

## بررسی روش طیف‌سنجی برای تعیین نمایه ضریب شکست موجبرهای صفحه‌ای

درودی، احمد<sup>۱</sup>؛ احدی‌اخلاقی، احسان<sup>۲</sup>

<sup>۱،۲</sup> گروه فیزیک، دانشکده علوم، دانشگاه زنجان، زنجان

### چکیده

در این مقاله، از روش تحلیل طیفی برای تعیین نمایه ضریب شکست موجبرهای صفحه‌ای استفاده شده است. یک موجبر صفحه‌ای را می‌توان به تعدادی لایه فرضی همگن تقسیم کرد و ضرایب عبور و بازتاب را برای کل موجبر با استفاده از روابط ضرایب عبور و بازتاب برای لایه‌های نازک شبیه‌سازی کرد. این روش را برای موجبرهای ساخته شده به روش تبادل یون به کار بردیم و با مقایسه طیف‌های اندازه‌گیری شده و شبیه‌سازی شده، نمایه آن‌ها را تعیین کردیم. برای برازش این دو طیف از الگوریتم ژنتیک استفاده شده است. به علت این که در این روش هم طیف عبوری و هم طیف بازتابی بررسی می‌شود، این روش توانایی تعیین پاشندگی و همچنین تابع جذب موجبر را دارد.

## Review the Spectroscopic Method to Determination of Refractive Index Profile of Planar Waveguides

Darudi, Ahmad<sup>1</sup>; Ahadi Akhlaghi, Ehsan<sup>2</sup>  
<sup>1,2</sup>Physics Department, Zanjan University, Zanjan

### Abstract

In this paper, we use spectrum analysis method to determine the refractive index profile of planar waveguides. A planar waveguide can be numerically divided to homogeneous multilayer, and then by using the transmission and reflection coefficient equations in thin films, the transmission and reflection coefficient of whole of waveguide can be determined. We use this method for a waveguide that fabricated by ion-exchange method and by fitting the simulated spectrum to measured spectrum by using genetic algorithm to determine the refractive index profile of that. Because of in this method we use the transmission and reflection spectrum, we can determine dispersion and absorption of waveguides.

PACS No. 42

جزء روشهای مرسوم می‌باشد. روش دیگری که وجود دارد، روش گوه کردن موجبر است، و براساس تداخل از ضخامت‌های مختلف موجبر کار می‌کند. مشکل این روش در مخرب بودن آن است<sup>۱</sup>. روش دیگری که می‌توان ذکر کرد، سراب لوید است، و بر اساس بازتاب نور از لایه‌های مختلف موجبر (بازتاب کلی) و تداخل آن با پرتو منحرف نشده (مانند آینه لوید) کار می‌کند. از معایب این روش می‌توان دشوار بودن چیدمان آن را نام برد<sup>۲</sup>. روشی که در اینجا به آن پرداخته می‌شود، بر اساس تحلیل طیف‌های عبوری و بازتابی از یک موجبر صفحه‌ای کار می‌کند.

### مقدمه

روشهای مختلفی برای تعیین نمایه ضریب شکست موجبرهای صفحه‌ای وجود دارد، که هر کدام معایب خاص خود را دارا هستند. به‌طور مثال، روش WKB براساس مدشماری در موجبر کار می‌کند. معایب این روش عدم توانایی تعیین نمایه ضریب شکست موجبرهای تک مد، عدم توانایی تعیین نمایه ضریب شکست موجبرهای کانالی، عدم توانایی تعیین عمق نفوذهای کم و عدم دقت بالا در اندازه‌گیری نمایه است<sup>۱</sup>. تحلیل میدان نزدیک شدت باریکه خروجی از موجبر روش دیگری برای تعیین نمایه ضریب شکست است<sup>۱</sup>. این روش نیاز به کالیبراسون دقیق دارد و

## روش تحلیل طیفی

به طور خلاصه می توان گفت، در این روش، ابتدا ضریب عبور و یا بازتاب یک موجبر را به کمک دستگاه طیف سنج اندازه گیری می کنیم. و همچنین به کمک روابط ضرایب عبور و بازتاب برای لایه های نازک می توان این طیف ها را به صورت نظری محاسبه کرد. برای این کار باید موجبر را به تعداد زیادی لایه فرضی تقسیم کنیم. که البته تعداد این تقسیمات باید به حدی کافی زیاد باشد، تا هر لایه را با تقریب خوبی بتوان همگن فرض کرد. این امر باعث می شود، که بتوان برای هر لایه، یک ضریب شکست ثابت فرض کرد، و در نتیجه، خطای گسسته سازی هر چه بیشتر کاهش یابد.

باید توجه داشت که در حالت کلی، پاشندگی لایه ها متفاوت است، یعنی صحیح تر است که نمایه ثابت های پاشندگی را به دست آوریم. ولی اگر مرتبه تغییرات ضریب شکست سطح و زیرلایه، بیشتر از مرتبه تغییرات ضریب شکست ناشی از پاشندگی باشد، می توان از وجود یک پاشندگی متفاوت برای هر لایه چشم پوشی کرد، و با تقریب، پاشندگی هر لایه را برابر پاشندگی زیرلایه فرض کرد. همچنین در حالت کلی باید اثر جذب را نیز بررسی کرد، که البته در بعضی موارد بسته به نوع و جنس موجبر قابل چشم پوشی است.

