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

ساخت و مشخصه‌یابی قطبشی موجبرهای SU8 در مدارهای مجتمع نوری

پیمان ملک زاده[۱] ، غلام محمد پارسانسب[۲] ، عزالدین مهاجرانی[۱]

۱. پژوهشکده لیزر و پلاسما ، دانشگاه شهید بهشتی تهران

۲. دانشکده مهندسی برق ، دانشگاه شهید بهشتی تهران

P.malekzadeh@mail.sbu.ac.ir

چکیده- در این مقاله ابتدا به اهمیت مدارهای مجتمع نوری در تکنولوژی امروز و انواع مواد مورد استفاده در ساخت این مدارات می‌پردازیم. در ادامه روش ساخت موجبرهای پلیمری با استفاده از ماده SU8-2002 را شرح می‌دهیم. این ماده از نوع فوتورزیست منفی بوده که در اثر لیتوگرافی در محدوده طول موجی UV از مونومر تبدیل به پلیمر می شود و با حل کردن در حذف کننده آن طرح موردنظر باقی می‌ماند.روش کوپل کردن نور از فیبر به درون موجبرها توضیح داده می‌شود. همچنین به اثر تغییر قطبش بر جفت شدگی[۱] این نوع از موجبرها خواهیم پرداخت.

کلید واژه – پلیمر ، فوتورزیست ، قطبش ، کوپلینگ، لیتوگرافی

Fabrication and Polarization Characterization of SU8 **Waveguides** in Optical Integrated Circuit**s**

Peyman Malelzadeh[1], Gholam Mohamad Parsanasab[2], Ezzedin Mohajerani[1]

P.malekzadeh@mail.sbu.ac.ir

1.Laser and Plasma Research Institute, Shahid Beheshti University

2.Factualy of Electrical Engineering, Shahid Beheshti University

Abstract- In this paper we emphasize on importance of optical integrated circuit in technology and material that used in fabrication of them. We also study the fabrication of polymeric waveguides with SU8 -2002.this material is a negative photoresist which changes from monomer to polymer by UV lithography and after developing and eliminate of monomers from sample surface can have any designed structures. Besides, the influence of polarization variation in this type of waveguides will be discussed.

Keywords: coupling, Lithography, Photoresist, Polarization, Polymer

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

[Downloaded from opsi.ir on 2026-11-19]

مقدمه

با توسعه روزافزون تکنولوژی نیاز به پردازش هرچه سریعتر حجم بالایی از اطلاعات روز به روز بیشتر می‌شود از این رو با توجه به محدودیت‌هایی همچون تلفات بالا و سرعت انتقال پایین در مدارهای الکترونیکی ، مدارهای نوری برای این منظور بیش از پیش مورد توجه قرار گرفته‌اند. در تکنولوژی ساخت مدارات مجتمع نوری تلاش بر این است که ادوات نوری که در چیدمان‌های اپتیکی به کار می‌روند را بر روی زیرلایه و در ابعاد میکرو و نانومتری پیاده‌سازی کرد.

موجبر اساسی ترین بخش یک مدار مجتمع اپتیکی است که المان های مختلف یک مدار را بهم وصل می‌کند.برای ساخت موجبرها می‌توان از مواد مختلفی مانند سیلیکون،لیتیوم نیوبات،گالیوم آرسناید و پلیمر استفاده کرد که بسته به روش ساخت و مشخصات آنها هر کدام مزایا و معایبی نسبت به سایر مواد دارد. از جمله مزایای مواد پلیمری می‌توان به دسترسی و ساخت آسان آنها نسبت به سایر روش‌ها اشاره کرد . پلیمر مورد استفاده در اینجا ماده SU8 می‌باشد که در حوزه‌های مختلف همچون مدارات مجتمع نوری ، MEMS و MOEMS مورد استفاده قرار می‌گیرد.

از چالش‌های اصلی در حوزه مدارهای مجتمع نوری کوپلینگ نور لیزر به درون مدار است . در اکثر مدارات نور لیزر از طریق فیبر نوری به درون موجبر هدایت می‌شود یا از چیدمان کوپلینگ منشور استفاده می‌شود.مزیت کوپلینگ فیبری نسبت به روش منشوری اینست که امکان چسباندن فیبر به موجبر در این روش وجود دارد.

