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

رساله
برای دریافت درجه دکترای
مخابرات – میدان

تحلیل موجبرهای نوری سه لایه شامل پلاسمون– پلاریتون‌های سطحی در حضور اثرات مگنتواپتیک

استاد راهنما:
دکتر نصرتا ... گرانپایه

نگارش:
مهدی خطیر

بهمن ۱۳۹۱

بسم الله الرحمن الرحيم

تقدیم به

پروردگار مهربان، آفریدگار هستی،

پدرم به استواری کوه،

مادرم به زلالی چشمه،

همسرم به صمیمیت باران،

و دخترم به طراوت شبنم

همه مردم سرزمینم،

همه معلمین دوران تحصیلم،

استاد علم و اخلاقم جناب آقای دکتر گرانپایه،

تاییدیه هیات داوران

اعضای هیات داوران، نسخه نهایی پایان‌نامه آقای مهدی خطیر

با عنوان:

تحلیل موجبرهای نوری سه لایه شامل پلاسمون پلاریتون‌های سطحی در حضور اثرات مگنتواپتیک

از نظر فرم و محتوی بررسی نموده و پذیرش آن را برای تکمیل درجه دکتری تایید می‌نمایند.

اعضای هیات داوران	نام و نام خانوادگی	رتبه علمی	امضاء
۱ - استاد راهنما	دکتر نصرتا... گرانپایه	دانشیار	
۲ - استاد ممتحن	دکتر سید عبدا... میرطاهری	دانشیار	
۳ - استاد ممتحن	دکتر محمدصادق ابریشمیان	دانشیار	
۴ - استاد ممتحن	دکتر محمدمهدی طهرانچی	استاد	
۵ - استاد ممتحن	دکتر محمود شاه‌آبادی	استاد	
۶ - نماینده تحصیلات تکمیلی	دکتر تورج امرایی	استادیار	

اظهارنامه دانشجو

موضوع پایان‌نامه: تحلیل موجبرهای نوری سه لایه شامل پلاسمون پلاریتون‌های سطحی در حضور اثرات مگنتواپتیک

استاد راهنما: دکتر نصرتا... گرانپایه

نام دانشجو: مهدی خطیر

شماره دانشجویی: ۸۷۰۰۹۴۶

اینجانب **مهدی خطیر** دانشجوی دوره دکتری مهندسی **برق** گرایش **مخابرات (میدان و موج)** دانشکده **مهندسی برق** دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی گواهی می‌نمایم که تحقیقات ارائه شده در این پایان نامه توسط شخص اینجانب انجام شده و صحت و اصالت مطالب نگارش شده مورد تایید است، و در مورد 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 و نشر و مالکیت نتایج

۱ -حق چاپ و تکثیر این پایان‌نامه متعلق به نویسنده آن است. هرگونه کپی‌برداری بصورت کل پایان‌نامه یا بخشی از آن تنها با موافقت نویسنده یا کتابخانه دانشکده مهندسی برق وکامپیوتر 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.

تقدیر و تشکر

شکر و سپاس خدا را که بزرگترین امید و یاور، در لحظه لحظه زندگی‌است. او که هستی‌مان بخشید و به طریق علم و دانش رهنمونمان شد و به همنشینی رهروان علم و دانش مفتخرمان نمود و خوشه چینی از علم و معرفت را روزیمان ساخت.

پس از ستایش پروردگار مهربان، از استاد گرانقدر و فرزانه، جناب آقای دکتر نصرتا... گرانپایه صمیمانه سپاسگزاری می نمایم که بی تردید، بدون نظارت و راهنمایی های ایشان، این مجموعه به سرانجام شایانی نمی رسید. معلمی دلسوز و مهربان که علاوه بر حمایت های علمی، از سجایای اخلاقی‌شان نیز بهره فراوان بردم که شاگردی ایشان برای من افتخاری بزرگ است که همواره خداوند را برای آن شاکرم.

از اساتید بزرگوار جناب آقایان دکتر محمدصادق ابریشمیان و دکتر منوچهر کامیاب کمال تشکر را دارم که با راهنمایی‌های ارزنده، راه را برایم هموار نمودند.

از اساتید محترم جناب آقایان دکتر سید عبدا... میر طاهری، دکتر محمود شاه آبادی، دکتر محمدمهدی طهرانچی و دکتر تورج امرایی که قبول زحمت نمودند و در جلسه ارزیابی رساله حضور داشتند، نیز سپاسگزاری می‌نمایم.

از کلیه کارکنان محترم آموزش و تحصیلات تکمیلی دانشگاه و دانشکده، از جمله جناب آقای داوودزاده، سرکارخانم عینی، سرکارخانم نوروزی، سرکارخانم ارفاقی، سرکارخانم مؤمنی و سرکار خانم عزیزی صمیمانه سپاسگزارم و قدردان زحمت‌های بی‌دریغ آن‌ها هستم.

