

# بررسی پارامترهای موثر بر طول تزویج در تزویجگر جهت‌دار هیبریدی پلاسمونیک مبتنی بر InP با خوردگی عمیق

سلیمان نژاد<sup>۱</sup>، فرشاد<sup>۱</sup>؛ مهدیان، محمد امین<sup>۲</sup>؛ نیکوفرد، محمود<sup>۳</sup>

<sup>۱</sup> پژوهشکده علوم و فناوری نانو، دانشگاه کاشان، کاشان

<sup>۲</sup> کارشناس ارشد الکترونیک

<sup>۳</sup> گروه الکترونیک، دانشکده مهندسی برق و کامپیوتر، دانشگاه کاشان، کاشان

## چکیده

در این مقاله یک تزویجگر جهت‌دار مبتنی بر InP پیشنهاد شده است و تاثیر پارامترهای مختلف: ضخامت لایه پوشش InP، ضخامت فلز نقره و تغییرات طول موج نور ورودی و افزایش فاصله میان موجبرهای ورودی بر طول تزویج آن بررسی شده است که نشان دهنده کاهش طول تزویج با افزایش ضخامت لایه پوشش و افزایش طول موج نور ورودی می‌باشد در حالیکه طول تزویج با افزایش فاصله بین موجبرهای ورودی، افزایش می‌یابد. همچنین تغییرات طول انتشار برای مدهای زوج و فرد تزویجگر با افزایش ضخامت لایه فلز نقره بررسی شده است که نشان دهنده افزایش طول انتشار مدها با افزایش ضخامت لایه نقره و به اشباع رسیدن آن به ازای ضخامتهای بیشتر از ۱۰۰ نانومتر می‌باشد.

واژه های کلیدی: موجبر هیبریدی پلاسمونیک، تزویجگر جهت‌دار هیبریدی پلاسمونیک، طول تزویج

## Investigation of Effective Parameters on Coupling Length in Deeply Etched Directional Hybrid Plasmonic Coupler Based on InP

Soleimannezhad, Farshad<sup>1</sup>; Mahdian, Mohammadamin<sup>2</sup>; Nikoufard, Mahmoud

<sup>1</sup> Institute of Nanoscience and Nanotechnology, University of Kashan, Kashan

<sup>2</sup> Master of Science in Electronics

<sup>3</sup> Department of Electronics, Electrical and Computer Engineering Faculty, University of Kashan, Kashan

## Abstract

In this paper, an InP-based multi-directional coupling is proposed and the effect of different parameters is investigated: the thickness of the InP coating layer, the thickness of the silver and the changes in the wavelength of the incoming light, and the increase in the distance between the input wavelengths on its coupling length, which indicates a decrease in the coupling length. Increasing the thickness of the coating layer and increasing the wavelength of the incoming light while the coupling length increases with the increase in the distance between the input wavelengths. Also, the variation in the propagation length for coupler and paired ones are investigated by increasing the thickness of the silver metal layer, indicating an increase in the propagation time of the motifs by increasing the thickness of the silver layer and reaching its saturation over the thicknesses greater than 100 nm..

**Keywords:** Hybrid Plasmonic Waveguide, Hybrid Plasmonic Directional Coupler, Coupling Length

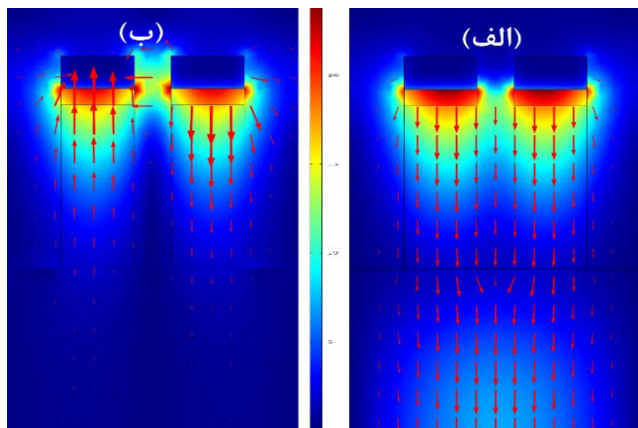
PACS No. ۷۸, ۴۱, ۴۲, ۶۱, ۸۴

## مقدمه

فوتونیک به دلیل محدودیت پراش بسیار بزرگتر از ادوات الکترونیکی می‌باشد در واقع ابعاد این ادوات می‌بایست از نصف طول موج به کار رفته بزرگتر باشد.

