



بیستمین کنفرانس اپتیک و فوتونیک ایران  
و ششمین کنفرانس مهندسی و فناوری فوتونیک ایران  
۸ تا ۱۰ بهمن ماه ۱۳۹۲ - دانشگاه صنعتی شیراز



## بررسی جفت شدگی بین دو موجبر پلاسمون سطحی بار گذاری شده با دی الکتریک

فخرالدین خرد<sup>۱</sup>، محمود حسینی فرزاد<sup>۲</sup> و عباس ظریفی<sup>۱</sup>

۱- گروه فیزیک، دانشکده علوم، دانشگاه یاسوج

۲- بخش فیزیک، دانشکده علوم، دانشگاه شیراز

در این مقاله با شبیه سازی سه بعدی نشان داده ایم که انتشار پرتو در موجبرهای پلاسمون-پلاریتون سطحی بارگذاری شده با دی الکتریک (DLSPWs) در مقایسه با موجبرهای کاملاً دی الکتریک (همراه با بستر دی الکتریک) عملکرد بهتری دارد. بهترین ابعاد برای چنین موجبرهایی، عرض و ضخامت  $600\text{nm}$  می باشد که در طول موج  $1.55\mu\text{m}$  بهترین عملکرد را دارد. در ساختارهای دوتایی چنین موجبرهایی جفت شدگی در طول مشخصی از انتشار بین دو موجبر اتفاق می افتد، که بطور دوره ای شار انرژی بین دو موجبر ردو بدل می شود. سرعت انتقال شار انرژی از یک موجبر به موجبر دیگر با کاهش فاصله ی بین آنها افزایش می یابد.

کلید واژه- پلاسمون سطحی، دی الکتریک، موجبرها.

## Investigation of coupling between two dielectric loaded surface plasmon waveguides (DLSPWs)

Fakhroddin Kherad<sup>1</sup>, Mahmood Hosseini Farzad<sup>2</sup>, Abas Zarifi<sup>1</sup>

1- Physics Department, College Of Science, Yasooj University.

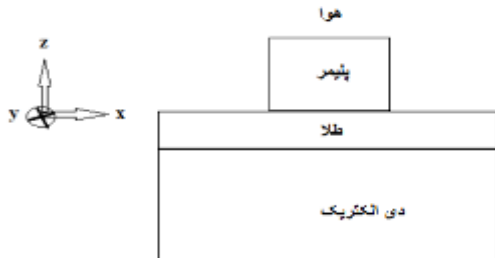
2- Physics Department, College Of Science, Shiraz University.

In this paper we simulate the beam propagation in dielectric loaded surface plasmon-polariton waveguides (DLSPWs) which have more suitable operation comparison with the dielectric waveguides (the substrate is also dielectric). The best dimensions for these dielectric ridge is 600 nm for its width and thickness at 1.55 nm wavelength. In two waveguides structures the coupling between them is occurred at the characteristic propagation length. In this length the energy flux is completely transferred from one waveguide to other waveguide. The speed of this energy transferring is increased when the lateral distance between two waveguide is decreased.

Keywords: Surface Plasmon, Dielectrics, Waveguides.

## ۱- مقدمه

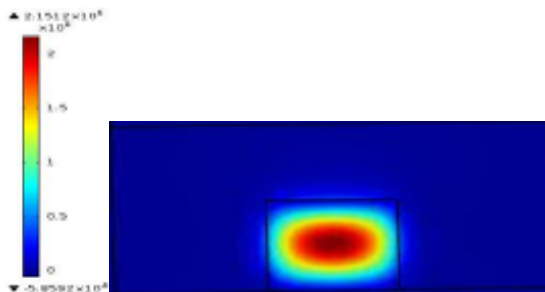
با ضریب شکست  $n_2=1.6$  که در راستای  $X$  نامحدود و در راستای  $Z$  نیم نامحدود می‌باشد. سپس یک لایه‌ی طلا با ضریب شکست  $11.5 + j0.55$  با ضخامت  $100\text{nm}$  که در راستای  $X$  نامحدود می‌باشد، بر روی آن نشانده می‌شود. و بر روی لایه‌ی طلا یک موجبر پلیمر با ضریب شکست  $n_2=1.535$  ولی سطح مقطع مربعی که اطراف آنرا هوا احاطه کرده قرار می‌گیرد. در این ساختار راستای انتشار امواج SPP در راستای محور  $y$  اتفاق می‌افتد. در این مقاله مد پایه  $TM_0$  در نظر گرفته شده است. منظور از مد  $TM$ ، در این ساختار وجود مولفه‌ی  $X$  میدان مغناطیسی و مولفه‌ی  $y$  و  $z$  میدان الکتریکی مد SPP می‌باشد. وجود پلیمر باعث تقویت امواج پلاسمای سطحی و محدودسازی بهتر مد موجبر در دو بعد  $X$  و  $Z$  می‌شود.



