



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

فخرالدین خرد^۱، محمود حسینی فرزاد^۲ و عباس ظریفی^۱

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 600nm 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 رد و 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 Kherad¹, Mahmood Hosseini Farzad², Abas Zarifi¹

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.

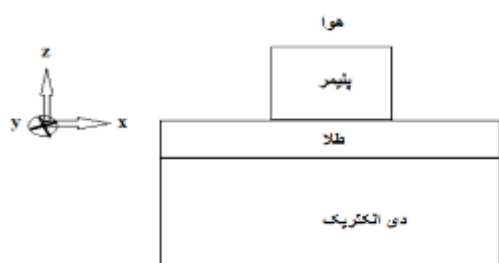
۱- مقدمه

پلاسمون پلاریتون های سطحی^۱ (SPPs) برای محدودسازی و هدایت سیگنال های اپتیکی در مقیاس زیر ابعاد طول موج به کار می روند. این امواج به عنوان یک نوع حمل کننده ی اطلاعات اپتیکی، در درست کردن ابزارهای فوتونیک در نظر گرفته می شوند [۲]. پلاسمون پلاریتون سطحی یک موج الکترومغناطیسی می باشد، که به طور منسجم با نوسانات الکترون های فلز جفت شده است و در یک مدل موجی در امتداد مرز مشترک فلز-دی الکتریک انتشار می یابد [۱]. مفهوم پلاسمونیک فعال برای سوچ کردن و مدوله کردن امواج SPP اپتیکی یا الکترونیک پیشنهاد شده است [۳]. مفید بودن امواج پلاسمون پلاریتون سطحی بارگذاری شده با دی الکتریک (DLSPWs)^۲ در مقایسه با دیگر موجبرهای SPP این هست که این موجبر دی الکتریک به آسانی می تواند 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) گذاشته ایم و هیچ نوع SPP مشاهده نمی شود. سپس بستر موجبر را طلا قرار می دهیم، که توزیع شار انرژی در مرز طلا و دی الکتریک وجود SPP را تایید می کند. این کار در طول موج های $1.55 \mu\text{m}$ ، $1.22 \mu\text{m}$ و 893nm انجام شده و نتایج نشان می دهد که طول موج $1.55 \mu\text{m}$ بهترین عملکرد را دارد. همچنین ضخامت و عرض 600nm برای پل دی الکتریک^۳ روی فلز بهترین عملکرد را نشان می دهد. در ادامه دو موجبر (پل) دی الکتریک (پلیمر) را بر روی طلا قرار می دهیم که با تحریک یک موجبر شار انرژی بین دو موجبر رد و بدل می شود. جفت شدگی بین این دو موجبر بستگی به ابعاد هندسی و فاصله ی سمتی بین آنها دارد.

۲- معرفی ساختار

ساختار بررسی شده در این مقاله شامل یک دی الکتریک

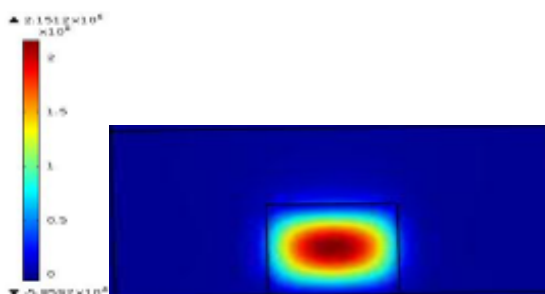
با ضریب شکست $n_2=1.6$ که در راستای X نامحدود و در راستای Z نیم نامحدود می باشد. سپس یک لایه ی طلا با ضریب شکست $11.5 + j5.5$ با ضخامت 100nm که در راستای X نامحدود می باشد، بر روی آن نشانده می شود. و بر روی لایه ی طلا یک موجبر پلیمر با ضریب شکست $n_2=1.535$ ولی سطح مقطع مربی که اطراف آنرا هوا احاطه کرده قرار می گیرد. در این ساختار راستای انتشار امواج SPP در راستای محور y اتفاق می افتد. در این مقاله مد پایه ی TM_0 در نظر گرفته شده است. منظور از مد TM، در این ساختار وجود مولفه ی X میدان مغناطیسی و مولفه ی y و z میدان الکتریکی مد SPP می باشد. وجود پلیمر باعث تقویت امواج پلاسمای سطحی و محدودسازی بهتر مد موجبر در دو بعد x و z می شود.



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

۲-۱ شبیه سازی انتشار موج در این موجبرها

در ابتدا لایه ی بستر موجبر را BK7 قرار داده ایم که در طول موج $1.55 \mu\text{m}$ ضریب شکست 1.50 دارد. همانطور که از شکل (۲) مشاهده می شود هیچ نوع SPP در مرز بین پلیمر و BK7 مشاهده نمی شود و توزیع شار انرژی در وسط محیط پلیمر قرار دارد.



