



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 پارساناسب^۲، محمد طالبی خوشمهر^۳

دانشکده مهندسی برق، دانشگاه شهید بهشتی تهران

Mohsenmirmohamadi@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 پرداخته ایم. پس از آن، فرایند ساخت موجبر پلیمری و چیدمانهای مورد نیاز برای لیتوگرافی آن با ماده $SU^{\wedge}$ 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 اندازه گیری 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

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

Faculty 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 $SU^{\wedge}$ 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 nm (نانومتر) ۹۸۰ nm و ۱۵۵۰ nm respectively.

Keywords: Couple, Loss, Photoresist, Polymer Waveguide.



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



می تواند بسیار مهم و قابل توجه باشد، به ویژه در مواردی
که مدهای مرتبه بالا تحریک می شوند.

روش ساخت

برای ساخت موجبر از فتورزیست منفی بنام SU-۸-۲۰۰۲ استفاده شده است، فتورزیست های منفی موادی هستند که با قرار گرفتن در معرض نور از خود واکنش نشان داده و بروی سطح زیرلایه تا حدی سخت می شوند و امکان ایجاد طرح های مختلف را فراهم می سازند. SU-۸ نیز بر اثر تابش نور فرابنفش با طول موج ۴۰۰ نانومتر از منومر به پلیمر تغییر فاز داده و نسبتاً سخت می شود. به منظور لایه نشانی، زیرلایه ای از جنس SiO_2 را کاملاً تمیز و خشک نموده و سپس ماده SU-۸ (محلول) را بر سطح زیرلایه گسترانده و با سرعت ۶۰۰۰ rpm به مدت ۳۵ ثانیه تحت لایه نشانی چرخشی (Spin-Coating) قرار می دهیم، در نهایت لایه ای با ضخامت ۲٫۸ میکرومتر که توسط دستگاه فیلم-متریک اندازه گیری شده است حاصل خواهد شد. در گام بعدی به منظور ایجاد استحکام نسبی در لایه، نمونه تحت دمای ۹۷ درجه سانتی گراد به مدت ۱۲۰ ثانیه گرمادهی شده (عمل پیش-پخت) و سپس به تدریج به دمای اتاق بازگردانده می شود. برای ایجاد موجبرها، به کمک چیدمان شکل (۱)، فرایند لیتوگرافی به روی نمونه صورت می گیرد. چیدمان از یک جابجاگر سه محوره، دو آینه، دیافراگم، مقسم باریکه نور و دوربین تشکیل شده است. برای ایجاد موجبر با عرض ۴ میکرومتر می بایست توان لیزر بروی ۳ میلی وات قرارگیرد و جابجاگر با سرعت ۵۰ میکرومتر بر ثانیه به روی نمونه حرکت کند. پس از اتمام فرایند لیتوگرافی، باز هم به منظور ایجاد چسبندگی بیشتر، نمونه به مدت ۸ دقیقه با دمای

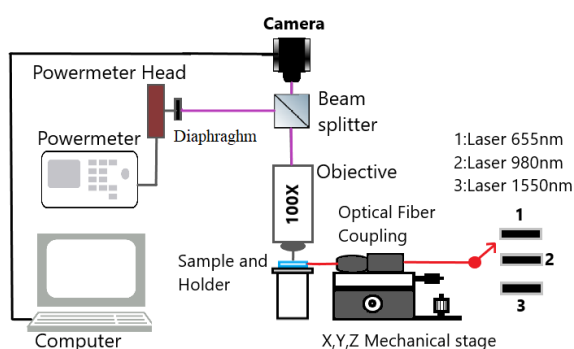
مقدمه

موجبرهای نوری را می توان به عنوان عنصر اصلی هدایت و انتقال نور تلقی نمود. یک موجبر می تواند 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 می کنند. موجبرها را می توان با توجه به خصوصیات آن ها همچون ابعاد فضایی که نور درون آن محبوس می شود و جنس مواد مورد استفاده برای طراحی و ساخت آن ها دسته بندی نمود. در سال های اخیر، ساخت موجبرهای نوری از جنس پلیمر، به واسطه کاهش هزینه ها و فرایند ساخت نسبتاً ساده تر در مقابل مواد نیمه هادی، در زمینه های تجاری سازی مورد استقبال قرار گرفته اند. پلیمرهای مختلف، خواص نوری، الکتریکی و مکانیکی متفاوتی را از خود به نمایش می گذارند که مشخصه کلیدی و قابل توجه آن ها را می توان ضریب شکست و تلفات عنوان نمود، که هر دو تابعی از طول موج هستند.

