**کلیدواژه‌ها:** پوشش ضدبازتاب، زیر لایه  $\text{ZnSe}$ ،  $\text{YbF}_3$ ،  $\text{ZnS}$ ، لایه‌نشانی، لیزر گاز کربنیک

## Design and fabrication of antireflective optical elements for $\text{CO}_2$ lasers

M.H. Maleki<sup>1\*</sup>, S. Jelvani<sup>1</sup>, I. Hosseinzadeh Lich<sup>1</sup>, H. Hojati Rad<sup>1</sup>, M. Geshlaghi<sup>1</sup>, H. Mallahi<sup>2</sup>

1. Photonics and Quantum Technology Research School, Nuclear Science and Technology Research Institute, AEOI, P.O.Box: 1339-14155, Tehran - Iran

2. Department of Physics, Faculty of Basic Sciences, Islamic Azad University Central Tehran Branch, P.O.Box: 14696691941, Tehran - Iran

### Research Article

Received 7.4.2020, Accepted 24.8.2020

### Abstract

Anti-reflective optical elements prepared on  $\text{ZnSe}$  substrates are the main optical devices in  $\text{CO}_2$  lasers. These anti-reflective coatings are used in the far-infrared region at the specified wavelength of 10600 nm. For the preparation phase of these anti-reflective coatings, first, the characterization of the used materials in this wavelength was investigated and then  $\text{YbF}_3$  and  $\text{ZnS}$  were chosen. However, a lot of research work has been done in the country to make reflection mirrors of gold and silver for a wavelength of 1.6 microns, but no research has been done on anti-reflective optical window or part of it at this wavelength. Then, anti-reflective coating at 10600 nm was designed by the Macleod software using these two materials. These thin films were deposited on one side of  $\text{ZnSe}$  substrates by physical vapor deposition (PVD) method with Balzers- Ba510 coating system. Optical element operation was investigated by a 10 W  $\text{CO}_2$  laser and the transmission was measured for the standard anti-reflection, the polished substrate, and the deposited antireflective element. The results show that the prepared anti-reflective element has 77.84% transmission coefficient. By studying the morphology and thickness of the layers by SEM, it was found that the transmission coefficient of  $\text{ZnSe}$  substrate is optimized by the prepared anti-reflection element.

**Keywords:** Antireflective optical element,  $\text{ZnSe}$  substrate,  $\text{YbF}_3$ ,  $\text{ZnS}$ , Coating,  $\text{CO}_2$  laser





شکل ۱. طیف عبور کریستال ZnSe از ناحیه مرئی تا فرورسرخ دور [۱].

ماده ZnS در ناحیه طیفی وسیعی شفاف می باشد که از  $0.4 \mu\text{m}$  شروع شده و تا  $14 \mu\text{m}$  ادامه می یابد. این ماده، که از ضریب شکست بالایی برخوردار است، اغلب همراه با فلوریدها، که ضرایب شکست پایین دارند، برای ساخت تقسیم کننده باریکه ها، فیلترها، ضد بازتاب ها و ... به کار می روند. اکثر لایه نشانی هایی که در ناحیه فرورسرخ و بالاتر از  $6 \mu\text{m}$  طراحی و انجام می شوند شامل این ماده می باشند. این ماده از جذب و تنش مکانیکی پایینی برخوردار است که استفاده از آن را برای لایه نشانی هایی با ضخامت های چند میکرون نیز ممکن می سازد.  $\text{YbF}_3$  ماده ای با ضریب شکست پایین است که از شفافیت خوبی از ناحیه ماورای بنفش تا فرورسرخ دور برخوردار است. فیلم های نازک ساخته شده از این ماده غیر قابل حل بوده و می تواند جایگزین مناسبی برای  $\text{ThF}_4$  و  $\text{YF}_3$  در بسیاری از کاربردهای مربوط به ناحیه فرورسرخ باشد [۵-۷].

به منظور افزایش کیفیت اپتیکی زیر لایه، کریستال ZnSe با توجه به امکانات این پژوهشگر تا حد  $1/4 \lambda$  مورد پولیش دقیق قرار گرفت ( $\lambda$  طول موج  $632 \text{ nm}$  نانومتر می باشد). با استفاده از نرم افزار Macleod که یک نرم افزار تخصصی لایه نشانی می باشد، طراحی دو لایه از مواد ZnS و  $\text{YbF}_3$  که دارای ضخامت ربع موج در طول موج  $10600 \text{ nm}$  می باشند، انجام گرفت. ضخامت لایه ها و ضریب شکست مواد در جدول ۱ گزارش شده است.