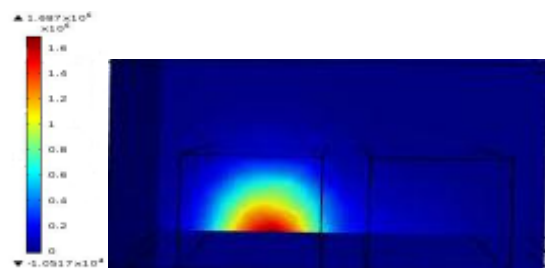
شکل ۲: توزیع شار انرژی در راستای y برای یک موجبر با عرض و ضخامت 600nm با زیرلایه BK7 که طول موج نور فرودی $1.55 \mu\text{m}$ است.

۱- Surface plasmon-polaritons

۲- Dielectric Loaded Surface plasmon-polariton Waveguides

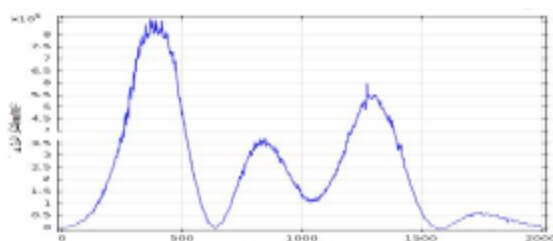
۳- Dielectric Ridge

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 ۵۴۰ nm برای دو موجبر با مشخصات شکل (۴). شار انرژی در این طول انتشار کاملاً به موجبر سمت چپی منتقل شده است.

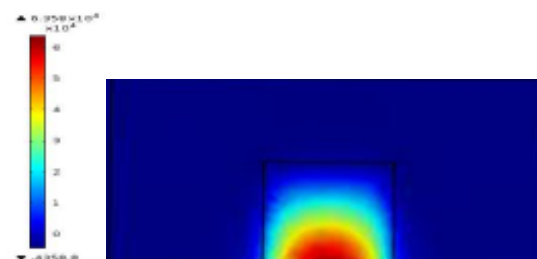
شکل (۷) تغییرات شار انرژی در موجبر سمت چپ یک ساختار دوتایی که در فواصل انتشاری منظمی انرژی داخل این موجبر منتقل شده و سپس به موجبر سمت راست (که در ابتدا تحریک شده بود) برمی‌گردد.



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

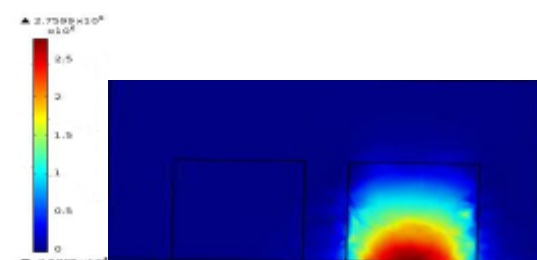
اگر فاصله بین دو موجبر ۵۰ nm و طول موج نور فرودی ۱.۵۵ μm باشد، مشاهده می‌کنیم که شار انرژی در ۷۰ nm کامل در موجبر سمت راست می‌باشد، در ۲۰۰ nm شار انرژی بین دو پل تقسیم می‌شود و در ۳۶۰ nm شار انرژی کامل در موجبر سمت چپ قرار می‌گیرد. در نتیجه هر قدر فاصله بین دو موجبر کمتر سرعت انتقال شار انرژی بیشتر می‌باشد، همچنین علاوه بر طول موج ۱.۵۵ μm، طول موج‌های ۱.۲۲ μm و ۸۹۳ nm بررسی شده‌اند، که سرعت انتقال شار انرژی برای طول موج ۱.۵۵ μm بیشتر از طول موج‌های دیگر می‌باشد. اگر ضخامت پل ۳۰۰ nm و عرض پل ۶۰۰ nm 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.

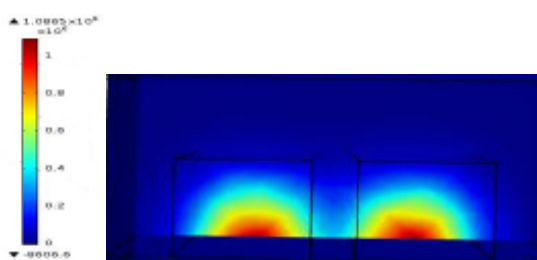


شکل ۳: توزیع شار انرژی در راستای Y برای یک موجبر با عرض و ضخامت ۶۰۰ nm که طول موج نور تابانده شده به سطح مقطع آن ۱.۵۵ μm می‌باشد.

