بیست و هشتمین کنفرانس اپتیک و
فوتونیک ایران و چهاردهمین کنفرانس
مهندسی و فناوری فوتونیک ایران،
دانشگاه شهید چمران اهواز،
خوزستان، ایران.
۱۴-۱۲ بهمن ۱۴۰۰

ساخت و اندازه گیری تلفات یک نمونه موجبر پلیمری

محسن میرمحمدی*[۱]، غلام محمد پارسانسب[۲]، محمد طالبی خوشمهر[۳]

دانشکده مهندسی برق، دانشگاه شهید بهشتی تهران

Mohsenmirmohamadi۷@gmail.com, gm_parsanasab@sbu.ac.ir

چکیده – در این مقاله ابتدا به تفسیر، نحوه انتشار و برخی خصوصیات موجبرهای نوری پرداخته شده است. در ادامه مزایای ساخت موجبر با مواد پلیمری ، خواص مهم آن‌ها آورده شده است. سپس به شرح اهمیت و انواع تلفات در موجبرهای نوری پرداخته‌ایم. پس از آن، فرایند ساخت موجبر پلیمری و چیدمان‌های مورد نیاز برای لیتوگرافی آن با ماده SU۸ که نوعی فتورزیست منفی است به طور کامل آورده و در نهایت به شرح فرایند کوپل نور از طریق فیبر نوری، درون موجبر ساخته شده و اندازه‌گیری تلفات پرداخته شد که مقادیر اتلاف ۰/۱۲ و ۰/۹ و ۰/۱۱ بر حسب dB/cm به ترتیب برای طول موجهای ۶۵۰ و ۹۸۰ و ۱۵۵۰ نانومتر به دست آمده است.

کلید واژه- تلفات،پلیمر،فتورزیست،کوپل،موجبر.

Fabrication and loss measurement of a polymeric Waveguides

Mohsen Mirmohammadi*[۱], Gholam Mohammad Parsanasab, Mohammad Talebi Khoshmehr

Mohsenmirmohamadi۷@gmail.com, Gm_parsanasab@sbu.ac.ir

Factualy of Electrical Engineering, Shahid Beheshti University

Abstract- In this paper we described the importance, propagation method and some specification of optical waveguides. In the following, profits and important feature of polymeric waveguides were explained. Then, fabrication process of kind of polymeric waveguide with SU۸ which is a negative photoresist and necessary set-up for lithography were completely described. Finally, we describe how to couple light through optical fiber to fabricated waveguide and measuring the loss of waveguide in different wavelength and Loss value which get are ۰,۱۲, ۰,۹ and ۰,۱۱ dB/cm for ۶۵۵ □□(□□□□□□□□) □□□ ۹۸۰ □□,۱۵۵۰ □□ □□ □□□□□□□□□□□ □□ respectively.

Keywords: Couple, Loss, Photoresist, Polymer Waveguide.

[Downloaded from www.opsi.ir on 2025-08-01]

مقدمه

موجبرهای نوری را می‌توان به عنوان عنصر اصلی هدایت و انتقال نور تلقی نمود. یک موجبر می‌تواند امکان محصورشدگی نور را درون مرزهای خود با استفاده از بازتاب داخلی کلی فراهم آورد، موجبرها نور را در مسیری مشخص و با اتلاف بسیار کم منتقل کرده می‌کنند. موجبرها را می‌توان با توجه به خصوصیات آن‌ها همچون ابعاد فضایی که نور درون آن محبوس می‌شود و جنس مواد مورد استفاده برای طراحی و ساخت آن‌ها دسته‌بندی نمود. در سال‌های اخیر، ساخت موجبرهای نوری از جنس پلیمر، به واسطه کاهش هزینه‌ها و فرایند ساخت نسبتا ساده‌تر در مقابل مواد نیمه‌هادی، در زمینه‌های تجاری سازی مورد استقبال قرار گرفته‌اند. پلیمرهای مختلف، خواص نوری، الکتریکی و مکانیکی متفاوتی را از خود به نمایش می‌گذارند که مشخصه کلیدی و قابل توجه آن‌ها را می‌توان ضریب شکست و تلفات عنوان نمود، که هر دو تابعی از طول موج هستند.

