

به نام خداوند جان و خرد کزین برتر اندیشه برنگذرد

خداوند نام و خداوند جای خداوند روزی ده ره‌نمای

خداوند کیوان و کردان سپهر فروزنده ماه و ناهید و مهر

خرد را و جان را همی سجداوی در اندیشه سخنة کی کجداوی

به مستیش باید که خستوشوی ز گفتار بی کار یکوشوی


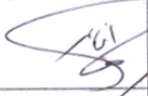
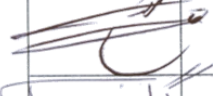
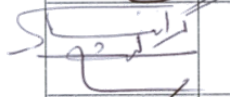

پرستنده باشی و جوینده راه به ژرفی به فرمانش کردن نگاه

توانا بود هر که دانا بود ز دانش دل پیر برنا بود

از این پرده برتر سخن گاه نیست ز هستی مراندیشه راه نیست

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

آقای الیار پورعلی پایان نامه ۶ واحدی خود را با عنوان تحلیل ساختارهای پاشنده مبتنی بر فوتونیک کریستال در تاریخ ۱۳۹۰/۱۱/۱۵ 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.

امضا	رتبه علمی	نام و نام خانوادگی	عضو هیات داوران
	استاد	دکتر محمدکاظم مروج فرشی	استاد راهنما
	استادیار	دکتر مجید ابن علی حیدری	استاد مشاور
	استاد	دکتر وحید احمدی	استاد ناظر
	دانشیار	دکتر نصرت اله گرانبابه	استاد ناظر
	استاد	دکتر وحید احمدی	مدیر گروه (یا نماینده گروه تخصصی)

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، دانش‌آموختگان 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 پایان‌نامه‌ها / 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 پایان‌نامه / رساله به صورت چاپ در نشریات علمی و یا ارائه در مجامع علمی باید به نام دانشگاه بوده و استاد راهنما مسئول مکاتبات مقاله باشند.

تبصره: در مقالاتی که پس از دانش‌آموختگی به صورت 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 پایان‌نامه / رساله و تمامی طرح‌های تحقیقاتی دانشگاه باید با مجوز کتبی صادره از طریق حوزه پژوهشی دانشگاه و بر اساس آئین‌نامه‌های 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 پایان‌نامه / 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 لازم‌الاجرا است و هرگونه تخلف از مفاد این دستورالعمل، از طریق مراجع قانونی قابل پیگیری خواهد بود.

نام و نام خانوادگی: الیار پورعلی

تاریخ و امضا: ۱۳۹۰/۱۱/۱۵



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

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

ماده ۱: در صورت اقدام به چاپ پایان نامه (رساله) ی خود، مراتب را قبلاً به طور کتبی به «دفتر نشر آثار علمی» 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 برق-الکترونیک است که در سال ۱۳۹۰ در دانشکده برق و کامپیوتر دانشگاه تربیت مدرس به راهنمایی جناب آقای دکتر محمد کاظم مروج فرشی از آن دفاع شده است.»

ماده ۳: به منظور جبران بخشی از هزینه های انتشارات دانشگاه، تعداد یک درصد شمارگان کتاب (در هر نوبت چاپ) را به «دفتر نشر آثار علمی» دانشگاه اهدا کند. دانشگاه می تواند مازاد نیاز خود را به نفع مرکز نشر در معرض فروش قرار دهد.

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

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

ماده ۶: اینجانب الیار پورعلی، دانشجوی رشته برق - الکترونیک مقطع کارشناسی ارشد تعهد فوق و ضمانت اجرایی آن را قبول کرده، به آن ملتزم می شوم.

نام و نام خانوادگی: الیار پورعلی

تاریخ و امضا: ۱۳۹۰/۱۱/۱۵



دانشگاه تربیت مدرس
دانشکده برق و کامپیوتر

پایان نامه دوره کارشناسی ارشد

تحلیل ساختارهای پاشنده بر پایه بلور فوتونی

الیار پورعلی

استاد راهنما:

دکتر محمد کاظم مروج فرشی

استاد مشاور:

دکتر مجید ابن علی حیدری

۱۳۹۰

تقدیم بہ پدر، مادر و برادر و مہربانم، بہ پاس زحمات و

محبت ہامی بی دریغشان

مشکر و قدردانی

در اینجا بر خود لازم می‌دانم از زحمات و کمک‌های جناب دکتر مروج فرشی و دکتر ابن علی

حیدری در به ثمر رسیدن این کار قدردانی نمایم. همچنین از حمایت‌های بی‌دریغ پدر و مادر و

برادرم که همیشه مشوق و حامی من در تمامی مراحل زندگی بوده‌اند صمیمانه تشکر و قدردانی می‌نمایم.

و در آخر با تشکر از خانم انصاری و تمامی دوستان عزیزم.

چکیده

در این پایان نامه رژیم نور کند در موجبرهای بلور فوتونی بر پایه سیلیکون کارباید (SiC)، برای اولین بار ارائه می‌شود. کند بودن سرعت گروه نور در این گونه ساختارها باعث افزایش برهم‌کنش نور با محیط اطراف می‌شود. به طور معمول، رژیم نور کند با پاشندگی سرعت گروه زیاد همراه است. برای دستیابی به نور کند همراه با پاشندگی سرعت گروه پایین، با استفاده از روش تزریق سیال‌های نوری در حفره‌های هوا پاشندگی در موجبر بلور فوتونی ایجاد شده در بستر SiC مهندسی شد. برای انجام این کار، تبعیت ضریب دی‌الکتریک SiC از فرکانس با مدل نوسانگرهای هماهنگ در نظر گرفته شد.

