بسم الله الرحمن الرحیم

دانشگاه تربیت مدرّس
دانشکده مهندسی برق و کامپیوتر

پایان‌نامه دوره‌ی کارشناسی ارشد مهندسی برق-الکترونیک

شبیه‌سازی چگونگی تاثیر شدت نور بر رابطه‌ی پاشندگی فرامواد نانو ساختار

مازیار شعاعی

استاد راهنما:

پروفسور محمد کاظم مروج فرشی

استاد مشاور:

دکتر لیلا یوسفی

پاییز ۱۳۹۳

دانشگاه تربیت مدرس
دانشکده مهندسی برق و کامپیوتر

بسمه تعالی

تاییدیه اعضای هیات داوران حاضر در جلسه دفاع از پایان نامه کارشناسی ارشد

آقای مازیار شعاعی پایان نامه ۶ واحدی خود را با عنوان **شبیه سازی چگونگی تاثیر شدت نور بر رابطه ی پاشندگی فرامواد نانو ساختار** در تاریخ ۱۳۹۳/۹/۲۶ ارائه کردند.

اعضای هیات داوران نسخه نهایی این پایان نامه را از نظر فرم و محتوا تایید کرده، پذیرش آنرا برای اخذ درجه کارشناسی ارشد الکترونیک پیشنهاد می کنند.

عضو هیات داوران	نام و نام خانوادگی	رتبه علمی	امضا
استاد راهنما	دکتر محمدکاظم مروج فرشی	استاد	
استاد مشاور	دکتر لیلا یوسفی	استادیار	
استاد ناظر	دکتر سارا درباری	استادیار	
استاد ناظر	دکتر رحیم فائز	استاد	
مدیر گروه (یا نماینده گروه تخصصی)	دکتر سارا درباری	استادیار	

دستورالعمل حق مالکیت مادی و معنوی در مورد نتایج پژوهشهای علمی دانشگاه تربیت مدرس

مقدمه: با عنایت به سیاست‌های پژوهشی دانشگاه در راستای تحقق عدالت و کرامت انسانها که لازمه شکوفایی علمی و فنی است و رعایت حقوق مادی و معنوی دانشگاه و پژوهشگران، لازم است اعضای هیات علمی، دانشجویان، دانش آموختگان و دیگر همکاران طرح، در مورد نتایج پژوهشهای علمی که تحت عناوین پایان‌نامه، رساله و طرحهای تحقیقاتی که با هماهنگی دانشگاه انجام شده است، موارد ذیل را رعایت نمایند:

ماده ۱- حقوق مادی و معنوی پایان نامه‌ها / رساله‌های مصوب دانشگاه متعلق به دانشگاه است و هرگونه بهره‌برداری از آن باید با ذکر نام دانشگاه و رعایت آیین‌نامه‌ها و دستورالعمل‌های مصوب دانشگاه باشد.

ماده ۲- انتشار مقاله یا مقالات مستخرج از پایان نامه/ رساله به صورت چاپ در نشریات علمی و یا ارائه در مجامع علمی باید به نام دانشگاه بوده و استاد راهنما مسئول مکاتبات مقاله باشد.

تبصره: در مقالاتی که پس از دانش آموختگی بصورت ترکیبی از اطلاعات جدید و نتایج حاصل از پایان‌نامه/ رساله نیز منتشر می‌شود نیز باید نام دانشگاه درج شود.

ماده ۳- انتشار کتاب حاصل از نتایج پایان نامه / رساله و تمامی طرحهای تحقیقاتی دانشگاه باید با مجوز کتبی صادره از طریق حوزه پژوهشی دانشگاه و بر اساس آئین نامه های مصوب انجام می‌شود.

ماده ۴- ثبت اختراع و تدوین دانش فنی و یا ارائه در جشنواره‌های ملی، منطقه‌ای و بین‌المللی که حاصل نتایج مستخرج از پایان نامه/ رساله و تمامی طرح‌های تحقیقاتی دانشگاه باید با هماهنگی استاد راهنما یا مجری طرح از طریق حوزه پژوهشی دانشگاه انجام گیرد.

ماده ۵- این دستورالعمل در ۵ ماده و یک تبصره در تاریخ ۱۳۸۴/۴/۲۵ در شورای پژوهشی دانشگاه به تصویب رسیده و از تاریخ تصویب لازم الاجرا است و هرگونه تخلف از مفاد این دستورالعمل، از طریق مراجع قانونی قابل پیگیری می شود.

نام و نام خانوادگی

مازیار شعاعی

امضاء

آیین نامه چاپ پایان‌نامه (رساله)های دانشجویان دانشگاه تربیت مدرس

نظر به اینکه چاپ و انتشار پایان نامه (رساله)های تحصیلی دانشجویان دانشگاه تربیت مدرس، مبین بخشی از فعالیتهای علمی - پژوهشی دانشگاه است بنابراین به منظور آگاهی و رعایت حقوق دانشگاه،دانش آموختگان این دانشگاه نسبت به رعایت موارد ذیل متعهد می‌شوند:

ماده ۱: در صورت اقدام به چاپ پایان نامه (رساله)ی خود، مراتب را قبلاً به طور کتبی به «دفتر نشر آثارعلمی» دانشگاه اطلاع دهد.

