بیستمین کنفرانس اپتیک و فوتونیک ایران
و ششمین کنفرانس مهندسی و فناوری فوتونیک ایران
۸ تا ۱۰ بهمن ماه۱۳۹۲ - دانشگاه صنعتی شیراز

ساخت بلور فوتونی معلق پلیمری

افشین شاهعلی زاد[۱]، رضا اسدی[۱]، مریم گنجی[۱]و پیام حیدری[۲]

[۱]مجتمع برق و الکترونیک دانشگاه مالک اشتر پردیس تهران ، لویزان ، تهران
[۲]دانشکده مکانیک، دانشگاه آزاد اسلامی واحد رودهن، رودهن، تهران

چکیده – در این تحقیق نوع جدیدی از بلورهای فوتونی معلق مبتنی بر ماده پلیمری *SU-8* با قابلیت استفاده در حسگرهای شتاب ساخته شده است. برای این منظور از روش لیتوگرافی تداخلی دو باریکه لیزر *He-Cd* برای ساخت بلورهای فوتونی یک بعدی در لایه نازکی از *SU-8* با تناوب *۶۷۰nm* استفاده شده است. سپس با فرآیندهای لایه نشانی و سونش شیمیایی، زیر لایه فلزی چند لایه کریستال برداشته و با آزاد سازی این ساختار، بلورهای ساخته شده معلق شده است.

کلید واژه- بلورهای فوتونی معلق، فوتورزیست SU-8، لیتوگرافی تداخلی دو باریکه لیزری

Fabrication of Suspended Polymeric Photonic Crystal

A. Shahalizad[1] , R. Asadi[۱], M. Ganji[۱], P. Heydari[۲]

[1]Department of Electric and Electronic, Malek Ashtar University, Tehran
[۲]Mechanic department, Islamic Azad University, Roudehen Branch, Roudehen, Tehran

Abstract- In this experimental work, a novel SU8-based Photonic Crystal which can be used in acceleration sensors is introduced. By utilizing two-beam laser lithography (He-Cd laser) method, a one-dimensional Photonic Crystal on a thin layer of SU8 photoresist with lattice constant of 670 nm was fabricated. Then, by layer deposition and etching processes the multilayer metallic substrate was removed, and finally, by releasing the structure the crystalized layer was suspended.

Keywords: Suspended Photonic Crystal, SU-8 photoresist, Two-beam interference laser lithography

[Downloaded from opsi.ir on 2026-01-30]

۱- مقدمه

بلورهای فوتونی ساختارهای اپتیکی هستند که در آن‌ها ثابت دی الکتریک بصورت متناوب با طول تناوبی از مرتبه طول موج تغییر می‌کند که ایده اصلی آن برای نخستین بار توسط Yablonovich و John مطرح شد [۱،۲]. ساخت بلورهای فوتونی از زمان پیدایش آنها تا کنون تحولات بسیاری پیدا کرده است .این بلورها در ساختارهای شبکه‌ای و ابعاد مختلف برای منظورهای گوناگونی همچون، ساخت ادوات مدارات مجتمع نوری و حسگرهای نوری مورد استفاده قرار می گیرند.

روشهای لیتوگرافی (نوری و الکترونیکی) اصلی ترین روشهای ساخت این بلورها می باشند. بطور کلی این روش‌ها را می توان به دو دسته کلی یعنی ۱- استفاده از ماسک و ۲- بدون استفاده از ماسک تقسیم بندی نمود. روش‌های اساسی مورد استفاده در مورد ساخت با استفاده از ماسک عمدتا مبتنی بر روش‌های شناخته شده لیتوگرافی است که معمولا به سبب پیشرفته بودن ادوات مورد استفاده در پروسه ساخت، این روش‌ها بسیار پرهزینه هستند. روش لیتوگرافی تداخلی با استفاده از چند باریکه یکی از روش‌های ساخت بلورهای فوتونی بدون استفاده از ماسک است که به دلیل ارزان و سریع بودن پروسه ساخت و همچنین قابلیت ساخت طرح های متنوع در سالیان اخیر بسیار مورد توجه قرار گرفته است. مشکل این روش عدم امکان ساخت موجبر در بلورهای فوتونی است که عنصر اصلی مدارات مجتمع نوری است. اما بسیاری از کاربردهای بلورهای فوتونی از جمله فیلتر های اپتیکی [۳] و انوع حسگرهای نوری [۴] نیاز به موجبر ندارند و در این نوع کاربردها عمدتاً از اثر فانو رزونانس در بلورهای فوتونی تخت (بدون نقص شبکه ای) استفاده می شود [۵]. این اثر به علت برهم کنش و تشدید نور فرودی (که از خارج از صفحه بلور فوتونی به آن تابانده می‌شود) با مدهای بلورهای تخت ایجاد می‌شود که باعث تغییرات شدید در طیف نور عبوری می شود. تاکنون از این اثر برای ساخت نمونه هایی از شتاب سنجهای نوری استفاده شده است که تمام آنها مبتنی بر استفاده از بلور-های فوتونی انعطاف پذیر مبتنی بر ماده سیلیکون می باشند [۸-۶]. انعطاف پذیری در این بلورها در اثر شتاب باعث جابجایی اثر فانو رزونانس و در نتیجه تغییر در طیف عبوری بلور می شود که از این خاصیت برای اندازه گیری شتاب استفاده می کنند. استفاده از سیلیکون عمدتاً به علت شناخته بودن فرایندهای مختلف میکرولیتوگرافی در آن و همینطور ضریب شکست زیاد آن است. هرچند یکی از مشکلات آن عدم امکان استفاده در ناحیه مرئی به علت جذب زیاد آن است. همینطور برای کاربرد در شتاب سنجی نیز به علت بالا بودن مدول یانگ، انعطاف پذیری کمی دارد.