ابتدا یک موجبر W1 بر پایه بلور فوتونی دوبعدی با شبکه مثلثی متشکل از حفره‌های هوا در بستر SiC با ثابت شبکه $a = 350\text{nm}$ و شعاع $r = 0.3a$ در نظر گرفته شد. نشان داده‌ایم که با تزریق سیال نوری در دو ردیف از حفره‌های مجاور موجبر در هر طرف می‌توان سرعت نور در این‌گونه موجبرها را تا ۴۷۳ مرتبه کاهش داد، در حالی که پاشندگی سرعت گروه ناچیز است. در ادامه برای افزایش پهنای باند هموار در گستره نور کند رهیافتی ارائه شده است.

بخش دیگری از این پایان‌نامه، به بلورهای فوتونی فلزی اختصاص دارد. در مقایسه با دی‌الکتریک‌ها، فلزات به شدت پاشنده‌اند و ضریب شکست آن‌ها وابستگی زیادی به فرکانس نور فرودی دارد. برای لحاظ کردن نفوذپذیری الکتریکی فلزات در شبیه‌سازی‌های عددی از مدل نوسانگرهای هماهنگ استفاده شده است. در پایان خواص پاشنده بلورهای فوتونی دوبعدی با شبکه مربعی بر پایه میله‌های فلزی در هوا با ثابت شبکه‌های $a=20$ و شعاع‌های $r=0.1a$ - $0.4a$ شبیه‌سازی شده است. در این بررسی خواص نوری بلورهای فوتونی بر پایه یازده فلز (شامل فلزات نجیب و واسط) در گستره وسیعی از فرکانس (از فرسرخ تا فرابنفش) ارائه شده است.

کلید واژه: بلور فوتونی، پاشندگی، سیال نوری، نور کند، نوسانگرهای هماهنگ

فهرست مطالب

ا	چکیده	۱
ب	فهرست مطالب	۱
د	فهرست شکل‌ها	۱
ط	فهرست جدول‌ها	۱
۱	فصل ۱: سرآغاز	۱
۱-۱	مقدمه	۱
۲-۱	مروری بر نور کند	۴
۳-۱	معیارهای مقایسه در ایجاد نور کند	۷
۴-۱	نوسان‌های پلاسما	۱۳
۵-۱	ساختار پایان نامه	۱۶
۱۷	فصل ۲: بلورهای فوتونی	۱۷
۱-۲	مروری بر بلورهای فوتونی	۱۷
۲-۲	افزاره‌های طراحی شده با استفاده از بلور فوتونی:	۱۸
۳-۲	معادلات حاکم بر بلورهای فوتونی	۱۹
۴-۲	مدل‌سازی بلورهای فوتونی	۲۱
۵-۲	ساختار باند در بلور فوتونی	۲۳
۱-۵-۲	ساختار باند برای بلورهای فوتونی یک بعدی	۲۳
۲-۵-۲	ساختار باند برای بلورهای فوتونی دو بعدی	۲۵
۳-۵-۲	ساختار باند برای بلور فوتونی تیغه‌ای	۲۶
۳۰	فصل ۳: پاشندگی	۳۰
۱-۳	تعریف پاشندگی	۳۰
۱-۱-۳	پاشندگی مواد در معرض نور	۳۲
۲-۳	مهندسی پاشندگی در ناحیه نور کند	۳۳
۳-۳	سیال نوری	۳۴
۴-۳	میکرو فلودیک برای استفاده در روش سیال نوری	۳۵

فصل ۴: بلور های فوتونی فلزی	۳۸
۴-۱- تئوری کلاسیک ثابت‌های نوری	۳۸
۴-۲- مدل درود	۳۹
۴-۳- مدل لورنس	۴۰
۴-۳-۱- رفتار محدودکننده فرکانس پایین و فرکانس بالا	۴۵
۴-۴- بلورهای فوتونی فلزی	۴۷
۴-۴-۱- ناحیه فرکانس پایین: اثر پوسته و تلفات فلزی	۴۸
۴-۴-۲- نواحی فروسرخ تا مرئی و فرابنفش	۴۹
۴-۴-۳- طیف گذار بلور های فوتونی نیمه هادی و فلزی	۵۰
۴-۴-۴- گاف‌های باند کامل در بلورهای فوتونی فلزی	۵۴
۴-۴-۵- ساختارهای متناوب فلزی در فرکانس‌های نوری، نمونه ایده آل برای دی‌الکتریک بدون تلفات پاشنده	۵۴
فصل ۵: نتایج شبیه سازی	۵۸
۵-۱- رژیم نور کند در موجبرهای بلور فوتونی بر پایه سیلیکون کارباید با در نظر گرفتن پاشندگی ماده	۵۸
۵-۱-۱- سیلیکون کارباید	۵۸
۵-۱-۲- ساختار موجبرهای بلور فوتونی W1 بر پایه سیلیکون کارباید	۵۸
۵-۱-۳- دستیابی به رژیم نور کند در موجبرهای W1 بر پایه سیلیکون کارباید	۶۳
۵-۱-۴- مهندسی پاشندگی موجبر بلور فوتونی W1 بر پایه سیلیکون کارباید	۶۵
۵-۲- فلزات	۷۳
۵-۲-۱- مدل‌های درود-لورنتز استفاده شده	۷۳
۵-۲-۲- مقایسه داده‌های تجربی مقادیر حقیقی و موهومی ضریب‌های دی‌الکتریک و مدل‌های استفاده شده	۷۶
۵-۲-۳- بررسی رفتار فلزات در محدوده فرکانسی زیر فرکانس پلاسما	۸۱
۵-۲-۴- بررسی رفتار فلزات در محدوده فرکانسی بالاتر از فرکانس پلاسما	۱۰۵
فصل ۶: نتیجه‌گیری و پیشنهادات	۱۰۹
۶-۱: نتایج	۱۰۹
۶-۲: پیشنهادات	۱۱۰
مراجع	۱۱۱