تئوری عملکرد

فوتورزیست ماده ای حساس به نور است که با استفاده از لیتوگرافی ، در اثر برخورد نور با آن تغییر حالت داده و امکان ساخت طرح‌های مختلف را فراهم می‌آورد.مونومر SU8 نیز نوعی فوتورزیست است که هم در محدوده طول موجی UV (۳۵۰ تا ۴۰۵ نانومتر) و هم توسط X-Ray و الکترون بیم قابلیت لیتوگرافی دارد و امکان ساخت ادوات مدارهای مجتمع در ابعاد میکرومتری و نانومتری را فراهم می‌آورد . مونومر SU8 از نوع 8-epoxy بوده و زمانی که در معرض تابش نور UV قرار می‌گیرد باعث ایجاد اسید کاتالایزگر در مونومر شده و فرآیند فوتو-پلیمریزاسیون (Photo-Polymerization) روی آن انجام می‌شود و این گروه‌های epoxy تشکیل پیوند می‌دهند و به این ترتیب ساختار تبدیل به زنجیره پلیمری می‌شود.بعد از لیتوگرافی با گرما دادن به لایه SU8 می‌توان تشکیل اسید کاتالیزگر را بیشتر کرد که در نتیجه باعث قوی‌تر شدن پیوند بین گروه های epoxy می‌شود.که مونومر را کاملا تبدیل به پلیمر می‌کند.

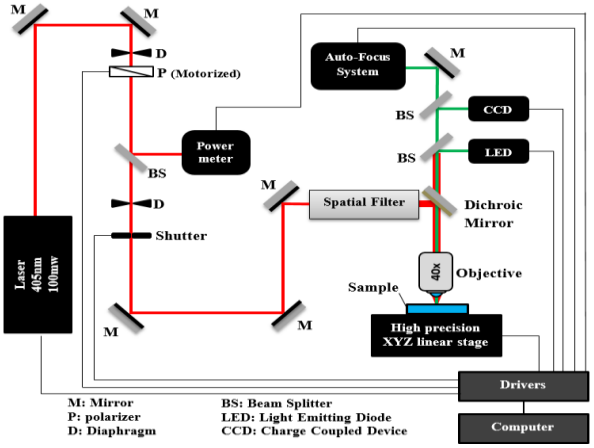
ساخت موجبر SU8

برای ساخت موجبر از SU8-2002 استفاده نمودیم که در ماده Gamma- hydroxybutyric acid محلول است . برای لایه‌نشانی روی زیرلایه از جنس SiO_2 از روش لایه نشانی چرخشی (Spin Coating) استفاده می‌نماییم و با لایه‌نشانی با سرعت ۵۰۰۰ rpm ، لایه‌ای به ضخامت ۲ میکرومتر بدست می‌آید . بعد از لایه نشانی نوبت به مرحله پیش-پخت (pre-bake) می‌رسد در این مرحله برای خشک شدن و چسبندگی بیشتر ماده لایه‌نشانی شده روی سطح زیرلایه ، نمونه را در دمای ۹۵ درجه سانتی‌گراد به مدت ۲ دقیقه قرار می‌دهیم. در ادامه برای لیتوگرافی از چیدمانی که در شکل (۱) نشان داده شده است استفاده می‌کنیم . در این چیدمان از لیزر با طول موج ۴۰۵ نانومتر و توان ۱۰۰ میلی وات بهره بردیم. نمونه روی یک جابجاگر سه جهته قرار می‌گیر که با استفاده از برنامه LabVIEW طرح مورد نظر برای آن تعریف می‌شود. برای ساخت موجبر با عرض ۴ میکرو متر ،توان را روی ۵,۷ میلی وات تنظیم می‌کنیم و با سرعت ۱۰۰ میکرومتر بر ثانیه نمونه

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

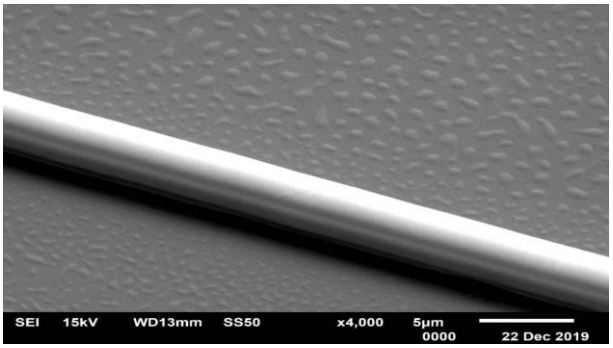
[Downloaded from opsi.ir on 2026-11-19]

را زیر نور خروجی از لنز حرکت می‌دهیم.