شکل ۱: یک نما از سطح مقطع ساختار DLSPW مورد بررسی

## ۲- شبیه سازی انتشار موج در این موجبرها

در ابتدا لایه‌ی بستر موجبر را BK7 قرار داده‌ایم که در طول موج  $1.55\mu\text{m}$  ضریب شکست  $1.50$  دارد. همانطور که از شکل (۲) مشاهده می‌شود هیچ نوع SPP در مرز بین پلیمر و BK7 مشاهده نمی‌شود و توزیع شار انرژی در وسط محیط پلیمر قرار دارد.



شکل ۲: توزیع شار انرژی در راستای  $y$  برای یک موجبر با عرض و ضخامت  $600\text{nm}$  با زیرلایه BK7 که طول موج نور فرودی  $1.55\mu\text{m}$  است.

پلاسمون پلاریتون های سطحی<sup>۱</sup> (SPPs) برای محدودسازی و هدایت سیگنال های اپتیکی در مقیاس زیر ابعاد طول موج به کار می‌روند. این امواج به عنوان یک نوع حمل کننده‌ی اطلاعات اپتیکی، در درست کردن ابزارهای فوتونیک در نظر گرفته می‌شوند [۲]. پلاسمون پلاریتون سطحی یک موج الکترومغناطیسی می‌باشد، که به طور منسجم با نوسانات الکترون‌های فلز جفت شده است و در یک مدل موجی در امتداد مرز مشترک فلز-دی الکتریک انتشار می‌یابد [۱]. مفهوم پلاسمونیک فعال برای سوچ کردن و مدوله کردن امواج SPP اپتیکی یا الکترونیکی پیشنهاد شده است [۳]. مفید بودن امواج پلاسمون پلاریتون سطحی بارگذاری شده با دی الکتریک (DLSPWs)<sup>۲</sup> در مقایسه با دیگر موجبرهای SPP این هست که این موجبر دی الکتریک به آسانی می‌تواند خواص اپتیکی آن نسبت به گرما و اختلاف پتانسیل حساس باشد [۴]. در این مقاله، جایگزینی امواج انتشاری، طول جفت شدگی و انتقال انرژی بین دو موجبر با استفاده از روش المان محدود (FEM) و نرم افزار کامسول ۴.۳ بررسی و شبیه سازی سه بعدی شده است. ابتدا انتشار پرتو در یک موجبر در نظر گرفته شده است، در این حالت بستر موجبر را دی الکتریک (BK7) گذاشته‌ایم و هیچ نوع SPP مشاهده نمی‌شود. سپس بستر موجبر را طلا قرار می‌دهیم، که توزیع شار انرژی در مرز طلا و دی الکتریک وجود SPP را تایید می‌کند. این کار در طول موج‌های  $1.55\mu\text{m}$ ،  $1.22\mu\text{m}$  و  $893\text{nm}$  انجام شده و نتایج نشان می‌دهد که طول موج  $1.55\mu\text{m}$  بهترین عملکرد را دارد. همچنین ضخامت و عرض  $600\text{nm}$  برای پل دی الکتریک<sup>۳</sup> روی فلز بهترین عملکرد را نشان می‌دهد. در ادامه دو موجبر (پل) دی الکتریک (پلیمر) را بر روی طلا قرار می‌دهیم که با تحریک یک موجبر شار انرژی بین دو موجبر رد و بدل می‌شود. جفت شدگی بین این دو موجبر بستگی به ابعاد هندسی و فاصله‌ی سمتی بین آنها دارد.