فهرست شکل‌ها

- شکل (۱-۱) تراشه فوتونی تمام نوری ۲
- شکل (۲-۱) نمونه Lab on chip ۳
- شکل (۳-۱) نمای تقویت آثار غیرخطی در ناحیه نور کند ۴
- شکل (۴-۱) افزاره دو دهانه‌ای با استفاده از عملکرد نور کند ۵
- شکل (۵-۱) کاربرد نور کند در زمینه‌های گوناگون ۱۳
- شکل (۱-۲) بلور فوتونی (الف) یک بعدی (ب) دو بعدی و (ج) سه بعدی ۱۸
- شکل (۲-۲) ساختار باند بلور فوتونی تک بعدی (الف) در تمام نواحی (ب) در ناحیه اول بریلیون. خطوط خط چین و توپر به ترتیب بیانگر منحنی پاشندگی برای محیط همگن ناهمگن هستند ۲۴
- شکل (۳-۲) (الف) شمای ساده ای از ساختار بلور فوتونی دو بعدی حفره‌ای با شبکه مثلثی (شکل بالا) به همراه یاخته واحد آن فضای وارون (شکل پایین). (ب) ساختار نوار مربوط به بلور شکل (الف) برای قطبش TE (نقاط مشکی) و قطبش TM (نقاط آبی). ۲۶
- شکل (۴-۲) (الف) نمای بلور فوتونی دو بعدی مثلثی میله‌ای در مکان. (ب) ساختار باند ساختار شکل الف برای قطبش TE (نقاط مشکی) و قطبش TM (نقاط آبی). ۲۶
- شکل (۵-۲) (الف) شمای ساده ای از ساختار بلور فوتونی تیغه‌ای حفره‌ای با شبکه مثلثی (شکل بالا) به همراه یاخته واحد آن فضای وارون (شکل پایین). (ب) ساختار نوار مربوط به بلور تیغه‌ای شکل (الف) برای قطبش TE (نقاط قرمز) و قطبش TM (نقاط آبی). ۲۷
- شکل (۶-۲) ساختار باند موجبر بلور فوتونی تیغه‌ای سیلیکونی با نقص خطی در جهت ΓK ۲۹
- شکل (۱-۳) در یک منشور، پاشندگی ماده (وابستگی طول موج به ضریب شکست) باعث شکست رنگ‌های مختلف در زوایای متفاوت ۳۱
- شکل (۲-۳) یک لامپ فلوروسنت فشرده ۳۱
- شکل (۳-۳) (الف) تصویر تراشه فوتونی سیال نوری با استفاده از میکروفلویدهای گوناگون (ب) یک تصویر کلی جهت پیاده‌سازی افزاره سیال نوری که شامل ۳ لایه است (۱) کنترل سیال نوری (۲) نوع میکروفلویدهای (۳) بستر سیال نوری ۳۵
- شکل (۴-۳) تصویر افزاره فوتونی سیال نوری با استفاده از میکروفلویدهای در بلور فوتونی یک بعدی ۳۶
- شکل (۵-۳) نمونه‌ای از مجموعه آزمایشگاهی CUDOS جهت پر کردن بلور فوتونی توسط میکروفلویدها ۳۶
- شکل (۶-۳) تصویر بلور فوتونی توسط گروه CUDOS ۳۶
- شکل (۷-۳) تصویر میکروتتریپ برای پر کردن بلور فوتونی توسط گروه CUDOS ۳۷
- شکل (۱-۴) مدل لورنتز ماده ۴۱
- شکل (۲-۴) (الف) نمایش دامنه A و زاویه فاز \ominus به صورت تابعی از فرکانس، (ب) وابستگی به فرکانس قسمت حقیقی و موهومی تابع دی الکتریک (۴-۱۱)، (ج) قسمت‌های حقیقی و موهومی ضریب شکست، (د) بازتاب در سطح مطلوب ۴۴

شکل ۴-۳) طیف گذار شبکه های مربعی میله های گسترش یافته در هوا در معرض قطبش TM. منحنی های قرمز نازک نشان دهنده طیف محاسبه شده و منحنی های آبی ضخیم نشان دهنده اندازه گیری های تجربی هستند. الف) نشان دهنده شبکه دی الکتریک شامل ۱۱ ردیف ۱۸ تایی از میله های آلومینا ($\epsilon_r \approx 9$) با قطر $d = 1.5mm$ و طول $L = 100mm$ می باشد. ثابت شبکه ساختار برابر با $a = 3mm$ می باشد. ب) نشان دهنده شبکه فلزی شامل هفت ردیف ۱۸ تایی از میله های مسی با قطر $d = 1.5mm$ و طول $L = 50mm$ می باشد. ثابت شبکه ساختار نیز برابر با 6mm است. (Gadot 1998)..... ۵۳

