بیست و ششمین کنفرانس اپتیک و
فوتونیک ایران و دوازدهمین کنفرانس
مهندسی و فناوری فوتونیک ایران،
دانشگاه خوارزمی،
تهران، ایران.
۱۵-۱۶ بهمن ۱۳۹۸

طراحی نانولایه‌ی ضدبازتاب سیلیکا در ناحیه طول موجی ۸۰۰ تا ۱۵۰۰ نانومتر

مسعود کاوش تهرانی، سید محمد حسن نریمانی

دانشگاه صنعتی مالک اشتر، مجتمع علوم کاربردی

چکیده – در این مقاله با استفاده از نرم‌افزار لومریکال به طراحی نانولایه ضد بازتاب در ناحیه طول موجی ۸۰۰ تا ۱۵۰۰ نانو متر پرداخته شده است. لایه و زیر لایه از جنس سیلیکا انتخاب شده است. هندسه سطح لایه چشم حشره‌ای انتخاب می‌گردد. با تغییر طول تناوب، ارتفاع و هندسه سطح به یک لایه نابازتابنده خواهیم رسید. نشان داده می‌شود که میزان عبور در این ناحیه طول موجی بین ۹۸.۸٪ تا ۹۹.۳٪ است که بیشترین عبور در ناحیه طول موجی (۱۰۲۰-۱۰۸۰) نانومتر و کمترین عبور آن در ناحیه‌ی طول موجی (۱۳۰۰-۱۵۰۰) نانومتر است.

کلید واژه- ساختار چشم حشره‌ای، لایه ضد بازتاب، نانولایه، نرم‌افزار لومریکال

Design of silica anti-reflection nano layer in the wavelength range 800 to 1500 nm

Masoud Kavosh Tehrani, Seyed Mohammad Hassan Narimani

Malek astar University and Technology, Faculty of applied science

Abstract- In this paper, the design of an anti-reflection nano layer in the wavelength range of 800 to 1500 nm is investigated using Lumerical software. The layer and substrate are selected from silica. The surface geometry of the layer is selected by the Moth-Eye. By changing the rotation period, height, and surface geometry, we will reach an anti-reflective layer. It is shown that the transmittance in this wavelength region is between 98.8% to 99.3% with the highest transmittance in the wavelength region (1020-1080) nm and the lowest transmittance in the wavelength region (1300-1500 nm).

Keywords: Anti-reflective layer، Lumerical software, Moth-Eye structure, Nano layer

این مقاله درصورتی دارای اعتبار است که در سایت www.opsi.ir قابل دسترسی باشد.

[Downloaded from opsi.ir on 2026-02-04]

مقدمه

استفاده از پوشش‌های ضد بازتاب به‌منظور کاهش حداکثری بازتاب از سطح است، که کاربرد آن در بسیاری از زمینه‌ها من‌جمله سلول‌های خورشیدی، دیودها، شیشه‌های ضد بازتاب، آشکارسازهای فوتوالکترونی، حسگرها و ... است [۱].

توجه به معماری‌های شگفت‌انگیز سطوح در طبیعت می‌تواند ما را در ساخت سطوح با خواص مختلف یاری نماید [۱]. ازجمله این معماری‌های شگفت‌انگیز، چشم حشره‌ی بید است که خاصیت ضد بازتاب بسیار خوبی در ناحیه مرئی دارد، با توجه به هندسه لایه‌های سطحی چشم این حشره، لایه‌های ضدبازتاب با عملکرد فوق‌العاده را می‌توان با تغییر ابعاد هندسه سطح در نواحی مختلف طول‌موجی من‌جمله مادون‌قرمز دور و نزدیک طراحی کرد.

از مهمترین مزایای ساختار ضدبازتاب چشم حشره‌ای نسبت به ساختارهای چندلایه [۲]:

۱- عبور بالاتر و بازتاب بسیار کمتر

۲- عدم مشکل چسبندگی لایه ها

۳- امکان دریافت پاسخ های اپتیکی متنوع بوسیله تغییر ابعاد ساختار

از مهم‌ترین کاربردهای دفاعی- نظامی لایه‌های چشم حشره‌ای، ضدبازتاب کردن سطح تا حد ممکن است. ازجمله این کاربردها در ناحیه مادون‌قرمز نزدیک که پدافند غیرعامل محسوب می‌شود، عبارت‌اند از:

۱- جلوگیری از مارک شدن توسط منابع لیزری:

عملیات مارک کردن به این صورت است که ابتدا پالس‌های رمزگذاری شده توسط منبع لیزر به سمت هدف موردنظر تابانده شده و بازتاب سیگنال‌های برخوردی به سمت آسمان پرتاب‌شده و توسط موشک‌ها، بمب‌افکن‌ها، پهپادهای جاسوسی و ... دریافت شده و آن‌ها را به سمت هدف هدایت می‌کند. منابع استفاده‌شده عموماً در ناحیه مادون‌قرمز نزدیک بوده و مهم‌ترین منبع لیزری که عملیات مارک کنندگی را انجام می‌دهد لیزرهای حالت‌جامد Nd-YAG با طول‌موج ۱۰۶۴ نانومتر است.

۲- جلوگیری از شنود لیزری:

شنود لیزری به‌عنوان یکی از روش‌های پیشرفته جهت استراق سمع مکالمات درون اتاق از سطح بیرونی شیشه پنجره شناخته می‌شود. درشنود لیزری از پرتو لیزر برای تشخیص ارتعاشات به وجود آمده بر روی یک هدف دوردست (شیشه پنجره) استفاده می‌شود که اغلب از لیزرهای دیودی نیمه‌رسانا در ناحیه مادون‌قرمز نزدیک تا ۱۵۰۰ نانومتر استفاده می‌شود[۲]. روش کار به اینگونه است که با تاباندن لیزر به شیشه و دریافت بازتاب آن می‌توان ارتعاشات شیشه را آشکارسازی کرده و به این ترتیب استراق سمع نمود.

در این مقاله، هدف طراحی سطحی از جنس سیلیکا با ساختار چشم حشره‌ای است که بازتاب را نسبت به حالت سطح تخت به حداقل برساند

طراحی لایه ضد بازتاب

نرم‌افزار لومریکال یکی از قدرتمندترین نرم‌افزارهای شبیه‌سازی ادوات اپتیکی و نانو فوتونیکی در سطح جهانی است، چراکه توسط کمپانی‌های بزرگی همچون فیلیپس، بوش، سامسونگ، اپل و ... و همچنین توسط مؤسسات مختلف دانشگاهی کمبریج، هاروارد، استنفورد، ماکس پلانک، سندیاگو و ... مورد حمایت و استفاده قرارگرفته است. محیط FDTD نرم‌افزار با حل معادلات ماکسول در سه بعد به انجام شبیه‌سازی در ناحیه مرزی مشخص‌شده می‌پردازد. لذا طراحی لایه ضد بازتاب چشم حشره‌ای توسط محیطFDTD این نرم افزار انجام شده است.

با توجه به کاربردهای ذکر شده بازه طول‌موجی در محدوده‌ی (۱۵۰۰-۷۸۰) نانومتر انتخاب شده است. مرحله اول برای شروع شبیه‌سازی انتخاب ماده است. سیلیکا ماده‌ای است که دارای ویژگی‌های اپتیکی مناسب در این ناحیه طول موجی است. در ضمن سهولت در تهیه و قیمت پایین دارد.

مرحله دوم، تعیین پارامترهای مؤثر بر عملکرد لایه‌های چشم حشره‌ای ضدبازتاب است که عبارت‌اند از:

۱- ارتفاع مؤثر لایه‌های چشم حشره‌ای:

در سال ۱۸۸۰ رایلی به بررسی ارتباط طول‌موج پرتو ورودی و ارتفاع مؤثر ساختار بر ای رسیدن به کمترین بازتاب پرداخت. وی به این نتیجه رسید که با افزایش طول‌موج، باید ارتفاع ساختار نیز کاهش یابد [۲]. برای رساندن بازتاب به کمتر از ۱٪ باید تقریباً ارتفاع بزرگ‌تر از یک‌سوم طول‌موج باشد [۳،۲]. با توجه به بیشینه طول‌موج انتخابی در این طراحی، ارتفاع مؤثر بایستی بیشتر از ۵۰۰ نانومتر انتخاب گردد.

