



بیست و پنجمین کنفرانس اپتیک و
فوتونیک ایران و یازدهمین کنفرانس
مهندسی و فناوری فوتونیک ایران،
دانشگاه شیراز،
شیراز، ایران.
۱۳۹۷ بهمن ۱۱-۹



بررسی افزایش بهره در موجبرهای لیتیوم نیوبات آلائیده به تیتانیوم و اربیوم با استفاده از لایه چلکوچناید

حسن دهقان، عبدالناصر ذاکری، کیوان احمدی

بخش فیزیک دانشگاه شیراز

ترکیبی از موجبرهای As_2S_3 (چلکوچناید) و موجبر کانالی $Ti:LiNbO_3$ ابزاری مناسب و کاربردی برای انتقال و پردازش سیگنال‌های نوری را ارائه می‌دهد علاوه بر این استفاده از اربیوم (Er) در موجبرها باعث تقویت و افزایش ضریب کیفیت موجبرها می‌شود. ادغام این موجبرها امکان توسعه یک گروه کامل از دستگاه‌های موجبر جدید را فراهم می‌کند که قابلیت و پیچیدگی بالاتری دارند. در این مقاله ما نشان داده‌ایم که چلکوچناید باعث بهبود همپوشانی بین پروفایل مد و پروفایل توزیع اربیوم در لیتیوم نیوبات شده و در نتیجه باعث افزایش بهره نوری می‌شود. در این ساختارها با افزایش ضخامت لایه As_2S_3 بر روی موجبر $Ti:LiNbO_3$ سعی شده تا با بررسی کشیدگی مد و داده‌های همپوشانی بهترین بهره با توجه به ضخامت As_2S_3 بدست آید. ما توانستیم همپوشانی پروفایل مد و پروفایل توزیع اربیوم در لیتیوم نیوبات را 350% و بهره نوری را 84% افزایش دهیم.

کلید واژه- موجبرهای هیبریدی ، موجبرهای تیتانیومی ، چلکوچناید ، اربیوم

An investigation of gain enhancement in $LiNbO_3$ waveguides doped by Ti and Er using an As_2S_3 chalcogenide layer

Hassan Dehghan, Abdolnaser Zakeri, Keyvan Ahmadi

Department of Physics, Shiraz University, Iran

A combination of an As_2S_3 chalcogenide waveguide and a channel $Ti:LiNbO_3$ waveguide presents a suitable and practical device for transmission and processing of signals. Moreover using Er in these waveguides enhances the gain and increases the quality factor. Putting these waveguides together provides development of a new group of waveguide systems having higher potential and complexity. We have shown in this work that the presence of a chalcogenide layer facilitates the overlap between the mode profile and Er concentration distribution profile in Lithium Niobate waveguides and hence enhances the optical gain. By increasing the As_2S_3 layer thickness it is tried to achieve the optimum gain by investigating the mode pulling and the overlap data. We could increase the overlap between the mode profile and Er concentration distribution profile in Lithium Niobate waveguides by 350 % and the optical gain by 84 %.
Key word- Hybrid waveguides, Titanium waveguides, Chalcogenide, Erbium

در این شبیه سازی برای محاسبه مدهای موجبر و محاسبه همپوشانی مده با پروفایل اریبوم از مژول موج اپتیکی نرم افزار کامسول استفاده شده است. محاسبات ضریب بهره در ساختار دو ترازی تقویت کننده اریبوم در طول موج پمپ ۱۴۸۰ نانومتر و سیگنال ۱۵۳۱ به کمک نرم افزار متلب انجام شده است.

انگیزه‌ها

ترکیب لایه چلکو جناید و موجبر حاصل از تزریق تیتانیوم در لیتیوم نیوبات تکنیک جالبی برای افزایش ضریب بهره در ساختارهای تقویت کننده و حتی انتقال و پردازش سیگنال های نوری ارائه می‌دهد که از اختلاف ضریب شکست بالا بین این دو ماده و خواص الکترو اپتیکی موجبر تیتانیومی سود می‌برد. همچنین اریبوم می‌تواند بدون در نظر گرفتن خواص الکترو اپتیکی و غیر خطی لیتیوم نیوبات باعث بهره شود [3].