شکل ۴-۴) ساختارهای باند شبکه های مربعی صورت مرکزی شامل گره های فلزی در هوا (موروز ۱۹۹۹). لبه سلول واحد با $a=2r$ مشخص می شود که r شعاع کره هاست. فرکانس موج ($\omega/2\pi$ ، محور عمودی) هم بر حسب فرکانس نرمالیزه ($2c/a$) و هم بر حسب واحد فرکانس پلاسما (ω_p) است. الف) ساختار باند محاسبه شده برای $r/\lambda_p = 1.013$ ، که $\lambda_p = 2\pi c/\omega_p$ برابر با طول موج پلاسما است، قرار دارد. ب) ساختار باند محاسبه شده برای $r/\lambda_p = 1.35$ قرار دارد..... ۵۶

شکل ۵-۱) وابستگی طول موج ضریب شکست سیلیکون کارباید، به دست آمده با مدل نوسانگر رابطه ۵-۱ (خط توپر) مقایسه شده با داده های تجربی (نقاط توپر) گزارش شده توسط [۱۱۷]..... ۶۱

شکل ۵-۲) الف) فراشیکه در جهت $\Gamma-K$ برای یک موجبر بلور فوتونی W1 بر پایه سیلیکون کارباید با ثابت شبکه مثلثی a با حفره های هوا با شعاع $r=0.3a$. ب) و ج) مقایسه ساختارهای باند موجبر W1 شکل ۵-۲ الف با ثابت شبکه $a=1\mu m$ ، به ترتیب، محاسبه شده برای ثابت شبکه ثابت $n=2.5$ و ضریب شکست وابسته به فرکانس با مدل هارمونیک اسپلاتور داده شده با رابطه ۵-۱..... ۶۲

شکل ۵-۳) ساختار باند با قطبش TE برای موجبر W1 (پهنای موجبر $a=3^{1/2}$)..... ۶۳

شکل ۵-۴) وابستگی طول موج n_g و GVD برای مد اساسی زوج با قطبش TE برای الف) یک موجبر W1 متداول و ج) یک موجبر W1 تزریق شده با $n_f=1.8$. شکل پالس منتشر شونده در موجبر های مربوطه نیز در قسمت های ب) و د) نمایش داده شده اند..... ۶۴

شکل ۵-۵) الف) رابطه پاشندگی و ب) ضریب گروه مربوطه برای مد اساسی زوج برای موجبر W1 تزریق شده برای n_f های مختلف..... ۶۶

شکل ۵-۶) روابط پاشندگی (الف و ج) و ضرایب گروه مربوطه (ب و د) برای مد اساسی زوج مربوط به دو موجبر W1 تزریق شده با دو شعاع پس زمینه متفاوت: الف) و ب) $r=0.3a$ و ج) و د) $r=0.28a$. در حالی که شعاع حفره های هوا در گستره $0.26a \leq r_d \leq 0.36a$ تغییر می کند. ضریب شکست سیال نوری در تمامی موارد، ثابت نگاه داشته شده است..... ۶۷

شکل ۵-۷) الف) رابطه پاشندگی برای مدهای اساسی زوج برای موجبر W1 تزریق شده با $r_d=0.36a$ و $n_f=1.7$ زمانی که شعاع حفره های پس زمینه در گستره $0.25a \leq r \leq 0.36a$ تغییر می کند. ضرایب گروه مربوطه در شکل ب) برای $0.27a \leq r \leq 0.36a$ و ج) برای $255a \leq r \leq 0.265a$ و د) $r=0.25a$ نمایش داده شده اند. خط چین در قسمت د) GVD مربوطه را نمایش می دهد..... ۶۹

شکل ۵-۸) وابستگی طول موجی ضرایب گروه (n_g) برای دو موجبر تزریق شده با الف) $r_d=0.36a$ ، $r=0.25a$ و $1.45 \leq n_f \leq 1.95$ ب) $r_d=0.36a$ ، $r=0.28a$ و $1.6 \leq n_f \leq 1.95$ ج) $r_d=0.36a$ ، $r=0.28a$ و $1.45 \leq n_f \leq 1.55$ ۷۱

شکل ۵-۹) الف) رابطه پاشندگی و ب) ضریب گروه مربوطه برای مد اساسی زوج موجبر W1 تزریق شده که در آن حفره های هوا در ردیف های دوم با یک سیال نوری با ضریب شکست $n_2=1.8$ و حفره های ردیف دوم با سیال های نوری متفاوت n_{f1} پر شده اند..... ۷۲

شکل ۵-۱۰) شمای ساده ای از ساختار بلور فوتونی دو بعدی متشکل از میله های استوانه ای فلزی با شعاع r در یک شبکه ی مربعی با ثابت شبکه ی a در معرض تابش نوری با قطبش TM..... ۷۶

شکل ۵-۱۲) نمایش لگاریتمی بخش حقیقی و موهومی تابع دی الکتریک الف) مس و ب) آلومینیوم. نقاط لوزی و دایره ای شکل به ترتیب بیانگر داده های تجربی برای قسمت حقیقی و موهومی ضریب دی الکتریک و خطوط ممتد (قرمز) و خط چین (سبز) به ترتیب بیانگر تابع درود لورنس مربوطه برای قسمت حقیقی و موهومی تابع دی الکتریک هستند..... ۷۷