ماده ۲: در صفحه سوم کتاب (پس از برگ شناسنامه) عبارت ذیل را چاپ کند:

«کتاب حاضر، حاصل پایان نامه کارشناسی ارشد/ رساله دکتری نگارنده در رشته است که در سال در دانشکده دانشگاه تربیت مدرس به راهنمایی سرکار خانم/جناب آقای دکتر ، مشاوره سرکار خانم/جناب آقای دکتر و مشاوره سرکار خانم/جناب آقای دکتر از آن دفاع شده است.»

ماده ۳: به منظور جبران بخشی از هزینه‌های انتشارات دانشگاه، تعداد یک درصد شمارگان کتاب (در هر نوبت‌چاپ) را به «دفتر نشر آثارعلمی» دانشگاه اهدا کند. دانشگاه می‌تواند مازاد نیاز خود را به نفع مرکز نشر درمعرض فروش قرار دهد.

ماده ۴: در صورت عدم رعایت ماده ۳، ۵۰٪ بهای شمارگان چاپ شده رابه عنوان خسارت به دانشگاه تربیت‌مدرس، تأدیه کند.

ماده ۵: دانشجو تعهد و قبول می کند در صورت خودداری از پرداخت بهای خسارت، دانشگاه می‌تواندخسارت مذکور را از طریق مراجع قضایی مطالبه و وصول کند؛ به علاوه به دانشگاه حق می‌دهد به منظور استیفای حقوق خود، از طریق دادگاه، معادل وجه مذکور در ماده ۴ را از محل توقیف کتابهای عرضه شده‌نگارنده برای فروش، تامین نماید.

ماده ۶: اینجانب **مازیار شعاعی** دانشجوی رشته **الکترونیک** مقطع **کارشناسی ارشد**

تعهد فوق وضمانت اجرایی آن را قبول کرده، به آن ملتزم می شوم.

نام و نام خانوادگی: **مازیار شعاعی**

تاریخ و امضا:

تقدیم

به پاس تعبیر عظیم و انسانی‌شان از کلمه ایثار و از خودگذشتگی

به پاس عاطفه سرشار و گرمای امیدبخش وجودشان که در این سردترین روزگاران بهترین پشتیبان است

به پاس قلب‌های بزرگشان که فریاد رس است و سرگردانی و ترس در پناهشان به شجاعت می‌گراید

و به پاس محبت‌های بی دریغشان که هرگز فروکش نمی‌کند

این مجموعه را به خانواده عزیزم تقدیم می‌کنم

تشکر و قدردانی

پس از حمد و سپاس آن یگانه آفریدگار، بر خود لازم می‌دارم از استادان ارجمندم پروفسور محمد کاظم مروج فرشی و دکتر لیلا یوسفی به پاس راهنمایی‌های ارزشمند و مساعدت‌های بی شائبه‌شان و دوست گران مایه‌ام آقای مرتضی یار احمدی به واسطه همکاری مؤثرشان در به ثمر نشستن این پروژه، کمال تشکر و قدردانی را داشته باشم.

مازیار شعاعی
آذر ۱۳۹۳.

چکیده

در این پایان‌نامه نقش شدت نور بر روی رابطه پراکندگی فرامادہ هذلولی بررسی می‌شود. با استفاده از اثر غیرخطی کر در طلا و گرافن سه نوع سوئیچ تمام نوری طراحی خواهد شد. در ضمن با استفاده از قابلیت تنظیم پذیری پتانسیل شیمیایی گرافن از طریق اعمال بایاس خارجی یک سوئیچ الکترو-نوری نیز طراحی می‌شود. عمل‌کرد این افزاره‌ها برخلاف افزاره‌هایی ای که تاکنون ارائه شده است به زاویه تابش وابستگی ندارد. در ضمن ساخت آن‌ها نیز نسبتا ساده و عملی خواهد بود. نتایج شبیه‌سازی نشان می‌دهد، بیشینه و کمینه اندازه ضریب عبور توان برای سوییچ‌های ارائه‌شده در حالت روشن به ترتیب برابر با ۵۰٪ و ۹۸٪ است. در حالی‌که، در حالت خاموش اندازه این ضریب همواره از ۳٪ کمتر است. بنابراین، از این افزاره‌ها می‌توان در طراحی مدارهای نوری دیجیتال بهره گرفت.

در پایان، با بهره‌گیری از یک مقسم پرتو حساس به قطبش مبتنی بر فرامادہ هذلولی، دو گیت منطقی XOR و AND نیز طراحی می‌شود. کم‌ترین اندازه ضریب عبور توان محاسبه شده برای گیت منطقی XOR برابر با ۵۹٪ و برای گیت منطقی AND برابر با ۸۳٪ نشان داده خواهد شد.

کلید واژه: فرامادہ هذلولی، مواد ناهمسانگرد، سطوح هم‌فرکانس، اثر غیرخطی، سوئیچ نوری.