از کلیه همکاران و دوستانم در مرکز کنترل شرکت ارتباطات سیار و شرکت مهندسین مشاور طرح ارتباطات ازجمله آقایان مهندس عبدا... قاسمی، حسین حجتی زاده و عزیزا... حسینخانی بدلیل همکاری‌شان در دوران تحصیل و آقایان مهندس محمد رادفر، محمد جواد مشفق و سرکارخانم فاطمه قبادیان بدلیل کمک شان در تهیه این مجموعه و آقایان مهندس مجید جعفری جورجاده، حامد قبادیان، بابک رجبی، مجید خطیر و محمد جواد خطیر و کلیه دوستانم در آزمایشگاه مخابرات نوری و دانشجویان دکتری، بدلیل همکاری‌شان در برگزاری جلسه دفاع کمال تشکر را دارم.

همچنین از کلیه افراد خانواده‌ام ، پدر، مادر و به ویژه همسر مهربان و دختر دلبندم که همواره مشوق من در ادامه راه بودند و با صبر و شکیبایی به تنهایی بار سنگین زندگی را در دوران تحصیل بدوش کشیده اند، قدردانی فراوان می‌نمایم و در پایان، توفیق همهٔ علاقمندان و جویندگان علم و دانش را از خداوند بزرگ خواستارم.

چکیده

کاهش ابعاد ادوات نوری معمولی برای استفاده در ساختارهای نانواپتیک بدلیل پراش نور دارای محدودیت است، اما این مشکل را با استفاده از پلاریتون‌های پلاسمون سطحی می‌توان حل نمود و از فیلم‌های نازک فلزی و عایق به‌عنوان موجبر برای هدایت پلاسمون‌های سطحی استفاده کرد.

استفاده از مواد مگنتواپتیک در ساخت موجبرهای پلاسمونیک، قابلیت‌های جدیدی ایجاد می‌کند که می‌توان در طراحی و ساخت ادوات نوری در مقیاس نانو بکار برد.

در این رساله، پس از مروری کوتاه بر فعالیت‌های انجام شده در موجبرهای پلاسمونیک معمولی و مگنتواپتیک و استفاده از آنها در طراحی و ساخت ادوات نوری، شرایط تحریک پلاریتون های پلاسمون سطحی مورد بررسی قرار می‌گیرد و به‌منظور کاهش حجم محاسبات و افزایش سرعت پردازش، از مدل درود برای شبیه‌سازی رفتار فلزات در طول موج‌های بلندتر از طول موج قرمز استفاده می‌شود.

به‌منظور تحلیل موجبرهای لایه ای پلاسمونیک در حضور اثرات مگنتواپتیک، رابطه های پاشندگی حاکم بر موجبر لایه‌ای برای دو ساختار عرضی و طولی و با در نظر گرفتن اثر مگنتواپتیک در ترکیب‌های مختلف لایه‌ها، محاسبه می‌شوند و سپس به‌کمک روش های عددی مناسب ، رفتار انتشاری موجبرهای پلاسمونیک مگنتواپتیک و شرایط انتشار مدهای زوج و فرد پلاسمونیک بررسی و تحلیل می‌شوند.

از روش دو قسمتی برای تأیید نقاط حدس و محاسبهٔ دقیق‌تر ریشه‌های مختلط معادله مشخصه استفاده می‌شود که در ترکیب با یک الگوریتم ساده و ابتکاری، سرعت و دقت محاسبات را تا چندین برابر افزایش می‌دهد.

با انتخاب روش عددی تفاضل محدود در حوزه زمان و ترکیب با تبدیل Z و استخراج رابطه‌های حاکم بر ساختارهای ناهمسانگرد مورد مطالعه، الگوریتم لازم برای محاسبه مؤلفه های میدان های الکترومغناطیسی آماده می‌شود.

با استفاده از ویژگی‌های منحصربفرد موجبرهای پلاسمونیک در کاهش ابعاد ادوات نوری در کنار قابلیت‌های مواد مگنتواپتیک، ادوات جدید و بهینه نوری پیشنهاد می‌شوند.

مبدل TM به TE با استفاده از یک موجبر فلز- عایق- فلز [1] مگنتواپتیک با بایاس طولی با قابلیت تمرکز بالای موج در بخش مرکزی موجبر، تحلیل می‌شود.

یک سوییچ پلاسمون سطحی مگنتواپتیک با ابعاد کوچک و سرعت بالا پیشنهاد، طراحی و بررسی می‌شود. همچنین نشان داده می‌شود که برای مدهای زوج در ساختار نامتقارن می توان با ایجاد اختلاف در ضریب شکست لایه‌ها امکان قطع مد را فراهم کرد که می‌تواند مبنای طراحی ادوات پلاسمونیک جدید باشد.

امکان سنجی طراحی ایزولاتور پلاسمونیک مگنتواپتیک با استفاده از موجبرهای سه لایه ی عایق- فلز- عایق [2] و MIM انجام می‌شود و نشان داده می‌شود که در طراحی ایزولاتور، طول انتشار عامل محدود کننده، برای دستیابی به ایزولاسیون بالاست.

کلمات کلیدی: موجبر پلاسمونیک، اثرات مگنتواپتیک، رابطه‌ی پاشندگی، مبدل مد، سوییچ، ایزولاتور، شرایط قطع مد، روش عددی تفاضل محدود در حوزه زمان، تبدیل Z، مواد ناهمسانگرد.