تلفات موجبرهای نوری، یکی از مهم ترین عوامل مورد بررسی در ساخت آن ها بشمار می آیند که عموماً با dB/Cm اندازه گیری می شود. تلفات موجبرها در سه مکانیزم قابل بررسی اند: تلفات پراکندگی، جذب و تابشی. تلفات پراکندگی در موجبرهای شیشه ای و دی الکتریک (عایق) از اهمیت بالاتری برخوردار است، تلفات جذب در مواد نیمه هادی 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 می دهد. پراکندگی سطح حتی در سطوح بسیار صاف نیز

اندازه‌گیری تلفات

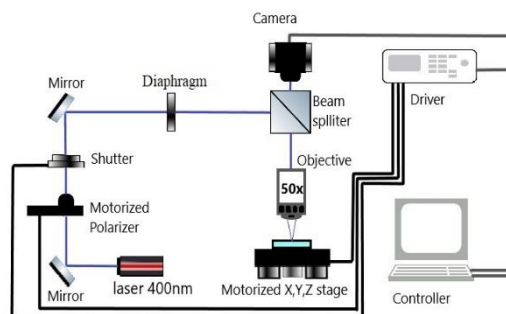
در این بخش ابتدا فیبر تک مد به موجبر مورد نظر کوپل شده و سپس توسط چیدمان شکل (۳) تلفات پراکندگی موجبرها اندازه‌گیری می‌شود. برای کوپل نور در موجبرها می‌بایست لبه نمونه کاملاً صاف باشد تا بتوان با نزدیک نمودن فیبر به سطح مقطع موجبر، نور را درون آن کوپل نمود. بنابراین، لبه نمونه را به کمک دستگاه پرداخت، 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 از لیزر مرئی با طول موج ۶۵۵ نانومتر به موجبر مورد نظر کوپل می‌نماییم.



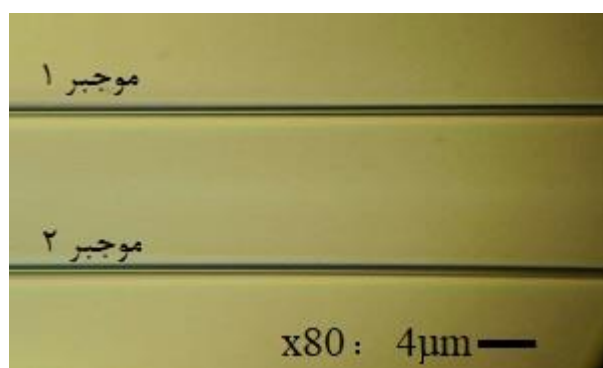
شکل (۳): چیدمان اندازه‌گیری تلفات

در گام بعدی به کمک چیدمان اندازه‌گیر تلفات، تلفات موجبر را در سه طول موج ۶۵۵ نانومتر مرئی، ۹۸۰ نانومتر و ۱۵۵۰ نانومتر فروسرخ اندازه‌گیری خواهیم نمود. عملکرد چیدمان اندازه‌گیری تلفات به گونه‌ای است که توسط دوربینی که با کمک یک لنز ۱۰۰ $\times$ تصویر موجبر را بزرگ نمایی می‌کند، سطح موجبر را از نقطه‌ای تا نقطه دیگر جاروب (scan) نموده (برای طول موج ۶۵۵ و ۹۸۰ نانومتر ۱۲ میلیمتر و برای ۱۵۵۰ نانومتر ۱۰ میلیمتر 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.

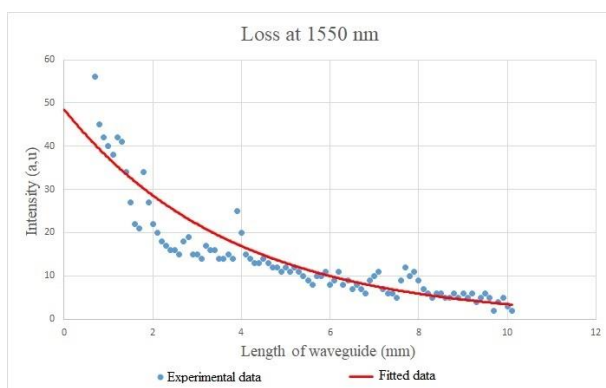
۹۷ درجه سانتی‌گراد گرمادهی می‌شود (عمل پس-پخت)، در این مرحله موجبرهای نوشته شده تاحدی قابل مشاهده خواهند بود. در گام بعد، نمونه به دمای اتاق باز می‌شود، سپس برای پاک شدن نواحی که در معرض تابش نور لیزر نبوده و به دست آمدن طرح اصلی، نمونه به مدت ۵۰ ثانیه در ماده با نام methoxy-۲-propanol قرار می‌گیرد. 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 کاملاً محکم شده و حلال باقی مانده بروی نمونه به صورت کلی تبخیر می‌گردد. این فرایند به مدت ۱۳۵ دقیقه در دمای ۱۲۵ درجه سانتی‌گراد صورت می‌پذیرد (عمل سخت-پخت).



