



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



طراحی و ساخت موجبر صفحه‌ای پلیمری با استفاده از زیرلایه PET

سمیه زارع^۱، آمنه کارگریان^۲

^۱پژوهشکده فوتونیک و فناوری‌های کوانتومی، پژوهشگاه علوم و فنون هسته‌ای، ۸۳۶-۱۴۳۹۵، تهران -

ایران، sozare@aeoi.org.ir

^۲پژوهشکده پلاسما و گداخت هسته‌ای، پژوهشگاه علوم و فنون هسته‌ای، ۸۳۶-۱۴۳۹۵، تهران -

ایران، akargarian@aeoi.org.ir

چکیده - در این مقاله، طراحی، ساخت و مشخصه‌یابی موجبر پلیمری حاصل از لایه نشانی پلیمر SU-8-2050 روی زیر لایه PET گزارش می‌شود. معادلات موجبر با استفاده از روش المان محدود حل می‌شوند و طیف عبوری موجبر با استفاده از نرم افزار مکلئود شبیه سازی می‌شود. سپس موجبر در آزمایشگاه به روش پوشش دهی دورانی ساخته و طیف عبوری آن اندازه گیری می‌شود. نتایج اندازه‌گیری طیف نشان می‌دهند که SU-8-2050 عبور بهتری نسبت به زیرلایه دارد و لایه نشانی آن بر روی زیر لایه PET باعث بهبود میزان عبور می‌شود.

کلیدواژه- ضریب شکست، پلیمر، موجبر، PET

Design and Fabrication of Polymer Planar Optical Waveguides using PET substrate

¹Somaye Zare, ²Ameneh Kargarian

¹Photonics and Quantum Technology Research School, Nuclear Science and Technology Research Institute, 14395-836, Tehran, Iran, sozare@aeoi.org.ir

²Plasma and Nuclear Fusion Research School, Nuclear Science and Technology Research Institute, 14395-836, Tehran, Iran, akargarian@aeoi.org.ir

Abstract- In this work, design, fabrication and properties of polymer optical planar waveguide made of photoresist deposited on PET foil substrate is reported. The waveguide equations are solved by finite element method (FEM) and transmission spectra of waveguide is simulated by Macleod software. Afterward, the waveguide is fabricated by spin coating method in the laboratory and its transmission spectra is measured. The results show that the SU-

8-2050 has the higher transparency than the substrate, and SU-8-2050 deposited on PET substrate increases transmission spectra.

Keywords: refractive index, Polymer, Waveguide, PET

β ضریب انتشار در امتداد محور z است. معادله موج (۱) را بازنویسی می‌کنیم،

$$\frac{\partial^2 E_y}{\partial x^2} + (k_0^2 n_i^2 - \beta^2) E_y = 0 \quad (3)$$

حل معادله (۳) به اندازه β وابسته است. برای انتشار موج در در موجبر باید،

$$k_0 n_1 < \beta < k_0 n_2 \quad (4)$$

n_1 ، n_2 و n_3 به ترتیب ضریب شکست غلاف، هسته و زیر لایه هستند [۴]. بنابراین حل معادله موج در سه ناحیه برابر خواهد بود با

$$\begin{cases} E_y = A e^{-\gamma_c x} & x > 0 \\ E_y = A \left[\cos(k_f x) - \frac{\gamma_c}{k_f} \sin(k_f x) \right] & -h < x < 0 \\ E_y = A \left[\cos(k_f h) + \frac{\gamma_c}{k_f} \sin(k_f h) \right] & x < -h \end{cases} \quad (5)$$

γ_c ، h و A به ترتیب میزان اتلاف در موجبر، ضخامت هسته موجبر، دامنه میدان الکتریکی و بردار انتشار در هسته موجبر را نشان می‌دهند. این معادلات باید به صورت عددی حل شوند تا میدان در هر لایه مشخص شود. همچنین با حل این معادلات، حداقل ضخامت لایه برای انتشار مدها درون موجبر حاصل می‌شود. با حل عددی معادلات مقدار β و در نتیجه ضریب شکست موثر موجبر مشخص خواهد شد [۵].

