تاسیس ۱۳۰۷
دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی
دانشکده مهندسی برق و کامپیوتر

پایان نامه کارشناسی ارشد

مهندسی مخابرات - موج

بررسی نوعی کوپلر جهت‌دار پلاسمونیک و شبیه‌سازی آن با استفاده از روش عددی تفاضل محدود در حوزه‌ی زمان

استاد راهنما :

دکتر نصرت ا... گرانپایه

استاد مشاور :

مهندس مجید رسولی دیسفانی

دانشجو:

پویا دستمالچی

شهریور ۱۳۸۹

به نام یزدان بخشنده و مهربان

تقدیم به

پدر و مادر عزیزم

که درس زندگی و محبت را به من آموخته‌اند.

اظهار نامه دانشجو

موضوع پایان نامه: بررسی نوعی کوپلر جهت‌دار پلاسمونیک و شبیه‌سازی آن با استفاده از روش عددی تفاضل محدود در حوزه‌ی زمان

استاد راهنما: آقای دکتر نصرت ا...گرانپایه

نام دانشجو: پویا دستمالچی

شماره دانشجوئی: ۸۶۰۰۸۴۴

اینجانب **پویا دستمالچی** دانشجوی دوره کارشناسی ارشد مهندسی **برق** گرایش **مخابرات میدان** دانشکده **مهندسی برق و کامپیوتر** دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی گواهی می‌نمایم که تحقیقات ارائه شده در این پایان‌نامه توسط شخص اینجانب انجام شده و صحت و اصالت مطالب نگارش شده مورد تائید است، و در موارد استفاده از کار دیگر محققان به مرجع مورد استفاده اشاره شده است. بعلاوه گواهی می‌نمایم که مطالب مندرج در پایان‌نامه تاکنون برای دریافت هیچ نوع مدرک یا امتیازی توسط این‌جانب یا فرد دیگری در هیچ جا ارائه نشده است و در تدوین متن پایان نامه چارچوب (فرمت) مصوب دانشگاه را بطور کامل رعایت کرده‌ام.

امضاء دانشجو:

تاریخ:

فرم حق طبع ونشر و مالکیت نتایج

۱- حق چاپ و تکثیر این پایان‌نامه متعلق به نویسنده آن است. هرگونه کپی برداری بصورت کل پایان‌نامه یا بخشی از آن تنها با موافقت نویسنده یا کتابخانه دانشکده‌مهندسی برق و کامپیوتر دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی مجاز است.

۲- کلیه حقوق معنوی این اثر متعلق به دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی است و بدون اجازه کتبی دانشگاه به شخص ثالث قابل واگذاری نیست.

همچنین استفاده از اطلاعات و نتایج موجود در پایان‌نامه بدون ذکر مرجع مجاز نیست.

با سپاس فراوان از

استاد ارجمندم دکتر نصرت ا... گرانپایه

و همچنین **مهندس مجید رسولی دیسفانی**

که با راهنمایی‌های خود مرا در انجام این پروژه یاری کردند.

چکیده:

در این پایان‌نامه به بررسی محیط‌های پلاسمونیک می‌پردازیم و پلاسمون‌های سطحی را معرفی کرده شرایط انتشار آنها را نشان می‌دهیم. روش عددی تفاضل محدود در حوزه‌ی زمان را برای شبیه‌سازی مسائل مربوط به انتشار امواج الکترومغناطیسی در محیط‌های پلاسمونیک بررسی می‌کنیم.

با استفاده از موجبرهای گاف پلاسمونی یک کوپلر پلاسمونی طراحی شده است. با توجه به اینکه کوپلر پیشنهادی در راستای انتشار یکنواخت است برای صرفه‌جویی در زمان و حافظه از روش موسوم به روش FDTD فشرده[1] استفاده می‌شود. تأثیر برخی از پارامترهای هندسی ساختار مانند فاصله‌ی موجبرها از هم، ضخامت فلز و عرض شکاف هر موجبر را بر دو پارامتر مهم مربوط به این کوپلرها یعنی طول کوپلینگ و بیشینه‌ی توان انتقال‌یافته بررسی می‌کنیم و در نهایت یک مقسم توان پلاسمونیک مورد بررسی، تحلیل و شبیه‌سازی قرار می‌گیرد.

با توجه به نتایج طول کوپلینگ ملاحظه می‌شود که در مقادیر مختلف از فاصله‌ی بین موجبرها تأثیر تغییرات ضخامت فلز و عرض شکاف متفاوت است و حتی در نقاط خاصی تغییرات آنها تأثیر محسوسی بر طول کوپلینگ نمی‌گذارد. این رفتار ناشی از اثراتی است که تغییرات اعمال شده بر تمرکز نور در هر موجبر و نیز مقدار انرژی ذخیره شده در آن دارد.

