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

طراحی و ساخت موجبر صفحه‌ای پلیمری با استفاده از زیرلایه PET

سمیه زارع[۱]، آمنه کارگریان[۲]

[۱]پژوهشکده فوتونیک و فناوری‌های کوانتومی، پژوهشگاه علوم و فنون هسته‌ای، ۱۴۳۹۵-۸۳۶، تهران- ایران، sozare@aeoi.org.ir

[۲]پژوهشکده پلاسما و گداخت هسته‌ای، پژوهشگاه علوم و فنون هسته‌ای، ۱۴۳۹۵-۸۳۶، تهران- ایران، akargarian@aeoi.org.ir

چکیده - در این مقاله، طراحی، ساخت و م شخ صه یابی موجبر پلیمری حا صل از لایه ن شانی پلیمر SU-8-2050 روی زیر لایه PET گزارش می شود. معادلات موجبر با ا ستفاده از روش المان محدود حل می شوند و طیف عبوری موجبر با ا ستفاده 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 نشـــان می‌دهند که SU-8-2050 عبور بهتری نســـبت به زیرلایه دارد و لایه نشـــانی آن بر روی زیر لایه PET باعث بهبود میزان عبور می‌شود.

کلید واژه- ضریب شکست، ، پلیمر، موجبر، PET

Design and Fabrication of Polymer Planar Optical Waveguides using PET substrate

[1]Somaye Zare, [2]Ameneh Kargarian

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

[Downloaded from opsi.ir on 2025-11-04]

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

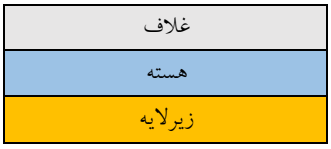
Keywords: refractive index, Polymer, Waveguide, PET

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

شکل۱ 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،

$$\nabla^2 E_y + k_0^2 n_i^2 E_y = 0 \qquad (۱)$$

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

$$E_y(x,z) = E_y(x) e^{-j\beta z} \qquad (۲)$$

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

$$\frac{\partial^2 E_y}{\partial x^2} + (k_0^2 n_i^2 - \beta^2) E_y = 0 \qquad (۳)$$

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

$$k_0 n_1 < \beta < k_0 n_2 \qquad (۴)$$

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

$$\begin{cases} E_y = A e^{-\gamma_c x} & x > 0 \\ E_y = A\left[\cos(k_f x) - \frac{\gamma_c}{k_f}\sin(k_f x)\right] & -h < x < 0 \\ E_y = A\left[\cos(k_f h) + \frac{\gamma_c}{k_f}\sin(k_f h)\right] & x < -h \end{cases} \qquad (۵)$$

γ_c، h، A و k_f 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]،

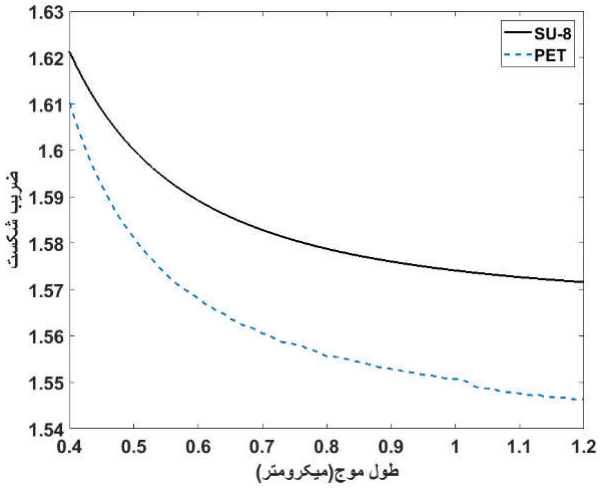
$$n_{eff} = \beta / k_0 \qquad (۶)$$

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. شکل۲ ضریب شکست SU-8 و PET را به

[Downloaded from opsi.ir on 2025-11-04]

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



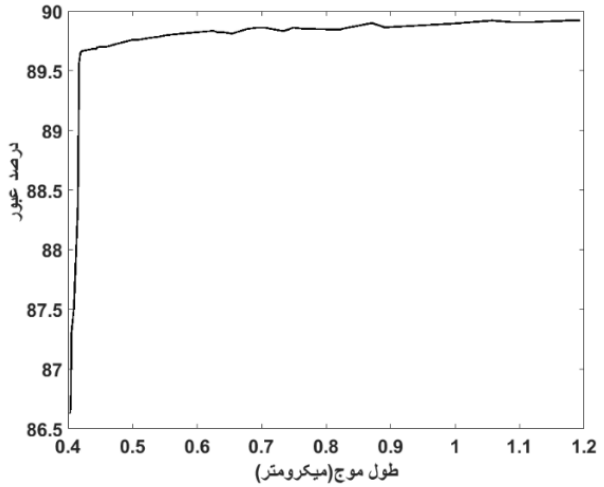
شکل۲: ضریب شکست SU-8 (خط ممتد) و PET (خط چین) به صورت تابعی از طول موج

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 ۶۳۳۳ نانومتر و ۸۵۰ نانومتر محاسبه و در جدول ۱ گزارش شده است. موجبر در ضخامت‌های بزرگتر از این مقدار، چند مدی خواهد بود.