## ۲- معرفی ساختار

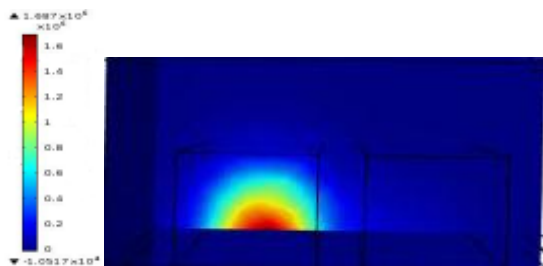
ساختار بررسی شده در این مقاله شامل یک دی الکتریک

۱- Surface plasmon-polaritons

۲- Dielectric Loaded Surface plasmon-polariton Waveguides

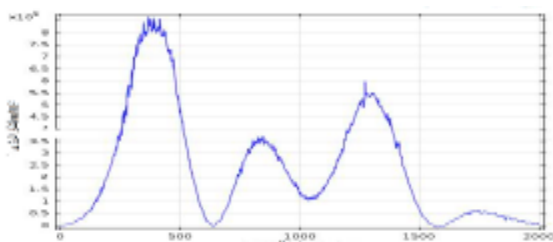
۳- Dielectric Ridge

موجبر با مشخصات شکل (۴). شار انرژی در این طول انتشار بین دو موجبر تقسیم شده است.



شکل ۶: توزیع شار انرژی در راستای Y در طول ۵۴۰nm برای دو موجبر با مشخصات شکل (۴). شار انرژی در این طول انتشار کاملا به موجبر سمت چپی منتقل شده است.

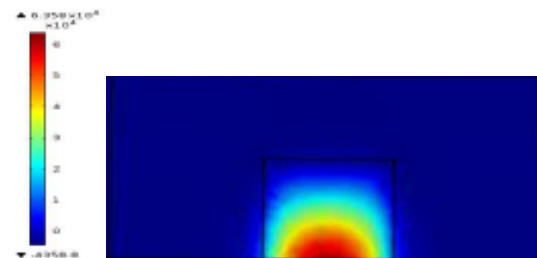
شکل (۷) تغییرات شار انرژی در موجبر سمت چپ یک ساختار دوتایی که در فواصل انتشاری منظمی انرژی داخل این موجبر منتقل شده و سپس به موجبر سمت راست (که در ابتدا تحریک شده بود) برمی‌گردد.



شکل ۷: تغییرات شار انرژی در داخل یک موجبر DLSPPWs برحسب طول انتشار برای ساختاری که موجبر مشابهی در فاصله ۲۰۰nm از آن قرار گرفته است

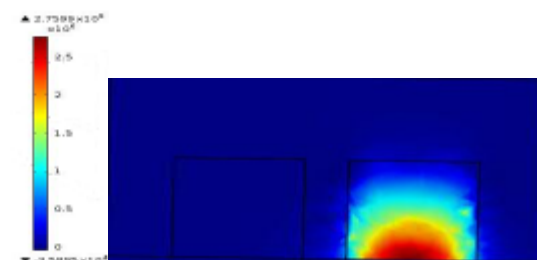
اگر فاصله‌ی بین دو موجبر ۵۰nm و طول موج نور فرودی ۱.۵۵μm باشد، مشاهده می‌کنیم که شار انرژی در ۷۰nm کامل در موجبر سمت راست می‌باشد، در ۲۰۰nm شار انرژی بین دو پل تقسیم می‌شود و در ۳۶۰nm شار انرژی کامل در موجبر سمت چپ قرار می‌گیرد. در نتیجه هر قدر فاصله‌ی بین دو موجبر کمتر سرعت انتقال شار انرژی بیشتر می‌باشد، همچنین علاوه بر طول موج ۱.۵۵ μm و ۸۹۳nm، که سرعت انتقال شار انرژی برای طول موج ۱.۵۵ μm بیشتر از طول موج‌های دیگر می‌باشد. اگر ضخامت پل ۳۰۰nm و عرض پل ۶۰۰nm باشد، در این حالت انتقال انرژی ناقص صورت می‌گیرد. هرچه در راستای انتشار حرکت می‌کنیم این انتقال انرژی ناقص‌تر می‌باشد. شکل‌های (۸)، (۹)، (۱۰)، (۱۱) را ملاحظه

سپس لایه‌ی زیرین را طلا قرار می‌دهیم که با توجه به شکل (۳) امواج spp در مرز مشترک بین طلا و پلیمر منتشر می‌شوند و نتایج نشان می‌دهد که هر چه در راستای انتشار پیش می‌رویم از شدت spp کاسته می‌شود.