[1] Compact Finite Difference Time Domain

فهرست مطالب:

فصل اول: مقدمه

۱-۱ اهمیت ۳
۱-۲ اهداف ۵
۱-۳ ترکیب پایان‌نامه ۵

فصل دوم: پلاسمونیک

۲-۱ مقدمه‌ای بر پلاسمونیک ۹
۲-۲ پلاسمون‌های سطحی ۱۲
۲-۲-۱ پلاسمون و پلاسمون سطحی ۱۲
۲-۳ معادلات انتشار پلاسمون‌های سطحی ۱۳
۲-۴ تحریک پلاسمون‌های سطحی روی سطوح صاف ۲۰

فصل سوم: روش تفاضل محدود در حوزه‌ی زمان

۳-۱ مقدمه ۲۷
۳-۲ روش عددی تفاضل محدود در حوزه‌ی زمان ۲۷
۳-۲-۱ روش FDTD در محیط خطی، همگن و غیرپاشنده ۲۹
۳-۲-۲ روش تفاضل محدود Yee ۳۱
۳-۲-۳ روابط تفاضل محدود برای معادلات ماکسول سه بعدی ۳۴
۳-۲-۴ روش FDTD در محیط پاشنده ۳۷
۳-۳ روش FDTD فشرده در محیط پاشنده ۴۱

فصل چهارم: مروری بر موجبرهای پلاسمونیک

۴-۱ مقدمه‌ای بر موجبرهای پلاسمونیک ۴۷
۴-۱-۱ موجبر نوار فلزی ۴۸
۴-۱-۲ نانو موجبر سیمی فلزی ۵۰
۴-۱-۳ موجبر شکاف پلاسمونی ۵۱
۴-۱-۴ موجبرهای فلزی V- شکل و گوه‌ای ۵۲

فصل پنجم: کوپلر پلاسمونیک با استفاده ازموجبر شکاف پلاسمونی

۵-۱ کوپلر پلاسمونیک با استفاده ازموجبر شکاف پلاسمونی ۵۹
۵-۱-۱ موجبر شکاف پلاسمونی ۵۹
۵-۱-۲ کوپلر شکاف پلاسمونی دو بعدی ۶۲
۵-۱-۳ کوپلر شکاف پلاسمونی سه بعدی ۶۲

۵-۱-۴ دو پارامتر مهم در کوپلرها ۶۳
۵-۱-۵ تأثیر تغییر فاصله موجبرها بر طول کوپلینگ و بیشینه توان انتقال‌یافته ۶۵
۵-۱-۶ تأثیر تغییر عرض موجبرها بر طول کوپلینگ و بیشینه توان انتقال‌یافته ۶۵
۵-۱-۷ تأثیر تغییر ضخامت فلز بر طول کوپلینگ و بیشینه توان انتقال‌یافته ۶۷
۵-۲ کوپلر پلاسمونی متشکل از شکاف‌های پلاسمونی با سطوح نیم‌استوانه‌ای ۶۹
۵-۲-۱ موجبر شکاف پلاسمونی با سطوح نیم‌استوانه‌ای ۶۹
۵-۲-۲ تأثیر تغییر فاصله موجبرها بر طول کوپلینگ و بیشینه توان انتقال‌یافته ۷۴
۵-۲-۳ تأثیر تغییر عرض موجبرها بر طول کوپلینگ و بیشینه توان انتقال‌یافته ۷۴
۵-۲-۴ تأثیر تغییر شعاع سطوح نیم‌استوانه‌ای بر طول کوپلینگ و بیشینه توان انتقال‌یافته ۷۶
۵-۳ مقسم توان پلاسمونیک با استفاده ازموجبر شکاف پلاسمونی ۷۸
۵-۳-۱ تأثیر تغییر عرض موجبرها بر طول کوپلینگ و بیشینه توان انتقال‌یافته ۸۰
۵-۳-۲ تأثیر تغییر ضخامت فلز بر طول کوپلینگ و بیشینه توان انتقال‌یافته ۸۱

فصل ششم: نتیجه‌گیری و پیشنهادات

مراجع

فهرست شکل‌ها:

شکل ۱-۱: نمودار ابعاد و سرعت پردازش در تراشه‌ها با فن‌آوری‌های مختلف..... ۴

شکل ۲-۱: فصل مشترک صاف و مسطح یک فلز و عایق. ۱۵

شکل ۲-۲: منحنی پاشندگی نرمالیزه برای مودهای غیرتشعشعی پلاسمون‌های سطحی در فصل مشترک یک فلز و عایق (خط کامل) و انتشار فضای آزاد (خط‌چین).....۲۰