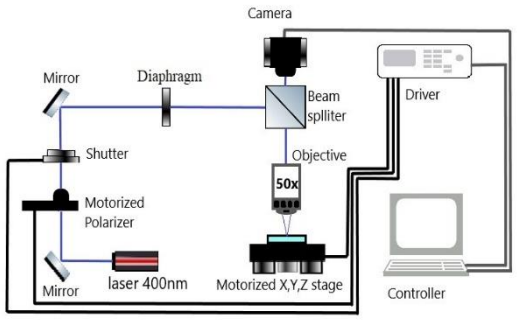
تلفات موجبرهای نوری، یکی از مهم‌ترین عوامل مورد بررسی در ساخت آن‌ها بشمار می‌آیند که عموما با dB/Cm اندازه‌گیری می‌شود. تلفات موجبرها در سه مکانیزم قابل بررسی اند: تلفات پراکندگی، جذب و تابشی. تلفات پراکندگی در موجبرهای شیشه‌ای و دی‌الکتریک (عایق) از اهمیت بالاتری برخوردار است، تلفات جذب در مواد نیمه‌هادی و تلفات تابشی نیز برای موجبرهای تحت خمش نمود دارد. تلفات پراکندگی بر دو نوع است، پراکندگی حجمی و پراکندگی سطحی، که در این میان، پراکندگی سطح در قیاس با حجم، اهمیت بالاتری را به خود اختصاص می‌دهد. پراکندگی سطح حتی در سطوح بسیار صاف نیز می‌تواند بسیار مهم و قابل توجه باشد، به ویژه در مواردی که مدهای مرتبه بالا تحریک می‌شوند.

روش ساخت

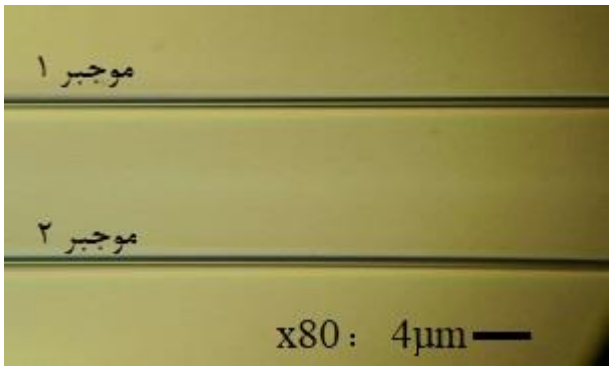
برای ساخت موجبر از فتورزیست منفی بنام SU۸-۲۰۰۲ استفاده شده است، فتورزیست‌های منفی موادی هستند که با قرارگرفتن در معرض نور از خود واکنش نشان داده و بروی سطح زیرلایه تا حدی سخت می‌شوند و امکان ایجاد طرح‌های مختلف را فراهم می‌سازند. SU۸ نیز بر اثر تابش نور فرابنفش با طول موج ۴۰۰نانومتر از منومر به پلیمر تغییر فاز داده و نسبتا سخت می‌شود. به منظور لایه نشانی، زیرلایه‌ای از جنس SiO_2 را کاملا تمیز و خشک نموده و سپس ماده SU۸ (محلول) را بر سطح زیرلایه گسترانده و با سرعت ۶۰۰۰rpm به مدت ۳۵ثانیه تحت لایه‌نشانی چرخشی (Spin-Coating) قرار می‌دهیم، در نهایت لایه‌ای با ضخامت ۲,۸میکرومتر که توسط دستگاه فیلم-متریک اندازه‌گیری شده است حاصل خواهد شد. در گام بعدی به منظور ایجاد استحکام نسبی در لایه، نمونه تحت دمای ۹۷ درجه سانتی‌گراد به مدت ۱۲۰ثانیه گرمادهی شده(عمل پیش-پخت) و سپس به تدریج به دمای اتاق بازگردانده می‌شود. برای ایجاد موجبرها، به کمک چیدمان شکل (۱)، فرایند لیتوگرافی به روی نمونه صورت می‌گیرد. چیدمان از یک جابجاگر سه محوره، دو آینه، دیافراگم، مقسم باریکه نور و دوربین تشکیل شده است. برای ایجاد موجبر با عرض ۴میکرومتر می‌بایست توان لیزر بروی ۳میلی وات قرارگیرد و جابجاگر با سرعت ۵۰میکرومتر برثانیه به روی نمونه حرکت کند. پس از اتمام فرایند لیتوگرافی، بازهم به منظور ایجاد چسبندگی بیشتر، نمونه به مدت ۸دقیقه با دمای

[Downloaded from www.opsi.ir on 2025-08-01]

۹۷درجه سانتی‌گراد گرمادهی می‌شود(عمل پس-پخت)، در این مرحله موجبرهای نوشته شده تاحدی قابل مشاهده خواهند بود. در گام بعد، نمونه به دمای اتاق باز می‌شود، سپس برای پاک شدن نواحی که در معرض تابش نور لیزر نبوده و به دست آمدن طرح اصلی، نمونه به مدت ۵۰ثانیه در ماده با نام methoxy-۲-propanol قرار می‌گیرد. پس از فراوری شدن نمونه در ماده مذکور، طرح نهایی به وضوح قابل مشاهده است. گام نهایی، فرایند سخت سازی پایانی است که با اعمال آن، موجبرها کاملا محکم شده و حلال باقی مانده بروی نمونه به صورت کلی تبخیر می گردد. این فرایند به مدت ۱۳۵دقیقه در دمای ۱۲۵درجه سانتی گراد صورت می پذیرد(عمل سخت-پخت).