جدول۱: حداقل ضخامت لایه برای انتقال یک مد در موجبر PET/SU8

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

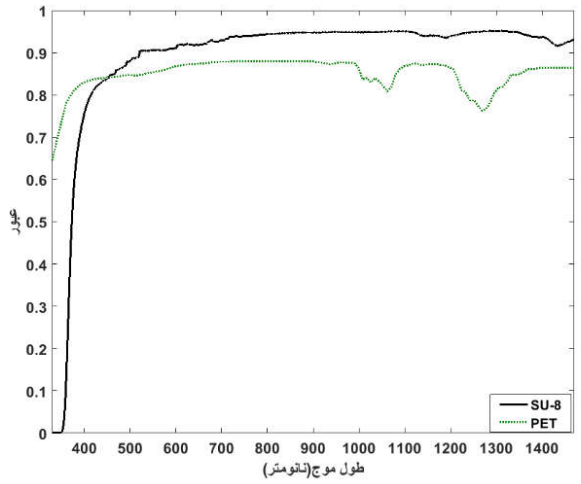
شبیه سازی موجبر و محاسبه میزان عبور موجبر صفحه‌ای PET/SU8 با استفاده از نرم افزار مکلئود انجام شده است. از شکل دیده می‌شود که درصد عبور موجبر در طول موج-های ۴۰۰ نانومتر تا ۱۲۰۰ نانومتر مقداری تقریباً ثابت و نزدیک به ۹۰٪ است.



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

ساخت موجبر و نتایج

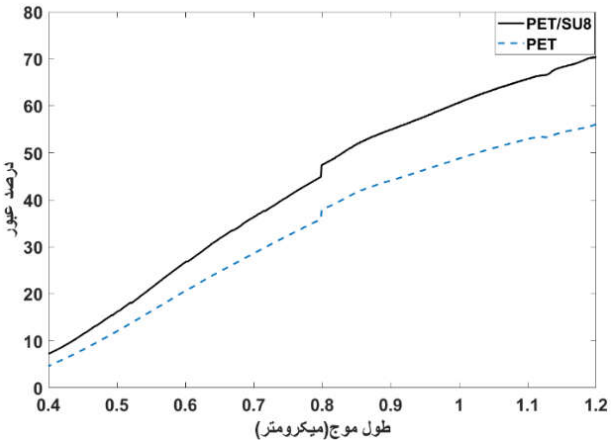
در این کار از پلیمر SU-8-2050 استفاده شده است. ابتدا پلیمر به روش پوشش دهی دورانی بر روی زیر لایه PET نشانده می‌شود. شکل ۴ درصد عبور PET و SU-8-2050 را در تابش عمودی طیفی از طول موج‌ها از ۳۰۰ نانومتر تا ۱۵۰۰ نانومتر نشان می‌دهد. از شکل دیده می‌شود که SU-8-2050 میزان عبور بهتری نسبت به PET دارد. بنابراین 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: طیف عبوری SU-8 (خط ممتد) و PET (نقطه چین) به صورت تابعی از طول موج

[Downloaded from opsi.ir on 2025-11-04]

سپس نمونه را در کوره با دمای ۹۵ درجه سانتی‌گراد قرار داده تا حلال‌ها حذف شوند و چسپندگی زیرلایه و SU-8-2050 بهبود یابد. در ادامه نمونه را تحت تابش فرابنفش قرار می‌دهیم و در آخر نمونه جهت پخت نهایی در کوره با دمای ۹۵ درجه سانتی‌گراد قرار داده می‌شود تا پلیمر مانند شیشه سفت شود. طیف عبوری موجبر با استفاده از اسپکترومتر در محدوده طول موج‌های ۴۰۰ نانومتر تا ۱۲۰۰ نانومتر جمع آوری و در شکل۵ نمایش داده شده است.



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

همانطور که انتظار می‌رفت، لایه نشانی پلیمرSU-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 می‌شود که میزان عبور نمونه آزمایشگاهی از محاسبات تئوری کمتر است. علت تفاوت میران 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 موج‌های اندازه‌گیری شده، بیشتر از نمونه بی رنگ خواهد بود.

نتیجه‌گیری

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 مکلئود رسم گردید. همچنین طیف عبوری موجبر ساخته شده در آزمایشگاه اندازه گیری شد. از نتایج مشاهده شد که لایه نشانی فوورزیست بر روی زیرلایه باعث بهبود میزان عبور نمونه می‌شود که نشان دهنده این است که پلیمر استفاده شده، گزینه خوبی برای ساخت موجبرهای پلیمری است.

مرجع‌ها

[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 Špirková, P. Nekvindová, V. Jeřábek, Radio engineering **20**, 479 (2011).

[Downloaded from opsi.ir on 2025-11-04]