$$n_{eff} = \beta / k_0 \quad (6)$$

محاسبات

در ادامه موجبری گزارش می‌شود که در آن PET، SU-8 و هوا به ترتیب زیرلایه، هسته و غلاف موجبر هستند. ضخامت PET و SU-8 به ترتیب ۱۲۰ میکرومتر و ۵۰ میکرومتر است. شکل ۲ ضریب شکست SU-8 و PET را به

مقدمه

امروزه موجبرهای اپتیکی نقش مهمی در ارتباطات و سیستم‌های ردیابی ایفا می‌کنند. مواد پلیمری گزینه خوبی برای ساخت موجبرهای اپتیکی هستند، زیرا میزان عبور آن‌ها در طول موج‌های مرئی تا مادون قرمز دور زیاد است. از طرفی پایداری دمایی معقول، افت اپتیکی ناچیز و فرایند ساخت آسان و کم هزینه‌ای دارند [۱، ۲]. پلیمرهای زیادی برای ساخت موجبرها وجود دارد، از جمله SU-8 که پلیمری حساس به نور فرابنفش است. زمانی که SU-8 تحت تابش پرتو فرابنفش قرار می‌گیرد، پیوند بین زنجیره‌های مولکولی آن، SU-8 را سفت و محکم می‌کند [۳]. در این مقاله، موجبری صفحه‌ای که در آن SU-8 ماده هدایت کننده و PET زیرلایه است، طراحی، ساخته و مشخصه یابی می‌شود.

طراحی موجبر صفحه‌ای

شکل ۱ آرایش موجبر صفحه‌ای شامل زیرلایه، هسته موجبر و غلاف را نشان می‌دهد.



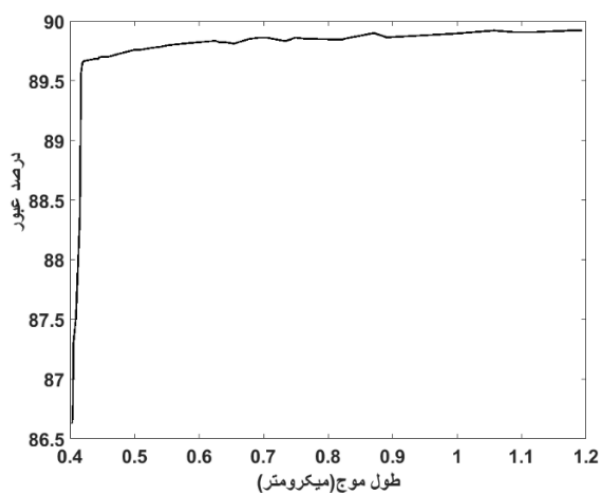
شکل ۱. موجبر صفحه‌ای

با فرض انتشار یک موج سینوسی در موجبر، معادله موج برای مولفه‌های میدان الکتریکی، E_y در هر لایه به صورت زیر خواهد بود،

$$\nabla^2 E_y + k_0^2 n_i^2 E_y = 0 \quad (1)$$

k_0 و n_i به ترتیب نشان دهنده بردار انتشار و ضریب شکست لایه هستند. از حل معادله (۱)، نتیجه می‌شود،

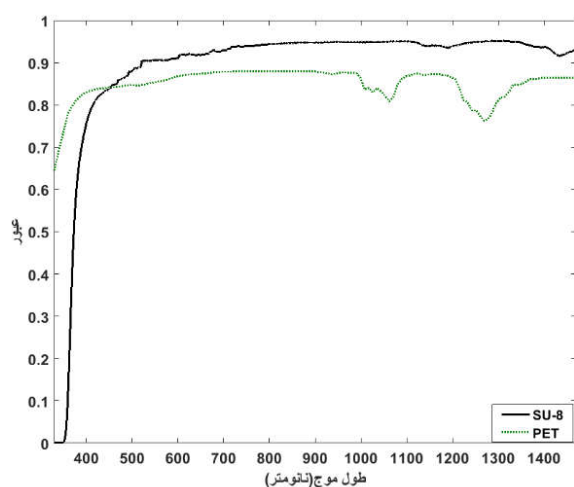
$$E_y(x, z) = E_y(x) e^{-j\beta z} \quad (2)$$