ادوات فوتونیک در مقایسه با ادوات الکترونیک دارای سرعت بسیار بالاتری در انتقال اطلاعات می‌باشند. از طرف دیگر ابعاد ادوات

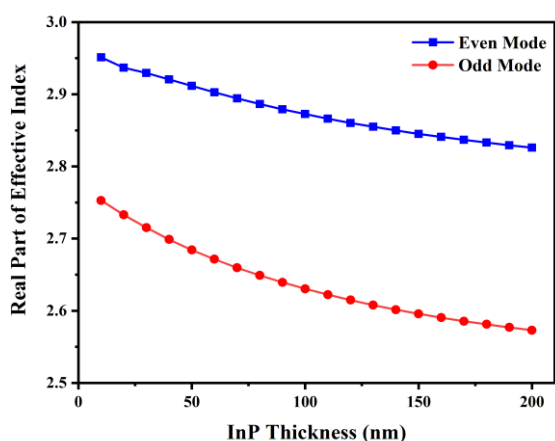
در شکل‌های ۲-الف و ۲-ب به ترتیب توزیع و جهت میدان الکتریکی مدهای TM زوج و فرد تزویجگر نشان داده شده است.



شکل ۲: توزیع و جهت میدان الکتریکی تزویجگر (الف) مود زوج (ب) مود فرد

### نتایج و بحث

در شکل ۳ نمودار قسمت حقیقی ضریب شکست بر حسب ضخامت لایه پوشش InP برای مدهای زوج و فرد تزویجگر نشان داده شده است. ملاحظه می‌شود که با افزایش ضخامت لایه پوشش InP قسمت حقیقی ضریب شکست مدهای زوج و فرد کاهش می‌یابد در حالی که به ازای تمام ضخامت‌های لایه پوشش، قسمت حقیقی ضریب شکست مود زوج بیشتر از مود فرد است.



شکل ۳: نمودار تغییرات قسمت حقیقی ضریب شکست بر حسب ضخامت لایه پوشش InP برای مدهای زوج و فرد تزویجگر  
یکی از پارامترهای مهم برای تزویجگرهای جهت‌دار، طول تزویج است که فاصله لازم برای تزویج توان اپتیکی از یک موجبر تزویجگر به موجبر دیگر تزویجگر می‌باشد و از رابطه زیر بدست می‌آید:

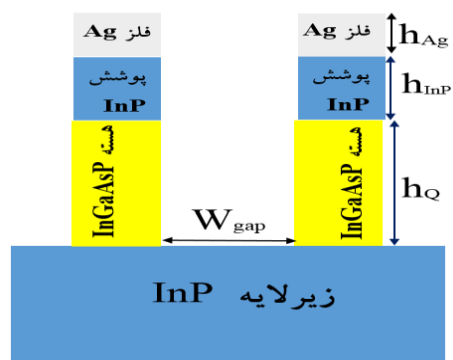
ادوات پلاسمونیک در عین حال که دارای سرعت بالای انتقال اطلاعات می‌باشند از اندازه کوچک نیز برخوردار هستند و می‌توانند با جایگزینی قوی پلاریتون‌های پلاسمون سطحی در فصل مشترک فلز-دی‌الکتریک، نور را در زیر حد پراش محدود کنند [۱].