شکل ۵-۱۱) نمایش لگاریتمی بخش حقیقی و موهومی تابع دی الکتریک الف) نقره و ب) طلا. نقاط لوزی و دایره ای شکل به ترتیب بیانگر داده های تجربی برای قسمت حقیقی و موهومی ضریب دی الکتریک و خطوط ممتد (قرمز) و خط چین (سبز) به ترتیب بیانگر تابع درود لورنس مربوطه برای قسمت حقیقی و موهومی تابع دی الکتریک هستند..... ۷۷

شکل ۵-۱۴) نمایش لگاریتمی بخش حقیقی و موهومی تابع دی الکتریک الف) نیکل و ب) پالادیوم. نقاط لوزی و دایره ای شکل به ترتیب بیانگر داده های تجربی برای قسمت حقیقی و موهومی ضریب دی الکتریک و خطوط ممتد (قرمز) و خط چین (سبز) به ترتیب بیانگر تابع درود لورنس مربوطه برای قسمت حقیقی و موهومی تابع دی الکتریک هستند..... ۷۸

شکل ۵-۱۳) نمایش لگاریتمی بخش حقیقی و موهومی تابع دی الکتریک الف) بریلیوم و ب) کروم. نقاط لوزی و دایره ای شکل به ترتیب بیانگر داده های تجربی برای قسمت حقیقی و موهومی ضریب دی الکتریک و خطوط ممتد (قرمز) و خط چین (سبز) به ترتیب بیانگر تابع درود لورنس مربوطه برای قسمت حقیقی و موهومی تابع دی الکتریک هستند..... ۷۸

شکل ۵-۱۵) نمایش لگاریتمی بخش حقیقی و موهومی تابع دی الکتریک الف) پلاتینیوم و ب) تیتانیوم. نقاط لوزی و دایره ای شکل به ترتیب بیانگر داده های تجربی برای قسمت حقیقی و موهومی ضریب دی الکتریک و خطوط ممتد (قرمز) و خط چین (سبز) به ترتیب بیانگر تابع درود لورنس مربوطه برای قسمت حقیقی و موهومی تابع دی الکتریک هستند..... ۷۹

شکل ۵-۱۶) نمایش لگاریتمی بخش حقیقی و موهومی تابع دی الکتریک تنگستن. نقاط لوزی و دایره ای شکل به ترتیب بیانگر داده های تجربی برای قسمت حقیقی و موهومی ضریب دی الکتریک و خطوط ممتد (قرمز) و خط چین (سبز) به ترتیب بیانگر تابع درود لورنس مربوطه برای قسمت حقیقی و موهومی تابع دی الکتریک هستند..... ۷۹

شکل ۵-۱۷) ساختار باند بلور فوتونی دو بعدی متشکل از استوانه های فلزی از جنس آلومینیوم در هوا با ثابت شبکه $a = 20nm$ و شعاع $r = 0.35a$ ۸۱

شکل ۵-۱۸) اثر تغییر ثابت شبکه در نمودارهای الف) بازتاب، ب) گذار و ج) جذب در ساختار ده ردیفی استوانه های نقره در هوا با شعاع $r = 0.1a$ ۸۲

شکل ۵-۱۹) اثر تغییر ثابت شبکه در نمودارهای الف) بازتاب، ب) گذار و ج) جذب در ساختار ده ردیفی استوانه های طلا در هوا با شعاع $r = 0.1a$ ۸۳

شکل ۵-۲۰) اثر تغییر ثابت شبکه در نمودارهای الف) بازتاب، ب) گذار و ج) جذب در ساختار ده ردیفی استوانه های مس در هوا با شعاع $r = 0.1a$ ۸۴

شکل ۵-۲۱) اثر تغییر ثابت شبکه در نمودارهای الف) بازتاب، ب) گذار و ج) جذب در ساختار ده ردیفی استوانه های آلومینیومی در هوا با شعاع $r = 0.1a$ ۸۵

شکل ۵-۲۲) اثر تغییر ثابت شبکه در نمودارهای الف) بازتاب، ب) گذار و ج) جذب در ساختار ده ردیفی استوانه های بریلیومی در هوا با شعاع $r = 0.1a$ ۸۶