۲- فاصله‌ی بین دو قله (اندازه گام):

طی بررسی‌های انجام‌شده برای رسیدن به کمترین بازتاب و بیشترین عبور باید رابطه زیر برقرار باشد [۵،۴،۲]:

$$P \leq \frac{\lambda_{\min}}{n_1 - n_\circ \sin\theta_i} \qquad (۱)$$

که در اینجا P اندازه گام، $\lambda_{\min}$ کمترین طول موج، n_1 ضریب شکست ماده و n_o ضریب شکست محیط است. با توجه به اینکه متوسط ضریب شکست سیلیکا ۱.۴۵ در این ناحیه‌ی طول‌موجی است، پس طبق رابطه بالا فاصله بین دو برآمدگی باید کمتر از ۷۳۰ نانومتر باشد.

این مقاله درصورتی دارای اعتبار است که در سایت www.opsi.ir قابل دسترسی باشد.

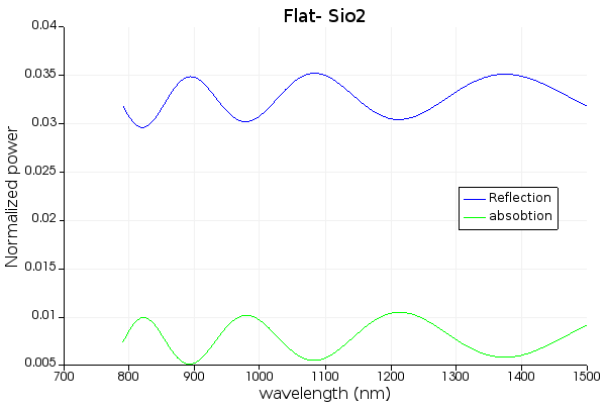
[Downloaded from opsi.ir on 2026-02-04]

روش ساخت

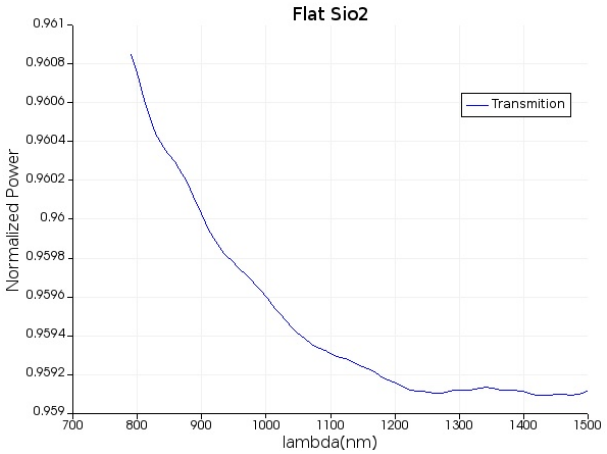
لیتوگرافی نانو چاپ روشی نو، و نسبت به سایر روشها کم هزینه و ساده است. بازده آن بالا بوده و به واسطه دقت بالای آن امروزه بسیار مورد استفاده قرار می‌گیرد. لیتوگرافی نانو چاپ فرایند انعکاسی مکانیکی است که بر اساس قالب‌گیری فشاری انتقال الگو، جهت ساخت میکرو و نانو ساختارها به کار می‌رود. این روش ازجمله روش‌های غیرتابشی است که در آن استمپ با الگوی مناسب درون فیلم نازک فشرده می‌شود. با اعمال فشار، مایع مقاوم، درون الگوی استمپ را پر می‌کند. برای ساخت نانو استمپ های بالای ۲۰۰ نانومتر از لیتوگرافی نوری استفاده می‌شود [۲، ۶، ۷]. با توجه به ابعاد ساختار طراحی شده این ساختار قابلیت ساخت با این روش را دارد.

بحث و نتیجه

جهت بررسی تاثیر عملکرد لایه‌ی ضد بازتاب چشم حشره‌ای نسبت به حالت تخت، ابتدا لایه سیلیکا با سطح تخت و ضخامت ۱ میکرومتر، با استفاده از محیط FDTD نرم‌افزار لومریکال شبیه‌سازی و میزان عبور و بازتاب آن به‌دست آورده شد. لازم به ذکر است جهت حذف اثرات جذب و اثرات مرزی بعد از عبور پرتو از لایه‌ی سیلیکا، آشکارساز را در فاصله ۰.۲ میکرومتری از مرز بالای لایه سیلیکا قرار داده‌ایم. برای نزدیک شدن محیط شبیه‌سازی به محیط عملی از منبع نوری گوسی استفاده شده است. با توجه به شکل (۱) مشاهد می‌گردد که میزان بازتاب در ناحیه طول موجی مورد نظر بین ۳٪ تا ۳.۵٪ است و میزان جذب بین ۰.۵٪ تا ۱٪ است که به‌صورت تناوبی تغییر می‌کند. همچنین میزان عبور در این ناحیه طول موجی با توجه به شکل (۲)، بین ۹۵.۹۱٪ تا ۹۶.۰۸٪ به‌دست آمد. با توجه به مراجع مربوط به سیلیکا میزان بازتاب و عبور به‌دست آمده مطابق با نتایج تجربی است که این نشان دهنده صحت نتایج شبیه‌سازی برای سیلیکای تخت و معیاری برای نتایج شبیه‌سازی ساختار چشم‌حشره‌ای است.