فهرست مطالب

عنوان **صفحه**

فهرست علایم و نشانه‌ها ..... ج
فهرست جدول‌ها ..... د
فهرست شکل‌ها ..... ه

فصل ۱- مقدمه ۱

فصل ۲- مرور ادبیات ۳
۲-۱- همگن سازی ۳
۲-۱-۱- پاسخ همگن ۳
۲-۱-۲- روش همگن سازی ۴
۲-۲- تئوری محیط مؤثر ۴
2-2-1- ساختار لایه‌ای ۴
۲-۲-۲- محیط نانوسیم ۶
۲-۳- تئوری محیط مؤثر و روش ماتریس مشخصه ۷
۲-۴- انتشار موج تخت در محیط ناهمسانگرد ۱۱
۲-۴-۱- رابطه پاشندگی و ضریب انتقال برای امواج TE ۱۲
۲-۴-۲- رابطه پاشندگی و ضریب انتقال برای امواج TM ۱۴
۲-۵- انتشار موج در فراماده هذلولی ۱۶
۲-۵-۱- معادله ماکسول و رابطه پاشندگی ۱۶
۲-۵-۲- قوانین شکست: شکست مثبت و منفی نور ۱۸
۲-۶- اثر غیر خطی ۲۱
۲-۶-۱- ویژگی‌های مواد اپتیکی غیر خطی ۲۱
۲-۶-۲- اثر کر ۲۳

فصل ۳- مروری بر مقالات ۲۶
۳-۱- انعکاس صفر در تمامی زوایا ۲۶
۳-۲- حذف کردن انعکاس و انتقال در سطح فراماده هذلولی ۲۹
۳-۳- سوئیچ متغیر با میدان مغناطیسی بر پایه فراماده هذلولی ۳۳
۳-۴- فراماده هذلولی بر پایه کریستال مایع ۳۷

فصل ۴- ساختار پیشنهادی و نتایج شبیه سازی آن ۴۴
۴-۱- ساختار اول: سوئیچ تمام نوری ۴۶
۴-۲- ساختار دوم: سوئیچ تمام نوری بر پایه فراماده هذلولی گرافنی ۵۱

۴-۳- ساختار سوم: سوئیچ الکترو- نوری ۵۷
۴-۴- ادوات نوری بر پایه مقسم پرتو حساس به قطبش ۶۶
فصل ۵- نتیجه‌گیری و پیشنهادها ۷۴
۵-۱- نتیجه‌گیری ۷۴
۵-۲- پیشنهادها ۷۴
فهرست مراجع ۷۵
واژه نامه‌ی فارسی به انگلیسی ۷۸
واژه نامه‌ی انگلیسی به فارسی ۸۰

فهرست علایم و نشانه‌ها

عنوان	علامت اختصاری
ضریب گذر دهی الکتریکی	ε
ضریب گذر دهی مغناطیسی	μ
بردار موج	k
بردار پوینتینگ	$\vec{S}$
انتقال	T
انعکاس	R
طول موج	λ
سرعت نور در خلاء	c
پذیرفتاری نوری	χ
میدان الکتریکی	$\vec{E}$
میدان مغناطیسی	$\vec{H}$
ثابت پلانک	$\hbar$
پتاسیل شیمیایی	μ_c

فهرست جدول‌ها

عنوان **صفحه**

جدول ۲-۱: خلاصه ای از اطلاعات مهم برای تابش نور TE و TM بر فصل مشترک هوا و فراماده هذلولی ۲۱
جدول ۲-۲- مقدار $\chi^{(3)}$ برای مواد مختلف [۲۹] ۲۵
جدول ۴-۱: مقایسه نقش فلزات مختلف بر روی مقدار انتقال برای ضخامت‌های الف) ۷ و ب) ۱۵ نانومتر ۶۶