[1] Metal-Insulator-Metal (MIM)
[2] Insulator-Metal-Insulator (IMI)

فهرست مطلب‌ها

عنوان **صفحه**

فصل اول
مقدمه

۱-۱- مقدمه‌ای بر پلاسمون‌های سطحی و اثرات مگنتواپتیک ۱

۱-۲- نظریه پلاسمون‌های سطحی ۸

۱-۳- تحریک پلاسمون‌های سطحی ۱۱

۱-۴- سیستم‌های چند لایه ۱۲

۱-۵- مدل ریاضی تابع دی‌الکتریک فلز ۱۳

۱-۶- اثرات مگنتواپتیک ۱۵

۱-۷- ساختار رساله ۱۶

فصل دوم
روش‌های عددی مناسب برای تحلیل ساختارهای چند لایه پلاسمونی

۲-۱- مقدمه ۱۹

۲-۲- روش حل رابطه پاشندگی (معادله مشخصه) موجبر های پلاسمونیک مگنتواپتیک ۱۹

۲-۳- روش عددی تفاضل محدود در حوزه زمان ۲۱

۲-۴- نتیجه‌گیری ۲۵

فصل سوم
رابطه پاشندگی سیستم‌های چند لایه‌ی پلاسمونیک مگنتواپتیک

۳-۱- مقدمه ۲۷

۳-۲- موجبرلایه‌ای پلاسمونیک مگنتواپتیک با بایاس عرضی ۲۸

۳-۳- موجبرلایه‌ای پلاسموریک مگنتواپتیک با بایاس طولی ۳۲
۳-۴- توزیع میدان در موجبرهای مگنتواپتیک ۳۵
۳-۴-۱- توزیع میدان در موجبرهای پلاسموریک مگنتواپتیک با بایاس عرضی ۴۱
۳-۴-۲- توزیع میدان در موجبرهای پلاسموریک مگنتواپتیک با بایاس ر طولی ۴۷
۳-۵- نتیجه‌گیری ۵۳

فصل چهارم
کاربرد موجبرهای پلاسمونیک مگنتواپتیک

۴-۱- مقدمه ۵۵
۴-۲- مبدل TM به TE با قابلیت تمرکز بالا بر اساس اثرات مگنتواپتیک ۵۶
۴-۳- سویچ SPP مگنتواپتیک کوچک با سرعت بالا ۶۳
۴-۳-۱- تشریح پیکربندی سویچ MOSP ۶۳
۴-۳-۲- رابطه‌ی پاشندگی ساختار سویچ MOSP ۶۵
۴-۳-۳- ضریب بازتاب کلی لایه‌های سوییچ MOSP ۶۶
۴-۳-۴- بررسی رفتار انتشاری سوییچ MOSP ۶۷
۴-۳-۵- شرایط تحریک سوییچ MOSP ۷۳
۴-۳-۶- تحلیل توانی سویچ MOSP ۷۶
۴-۳-۷- عملکرد سویچ MOSP ۷۷
۴-۴-طراحی ادوات موجبری پلاسموریک براساس ایجاد اختلاف ۷۹
۴-۵- امکان سنجی طراحی ایزولاتور پلاسموریک مگنتواپتیک ۸۸
۴-۶- نتیجه‌گیری ۹۱

فصل پنجم
نتیجه‌گیری و پیشنهادها

۵-۱- نتیجه‌گیری ۹۳
۵-۲- پیشنهادها ۹۶

پیوست۱: رابطه پاشندگی SPP های منتشره در سطح بین دو محیط ۹۷
پیوست۲: رابطه پاشندگی سیستم‌های چند لایه ۱۰۱
پیوست۳: خواص ماده با قابلیت مگنتواپتیک، YIG ۱۰۳
پیوست۴: روش عددی تفاضل محدود در حوزه زمان ۱۰۷
پیوست۵: رابطه‌ی پاشندگی موجبر لایه‌ای پلاسمونیک مگنتواپتیک با باند عرضی ۱۱۵
پیوست۶: رابطه‌ی پاشندگی موجبر لایه‌ای پلاسمونیک مگنتواپتیک با باند طولی ۱۱۹
پیوست۷: رابطه‌ی پاشندگی ساختار موجبری سوییچ MOSP ۱۲۵
لیست مقاله‌ها ۱۳۱
مرجع‌ها ۱۳۳

فهرست شکل‌ها

شکل (۱-۱) حدود سرعت عملکرد و ابعاد تراشه براساس فناوری‌های مختلف در ساخت. ..۲۰

شکل (۱-۲) ساختار موجبرهای پلاسمونی سطحی (الف) عایق- فلز- عایق و (ب) فلز- عایق- فلز. ۳۰

شکل (۱-۳) ساختار دو لایه ای که لایه اول، فلز فرومغناطیس کبالت با بایاس مغناطیسی طولی و لایه دیگر ماده همسانگرد MgF_2، و ماده ناهمسانگرد TiO_2 است که بر روی بستر شیشه ای قرار گرفته‌اند، (الف) تزویج از طریق فلز فرومغناطیس و (ب) تزویج از طریق ماده MgF_2 و ماده TiO_2. ۵۰

شکل (۱-۴) ساختار تزویج کننده منشوری مگنتواپتیکی کرچمن ، متشکل از فیلم های چند لایه فلزات ناب و فلز فرومغناطیس برای افزایش کیفیت عامل تشدید در هنگام تزویج موج الکترومغناطیسی برای تحریک پلاسمون سطحی. ۶