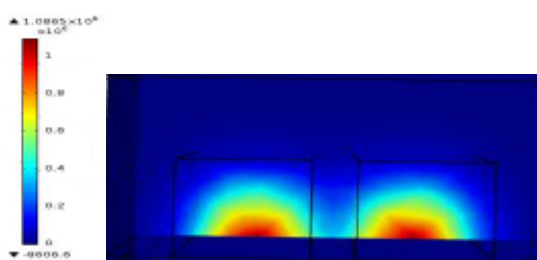


شکل ۳: توزیع شار انرژی در راستای Y برای یک موجبر با عرض و ضخامت ۶۰۰nm که طول موج نور تابانده شده به سطح مقطع آن ۱.۵۵μm می‌باشد.

حال اگر به جای یک موجبر، دو موجبر با عرض و ضخامت ۶۰۰nm بر روی طلا قرار دهیم و فاصله‌ی بین دو موجبر را تغییر دهیم و فقط به یکی نور بتابانیم می‌توانیم جفت شدگی این دو موجبر را مورد بررسی قرار دهیم. اگر فاصله‌ی بین دو موجبر ۲۰۰nm و طول موج نور فرودی ۱.۵۵μm باشد، مشاهده می‌کنیم که شار انرژی در ۱۰۰nm کامل در موجبر سمت راست می‌باشد، در ۳۲۰nm شار انرژی بین دو پل تقسیم می‌شود و در ۵۴۰nm شار انرژی کامل در سمت چپ قرار می‌گیرد، شکل‌های (۴)، (۵) و (۶) را باهم مقایسه کنید.



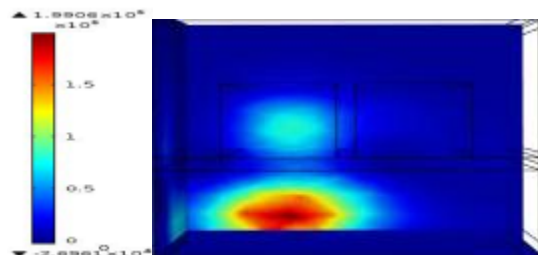
شکل ۴: توزیع شار انرژی در راستای Y در طول ۱۰۰nm برای دو موجبر با عرض و ضخامت ۶۰۰nm و فاصله‌ی بین دو موجبر ۲۰۰nm و طول موج نور فرودی ۱.۵۵ μm است.



شکل ۵: توزیع شار انرژی در راستای Y در طول ۳۲۰nm برای دو

فرمایید.

بستر BK7 که در طول موج  $1.55 \mu\text{m}$  ضریب شکست  $1.50$  دارد، استفاده شده است و مشاهده می‌گردد که در طول  $400 \text{ nm}$  انرژی به لایه‌ی زیر بستر موجبر می‌رود. که این حالت را شکل (۱۲) نشان می‌دهد.



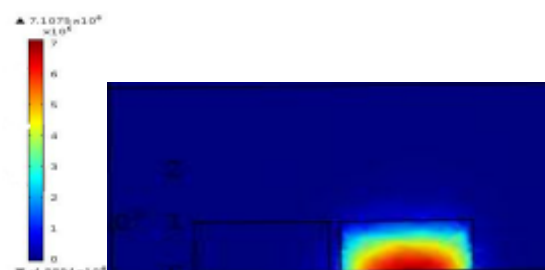
شکل ۱۲: توزیع شار انرژی در راستای  $y$  در طول  $400 \text{ nm}$  برای دو موجبر با عرض و ضخامت  $600 \text{ nm}$  و فاصله‌ی بین دو موجبر  $100 \text{ nm}$  که طول موج نور فرودی  $1.55 \mu\text{m}$  است.

