

بیست و ششمین کنفرانس اپتیک و فوتونیک ایران و دوازدهمین کنفرانس مهندسی و فناوری فوتونیک ایران، دانشگاه خوارزمی، تهران، ایران. ۱۳۹۸ بهمن ۱۳۹۸



بررسی موجبر پلاسمونی هیبریدی چندلایه با پلیمر DDMEBT

مجتبی دهقانی فیروز آبادی'، محمود نیکوفرد'، محمدرضا پهلوان شمسی میبدی"

^۱ آموزشکده فنی و حرفه ای امام خمینی (ره) میبد، گروه برق، mojtaba_f84@yahoo.com ۲ دانشگاه کاشان، دانشکده مهندسی برق کامپیوتر، گروه الکترونیک،mnk@kashanu.ac.ir ۳ آموزشکده فنی و حرفه ای امام خمینی (ره) میبد، گروه سرامیک، mrpshm@gmail.com

چکیده – موجبرهای پلا سمونی (PW) م ستقل از حد پراش قادر به د ستکاری نور در ساختارهای نانو از طریق پلاریتون پلا سمون سطح (SPP) در مرز فلز – دی الکتریک ه ستند. PW ها برای تولید مدارات مجتمع متراکم فوتونی مورد توجه زیادی قرار گرفته اند. موجبرهای پلا سمونی هیبریدی(HPW) تعادل مطلوبی بین محصور شدگی و تلفات انتشار ایجاد می کنند. در این مقاله یک موجبر پلاسمونی هیبریدی چندلایه نوین با دی الکتریک DDMEBT ارائه می گردد و ویژگی های مد آن شامل ضریب شکست موثر، طول انتشار (LP) و م ساحت موثر مد(Aeff) به کمک روش عددی اجزاء محدود(FEM) محا سبه می گردد. همچنین عملکرد نوری موجبر پلا سمونی هیبریدی با عدد شایستگی آن مورد ارزیابی قرار می گیرد. در این موجبر سطح موثر مد در محدوده ² بد ست آمده ا ست. نتایج نشان می دهد که می توان از چنین ساختارهایی برای ادوات نانو فوتونیک مجتمع شده با تراکم بالا بهره برد.

كليد واژه- ضريب شكست موثر، طول انتشار، عدد شايستكي، مساحت موثر، موجبر پلاسموني هيبريدي.

Investigation of Hybrid Plasmonic Waveguide with DDMEBT Polymer

Mojtaba Dehghani Firouzabadi¹, Mahmoud Nikoufard², Mohammad Reza Pahlavanshamsi³

¹Department of Electrical Engineering, , Imam Khomeini Technical College of Meybod, Yazd, Iran

²Department of Electronics, Faculty of Electrical and Computer Engineering, University of Kashan, Kashan, Iran

³Department of Ceramic Engineering, Imam Khomeini Technical College of Meybod, Yazd, Iran

Abstract- Beyond the diffraction limit, **plasmonic waveguides** (**PWs**) have the ability to manipulate light at nanoscale structures through surface plasmon polaritons (SPPs) at metal-dielectric interface. Much interest has been paid to PWs because they are promising candidates for developing highly-dense integrated photonic circuits. Hybrid plasmonic waveguides (HPWs) are recent novel type of PWs, which have shown a favorable balance between mode confinement and propagation loss. In this paper a multi-layer HPW including DDMEBT dielectric layer is proposed and it's modal properties such as effective refractive index, propagation length and effective mode area using finite element method (FEM) is calculated. Also performance of HPW is evaluated using figure of merit (FoM). In this waveguide effective mode area is achieved in the range of $0.027-0.069\mu$ m². Such waveguides structures can be utilized for ultra-compact nano-photonic devices.

Keywords: Effective refractive index, Effective area, Figure of merit, Hybrid plasmonic waveguide, Propagation length.