شکل(۱-۵) برش عرضی موجبر شکاف دار نیمه‌رسانا با تلفات کمتر در فرکانس های نوری که هسته دی الکتریک با عرض w و ثابت دی‌الکتریک ε_{r1}، محصور بین دو لایه نیمه رسانا با تانسور دی‌الکتریک $\overline{\overline{\varepsilon_{r2}}}$ است ۸۰

شکل (۱-۶) ایزولاتور SPP پیشنهادی براساس تزویج غیرمتقابل (الف) ساختار و (ب) عملکرد در جهت رفت. ۸۰

شکل (۱-۷) انتشار SPP ها بصورت نوسان‌های بار در سطح مشترک فلز و عایق. ۹۰

شکل (۱-۸) (الف) کاهش دامنه ی میدان در دو ناحیه (ب) توزیع عرضی میدان‌های الکترومغناطیسی درمرز فلز و عایق. ۹۰

شکل (۱-۹) پاشندگی پلاریتون پلاسمون‌های سطحی در مقایسه با موج صفحه ای (خط نور) برای فصل مشترک نقره با سیلیکون، (ε_r =2.25) (منحنی سیاه) و هوا، (ε_r =1) (منحنی خاکستری). ۱۰۰

شکل (۱-۱۰) تحریک پلاسمون های سطحی با استفاده از منشور (الف) با فاصله هوایی (ساختار اتو) (ب) بدون فاصله هوایی (ساختار کرچمن). ۱۲۰

شکل (۱-۱۱) ساختار هندسی یک موجبر سه لایه IMI یا MIM. ۱۲۰

شکل (۳-۱) موجبر سه لایه پلاسمونیک مگنتواپتیک با بایاس عرضی. ۲۸۰

شکل (۳-۲) موجبر سه لایه پلاسمونیک مگنتواپتیک با بایاس طولی. ۳۲۰

شکل (۳-۳) دامنه میدان H_y، مد (الف) زوج و (ب) فرد برای یک موجبر IMI که لایه طلا با ضخامت ۱۰۰ نانومتر بین دو لایه عایق محصور شده است. ۳۷۰

شکل (۳-۴) مقدار دامنه رابطه پاشندگی (۱-۶)، بر حسب بخش حقیقی ثابت انتشار مؤثر برای مقادیر مختلف بخش موهومی در طول موج ۱۵۵۰ نانومتر، برای یک موجبر IMI با لایه نقره به ضخامت ۴۰ نانومتر بین دو لایه عایق. ۳۸۰

شکل (۳-۵) مقدار دامنه رابطه پاشندگی (۱-۶)، بر حسب بخش حقیقی ثابت انتشار مؤثر برای مقادیر مختلف بخش موهومی در طول‌موج ۱۵۵۰ نانومتر، برای یک موجبر MIM با لایه عایق به ضخامت ۴۰۰ نانومتر بین دو لایه طلا. ۳۹

شکل (۳-۶) بخش (الف) حقیقی و (ب) موهومی ثابت انتشار برحسب ضخامت لایه ی میانی برای مدهای زوج و فرد یک موجبر IMI با لایه طلا محصور بین دو لایه عایق، در طول‌موج ۱۵۵۰.نانومتر ۳۹

شکل (۳-۷) دامنه و توزیع میدان H_y مد (الف) زوج و (ب) فرد برای یک موجبر IMI با لایه طلا به ضخامت ۱۰ نانومتر بین دو لایه عایق در طول‌موج ۱۵۵۰.نانومتر. ۴۰

شکل (۳-۸) بخش (الف) حقیقی و (ب) موهومی ثابت انتشار برحسب ضخامت لایه ی میانی برای مد زوج یک موجبر MIM با لایه عایق محصور بین دو لایه طلا، در طول‌موج ۱۵۵۰ نانومتر. ۴۱

شکل (۳-۹) دامنه و توزیع میدان (الف) H_y و (ب) E_x مد زوج برای یک موجبر MIM با لایه عایق با ضخامت ۱۲۰ نانومتر محصور بین دو لایه طلا، در طول‌موج ۱۵۵۰ نانومتر ۴۲

شکل (۳-۱۰) بخش (الف) حقیقی و (ب) موهومی ثابت انتشار برحسب ضخامت لایه ی میانی برای مدهای زوج و فرد یک موجبر IMI با لایه طلا محصور بین دو لایه YIG با میدان مغناطیس کنندگی در جهت مثبت y، در طول‌موج ۱۵۵۰ نانومتر ۴۳

شکل (۳-۱۱) بخش (الف) حقیقی و (ب) موهومی ثابت انتشار برحسب ضخامت لایه ی میانی برای مدهای زوج و فرد یک موجبر IMI با لایه طلا محصور بین دو لایه YIG با میدان مغناطیس کنندگی در راستای y و جهت‌های متفاوت، در طول موج ۱۵۵۰ نانومتر. ۴۳