شکل ۱: توان بهنجارشده (میزان بازتاب و جذب) برحسب طول موج برای لایه ی سیلیکای تخت

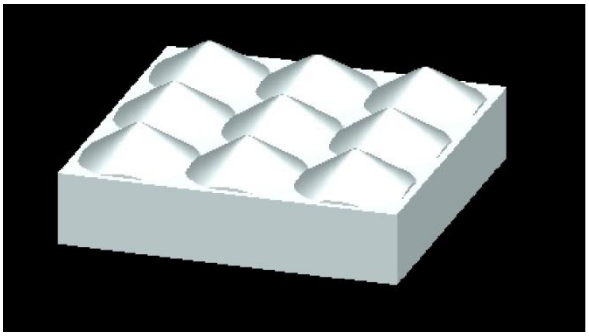


شکل ۲: توان بهنجارشده (میزان عبور) برحسب طول موج برای لایه ی سیلیکای تخت

ساختار چشم حشره ای طراحی شده مطابق شکل (۳) است. پس از طراحی اولیه و انجام بهینه‌سازی روی ساختار چشم حشره ای، ارتفاع مؤثر ۵۰۰ نانومتر و اندازه گام ۷۰۰ نانومتر تعیین شد. این انتخاب شرط رابطه‌ی (۱) را برآورده می کند. معادله سطح در حالت کلی به صورت زیر است.

$$z = \frac{cr^2}{1+\sqrt{1-1(1+k)c^2r^2}} \qquad (۲)$$

در اینجا c انحنای سطح r مختصات شعاعی سطح و k ثابت مخروطی سطح است. در این طراحی پس از بهینه‌سازی ثابت مخروطی سطح مقدار ۱.۵- ، انحنای سطح ۲۰ نانومتر و بیشترین شعاع در کف سطح ۳۵۰ نانومتر تعیین گردید.



شکل ۳: ساختار چشم حشره ای طراحی شده

با توجه به شکل (۴) مشاهد می‌گردد که میزان بازتاب در این ناحیه طول موجی پس از بهینه‌سازی بین ۰.۴٪ تا ۰٪~ است که به‌صورت تناوبی تغییر می‌کند.

کمترین میزان بازتاب درطول موجهای (۷۸۰-۸۰۰) و (۸۹۰-۹۲۰) نانومتر بیشترین بازتابها در طول موج ۱۵۰۰ نانومتر رخ می دهد. همچنین میزان عبور در این ناحیه طول موجی بین ۹۸.۸٪ تا ۹۹.۳٪

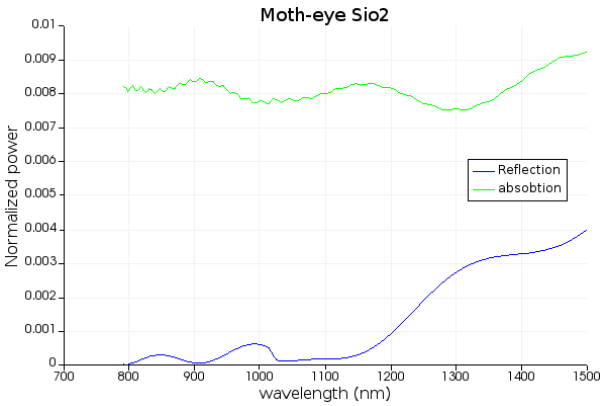
این مقاله درصورتی دارای اعتبار است که در سایت www.opsi.ir قابل دسترسی باشد.

