



## نوشتن توری‌های براگ تمام‌نگار با القا نور لیزر ۴۷۳ نانومتر در موجبرهای کانالی **LiNbO<sub>3</sub>:Ti:Fe**

کیوان احمدی<sup>۱</sup>، غلام‌محمد پارسانسب<sup>۲</sup>، محمدحسین فتحی<sup>۲</sup>، مهدی‌امینی<sup>۲</sup>، عبدالناصر ذاکری<sup>۱</sup>

<sup>۱</sup>دانشگاه شیراز، دانشکده علوم، بخش فیزیک

<sup>۲</sup>دانشگاه اصفهان دانشکده علوم بخش فیزیک

چکیده- در این مقاله نوشتن توری براگ مورد نیاز لیزرهای مجتمع بر بستر موجبرهای کانالی LiNbO<sub>3</sub>:Ti:Fe تک مد در طول موج ۱۵۵۰ نانومتر با کمک چیدمان تداخلی دوباریکه‌ای انجام شده است و همزمان فیلتر شدن طول موج ۱۵۵۰ نانومتر با پهنای خط ۲/ نانومتر از یک چشمه گسیل خودبخودی با پهنای طیفی ۴۰ نانومتر توسط دستگاه طیف سنج اپتیکی نشان داده می‌شود. شیفت طول موجی مشاهده شده در طول موج براگ ناشی از عدم آگاهی از مقدار دقیق ضریب شکست موثر مد درون موجبر در طول موج مربوطه و خطای مکانیکی در پیکربندی چیدمان تداخل دوباریکه‌ای در هنگام نوشتن توری بر می‌گردد.

کلمات کلیدی: لیتیوم نیوبات، توری براگ، لیزر مجتمع موجبری، تداخل دو باریکه‌ای

## **Holographic bragg gratings writing photoinduced by 473nm illumination in channel LiNbO<sub>3</sub>:Ti:Fe waveguides**

Keyvan Ahmadi<sup>1</sup>, Gholammohammad Parsanasab<sup>2</sup>, Mohammad Hossein Fathi<sup>2</sup>, Mehdi Amini<sup>2</sup>, Abdolnasser Zakeri<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Shiraz University, Faculty of Science, Physics Department

<sup>2</sup>Isfahan University, Faculty of science, Physics Department

Abstract: In this paper bragg grating writing required for integrated lasers on single mode channel LiNbO<sub>3</sub>:Ti:Fe waveguide at 1550nm using a two beam setup has been demonstrated and it has been simultaneously shown on an optical spectrum analyzer (OSA) how 1550nm wavelength from a broadband ASE source is being filtered with a linewidth of about 0.2 nm. The observed wavelength shift might be due to uncertainty about the exact value of the effective refractive index in waveguide and the mechanical errors of the two beam interference configuration while bragg grating writing.

Keywords: LiNbO<sub>3</sub>, Bragg grating, Waveguide integrated laser, Two-beam interference

## ۱- مقدمه

مواد بلوری نورشکستی<sup>۱</sup> از قبیل لیتیوم نیوبات، پتاسیوم نیوبات و تیتانات باریوم از یک طرف پتانسیل‌های جالبی در حوزه پردازش اطلاعات نوری، ذخیره سازی حجمی تمام نگاری و تمام‌نگاری تداخل‌سنجی ارائه می‌دهند. اثر نورشکست در این مواد ناشی از بازتوزیع بار مواد ناخالصی همچون یونهای آهن درون این بلورها در اثر تابش ناهمگن نور است. الکترونها و حفره‌ها در اثر تابش نور برانگیخته و سپس در مکانهای مختلف بلور به دام می‌افتند. بدین ترتیب یک توزیع میدان الکتریکی موضعی درون بلور تشکیل می‌شود که منجر به مدوله شدن ضریب شکست درون بلور لیتیوم نیوبات از طریق اثر الکترواپتیک می‌شود.