شکل (۳-۱۲) بخش (الف) حقیقی و (ب) موهومی ثابت انتشار برحسب ضخامت لایه ی میانی برای مد زوج یک موجبر MIM با لایه YIG محصور بین دو لایه طلا با میدان مغناطیس کنندگی در راستای y در جهت های متفاوت، در طول‌موج ۱۵۵۰ نانومتر. ۴۴

شکل (۳-۱۳) بخش (الف) حقیقی و (ب) موهومی ثابت انتشار برحسب ضخامت لایه ی میانی برای مد زوج یک موجبر MIM با لایه YIG محصور بین دو لایه نقره و آلومینیوم با میدان مغناطیس کنندگی در راستای y و جهت‌های متفاوت، در طول‌موج ۱۵۵۰ نانومتر. ۴۵

شکل (۳-۱۴) بخش (الف) حقیقی و (ب) موهومی ثابت انتشار برحسب ضخامت لایه ی میانی برای مدهای زوج و فرد یک موجبر MIM با لایه عایق محصور بین دو لایه طلا و کبالت با میدان مغناطیس کنندگی در راستای y و جهت‌های متفاوت، در طول‌موج ۱۵۵۰ نانومتر. ۴۵

شکل (۳-۱۵) بخش (الف) حقیقی و (ب) موهومی ثابت انتشار برحسب ضخامت لایه ی میانی برای مد زوج یک موجبر MIM با لایه عایق محصور بین دو لایه آلومینیوم و کبالت با میدان مغناطیس کنندگی در راستای y و جهت‌های متفاوت، در طول‌موج ۱۵۵۰ نانومتر. ۴۶

شکل (۳-۱۶) بخش (الف) حقیقی و (ب) موهومی ثابت انتشار برحسب ضخامت لایه ی میانی برای مد زوج یک موجبر MIM با لایه عایق محصور بین دو لایه طلا و کبالت با میدان مغناطیس کنندگی در راستای y و جهت‌های متفاوت، در طول‌موج ۱۵۵۰ نانومتر. ۴۶

شکل (۳-۱۷) بخش (الف) حقیقی و (ب) موهومی ثابت انتشار برحسب ضخامت لایه ی میانی برای مد زوج یک موجبر MIM با لایه عایق و YIG به ترتیب محصور بین دو لایه ی کبالت و طلا با مغناطیس شدگی در جهت مثبت x، در طول‌موج ۱۵۵۰ نانومتر..... ۴۷

شکل (۳-۱۸) دامنه و توزیع میدان (الف) H_y و (ب) H_z مد زوج برای یک موجبر MIM با لایه عایق به ضخامت ۱۰۰ نانومتر محصور بین دو لایه کبالت با مغناطیس شدگی در جهت مثبت x، در طول موج ۱۵۵۰ نانومتر..... ۴۸

شکل (۳-۱۹) (الف) دامنه و (ب) توزیع میدان H_y، بخش حقیقی H_y و H_z مد فرد برای یک موجبر IMI با لایه طلا به ضخامت ۵۰ نانومتر محصور بین دو لایه YIG با مغناطیس شدگی در جهت مثبت x، در طول موج ۱۵۵۰ نانومتر..... ۴۹

شکل (۳-۲۰) (الف) دامنه و (ب) توزیع میدان H_y، بخش حقیقی H_y و H_z مد زوج برای یک موجبر IMI با لایه طلا به ضخامت ۵۰ نانومتر محصور بین دو لایه YIG با مغناطیس شدگی در جهت مثبت x، در طول موج ۱۵۵۰ نانومتر..... ۵۰

شکل (۳-۲۱) دامنه میدان H_y و H_z مدهای (الف) زوج (ب) فرد برای یک موجبر IMI با لایه کبالت به ضخامت ۵۰ نانومتر محصور بین دو لایه عایقی با مغناطیس شدگی در جهت مثبت x، در طول موج ۱۵۵۰ نانومتر..... ۵۱

شکل (۳-۲۲) بخش حقیقی ثابت انتشار بر حسب ضخامت لایه ی میانی یک موجبر IMI با استفاده از سه روش ماتریس انتقال پیشنهادی توسط واسل، روش عددی FDTD و الگوریتم بکار گرفته شده در این رساله..... ۵۲

شکل (۳-۲۳) بخش حقیقی ثابت انتشار بر حسب ضخامت لایه ی میانی یک موجبر MIM با استفاده از سه روش ماتریس انتقال پیشنهادی توسط واسل، روش عددی FDTD و الگوریتم بکار گرفته شده در این رساله..... ۵۳

شکل (۴-۱) ضریب تمرکز بر حسب ضخامت لایه ی میانی برای مدهای SPP برای موجبر (الف) MIM با لایه‌ی عایق محصور بین دولای‌ه‌ی طلا و (ب) IMI با لایه ی طلا محصور بین دولایه ی عایق، در طول موج ۱۵۵۰ نانومتر..... ۵۶

شکل (۴-۲) نسبت ضریب تمرکز موجبر MIM به موجبر IMI شکل (۴-۱)، بر حسب ضخامت لایه ی میانی، در طول‌موج ۱۵۵۰ نانومتر..... ۵۷

شکل (۴-۳) دامنه و توزیع میدان (الف) H_y و (ب) H_z مد زوج برای یک موجبر MIM با لایه YIG به ضخامت ۱۲۰ نانومتر محصور بین دو لایه طلا با مغناطیس شدگی در جهت مثبت x، در طول موج ۱۵۵۰ نانومتر..... ۵۸