شکل ۲ طیف عبوری نمونه شبیه سازی شده را نشان می دهد که در طول موج  $10600 \text{ nm}$  دارای عبور  $99.15\%$  می باشد. شایان ذکر است که این میزان عبور در صورتی محقق خواهد شد که لایه های نازک طراحی شده در دو طرف زیر لایه، لایه نشانی شود.

## ۱. مقدمه

لیزر گاز کربنیک ( $\text{CO}_2$ ) یکی از پر قدرت ترین و کارآمدترین لیزرهاست که در زمینه صنعت و پزشکی کاربردهای فراوانی دارد. از قطعات اپتیکی به کار رفته در این لیزر می توان به ضد بازتاب های اپتیکی اشاره نمود. با توجه به گسترش استفاده از این لیزر در سطح کشور، طراحی و ساخت این گونه قطعات اپتیکی گام مؤثری در خودکفایی ملی خواهد بود. باریکه لیزری تولید شده توسط این لیزر در محدوده طول موجی فرورسرخ دور  $9 \mu\text{m}$  تا  $11 \mu\text{m}$  با طول موج اصلی  $10600 \text{ nm}$  می باشد. زیر لایه ها و مواد لایه نشانی گوناگونی در محدوده طول موج فرورسرخ مورد استفاده قرار می گیرند که از جمله آن ها می توان به Ge, Si, ZnS, ZnSe (به عنوان زیر لایه) و برخی از انواع فلوریدها شامل  $\text{YbF}_3$ ,  $\text{MgF}_2$ ,  $\text{CaF}_2$ ,  $\text{BaF}_2$  (به عنوان مواد لایه نشانی) اشاره نمود. در میان این مواد، ZnSe (زیر لایه) به دلیل برخی خواص اپتیکی مطلوب از دیگر مواد اپتیکی که در طول موج فرورسرخ کاربرد دارند، متمایز می باشد، به طوری که در بیش تر شرکت های اپتیکی پیشرفته در جهان، قطعات اپتیکی لیزر گاز کربنیک مانند لنز، منشور، ضد بازتاب های اپتیکی، فیلتر و ... از جنس ZnSe ساخته می شوند [۱]. هدف این مقاله، طراحی و ساخت قطعه اپتیکی با پوشش ضد بازتاب (درصدی از عبور) برای آینه جلو لیزر گاز کربنیک به روش تبخیر فیزیکی در خلأ به روش (PVD) بر روی زیر لایه ZnSe با استفاده از لایه های نازک ZnS و ماده جدید  $\text{YbF}_3$  بوده است [۲-۴].

ساخت قطعات ضد بازتاب در طول موج  $10600 \text{ nm}$  از دو جهت حایز اهمیت است: (۱) قطعه ضد بازتاب از اجزای جداناپذیر لیزر گاز کربنیک می باشد. (۲) ساخت این قطعه گام مؤثری در ورود به حوزه طراحی و ساخت انواع لایه های نازک در محدوده فرورسرخ دور با استفاده از ترکیب لایه های جدید از مواد  $\text{YbF}_3$  و ZnS می باشد که تا به حال در کشور انجام نشده و در سطح بین المللی نیز کار بسیار جدیدی است [۵، ۶].

مراحل مختلف ساخت این قطعه به ترتیب به صورت زیر است:  
الف) انتخاب زیر لایه ZnSe، ساییش و پولیش آن،  
ب) طراحی لایه های نازک ضد بازتاب با استفاده از نرم افزار Macleod، شامل انتخاب مواد و تعیین ضخامت لایه ها  
ج) لایه نشانی لایه های نازک طراحی شده

## ۲. انتخاب و آماده سازی زیر لایه و مواد

زیر لایه بلور ZnSe دارای طیف عبوری وسیع از ناحیه مرئی تا فرورسرخ دور (حدود  $70\%$ ) است که از جذب کمی در ناحیه فرورسرخ برخوردار است. طیف عبوری این بلور در شکل ۱ گزارش شده است.