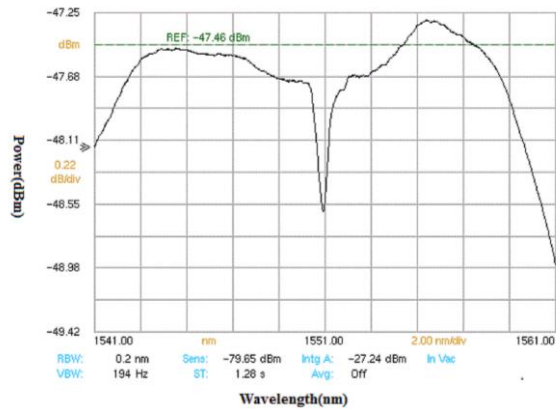
از طرف دیگر لیتیوم نیوبات به دلیل داشتن ضرایب الکترواپتیک و آکوستواپتیک بالا به عنوان یک ماده زیرلایه در حوزه مدار مجتمع نوری آینده روشنی دارد [۱]. دو روش ساخت متداول موجبر تعویض پروتون<sup>۲</sup> و نفوذ تیتانیوم<sup>۳</sup> به ساخت تزویج‌کننده‌های جهتی، مدولاتورهای نوری سریع و لیزرهای مجتمع موجبری [۲] منجر شده است. این بلورها در ناحیه مرئی طیف بخصوص نور سبز و آبی حساسند اما در ناحیه مادون قرمز به ویژه ناحیه ۱/۳ تا ۱/۵ میکرون ناحیه ارتباطات نوری تغییر ضریب شکست جزئی از خود نشان می‌دهند و این ویژگی آنها را در ساخت توری‌های براگ مورد نیاز در فیلترهای طول موجی در DWDM، آینه‌های براگ برای لیزرهای مجتمع حس‌گرهای نوری مناسب ساخته است. در این مقاله به ساخت توری‌های براگ بر بستر بلور لیتیوم نیوبات مورد نیاز لیزرهای موجبری مجتمع پرداخته شده است [۳]. ابتدا نحوه ساخت موجبرهای کانالی تک مد در طول موج ۱۵۵۰ نانومتر شرح داده می‌شود و سپس فرایند لایه‌نشانی، نفوذ یونهای آهن و در آخر نوشتن توریهای براگ بر بستر موجبرهای کانالی و همزمان مشخصه‌یابی این فیلتر در دستگاه طیف‌سنج اپتیکی انجام می‌شود.

## ۲- اصول و روش کار تجربی

برای ساخت توری‌های براگ کریستال لیتیوم نیوبات از شرکت Casix بابرش X و ابعاد ۳۰\*۳۰\*۱ میلی‌متر مورد استفاده قرار گرفت در این نوع ویفر ضریب الکترواپتیک ۲۳۳ در جهت ۲۰ میلی‌متر بیشترین مقدار را دارد و بنابراین موجبرهای کانالی هم در این راستا نوشته می‌شوند تا بیشترین تغییر ضریب شکست روی دهد. ابتدا نمونه‌های آماده شده در محلول اُپی ۱۲۰<sup>۴</sup> و آب دوبار یونیزه در دمای بالای ۱۰۰ درجه سانتی‌گراد به مدت ۱۰ دقیقه تمیز و سپس با باد نیتروژن خشک می‌شوند. در مرحله بعد با کمک دستگاه لایه‌نشانی تفنگ الکترونی لایه‌ای به ضخامت ۳۵ نانومتر آهن روی نمونه‌ها با آهنگ ۵/ نانومتر بر ثانیه لایه نشانی شد. نمونه‌ها به مدت ۷۶ ساعت درون کوره با دمای ۱۰۶۰ درجه سانتی‌گراد زیر دمای کوری بلور لیتیوم نیوبات و تحت فلوی گاز آرگون گذاشته می‌شود تا به دلیل ضریب نفوذ کم یونهای آهن در این مدت تمام لایه درون بلور نفوذ کند که معمولاً تا عمق ۴۰ میکرونی نفوذ می‌کند. در مرحله بعد به سراغ ساخت موجبرهای کانالی تک‌مد در طول موج حدود ۱۵۵۰ نانومتر به روش نفوذ-تیتانیوم می‌رویم. برای ساخت این نوع موجبرها به روش فوتولیتوگرافی و سپس روش زیرکشی<sup>۵</sup> طرحی از نوارهای تیتانیوم به ضخامت ۱۰۰ نانومتر و پهنای ۷ میکرون روی نمونه‌های لیتیوم نیوبات ایجاد می‌شود. سپس نمونه‌ها درون کوره در دمای ۱۰۰۰ تا ۱۰۵۰ و مدت زمان ۱۰ تا ۱۲ ساعت تحت فلوی گاز اکسیژن مرطوب گذاشته می‌شود. علت استفاده از اکسیژن مرطوب جلوگیری از ایجاد موجبرهای تخت علاوه بر موجبر کانالی برای ضریب شکست غیرعادی لیتیوم نیوبات است. در این فرایند ضریب شکست عادی و غیرعادی لیتیوم نیوبات هردو افزایش می‌یابد و این معمولاً از مرتبه ۱۵/۰ است. برای اینکه در فرایند تزویج نور از فیبر به موجبر در هنگام ساخت توری براگ نور متحمل افت کمی شود بنابراین ابتدا و