شکل (۴-۴) تضعیف توان مد (MPA) بر حسب ضخامت لایه ی میانی برای مد زوج یک موجبر MIM با لایه عایق و YIG به ترتیب محصور بین دو لایه ی کبالت و طلا با مغناطیس شدگی در جهت مثبت x، در طول موج ۱۵۵۰ نانومتر..... ۶۰

شکل (۴-۵) طول انتشار بر حسب ضخامت لایه ی میانی برای مد زوج یک موجبر MIM با لایه عایق و YIG به‌ترتیب محصور بین دو لایه ی کبالت و طلا با مغناطیس شدگی در جهت مثبت x، در طول موج ۱۵۵۰ نانومتر..... ۶۰

شکل (۴-۶) گسترش فضایی (SE) بر حسب ضخامت لایه‌ی میانی برای مد زوج یک موجبر MIM با لایه عایق و YIG به‌ترتیب محصور بین دو لایه ی کبالت و طلا با مغناطیس شدگی در جهت مثبت x، در طول‌موج ۱۵۵۰ نانومتر..... ۶۱

شکل (۴-۷) مقدار بیشینه ی مؤلفه‌ی مد TE، H_z، برحسب ضریب تزویج یا عنصر غیر قطری تانسور دی الکتریک (۳-۳۰)، $|\varepsilon_{yz}|$ برای موجبر شکل (۴-۳)..... ۶۱

شکل (۴-۸) مقدار عنصرغیرقطری تانسور دی الکتریک، $|\varepsilon_{yz}|$ بر حسب فرکانس زاویه ای برای ماده YIG با چرخش فارادی $\theta_F = 3600^\circ/cm$..... ۶۲

شکل (۴-۹) دامنه و توزیع میدان بخش حقیقی (الف) E_y و (ب) E_x مد زوج برای یک موجبر MIM با لایه YIG به ضخامت ۱۲۰ نانومتر محصور بین دو لایه طلا با مغناطیس شدگی در جهت مثبت x، در طول‌موج ۱۵۵۰ نانومتر..... ۶۳

شکل (۴-۱۰) (الف) طرحواره و (ب) نمایی از سطح مقطع سوییچ MOSP پیشنهادی..... ۶۴

شکل (۴-۱۱) ساختار هندسی مورد استفاده برای تحلیل سوییچ MOSP..... ۶۶

شکل (۴-۱۲) (الف) دامنه و (ب) و توزیع میدان مغناطیسی H_y مد زوج برای ساختار سوییچ MOSP شامل لایه‌های YIG و طلا به‌ترتیب به ضخامت‌های ۸۰ و ۴۰ نانومتر، در طول‌موج ۱۵۵۰ نانومتر..... ۶۸

شکل (۴-۱۳) (الف) دامنه و (ب) و توزیع میدان مغناطیسی H_z مد زوج برای ساختار سوییچ MOSP که شامل لایه‌های YIG و طلا به‌ترتیب به ضخامت‌های ۸۰ و ۴۰ نانومتر، در طول‌موج ۱۵۵۰ نانومتر..... ۶۹

شکل (۴-۱۴) مقدار بیشینه ی مؤلفه‌ی مد TE، H_z، برحسب ضریب تزویج یا عنصر غیر قطری تانسور دی الکتریک رابطه‌ی (۳-۲۸)، $|\varepsilon_{yz}|$ برای سوییچ MOSP..... ۶۹

شکل (۴-۱۵) بخش (الف) حقیقی و (ب) موهومی ثابت انتشار بر حسب ضخامت لایه ی میانی برای مد زوج پیکربندی سوییچ MOSP با ضخامت لایه‌های طلای ۴۰ نانومتر، در طول‌موج‌های مختلف..... ۷۰

شکل (۴-۱۶) بخش (الف) حقیقی و (ب) موهومی ثابت انتشار بر حسب ضخامت لایه ی میانی برای مد زوج پیکربندی سوییچ MOSP با ضخامت لایه های طلای ۴۰ نانومتر، برای مقادیر مختلفی از عنصر غیرقطری تانسور دی‌الکتریک نسبی در طول‌موج ۱۵۵۰ نانومتر..... ۷۱

شکل (۴-۱۷) بخش (الف) حقیقی و (ب) موهومی مؤلفه‌ی z بردار موج در لایه‌ی YIG بر حسب ضخامت لایه‌ی میانی برای مد زوج پیکربندی سوییچ MOSP با ضخامت لایه های طلا ۴۰ نانومتر، برای مقادیر مختلفی از عنصر غیرقطری تانسور دی‌الکتریک نسبی در طول‌موج ۱۵۵۰ نانومتر..... ۷۲

شکل (۴-۱۸) ضریب بازتاب بر حسب زاویه ی تابش مد زوج پیکربندی سوییچ MOSP شامل لایه ی YIG به ضخامت‌های ۵۰ و ۶۰ نانومتر با ضخامت لایه ی طلا (الف) ۳۰، (ب) ۳۵ و (ج) ۴۰ نانومتر، در طول‌موج ۱۵۵۰ نانومتر..... ۷۴