- شکل ۵-۲۳) اثر تغییر ثابت شبکه در نمودارهای الف) بازتاب، ب) گذار و ج) جذب در ساختار ده ردیفی استوانه های از جنس کروم در هوا با شعاع $r = 0.1a$ ۸۷
- شکل ۵-۲۴) اثر تغییر ثابت شبکه در نمودارهای الف) بازتاب، ب) گذار و ج) جذب در ساختار ده ردیفی استوانه های از جنس نیکل در هوا با شعاع $r = 0.1a$ ۸۸
- شکل ۵-۲۵) اثر تغییر ثابت شبکه در نمودارهای الف) بازتاب، ب) گذار و ج) جذب در ساختار ده ردیفی استوانه های از جنس پالادیوم در هوا با شعاع $r = 0.1a$ ۸۹
- شکل ۵-۲۶) اثر تغییر ثابت شبکه در نمودارهای الف) بازتاب، ب) گذار و ج) جذب در ساختار ده ردیفی استوانه های از جنس پلاتینیوم در هوا با شعاع $r = 0.1a$ ۹۰
- شکل ۵-۲۷) اثر تغییر ثابت شبکه در نمودارهای الف) بازتاب، ب) گذار و ج) جذب در ساختار ده ردیفی استوانه های از جنس تیتانیوم در هوا با شعاع $r = 0.1a$ ۹۱
- شکل ۵-۲۸) اثر تغییر ثابت شبکه در نمودارهای الف) بازتاب، ب) گذار و ج) جذب در ساختار ده ردیفی استوانه های از جنس تنگستن در هوا با شعاع $r = 0.1a$ ۹۲
- شکل ۵-۲۹) اثر تغییر شعاع استوانه های فلزی در نمودارهای الف) بازتاب، ب) گذار و ج) جذب در ساختار ده ردیفی استوانه های از جنس نقره در هوا با ثابت شبکه $a = 200nm$ ۹۴
- شکل ۵-۳۰) اثر تغییر شعاع استوانه های فلزی در نمودارهای الف) بازتاب، ب) گذار و ج) جذب در ساختار ده ردیفی استوانه های از جنس طلا در هوا با ثابت شبکه $a = 200nm$ ۹۵
- شکل ۵-۳۱) اثر تغییر شعاع استوانه های فلزی در نمودارهای الف) بازتاب، ب) گذار و ج) جذب در ساختار ده ردیفی استوانه های از جنس مس در هوا با ثابت شبکه $a = 200nm$ ۹۶
- شکل ۵-۳۲) اثر تغییر شعاع استوانه های فلزی در نمودارهای الف) بازتاب، ب) گذار و ج) جذب در ساختار ده ردیفی استوانه های از جنس آلومینیوم در هوا با ثابت شبکه $a = 200nm$ ۹۷
- شکل ۵-۳۳) اثر تغییر شعاع استوانه های فلزی در نمودارهای الف) بازتاب، ب) گذار و ج) جذب در ساختار ده ردیفی استوانه های از جنس بریلیوم در هوا با ثابت شبکه $a = 200nm$ ۹۸
- شکل ۵-۳۴) اثر تغییر شعاع استوانه های فلزی در نمودارهای الف) بازتاب، ب) گذار و ج) جذب در ساختار ده ردیفی استوانه های از جنس کروم در هوا با ثابت شبکه $a = 200nm$ ۹۹
- شکل ۵-۳۵) اثر تغییر شعاع استوانه های فلزی در نمودارهای الف) بازتاب، ب) گذار و ج) جذب در ساختار ده ردیفی استوانه های از جنس نیکل در هوا با ثابت شبکه $a = 200nm$ ۱۰۰
- شکل ۵-۳۶) اثر تغییر شعاع استوانه های فلزی در نمودارهای الف) بازتاب، ب) گذار و ج) جذب در ساختار ده ردیفی استوانه های از جنس پالادیوم در هوا با ثابت شبکه $a = 200nm$ ۱۰۱
- شکل ۵-۳۷) اثر تغییر شعاع استوانه های فلزی در نمودارهای الف) بازتاب، ب) گذار و ج) جذب در ساختار ده ردیفی استوانه های از جنس پلاتینیوم در هوا با ثابت شبکه $a = 200nm$ ۱۰۲

شکل ۵-۳۸) اثر تغییر شعاع استوانه های فلزی در نمودارهای الف) بازتاب، ب) گذار و ج) جذب در ساختار ده ردیفی استوانه های از جنس تیتانیوم در هوا با ثابت شبکه $a = 200nm$ ۱۰۳

شکل ۵-۳۹) اثر تغییر شعاع استوانه های فلزی در نمودارهای الف) بازتاب، ب) گذار و ج) جذب در ساختار ده ردیفی استوانه های از جنس تنگستن در هوا با ثابت شبکه $a = 200nm$ ۱۰۴

شکل ۵-۴۰) اثر تغییر شعاع استوانه های فلزی در نمودارهای الف) بازتاب، ب) گذار و ج) جذب در ساختار ده ردیفی استوانه های آلومینیومی در هوا با ثابت شبکه $a = 20nm$ ۱۰۶

شکل ۵-۴۱) اثر تغییر ثابت شبکه در نمودارهای الف) بازتاب، ب) گذار و ج) جذب در ساختار ده ردیفی استوانه های آلومینیومی در هوا با شعاع $r = 0.3a$ ۱۰۷