فهرست شکل‌ها

عنوان **صفحه**

شکل ۲-۱: ساختار لایه‌ای ۵
شکل ۲-۲: محیط نانوسیم. R شعاع سیم‌ها و d فاصله بین دو سیم مجاور است. ۶
شکل ۲-۳: الف) شمای یک موج TE (قطبش s-like) و ب) یک موج TM (قطبش p-like)..... ۸
شکل ۲-۴: تابش موج الف) TE و ب) TM به یک باریکه ناهمسانگرد ۱۱
شکل ۲-۵- الف) مختصات دکارتی ساختار: محور نوری موازی محور z است. پیکان‌ها مشخص کننده جهت میدان الکتریکی و مغناطیسی و بردار موج می باشند. ب) رابطه بین بردارهای الکترو مغناطیسی برای موج TM ج) نمایش رابطه پاشندگی همسانگرد زمانی که موج TE در داخل محیط ناهمسانگرد منتشر می شود. د) رابطه پاشندگی کروی : خط و خط چین به ترتیب مربوط به $\varepsilon_z > \varepsilon_{xy} > 0$ و $\varepsilon_{xy} > \varepsilon_z > 0$ هستند .ه) رابطه پاشندگی هذلولی : خط و خط چین به ترتیب مربوط به $\varepsilon_{xy} < 0 < \varepsilon_z$ و $\varepsilon_z < 0 < \varepsilon_{xy}$ هستند. ۱۸
شکل ۲-۶: شماتیکی از بردار موج و بردار پوینتینگ برای الف)وج) شکست مثبت ب) ود) شکست منفی ۲۰
شکل ۲-۷: رابطه‌ی P-E برای الف) ماده‌ی دی الکتریک خطی ب) ماده‌ی دی الکتریک غیرخطی[۳۰] ۲۲
شکل ۳-۱: تحلیل انعکاس در فصل مشترک فراماده توسط منحنی ایزوفرکانسی[۳۲] ۲۷
شکل ۳-۲: شبیه سازی FDTD توزیع میدان مغناطیسی برای موج گوسی با قطبش p تابیده شده از فراماده هذلولی به یک محیط با ثابت دی الکتریک ۲,۵ [۳۲] ۲۸
شکل ۳-۳: نمایش الف) ($\mathrm{Re}(k_z)$ و ب) ($\mathrm{Im}(k_z)$ بر حسب k_x برای یک موج با قطبش p در طول موج ۱میکرومتر در فراماده هذلولی. [۳۳] ۲۹
شکل ۳-۴: الف) مقدار انتقال بر حسب زاویه تابش در طول موج ۱ میکرومتر ب) θ_cو θ_b بر حسب طول موج[۳۳] ۳۰
شکل ۳-۵: الف) ($\mathrm{Im}(k_r / k_0)$ بر حسب زاویه تابش در طول موج ۱میکرومتر. ب) ($\mathrm{Im}(k_r / k_0)$بر حسب طول موج در زاویه ۴۵درجه[۳۳] ۳۱
شکل ۳-۶: شبیه سازی المان محدود موج گوسی با قطبش p تابیده شده بر فصل مشترک فراماده و هوا، برای زاویه تابش ۴۵ درجه و طول موج های الف) ۰,۷، ب) ۱ و ج) ۳ میکرومتر و زاویه تابش ۶۰ درجه در طول موجهای د) ۰,۷، ه) ۱ و و) ۳ میکرومتر[۳۳] ۳۲
شکل ۳-۷: نتایج حاصل از بازسازی الف) شکل ۳-۶-(الف) و ب) شکل۳-۶-(د) مرجع [۳۳] ۳۲
شکل ۳-۸: ساختار فراماده هذلولی ارائه شده توسط [۳۴] ۳۴
شکل ۳-۹: الف) وجود پاشندگی هذلولی در فراماده پیشنهادی [34] در فرکانس‌های مختلف با میدان مغناطیسی مختلف ب) منحنی ایزوفرکانسی در فرکانس $\omega = 2.02\omega_m$ با مقادیر مختلف H_0[۳۴] ۳۵
شکل ۳-۱۰: الف) مدل ارائه شده توسط [۳۴] برای کنترل موج الکترومغناطیسی در فصل مشترک بین فراماده و هوا ب)، ج) منحنی ایزوفرکانسی و تحلیل انتقال و انعکاس در فرکانس $\omega = 2.02\omega_m$به ازای $H_0 = 0$ و $H_0 = 0.3T$ [۳۴] ۳۶

شکل ۳-۱۱: پالس گوسی با فرکانس مرکزی $\omega = 2.02\omega_m$ از فراماده به هوا تابیده می‌شود ب) زمانی که $H_0 = 0.3T$ و $H_0 = 0$ [۳۴] ۳۷
شکل ۳-۱۲: الف) نمای شماتیک ساختار ب) وابستگی ضریب دی الکتریک و ضریب گذردهی مغناطیسی مؤثر به ε_3 [۳۵] ۳۸
شکل ۳-۱۳: وابستگی مولفه‌های $\left(\varepsilon'_{eff}\right)_{xx}$، $\left(\varepsilon'_{eff}\right)_{yy}$ و $\left(\varepsilon'_{eff}\right)_{xy}$ به زاویه چرخش γ [۳۵] ۳۹
شکل ۳-۱۴: نمودار زاویه شکست $\theta_{r,S}$ و $\theta_{r,k}$ بر حسب زاویه تابش θ_i [۳۵] ۳۹
شکل ۳-۱۵: نتیجه حاصل از بازخوانی مرجع [۳۵] ۴۰
شکل ۳-۱۶: نمایش توزیع میدان مغاطیسی و میدان الکتریکی یک پالس گوسی با قطبش TM تحت زاویه $\theta_i = 40^\circ$ [۳۵] ۴۰
شکل ۳-۱۷: نتیجه حاصل از بازسازی مرجع [۳۵] ۴۱
شکل ۳-۱۸: زاویه شکست $\theta_{r,S}$ بر حسب زاویه چرخش NLC برای زوایای مختلف[۳۵] ۴۱
شکل ۳-۱۹: اصول عملکرد سوئیچ الف) شکست منفی $\gamma = 30^\circ$ ب) شکست مثبت $\gamma = 110^\circ$ ج) $\gamma = 0^\circ$ انعکاس کامل[۳۵] ۴۲
شکل ۳-۲۰: نتایج حاصل از بازسازی شکل ۳-۱۹-الف در مقاله [۳۵] ۴۳
شکل ۴-۱: سه حالت ممکن برای شکست نور در فراماده هذلولی ۴۴
شکل ۴-۲: نمایش منحنی ایزوفرکانسی برای فراماده در حالات مختلف ۴۵
شکل ۴-۳: نوع رفتار فراماده بر حسب نسبت پرشدگی طلا و طول موج[۳] ۴۵
شکل ۴-۴: شماتیکی از سوئیچ تمام نوری دو لایه (ساختار اول) ۴۶
شکل ۴-۵: ضریب دی الکتریک طلا بر حسب طول موج ۴۷
شکل ۴-۶: ضرایب دی الکتریک مؤثر برای ساختار دو لایه در راستای عمود و موازی بر لایه‌ها ۴۷
شکل ۴-۷: توزیع مؤلفه z میدان مغناطیسی یک پرتو گوسی که از هوا وارد نیم فضایی از ساختار اول می‌شود ۴۸
شکل ۴-۸: تغییرات ضریب دی الکتریک ساختار دو لایه را بر حسب فرکانس در حالت وجود سیگنال پمپ و عدم وجود سیگنال پمپ ۴۹
شکل ۴-۹: نتایج حاصل از شبیه سازی سوئیچ تمام نوری دو لایه برای دو حالت الف) روشن و ب) خاموش ۴۹
شکل ۴-۱۰: ضریب الف) انتقال و ب) انعکاس محاسبه شده برای یک باریکه از سوئیچ نوری دولایه به ضخامت ۳۰۰ نانومتر در دو وضعیت روشن و خاموش ۵۰
شکل ۴-۱۱: مقایسه بین نتایج شبیه سازی شده و محاسبه شده ضریب الف)انتقال و ب)انعکاس برابر یک باریکه از ساختار پیشنهادی سوئیچ تمام نوری دو لایه به ضخامت ۳۰۰ نانومتر ۵۰
شکل ۴-۱۲: تحلیل سه بعدی شکست منفی در فراماده پیشنهادی سوئیچ تمام نوری دو لایه توسط نرم افزار کامسول الف) نمای سطح مقطع و ب) نمای perspective ۵۱
شکل ۴-۱۳: شماتیکی از سلول واحد سوئیچ تمام نوری پنج لایه‌ای (ساختار دوم). این ساختار در راستای محور y به صورت متناوب تکرار می‌شود ۵۲