شکل (۴-۱۹) بازتاب کلی نور تابشی بر حسب زاویه ی تابش در سوییچ MOSP برای لایه های طلا به ضخامت ۳۵ نانومتر و لایه‌ی YIG به ضخامت ۵۰ نانومتر، در طول‌موج‌های مختلف..... ۷۵

شکل (۴-۲۰)) مقدار بیشینه ی مؤلفه ی مد TE، H_z، بر حسب ضخامت لایه ی میانی در سوییچ MOSP برای لایه‌های طلا به ضخامت ۳۵ نانومتر، در طول‌موج‌های مختلف..... ۷۵

شکل (۴-۲۱) تضعیف توان مد (MPA) برحسب ضخامت لایه ی میانی در سوییچ MOSP برای لایه های طلا به ضخامت ۳۵ نانومتر، در طول‌موج‌های مختلف..... ۷۶

شکل (۴-۲۲) طول انتشار برحسب ضخامت لایه‌ی میانی در سوییچ MOSP برای لایه‌های طلا به ضخامت ۳۵ نانومتر، در طول‌موج‌های مختلف..... ۷۷

شکل (۴-۲۳) گسترش فضایی برحسب ضخامت لایه ی میانی در سوییچ MOSP برای لایه های طلا به ضخامت ۳۵ نانومتر، در طول‌موج‌های مختلف..... ۷۷

شکل (۴-۲۴) عملکرد سوییچ MOSP در حالت (الف) خاموش و (ب) روشن..... ۷۸

شکل (۴-۲۵) ساختار هندسی موجبر پلاسمونیک مگنتواپتیک (الف) بدون و (ب) با مغناطیس‌شدگی..... ۷۹

شکل (۴-۲۶) دامنه و توزیع میدان H_y برای دو حالت (الف) انتشار و (ب) قطع مد زوج یک موجبر IMI نامتقارن مشابه شکل (۴-۲۵-الف)، با ضخامت لایه‌ی میانی ۱۰ نانومتر، در طول‌موج ۱۵۵۰. نانومتر..... ۸۱

شکل (۴-۲۷) بخش حقیقی ثابت انتشار بر حسب ضخامت لایه‌ی میانی برای موجبر IMI متقارن با لایه‌ی نقره محصور بین دولایه‌ی عایق مشابه، در طول موج ۱۵۵۰ نانومتر..... ۸۱

شکل (۴-۲۸) بخش حقیقی ثابت انتشار بر حسب اختلاف ثابت دی الکتریک دو لایه ی کناری، برای مد فرد موجبر IMI نامتقارن شکل (۴-۲۵-الف)، برای ضخامت های مختلف لایه ی فلزی، در طول موج ۱۵۵۰ نانومتر..... ۸۲

شکل (۴-۲۹) گسترش فضایی بر حسب اختلاف ثابت دی‌الکتریک دو لایه‌ی کناری، برای مد فرد موجبر IMI نامتقارن شکل (۴-۲۵-الف)، برای ضخامت‌های مختلف لایه‌ی فلزی، در طول‌موج ۱۵۵۰ نانومتر..... ۸۳

شکل (۴-۳۰) بخش حقیقی ثابت انتشار بر حسب اختلاف ثابت دی الکتریک دو لایه ی کناری، برای مد زوج موجبر IMI نامتقارن شکل (۴-۲۵-الف)، برای ضخامت های مختلف لایه ی فلزی، در طول موج ۱۵۵۰ نانومتر..... ۸۳

شکل (۴-۳۱) گسترش فضایی بر حسب اختلاف ثابت دی‌الکتریک دو لایه‌ی کناری، برای مد زوج موجبر IMI نامتقارن شکل (۴-۲۵-الف)، برای ضخامت‌های مختلف لایه‌ی فلزی، در طول‌موج ۱۵۵۰ نانومتر..... ۸۴

شکل (۴-۳۲) تلفات در واحد طول (MPA) بر حسب اختلاف ثابت دی‌الکتریک دو لایه‌ی کناری، برای مد زوج موجبر IMI نامتقارن شکل (۴-۲۵-الف)، برای ضخامت های مختلف لایه‌ی فلزی، در طول موج ۱۵۵۰ نانومتر..... ۸۴

شکل (۴-۳۳) ضریب تمرکز بر حسب اختلاف ثابت دی الکتریک دو لایه ی کناری، برای مد زوج موجبر IMI نامتقارن شکل (۴-۲۵-الف)، برای ضخامت‌های مختلف لایه‌ی فلزی، در طول‌موج ۱۵۵۰ نانومتر..... ۸۵

شکل (۴-۳۴) بخش حقیقی مؤلفه‌ی z بردار موج در لایه ی (الف) اول و (ب) دوم بر حسب اختلاف ثابت دی الکتریک دو لایه ی کناری، برای مد زوج موجبر IMI نامتقارن شکل (۴-۲۵-الف)، برای ضخامت های مختلف لایه‌ی فلزی، در طول‌موج ۱۵۵۰ نانومتر..... ۸۵

شکل (۴-۳۵) توزیع میدان، H_y برای مقادیر مختلف ثابت دی الکتریک لایه‌ی Bi-YIG و ضخامت لایه ی نقره، ۳۰ نانومتر، در طول‌موج ۱۵۵۰ نانومتر..... ۸۷