شکل ۳. درصد عبور موجبر PET/SU-8 در طول موج‌های متفاوت، محاسبه شده با استفاده از نرم افزار مکلنود

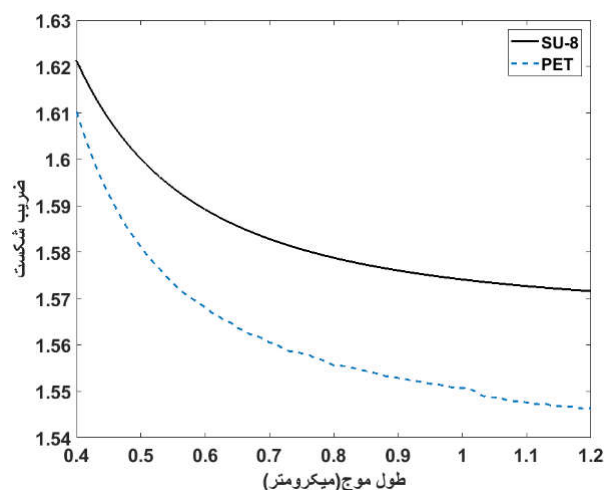
ساخت موجبر و نتایج

در این کار از پلیمر SU-8-2050 استفاده شده است. ابتدا پلیمر به روش پوشش دهی دورانی بر روی زیر لایه PET نشاندن می‌شود. شکل ۴ درصد عبور PET و SU-8-2050 را در تابش عمودی طیفی از طول موج‌ها از ۳۰۰ نانومتر تا ۱۵۰۰ نانومتر نشان می‌دهد. از شکل دیده می‌شود که SU-8-2050 میزان عبور بهتری نسبت به PET دارد. بنابراین با لایه نشانی این SU-8-2050 با ضریب شکست بزرگتر و درصد عبور بهتر، موجبری تشکیل می‌شود که نور ناشی از بازتاب کلی در آن به دام افتاده و در امتداد موجبر انتقال می‌یابد.



شکل ۴: تلف عبوری SU-8 (خط ممتد) و PET (نقطه چین) به صورت تابعی از طول موج

صورت تابعی از طول موج نشان می‌دهد. همانطور که از شکل دیده می‌شود، ضریب شکست با افزایش طول موج کاهش می‌یابد.



شکل ۵: ضریب شکست SU-8 (خط ممتد) و PET (خط چین) به صورت تابعی از طول موج

همچنین با حل معادلات با روش المان محدود، حداقل ضخامت لازم برای داشتن موجبر تک مد برای مدهای TE و TM در دو طول موج ۶۳۳ نانومتر و ۸۵۰ نانومتر محاسبه و در جدول ۱ گزارش شده است. موجبر در ضخامت‌های بزرگتر از این مقدار، چند مدی خواهد بود.

جدول ۱: حداقل ضخامت لایه برای انتقال یک مد در موجبر PET/SU8

ضخامت (میکرومتر)	مد	طول موج (نانومتر)
۱/۷۳۷	TE0	۶۳۳
۱/۷۳۹	TM0	۶۳۳
۱/۶۸۹	TE0	۸۵۰
۱/۶۹۱	TM0	۸۵۰

شبیه سازی موجبر و محاسبه میزان عبور موجبر صفحه‌ای PET/SU8 با استفاده از نرم افزار مکلنود انجام شده است. از شکل دیده می‌شود که درصد عبور موجبر در طول موج‌های ۴۰۰ نانومتر تا ۱۲۰۰ نانومتر مقداری تقریباً ثابت و نزدیک به ۹۰٪ است.

