# ساخت صافی نوری میان گذر ۲۲۲ نانومتر برای تولید تابش فرابنفش ضدعفونی کننده ایمن

**قاسمی ارزنانی، کیمیا[۱]؛ رشیدیان وزیری، محمدرضا[۲و۳]؛ پروین، پرویز[۱]**

[۱] دانشکده فیزیک و مهندسی انرژی، دانشگاه صنعتی امیرکبیر، تهران، ایران

[۲] گروه فیزیک، دانشکده علوم، دانشگاه فردوسی، مشهد، ایران

[۳] پژوهشکده فوتونیک و فناوری‌های کوانتومی، پژوهشگاه علوم و فنون هسته‌ای، تهران، ایران

## چکیده

*در این مقاله با انتخاب زیرلایه و لایه‌های نازک مناسب، صافی نوری میانگذری که بتواند طیف تابش فرابنفش ایمن (در محدوده ۲۱۰ تا ۲۶۰ نانومتر با بیشینه عبوردهی در ۲۲۲ نانومتر) را تولید کند ساخته شده است. ابتدا زیرلایه‌های مناسب از جنس شیشه کوارتز نوری برش خورده و با کیفیت ربع موج سطح ساخته شده است. طراحی صافی میان‌گذر ۲۲۲ نانومتر با استفاده از نرم افزار مک‌لود بدست آمده است. لایه‌نشانی مواد آلومینیوم و فلورید منیزیوم با استفاده از روش تبخیر فیزیکی بر روی بستر آماده شده و مطابق با طراحی انجام شده است. طیف گذردهی نوری صافی ساخته شده با استفاده از روش طیف‌سنجی مرئی-فرابنفش اندازه گیری شده است. نتایج بیانگر کیفیت مطلوب نوری صافی ساخته شده و مطابقت خروجی آن با صافی طراحی شده است.*

**واژه های کلیدی:**

*صافی نوری، تابش فرابنفش، تابش فرابنفش ضدعفونی کننده ایمن، طول موج ۲۲۲ نانومتر*

# Preparation of Bandpass optical filters at 222 nm for generation of safe germicidal ultraviolet irradiation

**Ghasemi Arzanani, Kimiya[1]; Rashidian Vaziri, Mohammad Reza[2,3]; Parvin, Parviz[1]**

*[1] Department of Physics and Energy, Amirkabir University of Technology, Tehran, Iran*
*[2] Department of Physics, Faculty of Sciences, Ferdowsi University, Mashhad, Iran*
*[3] Photonics and Quantum Technologies Research School, NSTRI, Tehran, Iran*

## Abstract

*In this paper, by selecting appropriate substrate and thin film materials, optical bandpass filters enabled of generation of safe UV radiation were prepared. First, appropriate substrates were cut from quartz optical glass and prepared with quarter wave quality. Design of 222 nm bandpass filter was created by Macleod software. Coating of Al and $MgF_2$ materials were done by PVD approach on the prepared substrates according to the design. Optical transmission spectrum of the prepared filter was measured by UV-Vis spectroscopy technique. The results indicate the good optical quality of the prepared filter and its transmission output conformity with the designed one.*

***Keywords**:*
*Optical filter, Ultraviolet irradiation, safe germicidal ultraviolet irradiation, 222nm wave length*

### مقدمه

تابش فرابنفش ضدعفونی‌کننده تابشی در طول‌موج های نوری فرابنفش در محدوده ۲۰۰-۳۲۰ نانومتر است که برای ضدعفونی-سازی هوا و سطوح مورد استفاده قرار می‌گیرد. این نوع تابش خود به دو زیر ناحیه ضدعفونی‌کننده C (۲۰۰-۲۸۰ نانومتر) و ضدعفونی‌کننده B (۲۸۰-۳۲۰ نانومتر) تقسیم‌بندی می‌شود. تابش فرابنفش در ناحیه طول موجی ۳۲۰-۴۰۰ نانومتر، ضدعفونی‌کننده نیست (۱).