شکل(۱):چیدمان لیتوگرافی با نور فرابنفش

همانطور که در بخش قبل توضیح داده شد بعد از لیتوگرافی برای قوی‌تر شدن پیوند در پلیمر تشکیل شده و همچنین تبخیر ماده حلال Gamma-hydroxybutyric acid نمونه را به مدت ۸ دقیقه در دمای ۹۵ سانتی‌گراد قرار می‌دهیم که به این عمل پس-پخت (post-bake) می‌گویند. در مرحله آخر نوبت به حذف مونومرهایی که نور به آنها تابیده نشده می‌رسد که اصطلاحا به این عمل فرآوری(develope) گفته می‌شود. برای این منظور نمونه را به مدت ۱ دقیقه در محلول methoxy-2-propanol acetateh قرار می‌دهیم و به آرامی آن را تکان می‌دهیم تا طرح موجبرها نمایان شود . برای چسبندگی بیشتر موجبرها به زیرلایه و همچنین تبخیر حلال باقی‌مانده در آنها نمونه ها را سخت-پخت (hard-bake) می‌کنیم به اینصورت که آن را به مدت ۱۲۰ دقیقه در دمای ۱۳۰ درجه سانتی‌گراد قرار می‌دهیم.



شکل(۲) : تصویرSEM موجبر SU8 ساخته شده

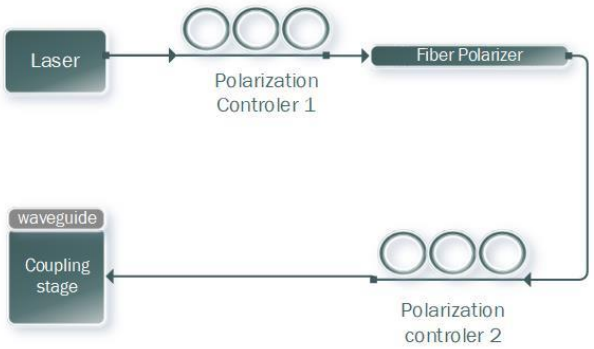
کوپل کردن نور از فیبر به موجبر

هنگام لایه‌نشانی به روش چرخشی ماده لایه نشانی شده به سمت لبه ها حرکت می‌کند و در آنجا لایه با ضخامت بیشتر تشکیل می‌شود که به این پدیده Edge Bead گفته می‌شود و باعث خراب شدن ابتدا و انتهای موجبر می‌شود. در اینجا برای حذف Edge Bead اقدام به برش زیرلایه نمودیم و این اثر را از بین بردیم .در مرحله بعد برای کوپلینگ از دو جابجاگر که در سه جهت طول و عرض و ارتفاع امکان جابجایی دارد و جابجاگر میانی که در دوجهت زاویه ای θ و φ امکان چرخش دارد استفاده می‌کنیم و بوسیله این جابجاگر ها فیبر را در مقابل موجبر قرار می‌دهیم . برای اطمینان از هم راستا بودن فیبر و موجبر ابتدا از لیزر در طول موج ۶۵۵ نانومتر که در محدوده مرئی قرار دارد استفاده می‌کنیم. بعد از کوپل شدن نور قرمز، فیبر ورودی را از لیزر جدا می‌کنیم و به لیزر با طوج مورد نظر وصل می‌کنیم . از آنجایی که مُدهای کوپل شده درون موجبر به طول موج وابسته می‌باشد پس از تغییر طول موج لازم است که جابجاگر را به اندازه چند میکرومتر جابه‌جا کنیم تا نور درون موجبر کوپل شود. برای طول موج‌های نامرئی مانند فروسرخ خروجی موجبر را بوسیله فیبر به پاورمتر وصل می‌کنیم و از طریق شدت نشان داده شده ، از کوپل بودن نور اطمینان حاصل می‌کنیم.در اینجا نور با دو طول موج ۹۸۰ و ۱۵۵۰ نانومتر را بوسیله فیبری با هسته‌ای به قطر ۸ میکرومتر از نوع SMF-28 با گشودگی عددی ۰,۱۴ به درون موجبر با گشودگی عددی ۱,۲۲۳کوپل کردیم. برای طول موج ۹۸۰ نانومتر ، ۱۰۰ میکرو وات توان از فیبر ورودی خارج می‌شد و توان ۱۷ میکروووات نیز از فیبری که به خروجی موجبر وصل شده بود دریافت شد و برای طول موج ۱۵۵۰ نانومتر نیز به ازای ۸۰ میکروووات ورودی ، ۲ میکروووات از فیبر خروجی دریافت می‌شد. علت اصلی این تلفات قطر بزرگ فیبر ورودی نسبت به موجبر است که