(Ag) نشان داده شده است. این موجبر از لایه های فلز نقره (Ag) با ضخامت H_{Si} و دی H_{Si} ضخامت H_{Ag} و دی الکتریک DDMEBT بین نیمه هادی و فلز و بین دو نیمه



شکل ۱: هندسه موجبر پلاسمونی هیبریدی چندلایه پیشنهادی.

 H_t هادی در مرکز موجبر به ترتیب با ضخامتهای H_d هادی در مرکز موجبر به ترتیب با ضخامتهای H_t و H_t تشکیل شده است. تشکیل شده است. W عرض موجبر می باشد و در تمام شبیه سازی ها برابر 200nm در نظر گرفته شده است. ویژگی مواد و پارامترهای هندسی موجبر WPW چند لایه در طول موج 1550m حر جدول ۱ ارائه شده است. در طول موج 1550m در جدول ۱ ارائه شده است. جهت شبیه سازی این موجبر از نرم افزار کامسول و روش عددی FEM در طول موج 1550m استفاده شده است.

مرج ع	ضریب شکست	ضخامت	مادہ
[۶]	$n_{Ag} = 0.14 + 11.35i$	$H_{Ag} = 50nm$	Ag
[۶]	$n_{Si} = 3.45$	$H_{Si} = 50nm$	Si
[γ]	<i>n</i> _D = 1.8	$H_t = 10nm$ $H_d = 10nm$	DDMEB T

جدول ۱: ویژگی هندسی و مواد HPW چندلایه پیشنهادی.

نتایج شبیه سازی و بحث

HPW شکل ۲ توزیع میدان الکتریکی مد اصلی موجبر $H_t = 10nm$ پیشنهاد شده در شکل ۱ را برای ضخامتهای

مقدمه

نانو پلاسمونیک حوزه نوینی از علم و فناوری است که این امکان را فراهم می سازد که ویژگی های مهمی از فناوری های فوتونی و الکترونیک با هم ترکیب شوند[۲،۱]. امواج نوری می توانند در ابعاد مقیاس نانو مستقل از حد پراش توسط پلاریتونهای پلاسمون سطح (SPPs) در مرز فلز-دی الكتريك محصور شوند[٢]. موجبرهاى پلاسمونى (PW) زیادی نظیر موجبرهای فلز-دی الکتریک-فلز (MIM) و دی الكتريك-فلز-دى الكتريك (IMI) پيشنهاد شده اند[۳،۴]. موجبرهای MIM محصور شدگی بسیار زیاد از خود نشان می دهند در حالیکه موجبرهای IMI طول انتشار بالایی دارند. یکی از چالشهای پیش روی موجبرهای پلاسمونی مصالحه بین تلفات انتشار و محصور شدگی مد می باشد. موجبرهای پلاسمونی هیبریدی(HPW) تعادل خوبی بین تلفات انتشار و محصور شدگی مد ایجاد می کنند و شامل یک لایه دی الکتریک با ضریب شکست کم در ابعاد زیر طول موج که بین لایه فلز و لایه با ضریب شکست بالا واقع شده است. همچنین ساختارهای موجبرهای پلاسمونی هیبریدی چندلایه نیز مورد بررسی قرار گرفته اند.[۵].

در این مقاله یک موجبر پلاسمونی هیبریدی چندلایه با دی الکتریک DDMEBT (-[dimethylamino)phenyl]-2-[4-(dimethylamino)phenyl]ethynylgbuta-1,3-3-f[4- (dimethylamino)phenyl]ethynylgbuta-1,3-4- (dimethylamino) با تلفات جذب کم و سازگار با فناوری CMOS ارائه و با استفاده از روش اجزاء محدود (FEM) توسط نرم افزار CMSOL شبیه سازی می گردد. نتایج شبیه سازی نشان می دهد که مد به شدت می گردد. علاوه بر آن این ساختار موجبر چندلایه کاملا سازگار با فرآیند ساخت نیمه هادی است.