شکل ۲-۳: برخورد مایل نور بر فصل مشترک عایق و فلز. ۲۱

شکل ۲-۴: منحنی پاشندگی نرمالیزه مؤلفه مماسی بردار انتشار برای پلاسمون‌های سطحی و نور تابیده شده با زاویه θ در فصل مشترک یک فلز و عایق[۶].....۲۲

شکل ۲-۵: سیستم کوپلر بازتابش کلی تضعیف‌شده برای تحریک پلاسمون‌های سطحی. ۲۳

شکل ۳-۱: محل قرارگیری میدان‌ها در یک سلول از شبکه یی [۱۴].....۳۲

شکل ۳-۲: نمودار مکانی-زمانی روش یی به روش جهش قورباغه‌ای [۱۴].....۳۳

شکل ۳-۳: نمایش میدان‌ها طبق الگوریتم یی [۱۴]. ۳۷

شکل ۳-۴: نمودار عبور از یک نوار فلزی با استفاده از دو روش تحلیلی و شبیه‌سازی با روش تفاضل محدود در حوزه‌ی زمان.....۴۰

شکل ۵-۱: موجبر شکاف پلاسمونی.....۵۹

شکل ۵-۲: (الف) مد پلاسمون شکافی که بدلیل بازتاب‌های موفق از بالا و پایین شکاف منتشر می‌شود، (ب) مد پلاسمون‌های تیغه‌ای کوپل شده، و (ج) چهار حالت ممکن توزیع بار در سطح مقطع شکاف پلاسمونی برای مد پلاسمون‌های تیغه‌ای کوپل شده ۶۰

شکل ۵-۳: ساختار کوپلر پلاسمونی با استفاده از موجبرهای شکاف پلاسمونی.....۶۱

شکل ۵-۴: سطح مقطع کوپلر شکاف پلاسمونی (a) دو بعدی و (b) سه بعدی.....۶۱

شکل ۵-۵: درکوپلر شکاف پلاسمونی دوبعدی انتقال انرژی از یک موجبر به موجبر دیگر از طریق فلز مابین دو موجبر است ۶۲

شکل ۵-۶: درکوپلر شکاف پلاسمونی سه بعدی انتقال انرژی یک موجبر به موجبر دیگر از فضای دی الکتریک بالا و پایین تیغه‌ی فلزی میانی صورت می‌گیرد..... ۶۳

شکل ۵-۷: توزیع انرژی در کوپلر پلاسمونی شکل (۵-۳) در (الف) زمانی که مد درون موجبر اول (موجبر سمت چپ) منتشر میشود و (ب) زمانی که مد پس از طی مسافت $L_c \approx ۲/۱۲۳$ میکرومتر در مدت زمان $t_c \approx ۱/۲۰۳ \times ۱۰^{-۲}$ پیکوثانیه به درون موجبر سمت راست کوپل شده است. نتایج با استفاده از شبیه‌سازی با روش تفاضل محدود در حوزه‌ی زمان فشرده برای طول موج ۶۳۲/۸nm ، W = ۵۰nm، h = ۶۰nm و S =۱۰۰nm بدست آمده است. ۶۴

شکل ۵-۸: تغییرات طول کوپلینگ نسبت به فاصله بین موجبرها به ازای سه عرض مختلف موجبر برای کوپلر شکل ۵- ۳ طول موج کار ۶۳۲/۸nm، و h = ۶۰nm..... ۶۵

شکل ۵-۹: تغییرات بیشینه توان انتقال‌یافته نسبت به فاصله بین موجبرها به ازای سه عرض مختلف موجبر برای کوپلر شکل ۵- ۳. طول موج کار ۶۳۲/۸nm، و h = ۶۰nm. ۶۶

شکل ۵-۱۰: تغییرات طول کوپلینگ نسبت به فاصله بین موجبرها به ازای سه ضخامت مختلف فلز برای کوپلر شکل ۵- ۳، طول موج کار ۶۳۲/۸nm، و W = ۵۰nm. ۶۸

شکل ۵-۱۱: تغییرات بیشینه توان انتقال‌یافته نسبت به فاصله بین موجبرها به ازای سه ضخامت مختلف فلز برای کوپلر شکل ۵- ۳، طول موج کار ۶۳۲/۸nm، و W = ۵۰nm..... ۶۹

شکل ۵-۱۲: (الف) ساختار موجبر شکاف پلاسمونی با سطوح نیم‌استوانه‌ای و (ب) موجبر معادل تشکیل شده از دو سطح پلاسمونی گوه‌ای شکل ۶۹

شکل ۵-۱۳: توزیع بار (الف) متقارن نسبت به محور x در هرسطح نیم‌استوانه و (ب) نامتقارن نسبت به شکاف در مد اصلی موجبر شکاف پلاسمونی با سطوح نیم‌استوانه‌ای..... ۷۰