شکل ۴-۱۴: قسمت حقیقی مؤلفه ضریب دی الکتریک در راستای عمود و موازی بر لایه‌ها برای ساختار دوم ۵۲
شکل ۴-۱۵: تغییرات ضریب دی الکتریک ساختار سوئیچ تمام نوری پنج لایه‌ای بر حسب فرکانس در حالت وجود سیگنال پمپ و عدم وجود سیگنال پمپ الف) در بازه ۴۰۰ الی ۹۰۰ نانومتر. ب) زوم شده شکل (الف) در بازه ۸۰۴ الی ۸۰۷ نانومتر ۵۳
شکل ۴-۱۶: نتایج حاصل از شبیه سازی سوئیچ تمام نوری پنج لایه‌ای برای دو حالت الف) روشن و ب) خاموش ۵۴
شکل ۴-۱۷: مقدار الف)انتقال و ب)انعکاس در ساختار ۵ لایه در حالت خاموش و روشن ۵۴
شکل ۴-۱۸: مقایسه بین نتایج شبیه سازی شده و محاسبه شده ضریب الف) انتقال و ب) انعکاس برابر یک باریکه از ساختار پیشنهادی سوئیچ تمام نوری پنج لایه به ضخامت ۳۰۰ نانومتر ۵۵
شکل ۴-۱۹: مقدار ضریب دی الکتریک در جهت عمود و موازی با لایه های ساختار برای ساختار ۵ لایه پهن باند در با اعمال و عدم اعمال سیگتال پمپ ۵۶
شکل ۴-۲۰: مقدار الف) انعکاس و ب) انتقال برای ساختار ۵ لایه پهن باند در حالت روشن و خاموش ..۵۶
شکل ۴-۲۱:نتایج حاصل از شبیه سازی ساختار ۵ لایه پهن باند برای دو حالت الف) روشن و ب) خاموش در طول موج ۸۶۰ نانومتر ۵۷
شکل ۴-۲۲: ساختار پیشنهادی برای سوئیچ الکترونوری. این ساختار به صورت متناوب در راستای محور y تکرار می‌شود. ۵۷
شکل ۴-۲۳: مقدار ضریب دی الکتریک در راستای عمود و موازی بر ساختار سوئیچ الکترونوری الف) محدوده ۵۰۰ الی ۹۰۰ نانومتر. ب) زوم شده شکل (الف) در محدوده ۸۰۰ الی ۸۱۰ نانومتر ۵۸
شکل ۴-۲۴: منحنی ایزوفرکانسی سوئیچ الکترونوری در طول موج ۸۰۶ نانومتر ۵۹
شکل ۴-۲۵: شکست نور در نیم فضایی متشکل از سوئیچ الکترونوری ۵۹
شکل ۴-۲۶: نحوه عملکرد سوئیچ در حالت الف) روشن و ب)خاموش در طول موج ۸۰۶ نانومتر ۶۰
شکل ۴-۲۷: مقدار الف) انتقال و ب) انعکاس سوئیچ الکترونوری برحسب طول موج ۶۱
شکل ۴-۲۸: تأثیر تغییرات ضخامت لایه طلا و Al2O3 بر روی مقدار انتقال سوئیچ الکترونوری الف) در حالت روشن ب) در حالت خاموش ۶۱
شکل ۴-۲۹: مقدار ضریب دی الکتریک در راستای عمود و موازی بر لایه ها در سوئیچ الکترونوری با ضخامت طلا ۱۵ نانومتر الف) در محدوده ۵۰۰ الی ۹۰۰ نانومتر. ب) زوم شده (الف) در محدوده ۸۰۰ الی ۸۱۰ نانومتر ۶۲
شکل ۴-۳۰: منحنی ایزوفرکانسی برای ساختار سوئیچ الکترونوری با ضخامت طلا ۱۵ نانومتر ۶۳
شکل ۴-۳۱: نمایش مولفه z میدان مغناطیسی در نیم فضایی از سوئیچ الکترونوری با ضخامت طلا ۱۵ نانومتر در طول موج ۸۰۶ نانومتر ۶۳
شکل ۴-۳۲: نحوه عملکرد سوئیچ الکترونوری با ضخامت طلا ۱۵ نانومتر در حالت الف) روشن و ب) خاموش ۶۴
شکل ۴-۳۳: مقدار انعکاس و انتقال سوئیچ الکترونوری با ضخامت طلا ۱۵ نانومتر بر حسب طول موج..۶۴