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

[Downloaded from opsi.ir on 2026-11-19]

باعث تلفات بخش زیادی از نور می‌شود.برای تست اثر تغییر قطبش روی توان کوپل شده در موجبر ، چیدمان شکل (۳) را درنظر گرفتیم.



شکل(۳): چیدمان اثر قطبشی روی کوپلینگ. در این چیدمان با استفاده از کنترلگر قطبش اول نور را با جهت قطبش فیبر همراستا می‌کنیم و با کنترلگر قطبش دوم، قطبش نور ورودی به موجبر را کنترل می‌کنیم.

در این چیدمان از یک قطبشگر فیبری با نسبت اتلاف 30 (Extinction Ratio) دسی بل استفاده کردیم و بوسیله دو کنترلگر قطبش (Polarization Controller) ، قطبش نور را تغییر می‌دهیم.با استفاده از رابطه زیر ضریب تضعیف قطبشی موجبر رابدست می‌آوریم:

$$ER = -10\log\left({}^{P_{min}}/_{P_{max}}\right) \qquad (۱)$$

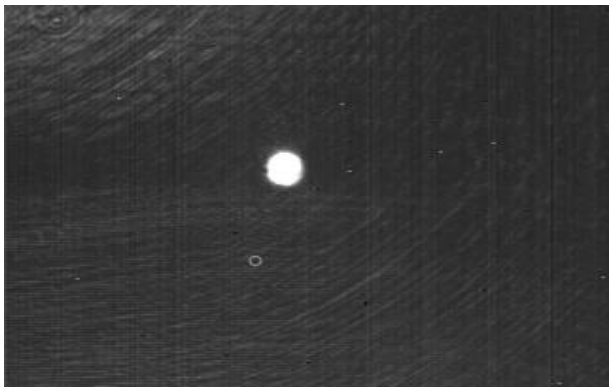
در جدول(۱) مقدار ضریب تضعیف به ازای طول موج‌های ۹۸۰ و ۱۵۵۰ نانومتر آورده شده است:

طول موج (نانومتر)	P_{min} (μw)	P_{max} (μw)	ER (dB)
۹۸۰	۴/۴۷	۱۷	۵/۸
۱۵۵۰	۱/۷	۲	۰/۵

جدول(۱):تغییرات خروجی موجبر با تغییر قطبش

نتایج

موجبرهای ساخته شده قابلیت هدایت نور در طول موج های مرئی و فروسرخ را دارند. با مقایسه ضریب تضعیف در طول‌موج‌های ۹۸۰ و ۱۵۵۰ نانومتر، می‌توان نتیجه گرفت که با افزایش طول موج اثر ضریب تضعیف کاهش می‌یابد. همچنین نتیجه می‌شود که ساختار موجبر تاثیری روی قطبش نور کوپل شده ندارد و به عبارت دیگر موجبر قطبش نور راحفظ می‌کند.



شکل(۴):خروجی موجبر با کوپلینگ نور ۱۵۵۰ نانومتر

منابع

[1] A.Borreman, S.Musa, Diemeerand.A.Driessen, "Fabracation of Polymeric Multimode Waveguides and Devices in SU-8 Photoresist Using Selective Polymerization", University Of Twente, 2002
[2] Om Parkash Parida and Navakant Bhat, "Characterization Of Optical Properties Of SU-8 And Fabrication Of Optical Components" Dept of ECE, IISc. Banglore, 2009
[3] N.Berahim, IS Amiri, T Anwar, "Polarization effect of $MoSe_2$-coated Optical Waveguides", Results in Physics, 2019
[4] Keigo Iizuka, Elements of Photonics, WILEY,2002

[Downloaded from opsi.ir on 2026-11-19]

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