تزویجگرها دسته‌ای از ادوات فوتونیک هستند که می‌توانند سیگنال نوری ورودی را به نسبت تعیین شده بین دو پورت خروجی تقسیم کنند و دارای کاربردهای فراوانی در مدارات مجتمع فوتونیک می‌باشند. ساختارهای مبتنی بر InP برخلاف ساختارهای مبتنی بر SOI دارای امکان مجتمع سازی یکپارچه با ادوات فعال فوتونیک از قبیل: لیزرها و آشکارسازهای نوری بر روی یک زیرلایه، در طول موج مخابراتی می‌باشند. به دلیل امکان مجتمع سازی ادوات فعال و غیرفعال فوتونیک در تکنولوژی InP، طراحی ادوات کم اتلاف و در عین حال دارای اندازه کوچک اهمیت بسزایی دارد [۲].

در این مقاله یک تزویجگر جهت‌دار مبتنی بر InP و پوشش فلزی نقره پیشنهاد شده است و در ادامه اثر پارامترهای مختلف در طراحی تزویجگر بر طول تزویج آن بررسی شده است.

### تزویجگر جهت‌دار مبتنی بر InP با خوردگی عمیق

در شکل ۱ تصویر شمایی از ساختار یک تزویجگر جهت‌دار مبتنی بر زیرلایه InP با خوردگی عمیق نشان داده شده است.



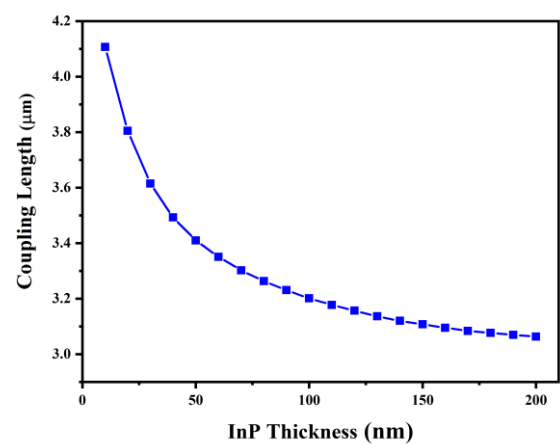
شکل ۱: تصویر شمایی تزویجگر جهت‌دار مبتنی بر InP با خوردگی عمیق

تزویجگر جهت‌دار مبتنی بر InP با خوردگی عمیق از هسته InGaAsP با ضریب شکست ۳,۳۶۳۶ و ضخامت ۵۰۰ نانومتر، لایه پوشش InP با ضریب شکست ۳,۱۶۶۹ و ضخامت ۵۰ نانومتر و پوشش فلزی نقره با ضریب شکست  $11.31 + 0.1388i$  و ضخامت ۱۰۰ نانومتر بر روی زیرلایه InP تشکیل شده است [۳].

$$L_c = \frac{\lambda}{2R_e(n_e - n_o)} \quad (1)$$

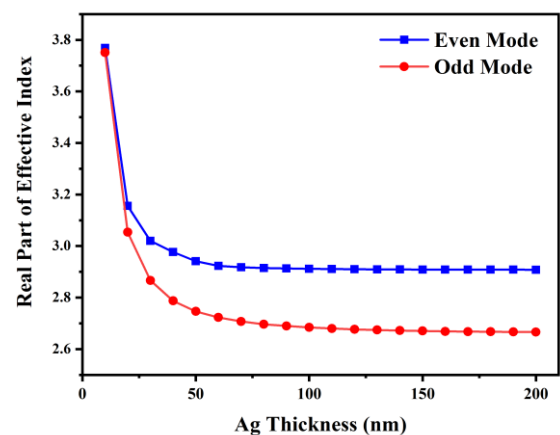
که در آن  $\lambda$  طول موج مخابراتی و  $n_e$  و  $n_o$  به ترتیب ضرایب شکست موثر مودهای زوج و فرد تزویجگر می‌باشند [۲].