تابش فرابنفش ضدعفونی کننده می‌تواند با ایجاد تغییرات فتوشیمیایی در اسیدهای نوکلئیک، توانایی تولید مثل میکروارگانیسم‌ها را از بین ببرد. طول‌موج‌های در محدوده فرابنفش

C به سلول‌ها آسیب می‌رسانند زیرا توسط اسیدهای نوکلئیک و پروتئین‌ها جذب می‌شوند. اگرچه روش‌ها و جزئیات ضدعفونی با تابش فرابنفش شناخته شده است، اما باید تا آنجا که می‌توان سیستم‌های ضد عفونی کننده را با تأثیرات قابل پیش‌بینی طراحی و نصب کرد. کارایی میکروب‌کشی در بازه طول موجی ۲۱۰–۲۶۰ نانومتر بیشینه است (۲).

طول موج مد نظر ما (۲۲۲ نانومتر) در محدوده طول موجی مناسب برای میکروب کشی قرار دارد. این طول موج بر روی DNA و RNA عوامل بیماریزا تغییر ایجاد کرده و میتواند علاوه بر نابودی آن عامل از تکثیر آن نیز جلوگیری نمایید پس میتواند به عنوان یک عامل ضدعفونی کننده استفاده شود (۳).

صافی‌های میان‌گذر نوری، ابزارهای نوری هستند که امکان عبوردهی نور را تنها در یک ناحیه طول موجی خاص، که پهنای آن تحت عنوان پهنای عبور صافی شناخته می‌شود، فراهم کرده و به نورهای با طول‌موج های بلندتر و کوتاه‌تر از آن اجازه عبور نمی‌دهند. صافی‌های نوری میان‌گذر به دو زیرگروه اصلی صافی‌های میان‌گذر با پهنای عبور زیاد و صافی‌های میان‌گذر با پهنای عبور کم تقسیم‌بندی می‌شوند (۲). به طور کلی، دست‌یابی به یک طول موج مشخص بدون داشتن پهنای نیم بیشینه امکان پذیر نیست. جداسازی یک محدوده و به طور خاص یک طول موج مشخص، از یک ناحیه طول موجی بدون داشتن صافی‌های نوری امکان پذیر نیست.

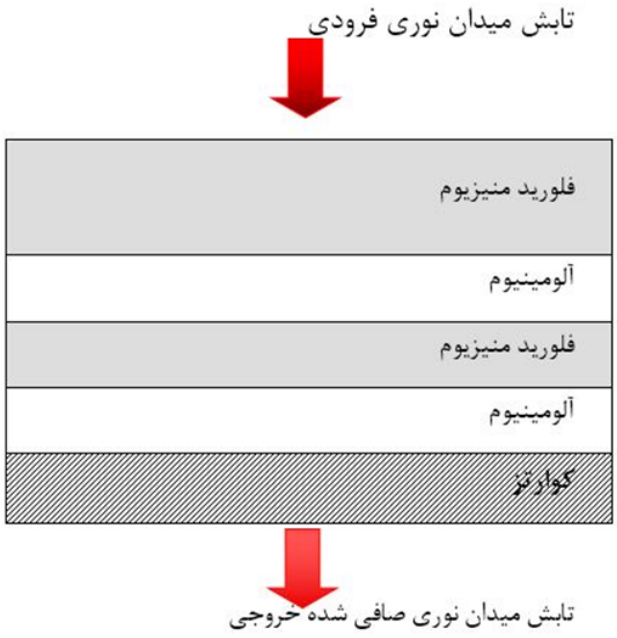
هدف ما در این پژوهش ساخت صافی نوری بود که بتواند طول موج ۲۲۲ نانومتر را با کمترین پهنای نیم‌بیشینه و با کمترین میزان جذب در این طول موج عبور دهد.