شکل ۴-۳۴: تأثیر زاویه تابش بر روی مقدار انتقال سوئیچ الکترونوری با ضخامت طلا الف) ۷ نانومتر در حالت روشن و ب) در حالت خاموش و ج) ۷ نانومتر در حالت روشن و د) در حالت خاموش ۶۵
شکل ۴-۳۵: سلول واحد ساختار پیشنهادی برای مقسم پرتو حساس به قطبش ۶۷
شکل ۴-۳۶: قسمت حقیقی مؤلفه های عمود و موازی تانسور ضرایب دی الکتریک. ۶۷
شکل ۴-۳۷: نحوه شکست پرتو با قطبش TE و TM در محیط ناهمسانگرد الف) هذلولی و ب) بیضوی ۶۸
شکل ۴-۳۸: نحوه عملکرد مقسم پرتو حساس به قطبش در برابر پرتو با قطبش الف) TM و ب) TE ۶۹
شکل ۴-۳۹: ساختار پیشنهادی برای y-branch ۶۹
شکل ۴-۴۰: اختلاف بین دو زاویه شکست پرتو TM بر حسب پتانسیل‌های شیمیایی مختلف نسبت به پتانسیل شیمیایی 0.4 eV ۷۰
شکل ۴-۴۱: نحوه عملکرد y-branch به ازای پتانسیل شیمیایی الف) 0.5 eV و ب)0.4 eV ۷۱
شکل ۴-۴۲: ساختار پیشنهادی برای گیت AND و XOR ۷۱
شکل ۴-۴۳: نحوه عملکرد گیت XOR در چهار حالت منطقی ممکن ۷۲
شکل ۴-۴۴: رفتار گیت منطقی AND برای چهار حالت منطقی ممکن ۷۳

فصل ۱– مقدمه

ساختارهای دست‌سازی که رفتار الکترومغناطیسی آن‌ها در مواد طبیعی مشاهده نمی‌شود به فراموا‌د معروفند. به این دلیل، در دهه اخیر پژوهشهای زیادی در حوزهی الکترومغناطیس بر روی ساختارهای فراموا‌د متمرکز شده است. پاسخ الکترومغناطیسی مواد توسط پارامتر ثابت دی الکتریک(ε) و نفوذ پذیری مغناطیسی(μ) مشخص می‌شود که میانگین میدان الکتریکی و مغناطیسی ماکروسکوپی در یک ماده را به میدان میکروسکوپی در اتم‌ها و مولکول‌های آن مرتبط می‌سازد.[۱] این میانگین در مقیاس طولی بزرگتر از فاصله بین اتمی و کوچکتر از طول موج موج الکتریومغناطیسی صورت می‌گیرد فراموا‌د به گونه‌ای طراحی می‌شوند که گستره وسیعی از خواص الکترومغناطیسی را در فرکانس‌های طراحی شده داشته باشند.[۲]

گروه جدیدی از فراموا‌د که امروزه توجه زیادی را به خود جذب کردند، فراموا‌د هذلولی نام دارند. علت این توجه امکان شکست منفی بدون داشتن ضریب گذردهی مغناطیسی منفی در فراماده هذلولی است. این فراموا‌د دارای یک ناهمسانگردی منحصربفردی در تانسور دی الکتریک خود هستند:

$$\begin{pmatrix} \varepsilon_x & 0 & 0 \\ 0 & \varepsilon_y & 0 \\ 0 & 0 & \varepsilon_z \end{pmatrix} \qquad (۱-۱)$$

که در آن $\varepsilon_x=\varepsilon_y>0$ و $\varepsilon_z<0$ و یا $\varepsilon_x=\varepsilon_y<0$ و $\varepsilon_z>0$ و محور اپتیکی در راستای z می‌باشد.

حل معادله ماکسول در محیط ناهمگن رابطه پاشندگی را نتیجه می‌دهد که می‌توان دید خوبی نسبت به طبیعت انتشار پرتو در این محیط به ما دهد. رابطه پاشندگی یک محیط همسانگرد به صورت زیر می‌باشد:

$$\omega^2 = c^2\left[\frac{k_x^2+k_y^2+k_z^2}{\varepsilon}\right] \qquad (۲-۱)$$