همپوشانی سیگنال های نوری و پروفایل یون اریبوم که با افزایش ضریب بهره مرتبط است در ساختارهای متداول موجبر کانالی نفوذ_تیتانیوم حداکثر در حدود ۲۰ درصد است که در توانهای پمپ حدود ۱۵۰ میلی وات این ضریب بهره کمتر از 1dB/cm است بنابراین افزایش ضریب بهره برای غلبه بر افت انتشار در موجبرها و حتی ایجاد لیزرهای مجتمع یک ضرورت است.

مدل سازی موجبر تیتانیومی در لیتیوم نیوبات

ضریب شکست کلی ساختار موجبر تیتانیومی ایجاد شده در لیتیوم نیوبات برابر با ضریب شکست عادی یا غیرعادی لیتیوم نیوبات و تغییرات ضریب شکست ناشی از پخش تیتانیوم در لیتیوم نیوبات است.

$$n_i(\lambda, x, y) = n_i(\lambda) + \Delta n_i(\lambda, x, y), \quad i = e, o$$

مقدمه

فوتونیک مجتمع در دو دهه گذشته با پیشرفت بسیار گسترده سیستم های مخابراتی توسعه چشمگیری داشته است. این تحولات باعث ایجاد توجه زیادی به دستگاه های نوری پسیو مانند تقسیم کننده‌ها، کوپلرها، چندگانه‌ها، سویچ‌ها، فیلترها، مدولاتورها و غیره یا اجزای فعال مانند منابع نوری، آشکارسازها و تقویت کننده‌های نوری شده است. فیلترهای مجتمع بازتاب کننده دارای خصوصیات ذاتی هستند که توسط محققان در زمینه اپتیک مجتمع ذیbal می‌شود: اندازه کوچک، هزینه کم، وسعت عملکرد و انعطاف پذیری در طراحی. این کار مرکز بر بهبود بهره تقویت کننده‌ها با کم کردن افت در مسیر انتشار در فیلترهای تمام گذر است. افزایش بهره نوری می‌تواند با بهبود طراحی موجبر، روش ساخت و ارتقاء تجهیزات به دست آید [1].

ساختار تقویت کننده

در این بخش نحوه شبیه سازی تقویت کننده‌های موجبری لیتیوم نیوبات یک کریستال قطبیده است و به سیلیکن فوتونیک معروف است که شامل ترکیبی از نایوبیوم، لیتیوم و اکسیژن است. لیتیوم نیوبات شفافیت نوری گسترده‌ای در بازه طیفی 420 nm تا $5,2\mu\text{m}$ دارد. و دارای خواص الکترو اپتیکی و غیرخطی عالی است. خواص الکترو اپتیکی عالی، افت انتشار کم و افت تزویج پایین فیبرهای مخابراتی به این نوع موجبرها از خصوصیات بارز آنهاست [2].

ساختار شامل بستره از لیتیوم نیوبات است که موجبر تیتانیومی درون آن پخش شده و لایه ای از چلکو جناید به منظور تقویت بهره بر روی آن قرار گرفته است.

مدل سازی بهره اربیوم

بهره یک تابع از همپوشانی بین پروفایل توزیع Er و مد نوری است. با توجه به توان سیگنال ورودی [5,6].

$$gain(dB/l) = 10 \log(e) \rho \Gamma [(\sigma_s^e + \sigma_s^o) N_2(Z) - \sigma_s^o]$$

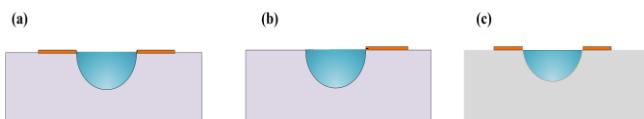
$$\Gamma = \iint \psi_s(x, y) Er(x, y) dx dy$$

که در آن ρ چگالی یون های اربیوم ، Γ همپوشانی پروفایل توزیع اربیوم و پروفایل مد ، N_2 کسری از یون های اربیوم که در حالت برانگیخته قرار دارد ، σ_s^e و σ_s^o سطح مقطع های جذب و پراکندگی هستند.