شکل (۴-۳۶) (الف) $\Delta\varepsilon$ و (ب) $\varepsilon_{eff\,3}$ بر حسب $|\varepsilon_{xz}|$..... ۸۷

شکل (۴-۳۷) بخش حقیقی ثابت انتشار بر حسب اختلاف بین ثابت های دی‌الکتریک، $\Delta\varepsilon$ در موجبر (۴-۲۵-ب) با فیلم نقره‌ای به ضخامت ۱۰ نانومتر، برای طول‌موج‌های مختلف..... ۸۸

شکل (۴-۳۸) اختلاف بخش (الف) حقیقی و (ب) موهومی ثابت انتشار برحسب ضخامت لایه‌ی میانی برای مدهای زوج و فرد یک موجبر IMI با لایه طلا محصور بین دو لایه YIG برای جهت‌های مغناطیس‌شدگی متفاوت، در طول‌موج ۱۵۵۰ نانومتر..... ۸۹

شکل (۴-۳۹) مقایسه طول لازم برای به دست آوردن جابجایی فاز $\frac{\pi}{2}$ با طول انتشار بر حسب ضخامت لایه ی میانی برای مد زوج یک موجبر IMI با لایه طلا محصور بین دو لایه YIG، در طول موج ۱۵۵۰ نانومتر..... ۸۹

شکل (۴-۴۰) اختلاف بخش (الف) حقیقی و (ب) موهومی ثابت انتشار برحسب ضخامت لایه ی میانی برای مد زوج یک موجبر MIM با لایه عایق محصور بین دو لایه آلومینیوم و کبالت برای جهت های مغناطیس‌شدگی متفاوت ، در طول‌موج ۱۵۵۰ نانومتر..... ۹۰

شکل (۴-۴۱) مقایسه طول لازم برای به دست آوردن جابجایی فاز $\frac{\pi}{2}$ با طول انتشار بر حسب ضخامت لایه ی میانی برای مد زوج یک موجبر MIM با لایه عایق محصور بین دو لایه آلومینیوم و کبالت، در طول موج ۱۵۵۰ نانومتر..... ۹۱

شکل (پ-۱-۱) ساختار یک موجبر لایه‌ای عایق (II)-فلز (I)، که موج در آن در جهت x منتشر می‌شود..... ۹۸

شکل (پ-۴-۱) سلول استاندارد Yee..... ۱۱۰

شکل (پ-۴-۲) شکل موج گاوسی، مشتق پالس گاوسی و پالس گوسی مدوله شده با موج سینوسی ، با عرض پالس ۲ نانوثانیه در فرکانس مرکزی ۲۰۰ میکروثانیه در مدت زمان ۱۰ نانوثانیه..... ۱۱۲

فهرست جدول‌ها

جدول (۳-۱) مقادیر ثابت های دی الکتریک نسبی محیط های عایق، فلز، عنصرهای قطری و غیرقطری تانسورهای دی‌الکتریک مواد مگنتواپتیک در طول‌موج ۱۵۵۰ نانومتر. ۳۶

جدول (۳-۲) شرایط وجودی مدهای زوج و فرد در موجبرهای IMI و MIM..... ۳۷

جدول (۳-۳) مقدار ثابت انتشار موجبرهای IMI شکل‌های (۳-۱۹)-(۳-۲۱). ۵۲

جدول (۴-۱) پارامترهای درود برای فلز طلا ۶۷

جدول (۴-۲) پارامترهای درود برای فلز نقره..... ۷۹

جدول (پ-۳-۱) خصوصیات مگنتواپتیکی فیلم‌های Bi-RIG..... ۱۰۴

فصل اول

مقدمه

۱-۱- مقدمه‌ای بر پلاسمون‌های سطحی و اثرات مگنتواپتیک

امکان مهندسی در مقیاس مولکولی برای اولین بار توسط ریچارد فاینمن[1]، برنده جایزه نوبل فیزیک مطرح شد. فاینمن طی یک سخنرانی با عنوان "فضای زیاد در سطوح پایین" در انستیتو فناوری کالیفرنیا در سال ۱۹۵۹ اشاره کرد که اصول و مبانی فیزیک، امکان ساخت اتم به اتم اجسام را رد نمی‌کند. وی اظهار نمود که می‌توان با استفاده از ماشین‌ها ی کوچک ماشین‌ها یی به مراتب کوچکتر ساخت و سپس این کاهش ابعاد را تا سطح خود اتم ادامه داد. این نظریه که پایه شاخه ای جدیدی از فناوری با عنوان نانوفناوری شد، در دهه ۱۹۸۰ به حقیقت پیوست . دانشمندان در سال ۱۹۹۰ در مرکز تحقیقات IBM توانستند اتم‌ها را حرکت دهند و با اتم جمله‌ای[2] را بنویسند.

نانوفناوری مهندسی سیستم‌های عملکردی در مقیاس مولکول است. این فناوری مورد توجه محققان عصر کنونی است. یکی از بارزترین برجستگی‌های این فناوری کوچکتر شدن قطعه‌ها است.

---

[1] R. Feynman
[2] THIS IS FUN