<sup>۴</sup>OPI120<sup>۵</sup>Lift-off<sup>۱</sup>photorefractive<sup>۲</sup> Proton-exchange<sup>۳</sup> Ti-Indiffusion

در نظر گرفته شده است. در شکل ۲ فیلتر شدن طول موج ۱۵۵۱ نانومتر و پهنای خط توری حدود ۲ نانومتری طیف یک چشمه گسیل خودبخودی تقویت شده<sup>۸</sup> با پهنای ۴۰ نانومتر بر روی دستگاه طیف سنج اپتیکی را نشان می‌دهد.



شکل ۲: بازتاب طول موج ۱۵۵۱ نانومتر از طیف گسیل خودبخودی تقویت شده توسط فیلتر توری براگ بر روی دستگاه طیف سنج اپتیکی

خطای در ضریب شکست موثر مد و خطا در زاویه  $\Phi$  ناشی از عدم دقت کافی در تنظیم فاصله آینه‌ها از شکافنده باریکه سبب شیفت طول موجی براگ در طیف سنج اپتیکی خواهد شد. توان بازتاب در طول موج  $\lambda$  از رابطه

$$1 - \frac{P_{out}(mW)}{P_{in}(mW)} \quad (2)$$

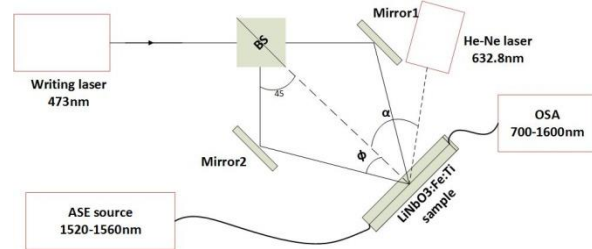
محاسبه می‌شود که توان طبق رابطه

$$P(mW) = 1(mW) \log_{10} \left( \frac{P(dBm)}{10} \right) \quad (3)$$

به میلی وات تبدیل می‌شود و بنابر نمودار بالا طبق رابطه مقدار ۲۳/۵ درصد از توان فرودی فیلتر بازتابی شده است که پارامترهای مختلفی از قبیل افزایش ناحیه نوشتن توری از یک سانتی‌متر به دو سانتی‌متر، افزایش شدت نور لیزر ۴۷۳ نانومتر، قطبش نور لیزر، همدوسی و دیگر پارامترها عمق توری براگ را افزایش خواهد داد که در ادامه این تحقیق انجام خواهد شد. نکته دیگر در نوشتن این توریها این است که چیدمان نوشتن توری باید تا حد بسیار بالایی پایداری داشته باشد و بنابراین تمام

<sup>۸</sup> ASE source

انتهای موجبرها را با دستگاه پالیشر<sup>۶</sup> اپتیکی از شرکت التراتک<sup>۷</sup> تا دقت زیر میکرون پالیش داده و دقت کار را با میکروسکوپ بررسی می‌کنیم. سپس پشت نمونه‌ها نیز حدود ۸۵/۶۸ نانومتر MgF2 لایه‌نشانی می‌شود تا طول موج ۴۷۳ نانومتر هنگام نوشتن توری براگ بازتابندگی نداشته باشد و روی بازده توری تاثیر مخرب نگذارد. در مرحله بعد نوشتن توری براگ همانطور که در شکل ۱ نشان داده شده است انجام می‌شود.



شکل ۱: طرح واژه چیدمان تداخل دوباریکه ای برای نوشتن توری براگ، BS شکافنده باریکه،  $\alpha$ : زاویه پراش لیزر هلیوم نیون پروب برای مشاهده مرتبه های پراش،  $\Phi$ : زاویه نوشتن توری با دوره تناوب  $\Lambda$ ، چشمه گسیل خودبخودی، OSA طیف سنج اپتیکی با تفکیک پذیری ۰/۱ نانومتر