## طراحی صافی نوری

صافی‌های میان‌گذر نوری به دو دسته کلی صافی‌های تمام دی‌الکتریک و فلز–دی‌الکتریک تقسیم‌بندی می‌شوند. هر دو دسته صافی از نوع چندلایه‌ای‌های نوری بوده و به روش لایه‌نشانی مواد متوالی ساخته می‌شوند. در صافی‌های تمام دی‌الکتریک، تمامی موادی که به طور متوالی لایه‌نشانی می‌شوند از نوع دی‌الکتریک هستند. در صافی‌های فلز–دی‌الکتریک، بخشی از مواد دی‌الکتریک با مواد فلزی جایگزین می‌شوند. صافی‌های میان‌گذر فلز–دی‌الکتریک، بر پایه ساختارهای فابری–پرو هستند. لایه‌های نیم‌بازتابنده فلزی با جذب بالایی که در نواحی مرئی و مادون قرمز دارند؛ به امواج نوری در این طول موج‌ها امکان عبور از صافی را نمی‌دهند. مکان دقیق قله تشدید فابری–پرو نیز با بهینه‌سازی ساختار از طریق انتخاب مواد و تعیین ضخامت آن‌ها به انجام می‌رسد. نظریه‌ای که به توصیف اصول فیزیکی سازوکار صافی‌های فلز– دی‌الکتریک می‌پردازد تحت عنوان «نظریه فلز شفاف» شناخته می‌شود (٤).

صافی نوری میان‌گذر فلز–دی‌الکتریک، از دو قسمت لایه‌های نازک و زیر لایه تشکیل می‌شوند. زیر لایه استفاده شده برای ناحیه فرابنفش طیفی از جنس کوارتز انتخاب می‌شود، زیرا این ماده عبوردهی بالایی در ناحیه طول موجی فرابنفش دارد.

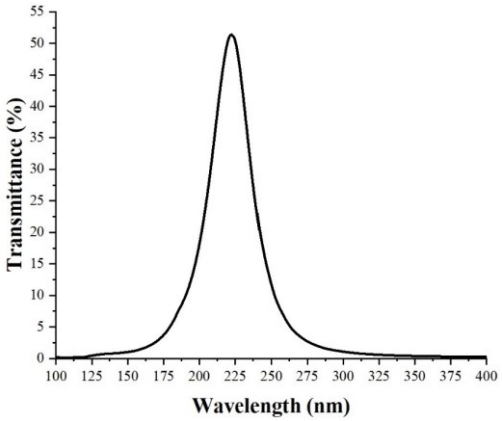
پس از آماده سازی زیر لایه باید لایه های نازک روی آن لایه نشانی شوند. همانطور که می‌دانیم لایه‌ها دارای ضرایب شکست متفاوتی هستند. در این کار و برای طراحی صافی، از مواد آلومینیوم و فلورید منیزیوم با ضخامت‌های متفاوت به عنوان لایه نازک استفاده شده است (شکل ۱). برای بدست آوردن ضخامت ها از نرم افزار مک لود استفاده شده و با این طراحی نتایج جدول ۱ و شکل ۲ برای عبوردهی صافی بدست آمد.




شکل ۱ : طراحی صافی بهینه‌سازی شده ۲۲۲ نانومتر. بستر از جنس کوارتز در نظر گرفته شده است.

جدول۱ : مشخصات قطعه حاصل از طراحی نرم افزار مک لود

| | پهنای نیم بیشینه (نانومتر) | شدت قله (٪) | طول موج بیشینه (نانومتر) |
|---|---|---|---|
| نمونه طراحی شده | ۲۶ | ۵۱٫٤ | ۲۲۲ |




شکل۲ : طیف عبوری ناشی از قطعه طراحی شده با نرم افزار مک لود.