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



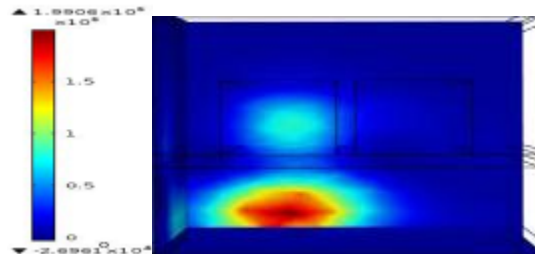
شکل ۴: توزیع شار انرژی در راستای Y در طول ۱۰۰ nm برای دو موجبر با عرض و ضخامت ۶۰۰ nm و فاصله بین دو موجبر ۲۰۰ nm و طول موج نور فرودی ۱.۵۵ μm است.



شکل ۵: توزیع شار انرژی در راستای Y در طول ۳۲۰ nm 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 nm انرژی به لایه‌ی زیر بستر موجبر می‌رود. که این حالت را شکل (۱۲) نشان می‌دهد.



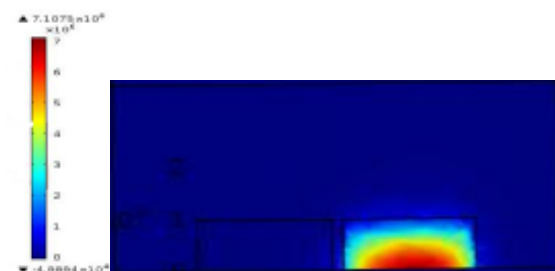
شکل ۱۲: توزیع شار انرژی در راستای y در طول 400 nm برای دو موجبر با عرض و ضخامت 600 nm و فاصله‌ی بین دو موجبر 100 nm که طول موج نور فرودی $1.55 \mu\text{m}$ است.

نتیجه‌گیری

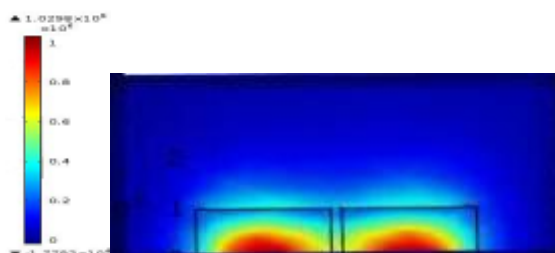
نتایج بدست آمده از شبیه‌سازی‌های سه بعدی در این مقاله نشان می‌دهد که انتشار پرتو در موجبرهای پلاسمونی شامل دی‌الکتریک (DLSPWs) بخوبی انجام می‌شود و بهتر از موجبرهای کاملاً دی‌الکتریک (همراه با بستر دی‌الکتریک) است. همچنین بهترین ابعاد برای چنین موجبرهایی که پلیمر بر روی لایه‌ی طلا قرار گرفته عرض و ضخامت 600 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

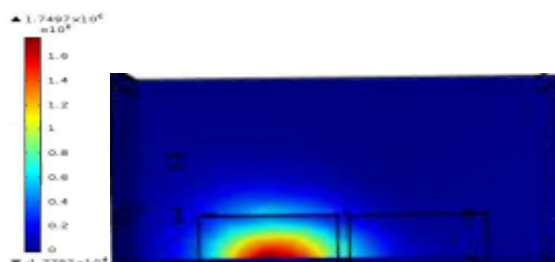
- [1] H. Raether, *Surface Plasmons on Smooth and Rough Surfaces and Gratings* (Springer-Verlag, 1988).
- [2] W. L. Barnes, A. Dereux, and T. W. Ebbesen, *Nature* (London) 424, 824 (2003).
- [3] T. Nikolajsen, K. Leosson, and S. Bozhevolnyi, *Appl. Phys. Lett.* 85, 5833 (2004).
- [4] A. V. Krasavin,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



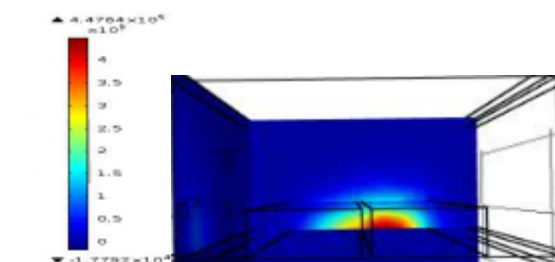
شکل ۸: توزیع شار انرژی در راستای y در طول 50 nm برای دو موجبر با عرض 600 nm و ضخامت 300 nm و فاصله‌ی بین دو موجبر 50 nm و طول موج نور فرودی $1.55 \mu\text{m}$ است.



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



شکل ۱۰: توزیع شار انرژی در راستای y در طول 3000 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 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