ساختار موجبر چند لایه پیشنهادی ساختار موجبر HPW چندلایه پیشنهاد شده در شکل ۱

50*m* و 100*m* لایه دی الکتریک DDMEBT مرکز موجبر رانشان می دهد. ابعاد و ضریب شکست سایر لایه ها نیز مطابق داده های جدول ۱ می باشد. همانطوریکه مشاهده می شود محصورشدگی میدان با افزایش ضخامت *H*_t در این موجبر کاهش می یابد.



DDMEBT شکل ۲: توزیع میدان الکتریکی دو بعدی در لایه های $H_t = 50nm$ (b) $H_t = 10nm$ (a) برای ضـخامت های مختلف $H_t = 50nm$ (c) $H_t = 100nm$ (c)

به منظور ارزیابی عملکرد و کارآیی این موجبر یک عدد شایستگی (FoM) در مرجع [۸] معرفی شده است که به صورت زیر می باشد:

$$FoM = \frac{L_P}{2\sqrt{\frac{A_{eff}}{\pi}}} \tag{1}$$

که در آن L_P طول انتشار موجبر می باشد و طبق رابطه زیر بدست می آید:

$$L_P = \frac{\lambda}{4\pi \operatorname{Im}(n_{eff})} \tag{(Y)}$$

که در آن λ طول موج و (n_{eff}) بخش موهومی ضریب A_{eff} شکست موثر مختلط مد موجبر می باشد. همچنین می مساحت موثر مد می باشد که طبق رابطه زیر بدست می آید[۸]:

$$A_{\rm eff} = \frac{|\iint (\mathbf{E} \times \mathbf{H}^*) \cdot \hat{z} \, dA|^2}{\iint |(\mathbf{E} \times \mathbf{H}^*) \cdot \hat{z}|^2 \, dA} \tag{(7)}$$

که در آن E و H به ترتیب میدانهای الکتریکی و مغناطیسی می باشند. جهت شبیه سازی HPW چندلایه با تغییر



شکل ۳: منحنی تغییرات:(a) ، (c) ، $\operatorname{Im}(n_{eff})$ (b) ، $\operatorname{Re}(n_{eff})$ (a) طول انتشار (c) ، L_{P} (b) مساحت موثر نرمالیزه شده مد A_{eff}/A_{0} که $A_{o}=\lambda^{2}/4$ (c) ، L_{P} (c) $A_{0}=\lambda^{2}/4$ که $M_{si}=10nm$ (c) $H_{si}=10nm$ بر حسب $H_{si}=10nm$ مختلف $H_{si}=10nm$. 100nm

به کمک روش عددی FEM ویژگی های مد این موجبر بررسی شد و نتایج نشان داد با افزایش ضخامت دی الکتریک، طول انتشار کاهش و سطح موثر مد افزایش می یابد، افزایش سطح موثر، محصور شدگی را بهبود می بخشد. همچنین با تغییر ضخامت لایه های Si تلفات انتشار کاهش می یابد که با یک عدد شایستگی مناسب برای این موجبر بهینه گردید. حداقل سطح موثر مد $2\pi \mu m^2 = 0.027 \mu n$ می باشد که نشان می دهد این موجبر جهت مدارات مجتمع فوتونیک با متراکم و کاربردهای غیرخطی مناسب می باشد.