در شکل ۴ نمودار تغییرات طول تزویج بر حسب ضخامت لایه پوشش InP نشان داده شده است. همانطور که از منحنی پیداست با افزایش ضخامت لایه پوشش طول تزویج کاهش می‌یابد و برای ضخامت‌های بیش از ۱۰۰ نانومتر در حدود ۳ میکرومتر به اشباع می‌رسد.



شکل ۴: نمودار طول تزویج بر حسب ضخامت لایه پوشش InP

در شکل ۵ نمودار تغییرات ضرایب شکست موثر مودهای زوج و فرد تزویجگر بر حسب ضخامت لایه نقره نمایش داده شده است.



شکل ۵: نمودار تغییرات قسمت حقیقی ضرایب شکست موثر بر حسب ضخامت لایه نقره برای مودهای زوج و فرد تزویجگر

همانطور که مشاهده می‌شود با افزایش ضخامت لایه نقره ضریب شکست موثر مودها کاهش می‌یابد و برای ضخامت‌های نقره بیشتر از ۱۰۰ نانومتر به اشباع می‌رسد در عین حال به ازای تمامی ضخامت‌های نقره، ضریب شکست مود زوج بزرگتر از مود فرد است.

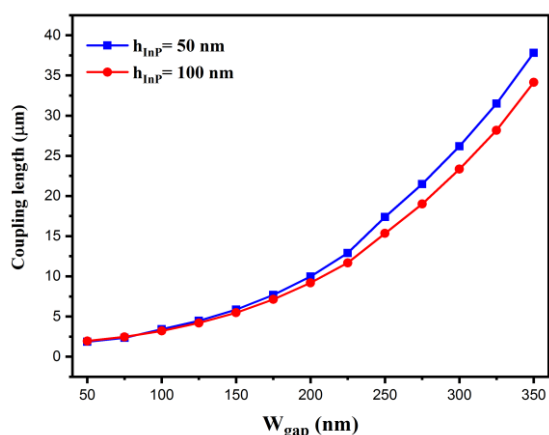
در شکل ۶ منحنی تغییرات طول انتشار مودهای زوج و فرد بر حسب ضخامت لایه نقره نشان داده شده است که طول انتشار مودها با استفاده از قسمت موهومی ضریب شکست مودها و با استفاده از رابطه زیر بدست می‌آید:

$$L_p = \frac{1}{(2k_0 n_{eff, img})} \quad (2)$$

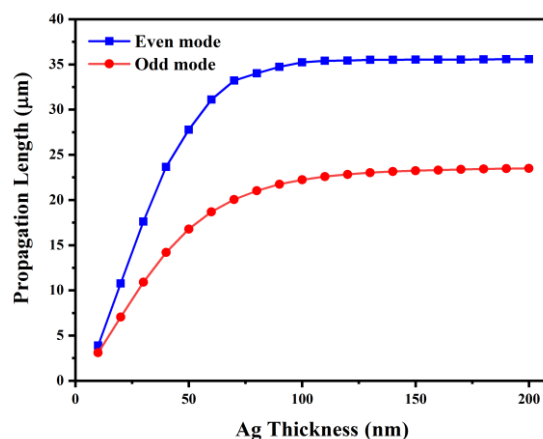
که در آن  $n_{eff, img}$  قسمت موهومی ضریب شکست موثر و  $k_0 = \frac{2\pi}{\lambda}$  عدد موج در خلا می‌باشند [۴].

ملاحظه می‌شود که با افزایش ضخامت نقره، طول انتشار برای مودهای زوج و فرد افزایش می‌یابد و برای ضخامت‌های بیش از ۱۰۰ نانومتر به اشباع می‌رسد همچنین در تمام ضخامت‌های نقره طول انتشار مود زوج بیشتر از طول انتشار مود فرد است. مودهای زوج دارای اتلاف بسیار کمتری نسبت به مودهای فرد هستند زیرا برای مودهای زوج، میدان الکتریکی به میزان قابل توجهی لایه نقره را بی اثر نموده است.