گازکربنیک با توان حدود  $10\text{ W}$  و سپس توان سنج در مقابل باریکه خروجی از نمونه قرار گرفت. نسبت اندازه توان باریکه خروجی لیزر بعد از عبور از نمونه به توان خروجی لیزر (ورودی به نمونه) به عنوان مقیاسی از میزان عبور نمونه ضدبازتاب در نظر گرفته شد. آزمایش‌ها برای سه نمونه، الف) ضدبازتاب استاندارد، ب) زیرلایه پولیش شده قبل از لایه‌نشانی و پ) ضدبازتاب ساخته شده، در دو حالت زیر انجام شد:

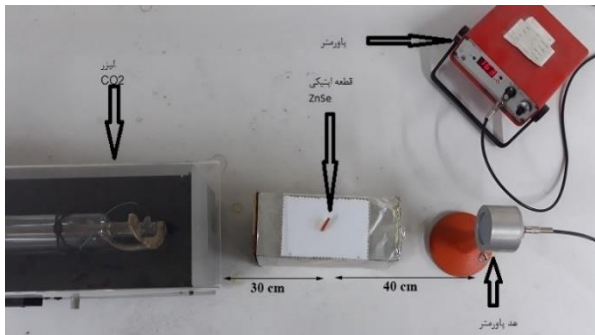
- ۱) زاویه باریکه لیزر و عمود بر سطح نمونه صفر درجه
- ۲) زاویه باریکه لیزر و عمود بر سطح نمونه  $45^\circ$  درجه

#### ۱.۴ اندازه‌گیری درصد عبور در زاویه صفر درجه

اندازه‌گیری درصد عبور در این مرحله برای هر سه نمونه، ضدبازتاب استاندارد، زیرلایه پولیش شده قبل از لایه‌نشانی و ضدبازتاب ساخته شده، به طور جداگانه انجام شد. نمونه در مقابل خروجی پرتو لیزر گازکربنیک قرار گرفت. خروجی لیزر حدود  $10\text{ W}$  تنظیم شد و توان سنج در مقابل پرتو خروجی نمونه قرار گرفت. این آزمایش برای هر نمونه  $10$  بار تکرار شد. در این آزمایش‌ها، نسبت توان خروجی از نمونه به توان لیزر به عنوان مقیاسی برای تعیین میزان عبور نمونه در نظر گرفته شد. نتایج اندازه‌گیری در جدول‌های ۲ تا ۵ گزارش شده است.



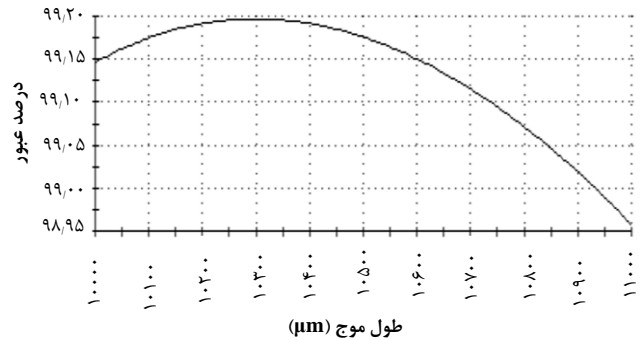
شکل ۳. دستگاه لایه‌نشانی Balzer-Ba510.



شکل ۴. نمایی از چیدمان لیزر و نمونه‌ها برای محاسبه میزان عبور.

#### جدول ۱. طراحی لایه نازک نوع و ضخامت لایه‌ها

نوع لایه	ضخامت اپتیکی	ضخامت (فیزیکی) $(\text{Å})$	ضریب شکست در طول موج $10600\text{ nm}$
لایه اول $\text{ZnS}$	$\frac{\lambda}{4}$	۱۲۰۸۷	۲,۱۹
لایه دوم $\text{YbF}_3$	$\frac{\lambda}{4}$	۱۹۸۸۶	۱,۳۳



شکل ۲. میزان عبور پوشش ضدبازتاب طراحی شده بر حسب طول موج با استفاده از نرم‌افزار Macleod.

#### ۳. لایه‌نشانی

لایه‌نشانی با دستگاه Balzer-Ba510 به روش تبخیر فیزیکی در خلأ توسط تفنگ الکترونی در فشار  $5 \times 10^{-6}$  تور و دمای  $150^\circ\text{C}$  انجام شد (شکل ۳). به منظور لایه‌نشانی نمونه، زیرلایه  $\text{ZnSe}$  روی نگه‌دارنده (چتر دستگاه) قرار گرفت. سپس مواد  $\text{ZnS}$  و  $\text{YbF}_3$  در دو بوتله از جنس مولیبدن قرار داده شد. این مواد توسط باریکه الکترونی تبخیر شدند، به طوری که  $\text{ZnS}$  با ضخامت  $12087\text{ Å}$  و  $\text{YbF}_3$  با ضخامت  $19886\text{ Å}$  روی زیرلایه انباشت شد. ضخامت لایه‌ها توسط ضخامت‌سنج بلور کوآرتز اندازه‌گیری شد.