در این راستا برای رفع این محدودیتها در این تحقیق روش جدیدی برای ساخت بلورهای فوتونی انعطاف پذیر مبتنی بر ماده پلیمری SU8 ارائه می شود.

SU-8 یک فوتورزیست حساس به نور فرابنفش است که تحت معرض نور پلیمر می‌شود. این ماده نخستین بار توسط شرکت IBM معرفی شد [۹]. این فوتورزیست دارای خواص فیزیکی و مکانیکی بسیار خوبی بوده و نسبت به خوردگی شیمیایی مقاوم است و در محدوده اپتیکی نیز شفاف می باشد. از این رو این فوتورزیست ماده‌ای ایده‌آل برای استفاده در ادوات میکرو اپتو الکترو مکانیک (MOEMS) می‌باشد [۱۱و۱۰] استفاده از SU-8 در تکنولوژی میکروماشین کاری بسیار ساده‌تر و مقرون به صرفه‌تر از سیلیکون است. علاوه بر این چون SU-8 در مقایسه با سیلیکون دارای مدول الاستیکی کمتری است، در یک فشار و یا شتاب معین بیشتر از سیلیکون از خود انعطاف نشان می‌دهد و لذا حساسیت بیشتری را نسبت به فشار دارا است.

با وجود مزایای اشاره شده یکی از مشکلات SU8 برای ساخت بلور فوتونی ، ضریب شکست کم آن (۱/۶) است که البته در تحقیقات قبلی نشان داده شده است که با استفاده از لایه نشانی مواد با ضریب شکست بالا (۲~) مثل ZnS برروی بلور مبتنی بر SU8 می‌توان کنتراست ضریب شکست لازم برای ایجاد اثر فانو رزونانس را فراهم کرد [۱۲و۵] .

۲- روش ساخت

در این پروژه برای ساخت بلورهای فوتونی از روش لیتوگرافی تداخلی لیزری دو باریکه استفاده شده است. در این روش با استفاده از ایجاد طرح تداخلی حاصل از باریکه های نوری هم فرکانس بر روی مواد حساس به نور نظیر فوتورزیست ها، ساختار بلورهای فوتونی مورد نظر به

[Downloaded from opsi.ir on 2026-01-30]

دست می آید. اصول کار در روش لیتوگرافی تداخلی به این صورت است که ابتدا یک لایه از ماده فوتورزیست که ماده ای پلیمری است به روش لایه نشانی دورانی بر روی زیرلایه مورد نظر لایه نشانی می شود و سپس فوتورزیست که معمولا ماده ای حساس به نور فرابنفش و در ابتدا ژله مانند است تحت تاثیر نور پلیمریزه می شود. در صورتی که تداخل دو یا چند باریکه همدوس لیزری به این ماده اعمال شود، پلیمریزاسیون در یک شبکه تناوبی منطبق با طرح تداخلی لیزری روی می دهد. سپس نواحی ای که پلیمر نشده اند با استفاده از حلال های شیمیایی مخصوص تحت عمل ظهور از روی سطح نمونه جدا می شوند و آنچه که باقی می ماند طرح تداخلی مورد نظر است. با تغییر دادن پارامترهای مختلفی همچون تعداد، زوایای تابش، قطبش و شدت باریکه های تداخل کننده می توان پارامترهای مختلفی مانند اندازه تناوب، ابعاد تناوب و نیز ثابت پرشدگی بلورهای فوتونی مورد نظر را تنظیم نمود. برای ایجاد طرح تداخلی یک بعدی از دو باریکه نوری که از شکافته شدن یک باریکه نوری لیزری (با طول موج ۳۲۵nm) به دوقسمت حاصل می شوند استفاده می شود که این کار معمولا با استفاده از یک شکافنده باریکه انجام شده است. شکل ۱ چیدمان لیتوگرافی تداخلی مورد استفاده را نشان می‌دهد. جدول ۱مراحل کلی ساخت بلورهای فوتونی ساخته شده در این تحقیق را نشان می‌دهد که یک ساختار یک بعدی با ثابت شبکه ۶۷۰ نانومتر است. همانطوریکه از جدول ملاحظه می شود، لایه‌نشانی فوتورزیست بر روی لایه‌های کروم/طلا/کروم صورت گرفته است. استفاده از این لایه‌ها به منظور تسهیل فرایند سونش ساختار بلوری بوده که روشی بسیار کارآمد می‌باشد. از قابلیت‌های دیگر ساختار ارایه شده، توانایی ساخت دیافراگم با اندازه‌های دلخواه می‌باشد.