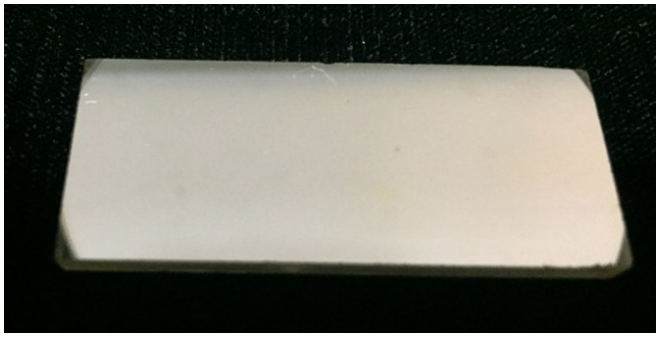
## آماده سازی بستر کوارتز

برای آماده سازی بستر، یک حجم استوانه‌ای شکل بزرگ از جنس شیشه کوارتز از شرکت مرک آلمان تهیه شد. قطر استوانه کوارتز تهیه شده ۲۰ سانتی‌متر و ارتفاع آن ۳۰ سانتی‌متر بوده است (شکل ۳). این قطعه بزرگ ابتدا با دستگاه‌های مخصوص برش خورده و سپس سایش و درنهایت با کیفیت نوری مطلوب (ربع موج) پولیش شد.

شکل۳ : تصویر استوانه کوارتز قبل از مراحل برش، سایش و پولیش.

## ساخت صافی نوری

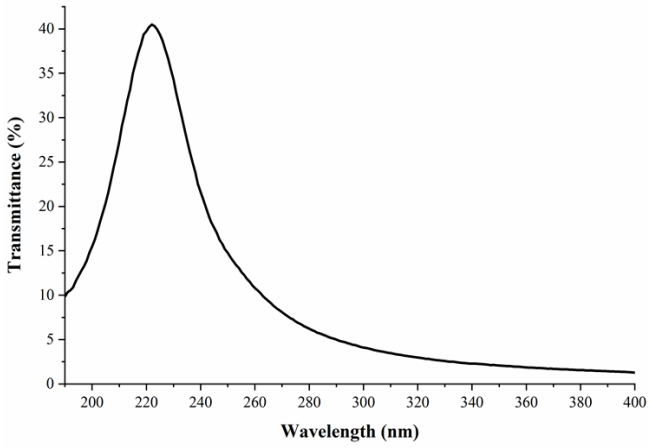
برای ساخت صافی نوری، بستر کوارتز برش خورده در سیستم لایه‌نشانی مورد استفاده قرار گرفت. از روش لایه نشانی فیزیکی (PVD) برای قرار دادن لایه های نازک روی آن استفاده شد و هر لایه با ضخامت مورد نیاز بر روی بستر قرار گرفت. در لایه نشانی به فشار داخل محظه لایه نشانی ($۵*۱۰^{-۵}$ tor) ونرخ لایه نشانی (۱ نانومتر در ثانیه) توجه شده بود. شکل ٤ یک نمونه از صافی میان‌گذر فلز-دی‌الکتریک ساخته شده را نشان می‌دهد.



شکل٤ : تصویر صافی میان‌گذر ساخته شده بر روی بستر کوارتز.

## طیف عبوری

پس از خارج کردن قطعه نهایی از سیستم لایه‌نشانی، طیف گذردهی نوری آن به روش طیف‌سنجی مرئی-فرابنفش اندازه‌گیری شد. شکل ۵ طیف گذردهی نوری نمونه سوم صافی میان‌گذر ساخته شده را نشان می دهد. در جدول ۲ مشخصات بدست آمده از طیف گذردهی نوری صافی ساخته شده با طیف مدل‌سازی شده توسط نرم‌افزار مک‌لود مقایسه شده است.



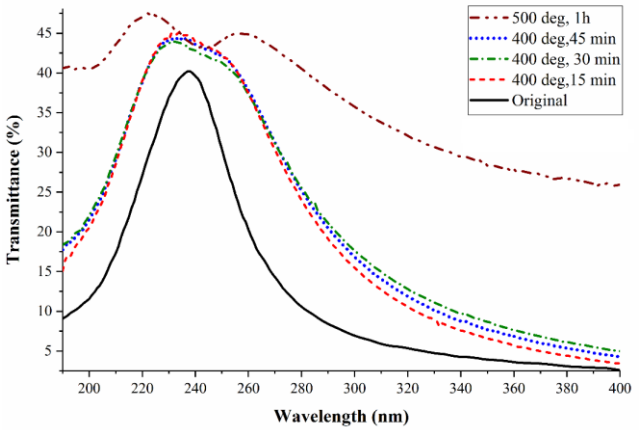

شکل۵ : طیف گذردهی نوری صافی میان‌گذر ساخته شده.