شبیه سازی

با توجه به روابط توصیف شده سه ساختار متفاوت از موجبر تیتانیومی در لیتیوم نیوبات شبیه سازی شده و بهره آن در طول موج 1530nm بدست آمده است.

ساختار اول شامل یک موجبر تیتانیومی به پهنای 7 μm ایجاد شده در بستری از لیتیوم نیوبات است که لایه ای از چلکوچناید بر روی آن و به فاصله ۳,۵ μm از مرکز آن قرار دارد.



شکل ۱: نمایی از سطح مقطع ساختار تقویت کننده، رنگ نارنجی لایه چلکوچناید، رنگ آبی سطح مقطع موجبر کانالی، رنگ بنفش کریستال لیتیوم نیوبات را نشان می دهد (a) لایه چلکوچناید در دو طرف موجبر (b) لایه چلکوچناید در یک طرف موجبر (c) لایه چلکوچناید روی موجبر بهره برای این ساختار بدست آمده است. و در شکل (۲) نمایش داده شده است.

مشاهده می شود که بیشترین بهره در ضخامت 410nm برابر 2.1dB/cm است. دلیل آن این است که چلکوچناید باعث کشیدگی مد به سمت سطح، جایی که توزیع یون های اربیوم زیاد است شده و باعث می شود که

ضریب شکست عادی و غیر عادی لیتیوم نیوبات با معادله پاشندگی سلمیر توصیف می شود.

$$n_o^2 = 4.9048 - \frac{0.11768}{0.0475 - \lambda^2} - 0.027169 \lambda^2$$

$$n_e^2 = 4.582 - \frac{0.099169}{0.044432 - \lambda^2} - 0.02195 \lambda^2$$

تغییرات ضریب شکست ناشی از پخش تیتانیوم در لیتیوم نیوبات تابعی از ضریب پاشندگی و تابع توزیع تیتانیوم در لیتیوم نیوبات است [3].

$$\Delta n_i(\lambda, x, y) = d_i(\lambda) h_i(x, y), i = e, o$$

ضریب پاشندگی تابعی از طول موج است.

$$d_e(\lambda) = \frac{0.839 \lambda^2}{\lambda^2 - 0.0645} \times 1.7$$

$$d_o(\lambda) = \frac{0.67 \lambda^2}{\lambda^2 - 0.13} \times 1.49$$

تابع توزیع تیتانیوم وابسته به غلظت تیتانیوم است.

$$h_i(x, y) = [F_i c(x, y)]^{\gamma_i}, i = e, o$$

که در آن F ثابت توزیع است و برابر است با:

$$F_o = 1.3 \times 10^{-25} cm^3$$

$$F_e = 1.2 \times 10^{-23} cm^3$$

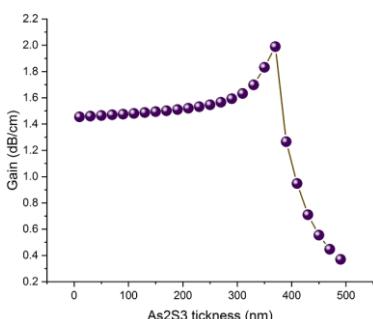
و γ ضریب توزیع است که برابر است با $\gamma_e = 1$ و $\gamma_o = 0.55$ و $c(x, y)$ تابع غلظت تیتانیوم است [4].

توزیع اربیوم در لیتیوم نیوبات به عنوان توزیع سطحی در نظر گرفته می شود:

$$c(y) = \widehat{C}_0 \exp\left(\frac{-y^2}{4Dt}\right)$$

$$\widehat{C}_0 = \tau C_0 / \sqrt{\pi Dt}$$

که در آن \widehat{C}_0 غلظت سطحی ، D ضریب پخش یا توزیع و زمان پخش است [4].



شکل ۴: بهره به ازاء ضخامت متفاوت از چلکوچناید.