### نتیجه‌گیری

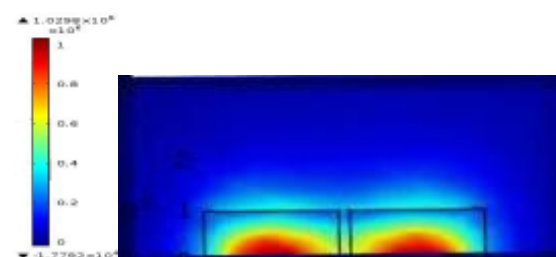
نتایج بدست آمده از شبیه‌سازی‌های سه بعدی در این مقاله نشان می‌دهد که انتشار پرتو در موجبرهای پلاسمونی شامل دی‌الکتریک (DLSPWs) بخوبی انجام می‌شود و بهتر از موجبرهای کاملاً دی‌الکتریک (همراه با بستر دی‌الکتریک) است. همچنین بهترین ابعاد برای چنین موجبرهایی که پلیمر بر روی لایه‌ی طلا قرار گرفته عرض و ضخامت  $600 \text{ nm}$  است که در طول موج  $1.55 \mu\text{m}$  بهترین عملکرد را دارد. انتخاب این ابعاد به خاطر تطابق آن با عمق نفوذ پلاسمای سطحی در محیط پلیمر می‌باشد. در ساختارهای دوتایی چنین موجبرهایی جفت‌شدگی در طول مشخصی از انتشار بین دو موجبر اتفاق می‌افتد، که بطور دوره‌ای شار انرژی بین دو موجبر رد و بدل می‌شود. سرعت انتقال شار انرژی از یک موجبر به موجبر دیگر با کاهش فاصله‌ی بین آنها افزایش می‌یابد. لازم به ذکر است که چنین رفتاری در موجبرهای کاملاً دی‌الکتریک مشاهده نمی‌شود

### مراجع

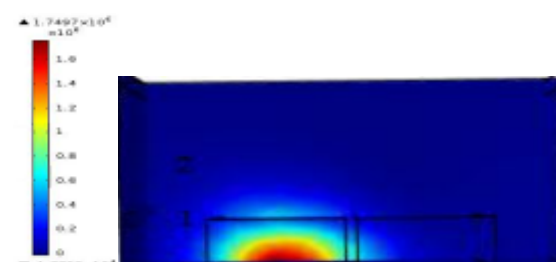
- [1] H. Raether, *Surface Plasmons on Smooth and Rough Surfaces and Gratings* (Springer-Verlag, 1988).
- [2] W. L. Barnes, A. Dereux, and T. W. Ebbesen, *Nature* (London) 424, 824 (2003).
- [3] T. Nikolajsen, K. Leosson, and S. Bozhevolnyi, *Appl. Phys. Lett.* 85, 5833 (2004).
- [4] A. V. Krasavin, and A. V. Zayats, *Phys. Rev. B* 045425 (2008).



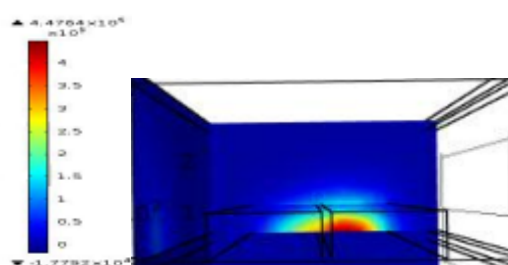
شکل ۸: توزیع شار انرژی در راستای  $y$  در طول  $50 \text{ nm}$  برای دو موجبر با عرض  $600 \text{ nm}$  و ضخامت  $300 \text{ nm}$  و فاصله‌ی بین دو موجبر  $50 \text{ nm}$  و طول موج نور فرودی  $1.55 \mu\text{m}$  است.



شکل ۹: توزیع شار انرژی در راستای  $y$  در طول  $1600 \text{ nm}$  برای دو موجبر با مشخصات شکل (۸).



شکل ۱۰: توزیع شار انرژی در راستای  $y$  در طول  $3000 \text{ nm}$  برای دو موجبر با مشخصات شکل (۸). شار انرژی در این طول انتشار ناقص به موجبر سمت چپ منتقل شده است.



شکل ۱۱: توزیع شار انرژی در راستای  $y$  در طول  $14600 \text{ nm}$  برای دو موجبر با مشخصات شکل (۸). شار انرژی در این طول انتشار ناقص‌تر به موجبر سمت راست منتقل شده است. در این ساختارها از بستر فلز استفاده می‌شود چون هرگاه از یک دی‌الکتریک استفاده کنیم، چه در حالت یک موجبر و چه در حالت دو موجبر، شار انرژی به سمت بستر موجبر هدایت می‌شود. در ساختار شبیه‌سازی زیر از