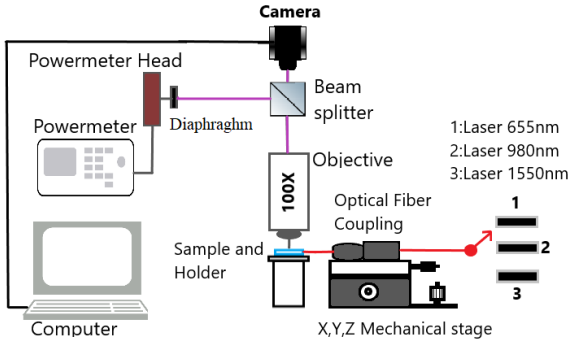
شکل(۱) چیدمان لیتوگرافی



شکل (۲): تصویری از موجبرهای (خطوط باریک) ساخته شده به روی زیرلایه یکپارچه SiO_2 که توسط میکروسکوپ نوری گرفته شده است.

اندازه‌گیری تلفات

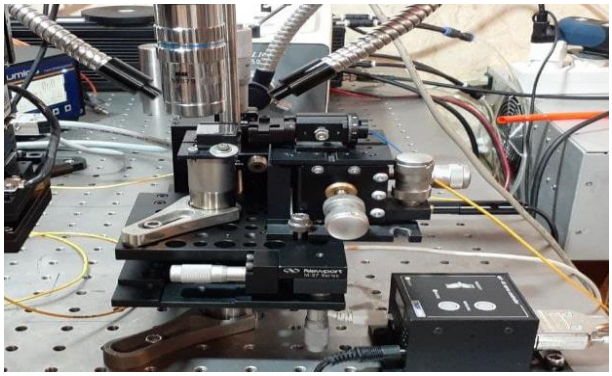
در این بخش ابتدا فیبر تک مد به موجبر مورد نظر کوپل شده و سپس توسط چیدمان شکل (۳) تلفات پراکندگی موجبرها اندازه‌گیری می‌شود. برای کوپل نور در موجبرها می‌بایست لبه نمونه کاملا صاف باشد تا بتوان با نزدیک نمودن فیبر به سطح مقطع موجبر، نور را درون آن کوپل نمود. بنابراین، لبه نمونه را به کمک دستگاه پرداخت، صاف نموده، سپس به کمک یک جابجاگر سه محوره که دارای نگهدارنده فیبر نوری است، فیبر تک مد با هسته‌ای به قطر ۸ میکرومتر را با استفاده لیزر مرئی با طول موج ۶۵۵ نانومتر به موجبر موردنظر کوپل می‌نماییم.



شکل (۳): چیدمان اندازه‌گیری تلفات

در گام بعدی به کمک چیدمان اندازه‌گیر تلفات، تلفات موجبر را در سه طول موج ۶۵۵ نانومتر مرئی، ۹۸۰ نانومتر و ۱۵۵۰نانومتر فروسرخ اندازه‌گیری خواهیم نمود. عملکرد چیدمان اندازه‌گیری تلفات به گونه ای است که توسط دوربینی که با کمک یک لنز ۱۰۰ تصویر موجبر را بزرگ نمایی می‌کند، سطح موجبر را از نقطه‌ای تا نقطه دیگر جاروب (scan) نموده (برای طول موج ۶۵۵ و۹۸۰نانومتر ۱۲میلیمتر و برای ۱۵۵۰نانومتر ۱۰میلیمتر از طول موجبر) و به کمک پاورمتر تلفات را ثبت می‌نماییم. شکل (۴) چیدمان اندازه‌گیری تلفات را نشان می‌دهد. طول موج‌های ذکر شده توسط منابع نوری لیزری تامین گردیده است.

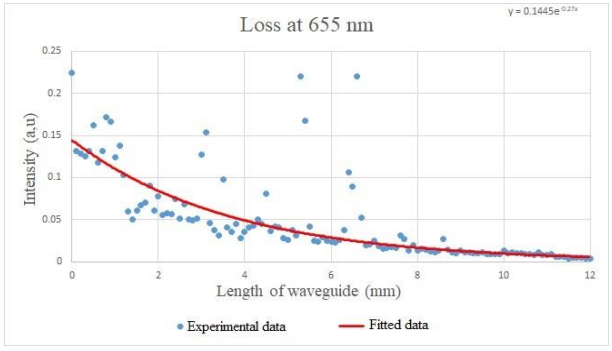
[Downloaded from www.opsi.ir on 2025-08-01]