با تغییر ثابت های پاشندگی و جذب هر لایه فرضی و محاسبه ضریب عبور و بازتاب برای موجبر و برازش آن با ضریب عبور و بازتاب اندازه گیری شده، می توان بهترین سری از ثابت های پاشندگی و جذب لایه ها را تعیین کرد، که در نتیجه نمایه ضریب شکست موجبر و همچنین پاشندگی آن را در اختیار خواهیم داشت.

برای برازش ضریب عبور و بازتاب محاسبه شده با ضریب عبور و بازتاب اندازه گیری شده، از الگوریتم ژنتیک استفاده کردیم. زیرا که این روش بر خلاف اکثر روش های معمول علاوه بر این که جستجو در جواب های ممکن را به طور هدفمند انجام می دهد و با این کار از حجم محاسبات به میزان بسیار زیادی می کاهد، به خاطر طبیعت تصادفی آن و امکان بررسی کردن تمام جواب های ممکن، در دام جواب های محلی نامناسب هم نخواهد افتاد و به احتمال زیاد جواب بهینه را به دست می آورد.

$$N_r = n_r + ik_r \quad (1)$$

اگر ضریب شکست لایه  $r$  ام را به صورت رابطه ۱ در نظر بگیریم، به ترتیب روابط عبور و بازتاب را برای تیغه به صورت زیر خواهد بود [۵]:

$$T = \frac{4\eta_0 \text{Re}(\eta_{sub})}{(\eta_0 B + C)(\eta_0 B + C)^*} \quad (2)$$

$$R = \left( \frac{\eta_0 B - C}{\eta_0 B + C} \right) \left( \frac{\eta_0 B - C}{\eta_0 B + C} \right)^*$$

که  $B$  و  $C$  از رابطه زیر به دست می آیند:

$$\begin{bmatrix} B \\ C \end{bmatrix} = \left\{ \Pi_r \begin{bmatrix} \cos(\delta_r) & \frac{i \sin(\delta_r)}{N_r} \\ i N_r \sin(\delta_r) & \cos(\delta_r) \end{bmatrix} \right\} \begin{bmatrix} 1 \\ N_{sub} \end{bmatrix} \quad (3)$$

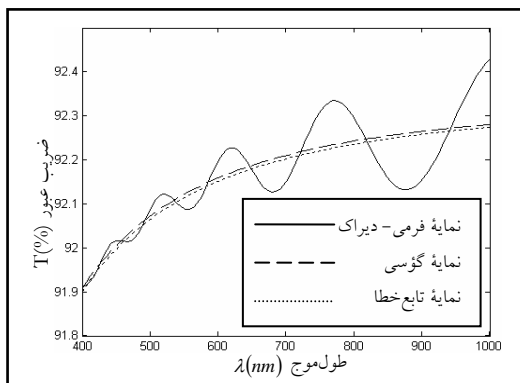
و  $N_{sub}$  ضریب شکست زیرلایه و  $\delta_r$  برابر است با:

$$\delta_r = \frac{2\pi N_r d_r \cos \theta_r}{\lambda} \quad (4)$$

بحث کامل در این مورد را می توان در [۵] یافت.

## نتایج شبیه سازی

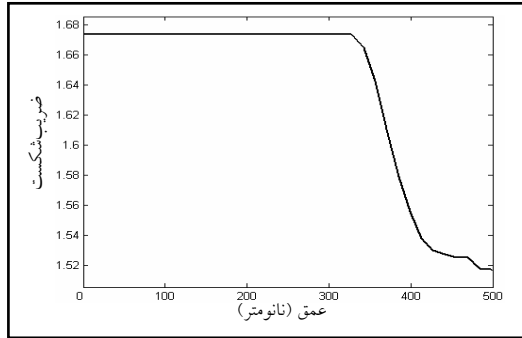
در شبیه سازی انجام شده، پاشندگی موجبرها را برابر پاشندگی زیرلایه فرض کرده ایم و همچنین از جذب صرف نظر شده است. همان طور که در شکل ۱ مشخص است، طیف عبوری موجبرهای با نمایه ضریب شکست گوسی و تابع خطا مشابه یکدیگر هستند و تنها طیف عبوری موجبر با نمایه فرمی-دیراک حاوی اطلاعاتی از نمایه ضریب شکست است.



شکل ۱: ضریب عبور شبیه سازی شده برای موجبرهای با سه نوع نمایه، در بازه طول موج ۴۰۰ تا ۱۰۰۰ نانومتر

بر اساس نتایج شبیه سازی، به طور کلی می توان گفت، این روش در تعیین نمایه ضریب شکست موجبرهایی که نمایه ای کند تغییر

در طیف عبوری و بازتابی موجبر ساخته شده، تغییرات تناوبی دامنه دیده شد. (شکل ۲ و ۳) نمایه ضریب شکستی که از این روش برای موجبر تخمین زده شده است در شکل ۴ نمایش داده شده است. همچنین قسمت حقیقی و موهومی ضریب شکست برحسب طول موج محاسبه شده است.