شکل ۵-۱۴: مؤلفه‌های میدان‌های الکتریکی و مغناطیسی در مد اصلی موجبر شکاف پلاسمونی با سطوح نیم‌استوانه‌ای شکل (۵- ۱۲- الف).....۷۱
شکل ۵-۱۵: ساختار کوپلر پیشنهاد شده با استفاده از موجبرهای شکاف پلاسمونی با سطوح نیم‌استوانه‌ای، شعاع سطوح نیم‌استوانه‌ای. R، عرض شکاف‌ها W و فاصله‌ی موجبرها از یکدیگر S است.....۷۳
شکل ۵-۱۶: توزیع انرژی در کوپلر پلاسمونی شکل (۵-۱۵) در (الف) زمانی که موج درون موجبر اول (موجبر سمت چپ) منتشر می‌شود و (ب) زمانی که موج پس از طی مسافتی به طول $L_c \approx$ ۲/۷۹۴ میکرومتر در زمان $t_c \approx$ ۱/۳۳۵ $\times 10^{-2}$ پیکوثانیه به موجبر سمت راست کوپل شده است. نتایج با استفاده از شبیه‌سازی با روش تفاضل محدود در حوزه‌ی زمان فشرده، برای طول موج کار ۶۳۲/۸nm، W = ۵۰nm، R = ۵۰nm، و S =۱۲۰nm بدست آمده است.....۷۳
شکل ۵-۱۷: تغییرات طول کوپلینگ نسبت به فاصله موجبرها به ازای سه عرض مختلف موجبرها برای کوپلر شکل ۵- ۱۵. طول موج کار ۶۳۲/۸nm، و R = ۳۰nm.....۷۴
شکل ۵-۱۸: تغییرات بیشینه توان انتقال‌یافته نسبت به فاصله بین موجبرها به ازای سه عرض مختلف موجبر برای کوپلر شکل ۵- ۱۵، طول موج کار ۶۳۲/۸nm، و R = ۳۰nm.....۷۵
شکل ۵-۱۹: نمودار تغییرات طول کوپلینگ نسبت به فاصله موجبرها به ازای سه شعاع مختلف سطوح نیم-استوانه‌ای برای کوپلر شکل ۵- ۱۵، طول موج کار ۶۳۲/۸nm، و W = ۱۰۰nm.....۷۷
شکل ۵-۲۰: تغییرات بیشینه توان انتقال یافته نسبت به فاصله موجبرها به ازای سه شعاع مختلف سطوح نیم‌استوانه‌ای برای کوپلر شکل ۵- ۱۵، طول موج کار ۶۳۲/۸nm، و W = ۱۰۰nm.....۷۷
شکل ۵-۲۱: ساختار مقسم توان پیشنهاد شده با استفاده از موجبرهای شکاف پلاسمونی.....۷۸
شکل ۵-۲۲: توزیع انرژی در مقسم توان پلاسمونی شکل (۵- ۲۱) در (الف) زمانی که موج درون موجبر اول (موجبر میانی، A) منتشر میشود و (ب) زمانی که موج پس از طی مسافتی به طول $L_c \approx$ ۱/۴۹۸ میکرومتر در زمان $t_c \approx$ ۷/۳۹۴ $\times 10^{-3}$ پیکوثانیه به درون موجبرهای کناری B و C کوپل شده است.

شبیه‌سازی با استفاده از روش تفاضل محدود در حوزه‌ی زمان فشرده برای طول موج کار ۶۳۲/۸nm، W = ۵۰nm، h = ۶۰nm، و S =۱۰۰nm بدست آمده است..... ۷۹
شکل ۵-۲۳: تغییرات طول کوپلینگ نسبت به فاصله‌ی موجبرها به ازای سه عرض مختلف موجبر برای مقسم توان شکل ۵- ۲۱، طول موج کار ۶۳۲/۸nm، و h = ۶۰nm. ۸۰
شکل ۵-۲۴: نمودار تغییرات بیشینه توان انتقال‌یافته نسبت به فاصله‌ی موجبرها به ازای سه عرض مختلف موجبر برای هر بازوی مقسم توان شکل ۵- ۲۱، طول موج کار ۶۳۲/۸nm، و h = ۶۰nm..... ۸۰
شکل ۵-۲۵: تغییرات طول کوپلینگ نسبت به فاصله‌ی موجبرها به ازای سه ضخامت مختلف فلز برای مقسم توان شکل ۵- ۲۱، طول موج کار ۶۳۲/۸nm، و W =۵۰nm. ۸۱
شکل ۵-۲۶: تغییرات بیشینه توان انتقال‌یافته نسبت به فاصله‌ی موجبرها به ازای سه ضخامت مختلف فلز برای هر بازوی مقسم توان شکل ۵- ۲۱، طول موج کار ۶۳۲/۸nm، و W =۵۰nm. ۸۱