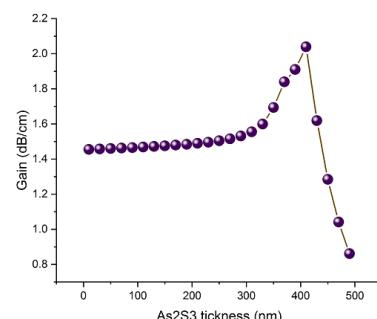
مشاهده می شود که بیشترین بهره در ضخامت 370nm و برابر 2.05dB/cm است. که به میزان ۴۶٪ افزایش داشته است.

نتیجه گیری

مشاهده می شود که با استفاده از لایه ای از چلکوچناید بهره موجبر تیتانیومی تا حد زیادی افزایش پیدا کرده و در بهترین حالت بهره تا ۸۴٪ افزایش پیدا کرده است.

مرجع ها

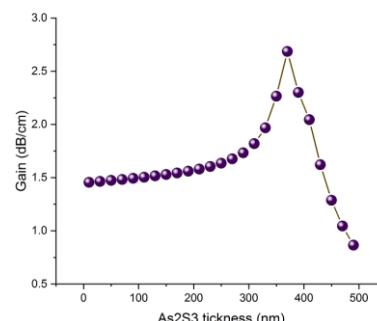
- [1] V. Ta'eed, N. J. Baker, L. Fu, K. Finsterbusch, and M. R. E. Lamont, "Ultrafast all-optical chalcogenide glass photonic circuits," Opt. Exp., pp. 9205-9221, 2007.
- [2] H. A. Macleod, Thin-film optical filters, CRC press; 2010 Mar 16.
- [3] Song, X., W. Tan, W. T. Snider, X. Xia, and C. K. Madsen. "Gain Improvement of Er-Ti:LiNbO₃ Waveguide Amplifier by an As₂S₃ Overlay Waveguide." *IEEE Photonics Journal* 3, no. 4 (2011): 686-695.
- [4] Y.Tan,S.Chen,And D.Dai , " Polarization - selective microring resonators",Optics Express, vol. 25, no. 4,pp.4106- 4119 , 20 Feb 2017
- [5] X. Song, "Gain improvement of Er-Doped amplifiers for the feedback", Texas A & M University, December 2011.
- [6] Zhou, Yifeng, Xin Xia, William T. Snider, Jaehyun Kim, Qi Chen, Wee C. Tan, and Christi K. Madsen. "Two-Stage Taper Enhanced Ultra-High Q As₂S₃ Ring Resonator on LiNbO₃ ." *IEEE Photonics Technology Letters* 23, no. 17 (2011): 1195-1197.



شکل ۲: بهره به ازاء ضخامت متفاوت از چلکوچناید.

همپوشانی بهتری بین پروفایل مد نوری و پروفایل توزیع یون های اربیوم ایجاد شود و در نتیجه باعث افزایش ضریب بهره تا ۵۰٪ نسبت به موجبر کانالی بدون لایه چلکوچناید می شود. و بعد از ۴۰ نانومتر دارای افت شدیدی است چون در آن ضخامت مد نوری به درون چلکوچناید منتقل می شود جایی که اربیوم وجود ندارد و باعث کاهش همپوشانی و در نتیجه ضریب بهره می شود.

ساختار دوم شامل لایه ای از چلکوچناید بر روی موجبر تیتانیومی و دقیقا در مرکز آن است. بهره این ساختار در شکل (۳) نمایش داده شده است.



شکل ۳: بهره به ازاء ضخامت متفاوت از چلکوچناید.

مشاهده می شود که بیشترین بهره در ضخامت 370nm و برابر 2.75dB/cm است. که با استفاده از چلکوچناید به میزان ۸۴٪ افزایش یافته است.

ساختار سوم شامل دو لایه ای از چلکوچناید است که بر روی موجبر تیتانیومی و به فاصله 3.5 μm از دو طرف آن قرار دارد. بهره این ساختار در شکل (۴) نمایش داده شده است.