در این چیدمان نور لیزر آبی ۴۷۳ نانومتر که بیشینه جذب یونهای آهن درون بلور لیتیوم نیوبات در این طول موج است توسط یک شکافنده باریکه به دو قسمت مساوی تقسیم و سپس توسط دو آینه مجدداً تحت زاویه  $\Phi$  بر روی نمونه فرود می‌آیند. با تنظیم زاویه توسط دو آینه دوره تناوب توری براگ طبق رابطه پراش براگ تغییر می‌کند

$$\Lambda = \lambda_w / 2 \sin \Phi \quad (1)$$

در این رابطه  $\Lambda$  دوره تناوب توری،  $\lambda_w$  طول موج لیزر آبی ۴۷۳ نانومتر و  $\Phi$  زاویه فرود نور است. برای فیلتر کردن طول موج ۱۵۵۰ نانومتر از یک چشمه طیف وسیع گسیل خودبخودی رابطه  $\lambda_b = 2n_{eff}(\lambda_b)\Lambda$  مقدار  $\Lambda$  را حدود ۳۵۰/۶۷ نانومتر را برای دوره تناوب توری براگ نتیجه می‌دهد. به دلیل عدم آگاهی از ضریب شکست موثر مد درون موجبر برای طول موج های مختلف، مقدار ضریب شکست موثر مد در موجبر کانالی ۲/۲۱

<sup>۶</sup> Optical polisher

<sup>۷</sup> Ultratech company

خط و مقدار توان بازتابی مشاهده شده در دستگاه طیف سنج اپتیکی محاسبه شد. از آنجا که این توری‌های براگ با قطع شدن نور لیزر ۴۷۳ به دلیل رسانندگی تاریک<sup>۹</sup> و نور آبی موجود در چشمه های نور بعد از مدتی پاک می‌شوند بنابراین برای استفاده از آنها در ساخت کاواک لیزرهای مجتمع آلاینده به اربوم [۴] و فیلترهای با طول عمر طولانی از تکنیک گرم کردن [۵] نمونه‌ها تا دمای ۱۸۰ درجه سانتی‌گراد و نوشتن همزمان توری استفاده می‌شود در واقع در این روش بعد از فرایند نفوذ یونهای آهن یونهای هیدروژن مثبت در اثر فرایند آنیل<sup>۱۰</sup> وارد بلور لیتیم نیوبات می‌شود تحت دمای بالا این یونهای هیدروژن مثبت هستند که منجر به ساخت توریهای براگ با طول عمر طولانی می‌شوند که در آینده نزدیک این کار انجام خواهد شد.

## مراجع

- [1]. W. Sohler: "Status and Prospects of Lithium Niobate Integrated Optics", 16<sup>th</sup> European Conference on Integrated Optics, April 18-20, Sitges, Spain, 2012
- [2]. E.L. Wooten, K.M. Kissa, A. Yi-Yan... "A review of lithium niobate modulators for fiber-optic communications system" IEEE journal of selected topics in Quantum electronics, Vol6, Issue1, 2000
- [3]. J. Hukriede, D. Runde, D. Kip "Fabrication and application of holographic bragg gratings in lithium niobate channel waveguides" J. Phys. D: Appl. Phys. 36 (2003) R1-R16
- [4]. W. Sohler, B. Das, D. Day, S. Reza, H. Suche, R. Ricken "Erbium-doped lithium niobate waveguide lasers" IEICE Transaction Electron E, Vol. 88-C, no. 5, 990-997, 2005
- [5]. J. Hukriede, I. Nee, D. Kip, and E. Krätzig "thermally fixed reflection gratings for infrared light in LiNbO<sub>3</sub>:Ti:Fe channel waveguides" Optics letters, Vol23, Issue17, pp. 1405-1407, 1998

چیدمان بر روی یک صفحه اپتیکی و تا حد امکان جمع و جور بر روی یک میز اپتیکی و درون یک جعبه قرار داده شده است تا از تاثیر اعوجاجات هوای اطراف بر روی آینه‌ها و در نتیجه ارتعاش آنها جلوگیری کند. در شکل ۳ و ۴ تصویر این چیدمان و چیدمان تزویج فیبر به موجبر نشان داده شده است.



شکل ۳: تصویری از چیدمان تداخل دوباریکه ای در هنگام نوشتن توری براگ با لیزر آبی ۴۷۳ نانومتر



شکل ۴: تصویری از چیدمان تزویج نور چشمه گسیل خودبخودی تقویت شده هنگام نوشتن توری براگ توسط نور لیزر آبی ۴۷۳ نانومتر

## ۳- بحث و نتیجه گیری

در اینجا ساخت توری براگ درون موجبرهای کانالی ایجاد شده بر بستر نمونه لیتیم نیوبات با کمک روش تداخل دوباریکه ای به صورت کاملاً تجربی انجام شد و مشخصات آن از قبیل پهنای

<sup>۹</sup>Dark conductivity

<sup>۱۰</sup>Annealing