[Downloaded from opsi.ir on 2026-02-04]

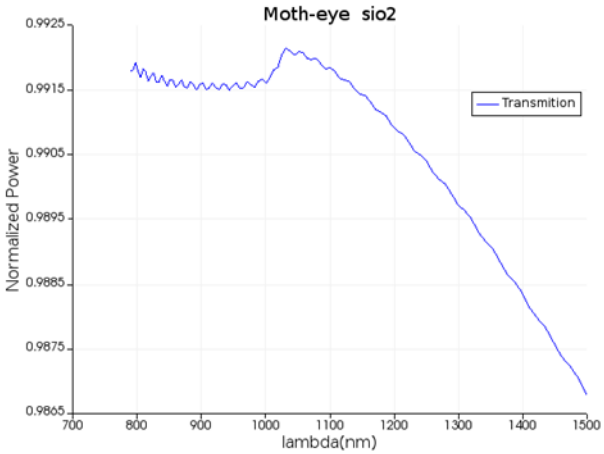
است که بیشترین عبور در طول موج (۱۰۲۰-۱۰۸۰) نانومتر و کمترین عبور آن که کمتر از ۹۹٪ در طول موج (۱۳۰۰-۱۵۰۰) نانومتر است. در ضمن برای طول موج ۱۰۶۴ نانومتر برای لایه‌نشانی تخت میزان عبور و بازتاب به ترتیب ۹۵.۹٪ و ۳.۵٪ بوده است که پس از لایه‌نشانی چشم حشره‌ای این میزان به ترتیب به ۹۹.۲٪ و ۰.۰۱٪ کاهش یافته است که نشان دهنده عملکرد فوق العاده‌ی لایه‌های چشم حشره‌ای با کاهش ۳۵۰ برابری بازتاب برای لیزر Nd-YAG با طول موج ۱۰۶۴ نانومتر است.

باتوجه به مزایای لایه های چشم حشره ای سیلیکا و کاربردهای دفاعی و نظامی که در مقدمه ذکر شد میتوان از آن به عنوان لایه ضد بازتاب با کمترین میزان بازتاب نسبت به لایه تخت در این ناحیه طول موجی استفاده نمود.

همچنین با توجه به شبیه سازی انجام شده ونتایج خروجی از نرم افزار حداکثر میزان عبور لایه ی چشم حشره ای ۹۹.۲ میباشد ، اما درعمل وهنگام ساخت به خاطر خطاهای ساخت ممکن است کمی کمتر شود.



شکل ۴: توان بهنجارشده(میزان بازتاب و جذب) برحسب طول موج برای لایه ی چشم حشره ای



شکل ۵: توان بهنجارشده(میزان عبور) برحسب طول موج برای لایه‌ی چشم حشره‌ای

دلیل نوسانات کوچک در ضرایب بازتاب و جذب و عبور آثار تداخلی ناشی از ساختار چشم حشره ای است.

محاسبات نشان میدهد که درتمامی ناحیه طول موجی حاصل جمع ضریب عبور،جذب و بازتاب برابر با یک میباشد.

مرجع‌ها

[1] Z.W.Han ,Z.Wang ,Antireflective surface inspired from biology ,Biosurface and Biotribology2,2016

[۲] مهشید صمدی دارافشانی ، اکبر اسحاقی ، نانوساختارهای ضدبازتاب طراحی شده بر اساس ساختار چشم حشرات ، فصلنامه سرامیک ایران ، شماره ۴۵ ، بهار۹۵

[3] P. B. Clapham and M. C. Hutley, Reduction of lens reflexion by the “Moth Eye” principle, Nature 244 (1973)281-282

[4] A. Taylor, I. Parkin, N. Noor, C. Tummeltshammer, M. S. Brown and I. Papakonstantinou, A bioinspired solution for spectrally selective thermochromic VO2 coated intelligent glazing, Optics Express 21 (2013) A752-A764.

[5] S. J. Wilson and M. C. Hutley, The optical properties of'moth eye antireflection surfaces, Journal of ModernOptics 29 (1982) 993-1009.

[6] H. Schift, Nanoimprint lithography: an old story in modern times? a review, Journal of Vaccum Science and Technology B 26 (2008) 458-482

[7] H. Lan and Y. Ding, Nanoimprint lithography, Lithography Rijeka: InTech (2010) 457-494.

این مقاله درصورتی دارای اعتبار است که در سایت www.opsi.ir قابل دسترسی باشد.

[Downloaded from opsi.ir on 2026-02-04]