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

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

حسن دهقان، عبدالناصر ذاکری،کیوان احمدی

بخش فیزیک دانشگاه شیراز

ترکیبی از موجبر As_2S_3 (چلکوجناید) و موجبر کانالی $Ti:LiNbO_3$ ابزاری مناسب و کاربردی برای انتقال و پردازش سیگنال های نوری را ارائه می دهد 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 می کند که قابلیت و پیچیدگی بالاتری دارند. در این مقاله ما نشان داده‌ایم که چلکوجناید 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 داده های 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 ۳۵۰٪ و بهره نوری را ۸۴٪ افزایش دهیم.

کلید واژه- موجبرهای هیبریدی ، موجبرهای تیتانیومی ، چلکوجناید ، 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 Zakery, 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

این مقاله در صورتی دارای اعتبار است که در سایت www.opsi.ir قابل دسترسی باشد.

[Downloaded from opsi.ir on 2026-02-05]

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 دنبال می‌شود: اندازه کوچک، هزینه کم، وسعت عملکرد و انعطاف پذیری در طراحی. این کار متمرکز بر بهبود بهره تقویت کننده‌ها با کم کردن افت در مسیر انتشار در فیلترهای تمام گذر است. افزایش بهره نوری می تواند 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 $Er:Ti:LiNbO_3$ مورد بررسی قرار می گیرد.

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 گسترده ای در بازه طیفی ۴۲۰ nm تا $۵,۲\mu m$ دارد. و دارای خواص الکترواپتیکی و غیرخطی عالی است. خواص الکترواپتیکی عالی ، افت انتشار کم و افت تزویج پایین فیبرهای مخابراتی به این نوع موجبرها از خصوصیات بارز آنهاست[2].

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

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

انگیزه‌ها

ترکیب لایه چلکوجناید 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 الکترواپتیکی موجبر تیتانیومی سود می‌برد. همچنین اربیوم می‌تواند بدون در نظر گرفتن خواص الکترو اپتیکی و غیر خطی لیتیوم نیوبات باعث بهره شود[3].

همپوشانی سیگنال های نوری و پروفایل یون اربیوم که با افزایش ضریب بهره مرتبط است در ساختارهای متداول موجبر کانالی نفوذ_تیتانیوم حداکثر در حدود ۲۰درصد است که در توان‌های پمپ حدود ۱۵۰میلی 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 ایجادشده در لیتیوم نیوبات برابر با ضریب شکست عادی یا غیرعادی لیتیوم نیوبات و تغییرات ضریب شکست ناشی از پخش تیتانیوم در لیتیوم نیوبات است.

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

این مقاله در صورتی دارای اعتبار است که در سایت www.opsi.ir قابل دسترسی باشد.

[Downloaded from opsi.ir on 2026-02-05]

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

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

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

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

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

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.

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

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:

$$c(y) = \widehat{C_0} exp(\frac{-y^2}{4Dt})$$

$$\widehat{C_0} = \tau C_0 / \sqrt{\pi D t}$$

که در آن $\widehat{C_0}$ غلظت سطحی ، D ضریب پخش یا توزیع و t زمان پخش است[4].

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].

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

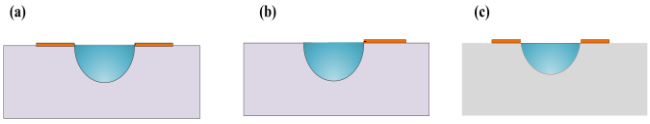
$$\Gamma = \iint \psi_s(x, y) Er(x, y) dx dy$$

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 وσ_s^a 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 ۷ μm ایجاد شده در بستری از لیتیوم نیوبات است که لایه ای از چلکوجناید بر روی آن و به فاصله ۳٫۵ μm از مرکز آن قرار دارد.



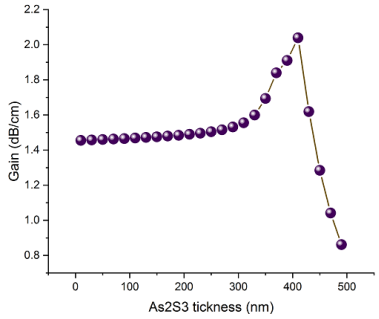
شکل۱: نمایی از سطح مقطع ساختار تقویت کننده، رنگ نارنجی لایه چلکوجناید، رنگ آبی سطح مقطع موجبر کانالی، رنگ بنفش کریستال لیتیم نیوبایت را نشان می دهد *(a) لایه چلکوجناید در دوطرف موجبر (b) لایه چلکوجناید در یک طرف موجبر (c) لایه چلکوجناید روی موجبر*

بهره برای این ساختار بدست آمده است. و در شکل(۲) نمایش داده شده است.

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

این مقاله در صورتی دارای اعتبار است که در سایت www.opsi.ir قابل دسترسی باشد.

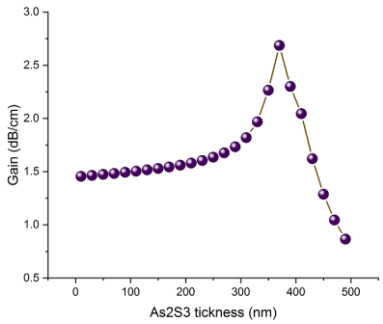
[Downloaded from opsi.ir on 2026-02-05]



شکل۲: بهره به ازاء ضخامت متفاوت از چلکوجناید.

همپوشانی بهتری بین پروفایل مد نوری و پروفایل توزیع یون‌های اربیوم ایجاد شود و در نتیجه باعث افزایش ضریب بهره تا ۵۰٪ نسبت به موجبر کانالی بدون لایه چلکوجناید می‌شود. و بعد از ۴۱۰ نانومتر دارای افت شدیدی است چون در آن ضخامت مد نوری به درون چلکوجناید منتقل می‌شود جایی که اربیوم وجود ندارد و باعث کاهش همپوشانی و در نتیجه ضریب بهره می‌شود.

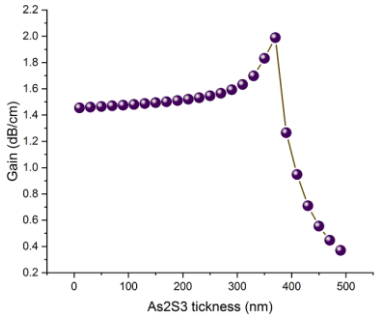
ساختار دوم شامل لایه ای از چلکوجناید بر روی موجبر تیتانیومی و دقیقا در مرکز آن است. بهره این ساختار در شکل(۳) نمایش داده شده است.



شکل۳: بهره به ازاء ضخامت متفاوت از چلکوجناید.

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

ساختار سوم شامل دو لایه از چلکوجناید است که بر روی موجبر تیتانیومی و به فاصله $3.5\mu m$ از دو طرف آن قرار دارد. بهره این ساختار در شکل(۴) نمایش داده شده است.



شکل۴: بهره به ازاء ضخامت متفاوت از چلکوجناید.

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

نتیجه‌گیری

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

مرجع‌ها

[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:$LiNbO_3$ Waveguide Amplifier by an As_2S_3 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

[۵] 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 As_2S_3 Ring Resonator on $LiNbO_3$." *IEEE Photonics Technology Letters* 23, no. 17 (2011): 1195-1197.

این مقاله در صورتی دارای اعتبار است که در سایت www.opsi.ir قابل دسترسی باشد.

[Downloaded from opsi.ir on 2026-02-05]