شکل ۴: نمایه ضریب شکست تخمین زده شده برای موجبر

### نتیجه گیری

از مزایای این روش، قابلیت تعیین پاشندگی و تابعیت جذب موجبر و همچنین توانایی تعیین عمق نفوذهای کم و در نتیجه قابلیت تعیین نمایه ضریب شکست موجبرهای تک‌مد را می‌توان برشمرد. این روش قابلیت تعیین نمایه ضریب شکست‌های تندتغییر را دارد و مهمترین مشکل این روش را نیز می‌توان عدم توانایی تعیین نمایه ضریب شکست‌های کندتغییر دانست.

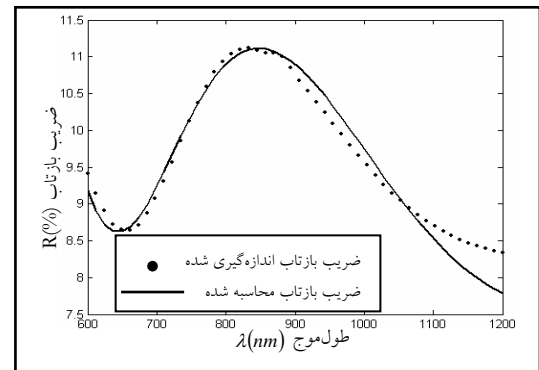
### مرجع‌ها

- [۱] S. I. Najafi; "Introduction to Glass Integrated Optics"; 1st edition, Artech House (1992) 114-118.
- [۲] S. M. R. Sadat Hossieni, A. Darudi, M. T. Tavassoly and N. Granpayeh; "Fabrication and Determination of Refractive Index Profile of the Waveguide by Wedge Technique"; *Optical Systems Design*, St - Etienne, France, 2003.
- [۳] B. E. Allman, A. G. Klein, K. A. Nugent and G. I. Opat; "Refractive Index Profile Determinations by Using Lloyd's Mirage"; *Applied Optics*, **33**, No. 10, (1994) 1806-1811
- [۴] S. Chao, Y. C. Chen and H. Y. Chen; "Determination of Ordinary Refractive Index profile for a Planar Waveguide by transmission Spectrum analysis"; *Applied Physics* **83**, No. 11 (1998) 5650-5657.
- [۵] H. A. McLeod; "Thin Film Optical Filters"; 2nd edition, McGraw-Hill (1989) 35.
- [۶] J. M. Lehky, D. Erni, F. Robin, L. Dellmann, G. L. Bona, P. Straub, W. Bächtold; "Optical Waveguides For Backplane Communication Using Metal Film Ion Exchange In Glass"; *12th European Conference On Integrated Optics*, 2005.

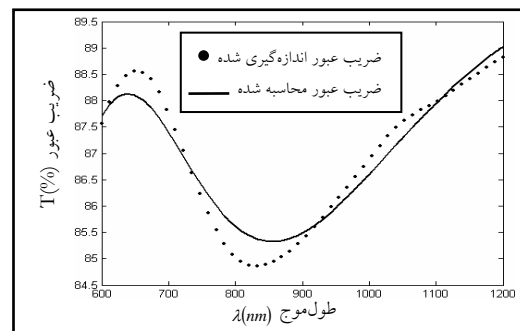
دارند، محدودیت دارد، که البته این محدودیت تا حدی به دقت طیف‌سنج مورد استفاده نیز بستگی دارد. علت این امر را می‌توان براساس تداخل پرتوهای خروجی از سطوح لایه‌های فرض شده بیان کرد. وقتی تغییرات ضریب شکست در موجبر تندتغییر باشد، منطقه موجبر را می‌توان به صورت یک تیغه در نظر گرفت و در نتیجه فقط دو دسته پرتو خروجی داریم، که در نتیجه در بعضی از طول‌موج‌ها تداخل سازنده انجام می‌گیرد. ولی اگر تغییرات ضریب شکست به کندی صورت پذیرد، برای داشتن منطقه‌ای با ضریب شکست یکنواخت باید فرض کرد که چندین تیغه داریم، و در نتیجه چندین دسته پرتو خروجی خواهیم داشت، که این پرتوها مسیرهایی با راه‌نوری‌های متفاوتی دارند و باعث می‌شود که نتیجه تداخل آن‌ها ویرانگر شود.

### نتایج تجربی

برای بررسی تجربی این روش، از موجبرهای ساخته شده به روش تبادل یون مس با زیرلایه لام میکروسکوپ تحت میدان الکتریکی استفاده شد. [۶]



شکل ۲: ضریب بازتاب اندازه‌گیری شده و محاسبه شده



شکل ۳: ضریب عبور اندازه‌گیری شده و محاسبه شده