فهرست جدول ها

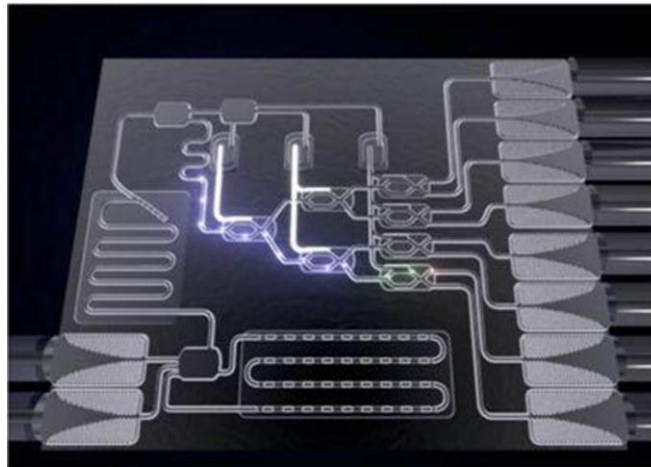
- جدول ۱-۱: مقایسه روش‌های متفاوت بر اساس پارامترهای گوناگون از جمله دما، فاکتور کاهش تاخیر، اتلاف، پهنای باند، سرعت و اندازه... ۱۱
- جدول ۱-۵: جزئیات ضرایب گروه رژیم نور کند (n_g) و پهنای باند صاف مربوطه ($\Delta\lambda$)، طول موج مرکزی (λ_c) و حاصل ضرب ضریب گروه در پهنای باند ($ng \times \Delta\lambda / \lambda_c$) برای مدهای مختلف نمایش داده شده در شکل ۵-۷. ۷۰
- جدول ۲-۵: جزئیات ضرایب گروه نور کند (n_g) و پهنای باند صاف مربوطه ($\Delta\lambda$)، فرکانس مرکزی (λ_c) و حاصل ضرب ضریب گروه در پهنای باند ($ng \times \Delta\lambda / \lambda_c$) برای مدهای نمایش داده شده در شکل ۶ الف. ۶۸
- جدول ۳-۵: مقادیر پارامترهای مدل درود لورنتز. ۷۵
- جدول ۴-۵: فرکانس پلاسمای فلزات مختلف ارائه شده در جدول ۵-۳. ۸۰

فصل ۱: سرآغاز

۱-۱- مقدمه

پس از اختراع لیزر به عنوان یک منبع همدوس نور، به طور همزمان با پیشرفت فناوری ساخت فیبر نوری شیشه‌ای، طراحی و ساخت منابع نوری همدوس و آشکارسازهای نوری پیشرفت چشمگیری داشته‌اند. این امر باعث شد تا استفاده از سامانه‌های ارتباطات نوری به طور روزافزون توسعه یابد. سامانه‌های ارتباطات نوری متداول، از اجزای نوری، اپتوالکترونیک یا الکترواپتیکی تشکیل شده است. روند توسعه فناوری ارتباطات نوری به سوی تمام‌نوری کردن تمام اجزای این سامانه‌ها است. در واقع تلاش بر این است که اجزاء الکترواپتیکی و اپتوالکترونیک سامانه‌های نوری نیز تا جای ممکن با افزاره‌های تمام‌نوری جایگزین شوند. استفاده از موجبرهای نوری در ساخت افزاره‌های تمام‌نوری منجر به پیشرفت‌های چشم‌گیر در سیستم‌های نوری شده است. مزیت‌های افزاره‌های تمام‌نوری در مقابل افزاره‌های اپتوالکترونیک عبارتند از: پهنای باند بسیار وسیع، تضعیف کم، نرخ خطای بسیار پایین، حجم و وزن کم، قابلیت مجتمع‌سازی در یک تراشه، قابلیت انعطاف زیاد، عدم نیاز به افزاره الکترونیک، ایمنی در مقابل تداخل امواج الکترومغناطیسی و ارزانی روز افزون. بنابراین پیشرفت سریع فناوری ارتباطات و همچنین نیاز به مجتمع‌سازی افزاره‌های فعال و غیر فعال در یک تراشه، استفاده از افزاره‌های تمام‌نوری را اجتناب ناپذیر می‌سازد. اگرچه انتقال اطلاعات در مخابرات نوری توسط فیبر نوری انجام می‌شود ولی تبدیل سیگنال‌های نوری به سیگنال‌های الکترونیک هنگام دریافت، ارسال، تقویت و مسیریابی سیگنال، موجب کاهش ظرفیت ارسال اطلاعات در این سامانه‌ها می‌شود. از طرفی افزایش تقاضای روز به روز استفاده از اینترنت برای ارسال انواع داده‌ها، در صورت اصلاح نشدن چنین سیستمی، طبق پیش‌بینی محققین، بحران جهانی در استفاده از اینترنت در سال ۲۰۱۵ به وجود خواهد آمد [۱]. استفاده از افزاره‌های تمام‌نوری جهت جلوگیری از تبدیل سیگنال‌های نوری به سیگنال‌های الکترونیک، راهکاری برای جلوگیری از این بحران است.

این افزاره‌ها نه تنها موجب افزایش سرعت شده بلکه با استفاده از نور کند در افزاره‌های نوری ابعاد افزاره نیز به طور چشمگیری کاهش می‌یابد. بنابراین توجه محققان در حال حاضر، طراحی تراشه فوتونیک بوده، که تمام اجزای تمام نوری آن هم چون مبدل طول موج، تقویت کننده، بازتولیدکننده سیگنال، مالتی پلکسر و دی‌مالتی پلکسر، اتصال دهنده‌ها در یک تراشه نوری باشد. نمونه‌ای از این تراشه تمام‌نوری در شکل ۱-۱ نشان



شکل ۱-۱) تراشه فوتونی تمام نوری [۱]

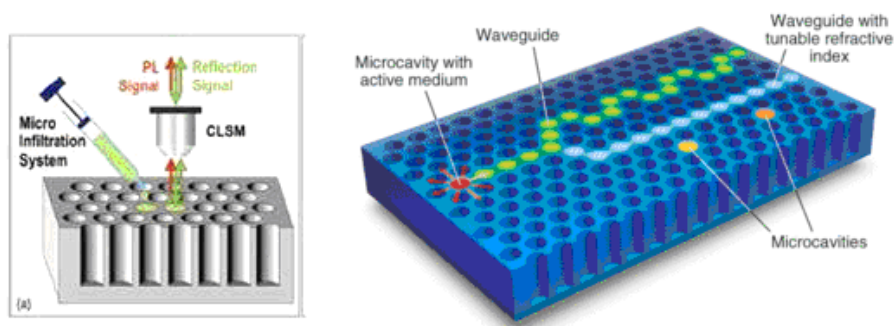
داده شده است.