جدول۲ : مقایسه مشخصه های قطعه ساخته شده با مشخصه های بدست آمده در فاز طراحی.

| | پهنای نیم بیشینه (نانومتر) | شدت قله (٪) | طول موج بیشینه (نانومتر) |
|---|---|---|---|
| نمونه طراحی شده | ۲۶ | ۵۱٫۴ | ۲۲۲ |
| قطعه ساخته شده | ۳۷ | ۴۰٫۵ | ۲۲۳ |

## بررسی اثر بازپخت گرمایی بر طیف عبور نوری صافی‌ها

حرارت‌دهی نمونه‌ها پس از خارج کردن آن‌ها از داخل کوره-های گرمایی می‌تواند بهبود خواص ساختاری، نوری و یا سایر خواص آن‌ها را به همراه داشته باشد. به این نوع عملیات حرارتی در اصطلاح بازپخت گرمایی گفته می‌شود.




شکل٦ : اثر باز پخت گرمایی در دماها و زمان های متفاوت بر طیف گذردهی صافی نوری میان‌گذر

بازپخت حرارتی صافی‌های ساخته شده در دماها و زمان‌های متفاوت نشان داده شده در شکل ٦ به انجام رسید. همانطور که در تصویر مشخص است، بازپخت گرمایی در دمای ۴۰۰ درجه در مدت زمان های متفاوت موجب افزایش پهنای نیم بیشینه طیف عبوری شده و ازطرفی در بازپخت دردمای ۵۰۰ درجه و مدت زمان یک ساعت نیز عملا دیگر طول موج مشخصی به عنوان بیشینه طول موج عبوری نداریم و این موجب تخریب کامل خصوصیات صافی میان‌گذر شده است.

## نتیجه گیری

مشکل اصلی کار در زمینه ساخت صافی فرابنفش میان‌گذر فلز-دی‌الکتریک، انتخاب و آماده‌سازی بستر مورد نیاز برای اجرای لایه‌نشانی‌ها بود. اکثر بسترهای شیشه‌ای که در کاربردهای نوری بکار گرفته می‌شوند جذب بسیار بالایی در ناحیه فرابنفش طیفی دارند. بدلیل این جذب بالا، تقریباً تمامی تابش فرودی فرابنفش فرودی روی سطح این مواد جذب شده و امکان عبور آن وجود ندارد. نوع بستری که اغلب برای کار در ناحیه فرابنفش طیفی مورد استفاده قرار می‌گیرد از جنس شیشه کوارتز است. با انتخاب درست ضخامت لایه های نازک و انتخاب کوارتز به عنوان زیر لایه می توان به صافی نوری میانگذر فرابنفش دست یافت. نتایج بدست آمده در این تحقیق نشان داد که با دقت خوبی میتوان طیف اشعه فرابنفش ایمن را با استفاده از صافی ساخته شده بدست آورد.

## مرجع‌ها


[1]: Hockberger, P.E., *A History of Ultraviolet Photobiology for Humans, Animals and Microorganisms*. Photochemistry and photobiology, 2002. **76**(6): p. 561-579.

[۲]: Kowalski, W. (2010). *Ultraviolet germicidal irradiation handbook: UVGI for air and surface disinfection*, Springer science & business media.

[۳]: Raeiszadeh, M. and B. Adeli (2020). *A critical review on ultraviolet disinfection systems against COVID-19 outbreak: applicability, validation, and safety considerations.* Acs Photonics **7**(11): 2941-2951.

[٤]: Wang, Tian-Jiao, et al. *Solar-blind ultraviolet band-pass filter based on metal—dielectric multilayer structures*. Chinese Physics B **23.7** (2014): 074201.