در شکل ۷ نمودار تغییرات طول تزویج بر حسب طول موج نور ورودی برای دو ضخامت ۵۰ و ۱۰۰ نانومتر لایه پوشش InP نشان داده شده است. همانطور که ملاحظه می‌شود با افزایش طول موج، طول تزویج برای هر دو ضخامت لایه پوشش بکار رفته بصورت یکپارچه کاهش می‌یابد و به ازای تمام طول موج‌های بکار رفته، طول تزویج مربوط به لایه پوشش با ضخامت ۱۰۰ نانومتر کمتر از طول تزویج مربوط به لایه پوشش با ضخامت ۵۰ نانومتر می‌باشد.



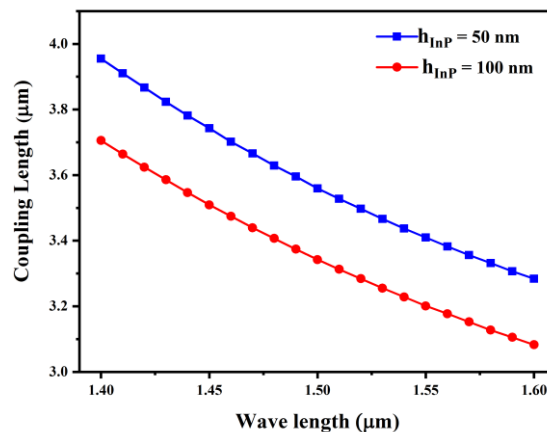
شکل ۸: نمودار طول تزویج بر حسب فاصله دو موجبر ورودی برای ضخامت‌های ۵۰ و ۱۰۰ نانومتر لایه پوشش



شکل ۹: نمودار طول انتشار بر حسب ضخامت نقره برای مدهای زوج و فرد

### نتیجه گیری

نشان داده شد که با افزایش ضخامت لایه پوشش، قسمت حقیقی ضریب شکست مدهای زوج و فرد و طول تزویج کاهش می‌یابد. قسمت حقیقی ضریب شکست مدهای زوج و فرد تزویجگر با افزایش ضخامت لایه نقره کاهش می‌یابد و در همان حال طول انتشارشان افزایش می‌یابد همچنین با افزایش طول موج ورودی، طول تزویج مدها کاهش می‌یابد در حالی که با افزایش فاصله بین دو موجبر ورودی، طول تزویج افزایش می‌یابد.



شکل ۱۰: نمودار تغییرات طول تزویج بر حسب طول موج نور ورودی برای ضخامت‌های لایه پوشش ۵۰ و ۱۰۰ نانومتر

### مرجع‌ها

- [۱] Y.Song; "Plasmonic waveguides and resonators for optical communication applications"; Doctoral thesis in microelectronics and applied physics, KTH computer science and communication. (2011) 1-3
- [۲] M. Nikoufard, N. Heydari, S. Pourgholi, and A. R. Khomami, "Novel hybrid plasmonic-based directional coupler on InP substrate," *Photonics and Nanostructures-Fundamentals and Applications*, vol. 22, pp. 9-17, 2016
- [۳] <http://refractiveindex.info/>
- [۴] J. Ctyroky, P. Kwiecien, and I. Richter, "Analysis of hybrid dielectric-plasmonic slot waveguide structures with 3D Fourier Modal Methods," *Journal of the European Optical Society-Rapid publications*, vol. 8, 2013.

در شکل ۸ منحنی طول تزویج بر حسب فاصله میان دو موجبر ورودی W<sub>gap</sub> برای دو ضخامت ۵۰ و ۱۰۰ نانومتر لایه پوشش InP آورده شده است. همانطور که از شکل پیداست با افزایش W<sub>gap</sub> طول تزویج نیز افزایش می‌یابد و فاصله میان دو منحنی نیز بیشتر می‌شود.