#### ۴. بررسی عملکرد ضدبازتاب لایه‌نشانی شده با لیزر

##### گازکربنیک $10\text{ W}$

از آن‌جا که طیف طول موجی این قطعه نوری در بازه طول موجی فروسرخ دور  $10600\text{ nm}$  می‌باشد و دستگاه‌های طیف‌سنج اغلب در ناحیه فرابنفش، مرئی و فروسرخ نزدیک کار می‌کنند و توانایی طیف‌سنجی در بازه طول موجی فروسرخ دور را ندارند، به منظور بررسی طیف نمونه ساخته شده، عملکرد قطعه ضد بازتاب ساخته شده با استفاده از خروجی لیزر گازکربنیک در مقایسه با ضدبازتاب استاندارد (نمونه مرجع آینه لیزر گازکربنیک موجود در آزمایشگاه برای لیزرهای کم‌توان پیوسته) موجود در آزمایشگاه بررسی شد. بدین منظور، چیدمانی مطابق شکل ۴ طراحی شد؛ به طوری که نمونه مورد نظر مقابل باریکه لیزر

**۲.۴ اندازه گیری درصد عبور در زاویه ۴۵ درجه**

در این مرحله، زاویه باریکه لیزر و عمود بر سطح نمونه ۴۵ درجه در نظر گرفته شد و اندازه گیری های مرحله قبل تکرار شدند. نتایج برای قطعه استاندارد، زیر لایه پولیش شده قبل از لایه نشانی و قطعه ساخته شده، به ترتیب در جدول های ۶ تا ۷ گزارش شده است.

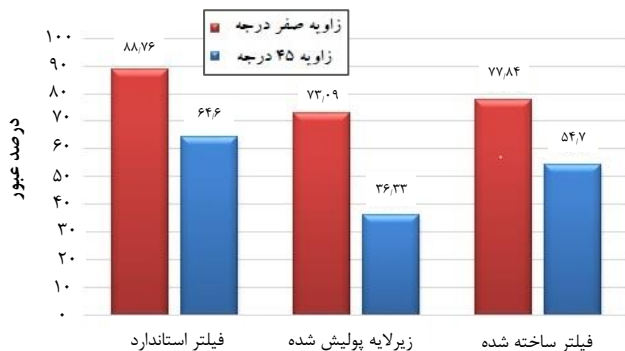
در شکل ۵ درصد عبور برای هر سه نمونه استاندارد، زیر لایه پولیش شده و ضد بازتاب ساخته شده برای دو زاویه صفر و ۴۵ درجه نشان داده شده است. چنان که ملاحظه می شود، بهترین درصد عبور از ضد بازتاب ساخته شده در مقایسه با ضد بازتاب استاندارد مربوط به زاویه ۴۵ درجه است.

**جدول ۶. درصد عبور زیر لایه پولیش شده برای توان های فرودی مختلف لیزر در زاویه ۴۵ درجه**

ردیف	توان خروجی لیزر (W)	درصد عبور	ردیف	توان خروجی لیزر (W)	درصد عبور
۱	۹,۷	۴۲,۱	۶	۹,۵	۴۲,۳
۲	۹,۸	۴۰,۱	۷	۹,۸	۴۳,۰
۳	۹,۶	۴۰,۰	۸	۸,۸	۳۶,۳
۴	۹,۶	۲۶,۲	۹	۸,۲	۳۱,۵
۵	۸,۲	۳۴,۶	۱۰	۹,۳	۲۷,۲
		میانگین درصد عبور			۳۶,۳۳

**جدول ۷. درصد عبور ضد بازتاب ساخته شده برای توان های فرودی مختلف لیزر در زاویه ۴۵ درجه**

ردیف	توان خروجی لیزر (W)	درصد عبور	ردیف	توان خروجی لیزر (W)	درصد عبور
۱	۱۰,۰	۵۰,۱	۶	۱۱,۰۶	۷۰,۱
۲	۹,۳	۵۰,۲	۷	۱۰,۰۷	۶۸,۲
۳	۹,۲	۵۱,۰	۸	۱۰,۰	۵۴,۸
۴	۸,۷	۴۲,۶	۹	۹,۶	۵۲,۰
۵	۱۰,۴	۵۵,۷	۱۰	۹,۶	۵۲,۳
		میانگین درصد عبور			۵۴,۷



شکل ۵. درصد عبور از نمونه های مختلف در دو زاویه ۰ و ۴۵ درجه.