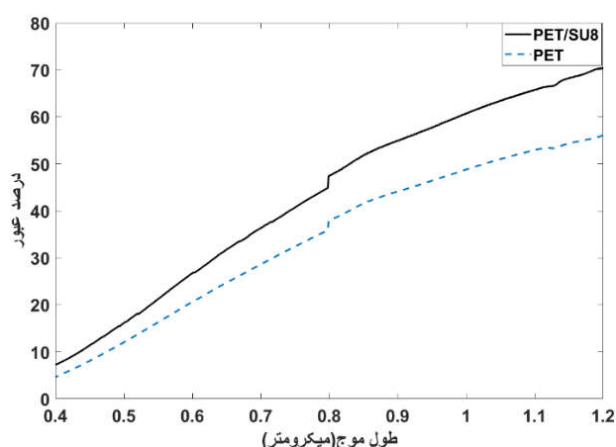
نتیجه گیری

در این مقاله، طراحی، ساخت و مشخصه یابی موجبر پلیمری حاصل از لایه نشانی SU-8-2050 روی زیر لایه PET گزارش شد. با استفاده از روش المان محدود، معادلات موجبر حل شدند. سپس درصد عبور نور از موجبر طراحی شده با استفاده از نرم افزار مکلنود رسم گردید. همچنین طیف عبوری موجبر ساخته شده در آزمایشگاه اندازه گیری شد. از نتایج مشاهده شد که لایه نشانی فوورزیست بر روی زیر لایه باعث بهبود میزان عبور نمونه می شود که نشان دهنده این است که پلیمر استفاده شده، گزینه خوبی برای ساخت موجبرهای پلیمری است.

مرجع ها

- [1] V. Prajzler, K.Min, S.Kim, P.Nekvindova, Materials, **11**, 112 (2018).
- [2] G.Fischbeck, R.Moosburger, M. Topper, K.Petermann, Electronics Letters **32**, 212 (1996).
- [3] M. Nordström, D. A. Zauner, A. Boisen, J. Hübner, Journal Of Lightwave Technology **25**, 1284 (2007).
- [4] C.Pollock, M. Lipson, Integrated Photonics. Kluwer Academic Publishers, 2003. ISBN: 1402076355.
- [5] V. Prajzler, J. Klapuch, O. Lyutakov, I. Hüttel, Jarmila Špírková, P. Nekvindová, V. Jeřábek, Radio engineering **20**, 479 (2011).

سپس نمونه را در کوره با دمای ۹۵ درجه سانتی گراد قرار داده تا حلال ها حذف شوند و چسپندگی زیر لایه و SU-8-2050 بهبود یابد. در ادامه نمونه را تحت تابش فرابنفش قرار می دهیم و در آخر نمونه جهت پخت نهایی در کوره با دمای ۹۵ درجه سانتی گراد قرار داده می شود تا پلیمر مانند شیشه سفت شود. طیف عبوری موجبر با استفاده از اسپکترومتر در محدوده طول موج های ۴۰۰ نانومتر تا ۱۲۰۰ نانومتر جمع آوری و در شکل ۵ نمایش داده شده است.



شکل ۵. درصد عبور موجبر PET/SU-8 در طول موج های متفاوت اندازه گیری شده در آزمایشگاه

همانطور که انتظار می رفت، لایه نشانی پلیمر SU-8-2050 روی ورقه PET باعث بهبود میزان عبور نور از نمونه شده است. که میزان این بهبود در طول موج ۱۲۰۰ نانومتر حدود ۲۵٪ است. اگر با شکل ۲ مقایسه کنیم، مشاهده می شود که میزان عبور نمونه آزمایشگاهی از محاسبات تئوری کمتر است. علت تفاوت میزان عبوری در محاسبات تئوری با داده های تجربی علاوه بر خطاهای تجربی در این است که در محاسبات PET بی رنگ فرض شده است، در حالی که ورقه استفاده شده در آزمایش شیری رنگ است و میزان بازتاب آن در طول موج های اندازه گیری شده، بیشتر از نمونه بی رنگ خواهد بود.