شکل (۱) چیدمان لیتوگرافی



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



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

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:

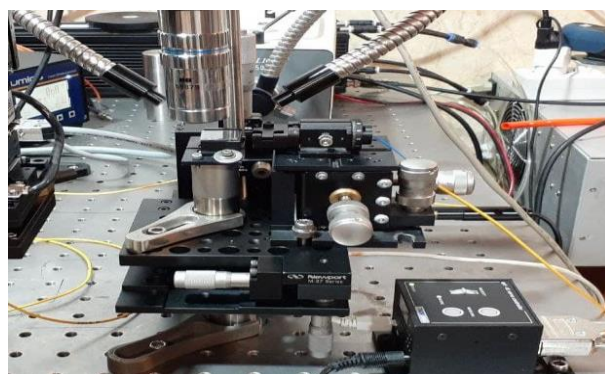
$$\text{Loss} \left[\frac{\text{dB}}{\text{mm}} \right] = -\frac{10}{z_2 - z_1} \log \left(\frac{I_{z_2}}{I_{z_1}} \right) = -\frac{10}{z_2 - z_1} \log \left(\frac{e^{-\alpha z_2}}{e^{-\alpha z_1}} \right) = \quad (1)$$

$$\frac{10}{\ln(10)} \alpha, \text{Loss} \left[\frac{\text{dB}}{\text{cm}} \right] = \frac{1}{10} \text{Loss} \left[\frac{\text{dB}}{\text{mm}} \right] = \frac{\alpha [1/\text{mm}]}{\ln(10)}$$

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

منابع

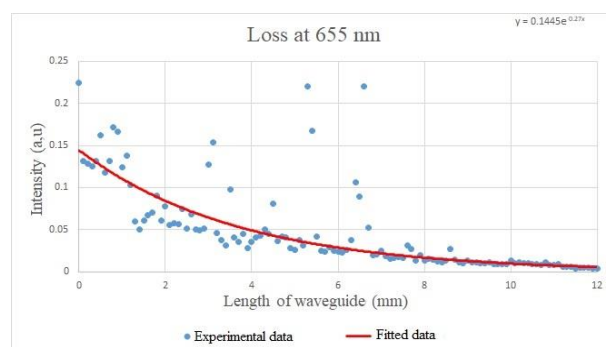
- [۱] Jhonattan C. Ramirez, "Low-loss modified SU-8 waveguides by direct laser writing at ۴۰۰ nm", Opt. Mater. Express ۷, ۲۶۵۱-۲۶۵۹ (۲۰۱۷).
- [۲] Yu Xin, Gregory Pandraud, "Tapered SU-8 Waveguide for Evanescent Sensing by Single-Step Fabrication", Delft University of Technology, ۲۰۱۷ IEEE SENSORS.
- [۳] Aleksandrs Marinins, Ni, "Air-suspended SU-8 strip waveguides with high refractive index contrast", ۲۰۱۷ IEEE Photonics Technology Letters, ۲۸(۱۷).
- [۴] Robert G. Hunsperger, Integrated Optic, Theory and technology, Springer; ۶th ed. ۲۰۰۹.
- [۵] B.E.A Saleh, Fundamental of Photonic, Wiley & Sons, Incorporated, John, Second edition ۲۰۰۷.



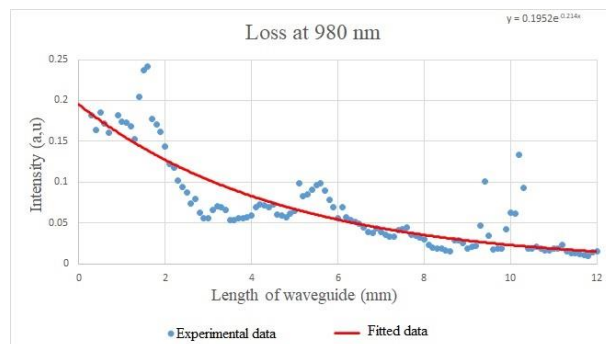
شکل (۴): تصویری از چیدمان اندازه گیری تلفات.

بحث و نتایج

در این بخش نمودارهای مرتبط با اندازه گیری 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 اندازه گیری شده با نقاط آبی و خطوط قرمز نشان دهنده منحنی برازش شده با نتایج تجربی را نشان می دهد.



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



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