**جدول ۲. درصد عبور ضد بازتاب استاندارد برای توان های فرودی مختلف لیزر در زاویه صفر درجه**

ردیف	توان خروجی لیزر (W)	درصد عبور	ردیف	توان خروجی لیزر (W)	درصد عبور
۱	۱۰,۰	۸۸,۰	۶	۱۰,۱	۸۸,۸
۲	۱۰,۲	۸۹,۷	۷	۱۰	۸۸,۰
۳	۹,۸	۸۶,۲	۸	۱۰,۳	۹۰,۶
۴	۱۰,۴	۹۱,۵	۹	۱۰	۸۸,۰
۵	۱۰	۸۸,۰	۱۰	۱۰,۱	۸۸,۸
		میانگین درصد عبور			۸۸,۷۶

**جدول ۳. درصد عبور زیر لایه پولیش شده برای توان های فرودی مختلف لیزر در زاویه صفر درجه**

ردیف	توان خروجی لیزر (W)	درصد عبور	ردیف	توان خروجی لیزر (W)	درصد عبور
۱	۱۰,۰	۷۳,۱	۶	۱۰,۷	۷۴,۱
۲	۱۰,۵	۷۳,۷	۷	۱۰,۶	۷۳,۲
۳	۱۰,۸	۷۲,۳	۸	۱۰,۹	۷۳,۰
۴	۱۰,۹	۷۴,۰	۹	۱۰,۷	۷۴,۳
۵	۱۰,۶	۷۱,۰	۱۰	۱۰,۵	۷۲,۲
		میانگین درصد عبور			۷۳,۰۹

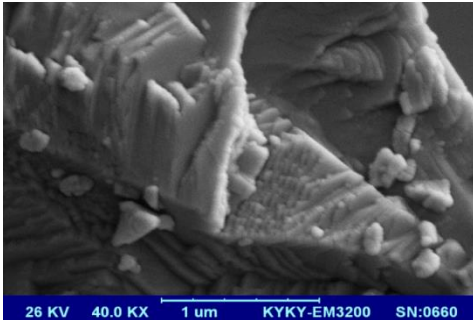
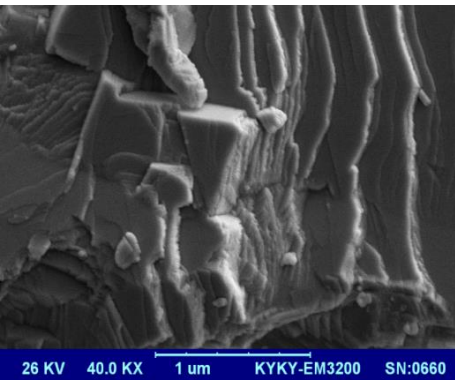
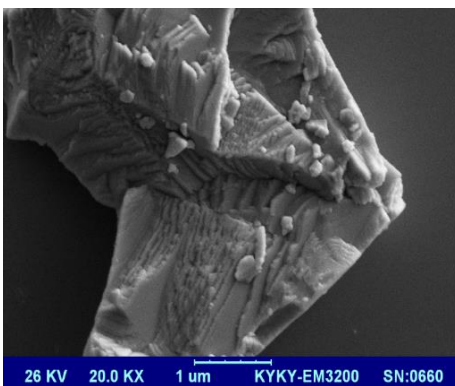
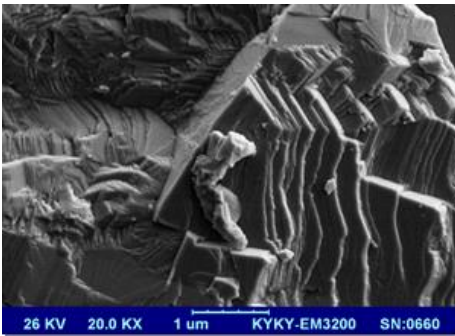
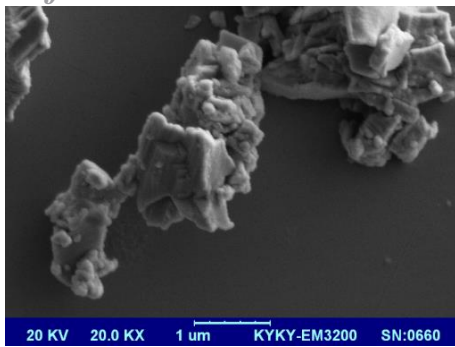
**جدول ۴. درصد عبور ضد بازتاب ساخته شده برای توان های فرودی مختلف لیزر در زاویه صفر درجه**