که نشان دهنده‌ی یک کره در فضای k می‌باشد. بعلاوه همانطور که انتظار می‌رود. رابطه پاشندگی برای دو قطبش TM و TE یکسان می‌باشد. در مقابل برای یک محیط ناهمسانگرد با $\varepsilon = diag\left(\varepsilon_x,\varepsilon_y,\varepsilon_z\right)$، دو قطبش فوق دارای رابطه پاشندگی متفاوتی هستند. برای حالتی که نا همسانگردی به صورت $\varepsilon_x=\varepsilon_y>0$ و $\varepsilon_z<0$ باشد رابطه پاشندگی برای موج TM به صورت هایپربولیکی است:

$$\omega^2 = c^2\left[\frac{k_x^2+k_y^2}{\varepsilon_z}-\frac{k_z^2}{|\varepsilon_x|}\right] \qquad (۳-۱)$$

از دیگر دلایل علاقه زیاد به این نوع فراماده، ساخت نسبتاً راحت، پاسخ پهن باند بدون رزونانس، کنترل طول موج می‌توان نام برد. فراماده هذلولی کاربردهای زیادی از قبیل موجبر با ضریب شکست منفی، تصویر برداری ریز طول موج، سنسورهای زیستی و افزایش خواص غیر خطی دارند. در ناحیه طول موج نور مرئی و نزدیک مادون قرمز، فراماده هذلولی بهترین انتخاب برای کاربردهای عملی هستند.[۳]

در این پژوهش ما به بررسی تاثیر شدت نور بر روی منحنی پاشندگی فراماده هذلولی می‌پردازیم. در واقع قصد ما بر این است که با اعمال یک سیگنال با شدت زیاد باعث ایجاد اثر غیرخطی در این مواد شویم و در نتیجه آن فرم منحنی پاشندگی را تغییر دهیم. با تغییر منحنی پاشندگی از فرم هذلولی به کروی و برعکس پاسخ فراماده به پرتو ورودی تغییر می‌کند که از آن می‌توان برای طراحی سوئیچ نوری بهره گرفت.

در فصل بعدی با مفاهیم اولیه و روابط حاکم بر فراماده هذلولی آشنا خواهیم شد. همچنین روابطی برای محاسبه مقدار انتقال و انعکاس در این فصل ارائه خواهد شد که در طول پایان نامه از آن مکرراً استفاده خواهیم کرد. اثر غیر خطی کر نیز در این بخش توضیح داده خواهد شد.

در فصل سوم به مرور مقالاتی که تا کنون در این زمینه چاپ شده است می‌پردازیم. همچنین مقایس‌های بین نتایج گزارش شده در آن مقالات و نتایج حاصل از بازخوانی آن‌ها انجام خواهیم داد. در فصل چهارم با بهره گیری از مفاهیم بیان شده در فصول قبل ساختارهای مختلفی برای کاربرد سوئیچی فراماده هذلولی ارائه خواهیم داد. در ابتدا با استفاده از اثر غیرخطی کر در طلا سوئیچ تمام نوری ارائه میدهیم. سپس برای کاهش قدرت سیگنال پمپ از گرافن استفاده می‌کنیم که دارای اثر غیر خطی به مراتب بزرکتر از طلا می‌باشد. سلول ساختار ارائه شده برای کاهش اثر غیر خطی، شامل ۵ نانو لایه می‌باشد. سپس به منظور افزایش پهنای باند سوئیچ ساختار دیگری ارائه خواهیم داد . این ساختار مشابه ساختار ۵ لایه ارئه شده قبلی است اما جنس لایه ها و ضخامت آن به گونه‌ای انتخاب شده است که تمام طول موج ۸۰۰ الی ۹۰۰ نانومتری ارپوشش دهد. سپس ما یک سوئیچ الکترونوری طراحی کرده‌ایم که با تغییر پتانسیل شیمیایی گرافن سوئیچ در دو وضعیت روشن و خاموش تغییر می‌کند. انتهای فصل چهارم با استفاده از مقسم پرتو حساس به قطبش مبتنی بر فرماده هذلولی ساختار y-branch و دو گیت منطقی AND و XOR طراحی خواهیم کرد که دارای مقدار انتقال بسیار زیادی است.

فصل ۲– مرور ادبیات

۲–۱– همگن سازی

۲-۱-۱- پاسخ همگن

معادلات ماکسول[۱] ابزار پایه‌ای برای توصیف پدیده الکترومغناطیسی یا نوری هستند. انتشار امواج الکترومغناطیسی در هر محیطی را می‌توان به صورت کامل با معادلات ماکسول بیان کرد.

$$\nabla.D=\rho,\quad \nabla.B=0 \tag{۱-۲}$$

$$\nabla.D=\rho,\quad \nabla.B=0 \tag{۲-۲}$$

$$\nabla\times E=-\frac{\partial B}{\partial t},\quad \nabla\times H=j+\frac{\partial D}{\partial t} \tag{۳-۲}$$