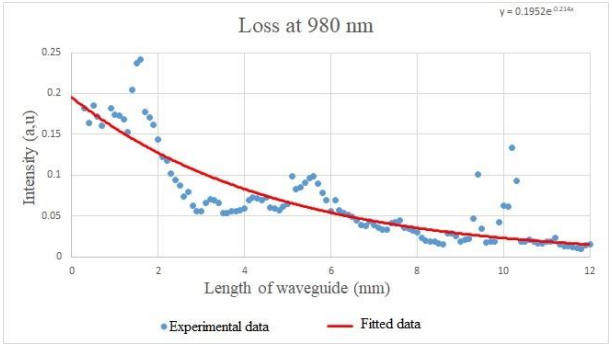
شکل (۴): تصویری از چیدمان اندازه‌گیری تلفات.

بحث و نتایج

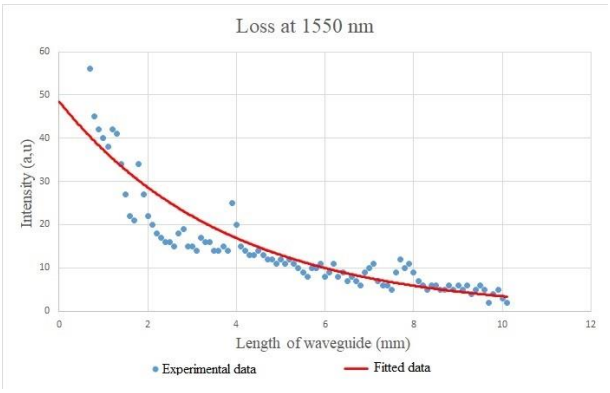
در این بخش نمودارهای مرتبط با اندازه‌گیری تلفات آورده شده است. نمودار(۱) طول موج ۶۵۵ نانومتر، نمودار (۲) طول موج ۹۸۰ نانومتر و نمودار (۳) طول موج ۱۵۵۰ نانومتر را به نمایش گذاشته است، نتایج اندازه‌گیری شده با نقاط آبی و خطوط قرمز نشان‌دهنده منحنی برازش شده با نتایج تجربی را نشان می‌دهد .



نمودار(۱): تلفات در طول موج ۶۵۵نانومتر.



نمودار (۲): تلفات در طول موج ۹۸۰ نانومتر.



نمودار (۳): تلفات در طول موج ۱۵۵۰نانومتر.

نتیجه گیری

برای محاسبه اتلاف بر داده های نمودارهای شدت نور پراکنده شده از سطح موجبر (نمودارهای ۱،۲،۳) یک تابع نمایی برازش می کنیم تا α ضریب اتلاف به دست آید. سپس با استفاده از رابطه (۱) اتلاف را برای هر سه طول موج به دست می آوریم:

$$\mathrm{Loss}[\frac{dB}{mm}] = -\frac{10}{z_2 - z_1}\log\left(\frac{I_{z_2}}{I_{z_1}}\right) = -\frac{10}{z_2 - z_1}\log\left(\frac{e^{-\alpha z_2}}{e^{-\alpha z_1}}\right) = \frac{10}{\ln(10)}\alpha, \mathrm{Loss}\,[\frac{dB}{cm}] = \frac{1}{10}\mathrm{Loss}[\frac{dB}{mm}] = \frac{\alpha[1/mm]}{\ln(10)} \quad (۱)$$

مقادیر اتلاف اعداد ۰/۱۲ و ۰/۹ و ۰/۱۱ بر حسب dB/cm به ترتیب برای طول موج‌های ۶۵۰، ۹۸۰ و ۱۵۵۰ نانومتر به دست آمده است.

منابع

[۱] Jhonattan C. Ramirez'' Low-loss modified SU-۸ waveguides by direct laser writing at ٤٠٥ nm'', Opt. Mater. Express ۷, ۲٦٥١-۲٦٥٩ (۲۰۱۷).

[۲] Yu Xin, Gregory Pandraud,'' Tapered SU۸ Waveguide for Evanescent Sensing by Single–Step Fabrication'', Delft University of Technology,۲۰۱۷ IEEE SENSORS.

[۳] Aleksandrs Marinins, Ni'' Air-suspended SU-۸ strip waveguides with high refractive index contrast'',۲۰۱۷ IEEE Photonics Technology Letters, ۲۸(۱۷).

[٤] Robert G.Hunsperger, Integrated Optic, Theory and technology, Springer; ٦th ed. ۲۰۰۹.

[٥] B.E.A Saleh, Fundemental of Photonic, Wiley & Sons, Incorporated, John,Second edition ۲۰۰۷.

[Downloaded from www.opsi.ir on 2025-08-01]