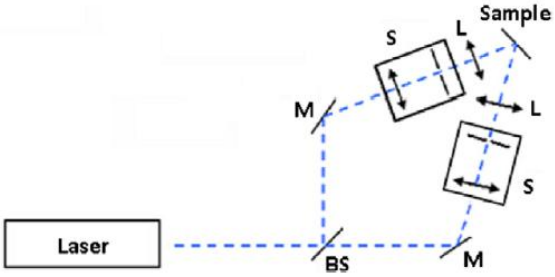
۳- نتایج تجربی

شکل ۲ تصاویر AFM دو و سه بعدی مربوط به یک نمونه از بلورهای فوتونی ساخته شده برروی فوتورزیست SU-8(2002) را نشان می دهد.

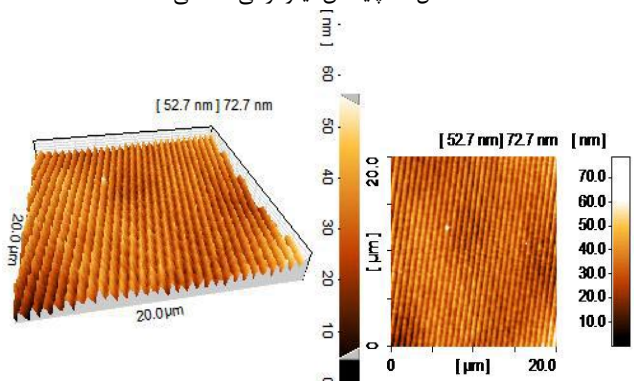
شکل ۳ تصویر دیافراگم و دیواره آن را از نماهای دور و نزدیک نشان می دهد. شکل ۴ تصویر SEM مربوط به دیافراگم ساخته شده بین دو فوتورزیست را نشان می‌دهد. در این تصویر معلق بودن بلور فوتونیکی به وضوح نشان داده شده است.

جدول ۱: طرح کلی مراحل ساخت بلور فوتونی پلیمری معلق

۱	زیر لایه شیشه کاملا شسته می-شود	
۲	یک لایه Cr/Au/Cr به ضخامت 140/150/40 نانومتر روی آن لایه نشانی می شود	
۳	یک لایه پلیمر SU-8 (2002) به ضخامت ۲ میکرومتر روی آن لایه نشانی می شود	
۴	به کمک روش لیزر لیتوگرافی ساختار بلور فوتونی روی SU-8 (2002) ایجاد می شود	
۵	یک لایه پلیمر SU-8 (2025) به ضخامت 20 میکرومتر لایه نشانی می شود و سپس با لیتوگرافی نور ماورای بنفش ساختار مورد نظر ایجاد می شود	
۶	به کمک فرایند سونش ساختار آزاد می شود	
۷	در نهایت ساختار نهایی به کمک یک لایه پلیمر به زیر لایه می چسبد	

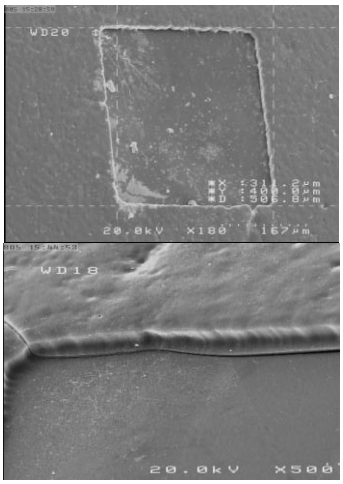


شکل ۱: چیدمان لیتوگرافی تداخلی

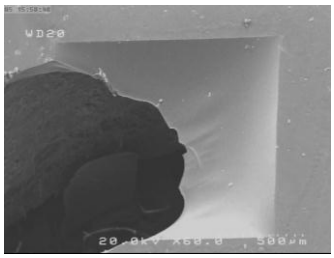


شکل ۲: تصاویر AFM بلور فوتونی SU-8(2002)