که ρ چگالی بار الکتریکی[۲] و j چگالی جریان الکتریکی[۳] منبع الکترومغناطیسی است و E و H بردار الکتریکی و بردار مغناطیسی جابجایی الکتریکی[۴] D و القاء مغناطیسی[۵] B را نیز تعریف کنیم. با میانگین گیری میدان ماکروسکوپی[۶] و تغییرات سریع آن در یک مقیاس کوچک در طول یک حجم بزرگ کمیت‌های میدان مغناطیسی و پاسخ همگن به میدان اعمالی بدست می‌آید:

$$D=\varepsilon_0 E+P,\quad B=\mu_0(H+M) \tag{۴-۲}$$

که P قطبش[۷] الکتریکی و M قطبش مغناطیسی است که مرتبط به تابع پذیرفتاری[۸] χ می‌باشند. محیط ناهمسانگردی[۹] با رفتار غیر محلی[۱۰] و پاسخ غیر خطی زمانی و مکانی را در نظر بگیرید، خواهیم داشت:

$$\begin{aligned}P_i(r,t)&=\varepsilon_0\int d^3r'\int_{-\infty}^{t}dt'\chi_{ij}^{(1)e}(r,r',t-t')E_j(r',t')\\&+\varepsilon_0\int d^3r'\int_{-\infty}^{t}dt'\int_{-\infty}^{t}dt''\chi_{ij}^{(2)e}(r,r',t-t',t-t'')E_j(r',t')E_k(r',t'')+\ldots\end{aligned} \tag{۵-۲}$$

$$\begin{aligned}M_i(r,t)&=\mu_0\int d^3r'\int_{-\infty}^{t}dt'\chi_{ij}^{(1)m}(r,r',t-t')H_j(r',t')\\&+\mu_0\int d^3r'\int_{-\infty}^{t}dt'\int_{-\infty}^{t}dt''\chi_{ij}^{(2)m}(r,r',t-t',t-t'')H_j(r',t')H_k(r',t'')+\ldots\end{aligned} \tag{۶-۲}$$

---

[۱] Maxwell’s Equation

[۲] Electric Charge Density

[۳] Electric Current Density

[۴] Electric Displacement

[۵] Magnetic Induction

[۶] Macroscopic

[۷] Polarization

[۸] Susceptibility Function

[۹] Anisotropic

[۱۰] Non-Local

می‌باشد. برای وارد کردن اثر تعامل میدان-ماده لازم است تا برای پاسخ خطی محلی-مکانی ، این معادله به صورت زیر شود:

$$P_i^L(r,t) = \varepsilon_0 \int_{-\infty}^{t} dt' \chi_{ij}^{(1)e}(t-t') E_j(r,t') \qquad (۷-۲)$$

$$M_i^L(r,t) = \mu_0 \int_{-\infty}^{t} dt' \chi_{ij}^{(1)m}(t-t') H_j(r,t') \qquad (۸-۲)$$

در حوزه فرکانس داریم:

$$[P_i^L(r)]^{\omega} = \varepsilon_0 \chi_{ij}^{e}(\omega) E_j^{\omega}(r), \qquad [M_i^L(r)]^{\omega} = \mu_0 \chi_{ij}^{m}(\omega) H_j^{\omega}(r) \qquad (۹-۲)$$

پاسخ خطی دی الکتریک و مغناطیس محیط با استفاده از تانسور ضریب گذر دهی الکتریکی $\overline{\overline{\varepsilon_r}}(\omega)$ و تانسور ضریب گذر دهی مغناطیسی $\overline{\overline{\mu_r}}(\omega)$ توصیف می‌شود:

$$[D_i^L(r)]^{\omega} = \varepsilon_0 [\varepsilon_r(\omega)]_{ij} E_j^{\omega}(r), \ \Rightarrow [\varepsilon_r(\omega)]_{ij} = 1 + [\chi^{(1)e}(\omega)]_{ij} \qquad (۱۰-۲)$$

$$[B_i^L(r)]^{\omega} = \mu_0 [\mu_r(\omega)]_{ij} H_j^{\omega}(r), \ \Rightarrow [\mu_r(\omega)]_{ij} = 1 + [\chi^{(1)m}(\omega)]_{ij} \qquad (۱۱-۲)$$

۲-۱-۲- روش همگن سازی

معادلات ماکسول با میانگین گیری تغییرات میدان االکترومغناطیسی داخل اتم ها یا مولکول های در یک حجم شامل تعداد کافی از اتم و یا مولکول قطبش پذیر بدست می‌آیند. از این چارچوب می‌توان جهت بدست آوردن پذیرفتاری مواد بالک استفاده کرد.

در فرامواد، فرض بر آن است که ابعاد ساختار به اندازه کافی بزرگتر از مقیاس مولکولی است اما همچنان از طول موج تابشی کوچکتر است بنابراین فرامواد به صورت مؤثر با ضریب گذردهی الکتریکی و ضریب گذر دهی مغناطیسی توصیف می‌شوند. بسته به شکل، اندازه و هندسه ناهمگنی اضافه شده به محیط پس زمینه روشهای مختلفی جهت بدست آوردن ضریب گذردهی الکتریکی و مغناطیسی مؤثر وجود دارد. ما اساساً بر روی ساختارهای غیر مغناطیسی تمرکز داریم لذا روش‌های همگن‌سازی فقط در بر گیرنده پاسخ دی الکتریک هستند. این نوع از فرامواد دارای خواص نوری منحصر بفردی هستند که برای بکارگیری در ادوات مختلف مفید هستند. خواص نوری این ساختارهای کاملا به مواد طبیعی تفاوت دارد. بعضی از کاربردها این فرامواد در فصل بعد توضیح داده خواهد شد.

۲-۲- تئوری محیط مؤثر

۲-۲-۱- ساختار لایه‌ای

یک نمونه از محیط های قابل همگن سازی ساختار لایه‌ای می باشد. این ساختار شامل لایه‌های متناوب از دو یا چند ماده می‌باشد که ضخامت هر لایه خیلی کوچکتر از طول موج تابشی است.[۴]