ردیف	توان خروجی لیزر (W)	درصد عبور	ردیف	توان خروجی لیزر (W)	درصد عبور
۱	۱۰,۰	۷۷,۰	۶	۱۰,۰	۷۸,۷
۲	۱۰,۰	۷۶,۰	۷	۱۰,۰	۷۶,۶
۳	۱۰,۹	۸۰,۱	۸	۱۰,۹	۸۲,۲
۴	۹,۹	۷۵,۵	۹	۱۰,۰	۷۴,۰
۵	۱۰,۹	۸۲,۲	۱۰	۱۰,۰	۷۶,۱
		میانگین درصد عبور			۷۷,۸۴

**جدول ۵. درصد عبور ضد بازتاب استاندارد برای توان های فرودی مختلف لیزر در زاویه ۴۵ درجه**

ردیف	توان خروجی لیزر (W)	درصد عبور	ردیف	توان خروجی لیزر (W)	درصد عبور
۱	۱۰,۰	۶۴,۰	۶	۱۰	۶۴,۰
۲	۱۰,۹	۶۹,۷	۷	۱۰,۰	۶۴,۰
۳	۹,۹	۶۳,۳	۸	۱۰,۱	۶۴,۶
۴	۱۰,۲	۶۵,۲	۹	۹,۸	۶۲,۷
۵	۱۰,۲	۶۵,۲	۱۰	۱۰,۰	۶۴,۰
		میانگین درصد عبور			۶۴,۶





شکل ۶. آنالیز SEM مربوط به لایه نشانی ضدبازتاب بر روی  $\text{ZnSe}$

### ۵. تصویربرداری SEM صافی ساخته شده

به منظور بررسی ریخت‌شناسی، ضخامت لایه‌ها و اندازه ذرات موجود در لایه‌نشانی انجام شده بر روی قطعه ساخته شده، آنالیز SEM انجام گرفت. برخی از تصاویر SEM به دست آمده از این لایه‌ها در شکل ۶ گزارش شده است. لایه‌های تشکیل شده دارای ضخامتی حدود  $100 \text{ \AA}$  (چند لایه اتمی) می‌باشند.

همان‌طور که در شکل‌های SEM با بزرگ‌نمایی گوناگون دیده می‌شود، لایه‌ها به صورت تقریباً عمودی و مایل بر روی زیرلایه، نشانه شده‌اند. همچنین لایه‌های  $\text{ZnS}$  و  $\text{YbF}_3$  به صورت شیارهایی بر روی سطح  $\text{ZnSe}$  قرار گرفته‌اند. این تصاویر نشان‌دهنده کریستالیزه شدن لایه‌ها هستند. با توجه به گزارش‌های قبلی، این وضعیت لایه‌نشانی به معنای بهبود میزان عبور و افزایش آستانه تخریب می‌باشد [۸-۱۰].

### ۶. نتیجه‌گیری

طراحی و ساخت ادوات اپتیکی لیزرهای گاز کربنیک از اهمیت فراوانی برخوردار است، به طوری که برخی از شرکت‌های اپتیکی پیشرفته در جهان مانند  $\text{II-VI Infrared}$  به شکلی انحصاری تنها قطعات نوری لیزر گاز کربنیک را می‌سازند.

هدف اصلی این پژوهش، طراحی و ساخت ضدبازتاب اپتیکی  $\text{ZnSe}$  با ضریب عبور بالا (حدود ۸۸٪ تا ۹۰٪) بود. در آغاز کار یک ضدبازتاب اپتیکی  $\text{ZnSe}$  خریداری شده از شرکت‌های خارجی به عنوان قطعه استاندارد مورد بررسی قرار گرفت. این قطعه دارای دو طرف لایه‌نشانی ضد بازتاب و ضریب عبور حدود ۸۸٫۷۶٪ بوده است. قطعه اپتیکی مذکور به عنوان ضدبازتاب استاندارد و مبنای کار قرار گرفت و ساخت قطعه اپتیکی با ضریب عبور مشابه، در دستور کار قرار گرفت.