مرجعها

- [1] E. Ozbay, "Plasmonics: Merging Photonics and Electronics at Nanoscale Dimensions," Science, vol.311, pp. 189-193, 2006.
- [2] W. L. Barnes, A. Dereux, and T. W. Ebbesen, "Surface Plasmon subwavelength optics," Nature, vol.424, pp.824-830 (2003).
- [3] N. N. Feng, M. L. Brongersma, and L. D. Negro, "Metal-dielectric slot-waveguide structures for the propagation of surface Plasmon polaritons at 1.55 µm," IEEE J. Quantum Electron., vol. 43, no. 6, pp.479–485, 2007.
- [4] E. P. Fitakis, T. Kamalakis, and T. Sphicopoulos, "Slow light in insulator-metal-insulator plasmonic waveguides," J. Opt. Am. B, vol. 28, o. 9, pp. 2159-2164, 2011.
- [5] S. Aldawsari, W. Li, and L. W. Ki. "A Comprehensive Theoretical Study of the Guided Modes in a Five-Layer Hybrid Metal/Dielectric/ Metal Waveguide. "Journal of Light wave Technology, 35.11, pp 2243, 2016.
- [6] P. B. Johnson and R. W. Christy, "Optical constants of the noble metals," Phys. Rev. B, vol. 6, no. 12, pp. 4370–4379, Dec. 1972.
- [7] M. Dehghani Firouzabadi, M. Nikoufard, and M. B. Tavakoli. "Optical Kerr nonlinear effect in InPbased hybrid plasmonic waveguides." Optical and Quantum Electronics 49.12, pp.390, 2017.
- [8] R. F. Oulton, V. J. Sorger, D. A. Genov, D. F. P. Pile, and X. Zhang, "A hybrid plasmonic waveguide for subwavelength confinement andlong-range propagation," Nature Photon., vol. 2, no. 8, pp. 496– 500, Aug. 2008.

و ثابت بودن ضخامت لایه های DDMEBT بین Ag و Si (و FoM و A_{eff} ، L_P محاسبه شده ($H_d = 10nm$ است. شبیه سازی فوق برای سه ضخامت مختلف لایه Si و 100nmو 100nmو نتایج آن $H_{Si} = 10nm$ در شکل ۳ نشان داده شده است. شکل ۳-(a) بخش حقیقی ضریب شکست موثر را نشان می دهد که همانطور که انتظار می رود با افزایش ضخامت لایه DDMEBT وسط با ضریب شکست کم، کاهش می یابد و با افزایش ضخامت لایه های Si با ضریب شکست زیاد، افزایش می یابد. همانطور که در شکل H_t $\langle 70nm$ مشاهده می شود هنگامی که H_t است با کاهش H_{Si} افزایش می یابد، به عبارت دیگر با Im (n_{eff}) افزایش _{Hsi} تلفات انتشار کاهش می یابد که باعث افزایش طول انتشار می گردد(شکل ۳-(c)). همچنین با توجه به شکل ۳–(d) با افزایش H_{Si} و H_{t} مساحت موثر نرمالیزه شده که در آن $\frac{\lambda^2}{4}$ که در آن $\frac{A_{eff}}{4}$ می باشد، افزایش می یابد. که بدین معنی است که محصورشدگی میدان کاهش می یابد. کمترین سطح موثر مد محاسبه شده $A_{eff} = 0.027 \mu m^2$ می باشد. شکل H_t منحنی تغییرات FoM برحسب H_t با ا مختلف , ا نشان می دهد که با توجه به آن ساختار بهینه H_{Si} شده هنگامی بدست می آید که ابعاد موجبر W = 200nm، و $H_{si} = 100 nm$ و $H_{si} = 100 nm$ و $H_t = H_d = 10 nm$ FoM = 86.9 ، $L_P = 21 \mu m$ ، $A_{eff} = 0.045 \mu m^2$ محاسبه شده است که با توجه به مقادیر A_{eff} و L_P مصالحه خوبی بین محصورشدگی و تلفات وجود دارد. در این مورد ضریب شکست موثر مد $n_{eff} = 2.809 + 0.0058$ بدست می آيد.

نتيجەگىرى

در این مقاله یک موجبر پلاسمونی هیبریدی چندلایه ارائه شد که در آن از ماده آلی DDMEBT با ضریب شکست و تلفات جذب کم به عنوان دی الکتریک استفاده شد. سپس