[Downloaded from opsi.ir on 2026-01-30]



شکل۳: تصاویر SEM بلور فوتونی معلق ساخته شده: (بالا) تصویر دیافراگم با اندازه ۳۰۰ میکرون از نمایی دور (پایین) تصویر دیواره بین دو فوتورزیست SU-8(2002) و SU-8(2025)



شکل ۴: تصویر SEM دیافراگم (عمدا) سوراخ شده برای نشان دادن معلق بودن بلور فوتونی

۴- نتیجه‌گیری

در این مقاله با استفاده از دو نوع فوتورزیست منفی SU-8 یک ساختار بلور فوتونی معلق معرفی شده است. به علت اینکه فوتورزیست SU-8 دارای خواص بسیار مطلوبی از جمله قابلیت انعطاف‌پذیری خوبی نسبت به سیلیکون است، بلور فوتونی ساخته شده دارای کاربرد در حسگرهای فشار و شتاب سنج‌های نوری می باشد. در این تحقیق روش مورد استفاده برای ساخت بلور فوتونی پلیمری معلق مبتنی بر فرایندهای لایه‌نشانی و سونش و نیز آزادسازی ساختار بلور پلیمری است که در مقایسه با روش‌های متداول مورد استفاده برای ساخت ادوات میکرونی مبتنی بر سیلیکون ساده و در عین حال بسیار کارامد است.

مراجع

[1] Yablonovich, E. Inhibited spontaneous emission in solid-state physics and electronics. Phys. Rev. Lett. 58, 2059-2062 (**1987**).

[2] John, S. Strong localization of photons in certain disordered dielectric super lattices. Phys. Rev. Lett. 58, 2486-24879 (**1987**).

[3] S. Iwamoto, H. Yamada, A. Gomyo,« Photonic Crystal Slab Waveguide Controlled by a Micro Mechanica Actuator» , IEEE , Vol. 2, Page(s).15-19-520.

[4] B. Dong, H. Cai, J. M. Tsai, D. L. Kwong and A. Q. Liu, AN ON-CHIP OPTO-MECHANICAL ACCELEROMETER. IEEE, MEMS 2013, Taipei, Taiwan, January 20 – 24, **2013.**

[5] Reza Asadi, Shahin Bagheri, Mahdi Khaje, Mohammad Malekmohammad, Mohammad-Taghi Tavassoly, Tunable Fano resonance in large scale polymer-dielectric slab photonic crystals. Microelectronic Engineering 97 (**2012**) 201–203.

[6] Oliver Paul, Joao Gaspar, Patrick Ruther, Advanced Silicon Microstructures, Sensors, and Systems. TRANSACTIONS ON ELECTRICAL AND ELECTRONIC ENGINEERING IEEJ Trans **2007**; 2: 199–215.

[7] Giulio Fragiacomo, Kasper Reck, Lasse Lorenzen and Erik V. Thomsen, Novel Designs for Application Specific MEMS Pressure Sensors. Sensors, 10, 9541(**2010**) 9563.

[8] David Woolf, Pui-Chuen Hui, Eiji Iwase, Mughees Khan, Alejandro W. Rodriguez, Parag Deotare, Irfan Bulu, Steven G. Johnson, Federico Capasso, and Marko Loncar, Optomechanical and photothermal interactions in suspended photonic crystal membranes. 25 March **2013** / Vol. 21, No. 6 / OPTICS EXPRESS 7258.

[9] H. Lorenz, M. Despont, N. Fahrni, N. LaBianca, P. Renaud, P. Vettiger, J. Micromech. Microeng. 7 (3) (**1997**) 121–124.

[10] D. López-Romero, C.A. Barrios, M. Holgado, M.F. Laguna, R. Casquel, High aspect-ratio SU-8 resist nano-pillar lattice by e-beam direct writing and its application for liquid trapping, Microelectronic Engineering 87 (**2010**) 663–667.

[11] Jatinder S. Randhawa , Kate E. Lafl in , Natasha Seelam , and David H. Gracias, Microchemomechanical Systems. *Adv. Funct. Mater.*, *21*, 2395(**2011)**2410.

[12] Reza Asadi , Mohammad Taghi Tavassoly, Sina Khorasani, Superprism properties in 2D polymer photonic crystals at high normal frequencies. Optics Communications 282 (**2009**) 3620–3625.

[Downloaded from opsi.ir on 2026-01-30]