به منظور طراحی تراشه تمام نوری، طراحی اجزاء تراشه به نحوی که با یکدیگر سازگار باشند بسیار مهم است. بلورهای فوتونی به دلیل قابلیت شگفت‌انگیز کنترل فوتون، قابلیت مجتمع‌سازی در یک تراشه، و راحتی ساخت، یکی از بسترهای لازم برای طراحی تراشه نوری است [۲].

استفاده از نور کند یکی از روش‌های موثر در کاهش آستانه آثار غیرخطی است که در سال‌های اخیر بسیار مورد توجه محققین بوده است [۳، ۴، ۵، ۶]. سرعت گروه سریع‌تر از سرعت نور [۷]، کندتر از سرعت نور [۸ و ۹]، نور متوقف شده [۱۰ و ۱۱] و سرعت منفی [۱۲] به طور تجربی نشان داده شده‌اند. مسئله مهم دیگر در طراحی افزاره‌های نوری قابل پیکره بندی بودن این افزاره‌ها است. همان گونه که می‌دانیم در الکترونیک روزمره

تراشه‌هایی همچون گیت‌های قابل برنامه‌ریزی توسط کامپیوتر کاربر همچون FPGA^۱ یافت می‌شود، که زمینه را برای بهینه‌سازی مدارها، طراحی سریع و انعطاف‌پذیری نرم‌افزاری فراهم آورده است. محققان در پی طراحی و ساخت تراشه فوتونی مانند مشابه الکترونیک آن هستند. تراشه فوتونی ایده‌آل است که امکان تغییر در اتصالات داخلی، به منظور انجام عملیاتی جدید برای کاربردهای جدید، فراهم کند. گرچه در حال حاضر به راحتی چنین چیزی عملی نیست اما می‌توان با ایده ساده زیر، تا حد زیادی به آن نزدیک شد. فرض کنید بستر سیلیکونی وجود

داشته باشد که سلول‌های مختلفی داشته باشد که بتوان آن را به دفعات به منظور پیاده‌سازی هر نوع مدار ترکیبی یا ترتیبی «ساده»، برنامه‌ریزی کرد. یکی از روش‌ها برای پیاده‌سازی این ایده استفاده از سیال نوری بوده که به صورت آزمایشگاهی بر روی تراشه^۲ مطرح شده است. شکل ۱-۲ نمونه Lab on chip را نشان می‌دهد [۱۳، ۱۴].



شکل ۱-۲) نمونه Lab on chip [۱۳]

¹ Field Programmable Gate Array

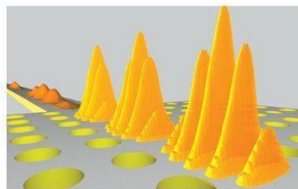
² Lab on chip

۱-۲- مروری بر نور کند

پدیده فیزیکی انتشار نور در محیطها و ساختارها با سرعت گروه کاهش یافته، نور کند نامیده می‌شود بنابراین در این محیطها و ساختارها سرعت گروه نور بسیار کمتر از سرعت نور در خلاء است.

نور طول ۳۰cm را در حدود ۱ns طی می‌کند. با این سرعت می‌توان در یک ثانیه ۷/۵ مرتبه دور کره زمین چرخید. این سرعت بالا برای انتقال داده‌ها بین دو نقطه بسیار مناسب است در حالی که کنترل داده‌ها برای این سرعت بسیار مشکل است. مفهوم نور کند روشی است که بر این مشکل فایق می‌آید. در مخابرات آینده، نودهای سوئیچ‌های بسته‌ای بسیار مهم هستند و برای این نودها انتقال داده‌ها با نرخ بیت بالا، توان مصرفی پایین، و بازدهی بسیار بالا مورد نیاز است. در حال حاضر مهندسی در حال تلاش برای طراحی روترهای فوتونیک بر اساس پردازشگرهای تمام‌نوری هستند. افزاره اصلی در این روترها، بافرهای تمام‌نوری برای ذخیره موقت داده‌ها است. این افزاره‌ها، زمان ارسال بسته‌های نوری را تنظیم می‌کنند. شکل ۱-۳ به صورت شمایی، شکل پالس نوری در ناحیه نور کند و سریع را نشان می‌دهد. (نور کند مربوط به درون ساختار بلور فوتونی است). همان‌گونه که در شکل ۱-۳ دیده می‌شود، با انتشار پالس نوری در ناحیه نور کند، پالس نوری در مکان فشرده و چگالی انرژی پالس افزایش می‌یابد. این پدیده به دلیل افزایش برهم کنش نور با ماده و با افزایش چگالی انرژی پالس موجب تقویت آثار غیرخطی و باعث کاهش ابعاد قطعه می‌شود [۴].

از نور کند، نه تنها در طراحی افزاره‌های تاخیری بلکه به عنوان طراحی لیزر، تقویت کننده، آشکارساز، مدوله‌کننده و مبدل طول موج با ابعاد بسیار کوچک استفاده می‌شود [۴].



شکل ۱-۳) نمای تقویت آثار غیرخطی در ناحیه نور کند [۵]