قطعه اپتیکی ضدبازتاب ساخته شده در آزمایشگاه لایه‌نشانی فقط بر روی یک طرف از زیر لایه  $\text{ZnSe}$  لایه‌نشانی گردید. نتایج اندازه‌گیری‌ها نشان‌دهنده بالا رفتن ضریب عبور زیر لایه تا حد ۷۷٫۸۴٪ می‌باشد. مقدار ضریب عبور به دست آمده برای لایه‌نشانی یک طرفه روی زیرلایه  $\text{ZnSe}$  مورد قبول و مطلوب می‌باشد و می‌توان نتیجه گرفت که با لایه‌نشانی سمت دیگر زیرلایه، میزان عبور در حدود ۸۸٪ تا ۹۰٪ افزایش خواهد یافت. تصاویر SEM سطح لایه‌نشانی شده نیز حاکی از بهینه شدن میزان عبور و آستانه تخریب لایه نازک می‌باشد. در نهایت لایه‌نشانی کریستال  $\text{ZnSe}$  منجر به ساخت قطعه اپتیکی لیزر گاز کربنیک در بازه طول موجی فروسرخ دور شد.

### تشکر و قدردانی

از آقایان مهندس کاوه سیلاخوری، کوروش حسن‌پور و کوروش شیرآقازاده برای کمک در انجام این پژوهش کمال تشکر را داریم.

1. [http://www. II-VI-infrared.com/ Optical-Materials/ ZnSe/ html](http://www.II-VI-infrared.com/Optical-Materials/ZnSe/html).
2. T.H.A. Macleod, *Thin film Optical filters*, Adam Hilger Ltd (1986).
3. B.S. Patel, *Optical suitability of window materials for CO<sub>2</sub> lasers*, *Applied Optics*, **16**(5), 1232-1235 (1997).
4. R.R. Phillips, et al, *Simple method for antireflection Coating ZnSe in the 20 μm wavelength range*, *Applied Optics*, **47**(7), 870-873 (2008).
5. Y. Zhang, et al, *Determination of infrared refractive index of ZnS and YbF<sub>3</sub> thin films by spectroscopy*, *Optik*, **170**, 321-327 (2018).
6. T. Amotchkina, et al, *Characterization of e-beam evaporated Ge, YbF<sub>3</sub>, ZnS, and LaF<sub>3</sub> thin films for laser-oriented coatings*, *Applied Optics*, **59**, Issue 5, A40-A47 (2020).
7. B. Ucer, *Design and Production of Anti reflection Coating For Ge, ZnSe And ZnS In 8-12 μm Wavelength region*, A thesis submitted to the Graduate School of natural and applied sciences of the middle east technical university (2009).
8. D. Cohen, et al, *Dual and triple band AR coatings for IR systems*, Proc. SPIE 8704, *Infrared Technology and Applications XXXIX*, 870422 (June 18, 2013).
9. Y. Pan, et al, *Design and fabrication of ultra-broadband infrared antireflection hard coatings on ZnSe in the range from 2 to 16 μm*, *Infrared Physics & Technology*, **52**, 193–195 (2009).
10. M. Gheshlaghi, et al, *Coating optimization of 50w medical CO<sub>2</sub> laser metal mirrors using substitute materials of Au*, *Annual Physics Conference of Iran*, 2009 (in Persian).

**COPYRIGHTS**

©2021 The author(s). This is an open access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution (CC BY 4.0), which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, as long as the original authors and source are cited. No permission is required from the authors or the publishers.



## استناد به این مقاله

محمدهادی ملکی، سعید جلوانی، ایران حسینزاده لیش، هاشم جعتی‌راد، مریم قشلاقی، هدی ملاحی (۱۴۰۰)، طراحی و ساخت پوشش ضدبازتاب از مواد ZnS و YbF<sub>3</sub> بر روی بستر ZnSe مورد نیاز در لیزرهای گازکربنیک، ۹۵، ۹۲-۹۷

DOI: 10.24200/nst.2021.1189

Url: [https://jonsat.nstri.ir/article\\_1189.html](https://jonsat.nstri.ir/article_1189.html)