

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ



بسمه تعالی

تاییدیه اعضای هیات داوران حاضر در جلسه دفاع از رساله دکتری

آقای مجید ابن علی حیدری رساله ۲۴ واحدی خود را با عنوان مدل سازی و شبیه سازی نور کند در موجرهای کریستال فوتونی در تاریخ ۱۳۸۷/۶/۴ ارائه کردند. اعضای هیات داوران نسخه نهایی این رساله را از نظر فرم و محتوا تایید کرده و پذیرش آنرا برای تکمیل درجه دکتری مهندسی برق - الکترونیک پیشنهاد می کنند.

عضو هیات داوران	نام و نام خانوادگی	رتبه علمی	امضا
استاد راهنما	دکتر محمد کاظم مروج فرشی	استاد	
استاد مشاور	دکتر کریستل مونات		
استاد ناظر	دکتر محمد حکاک	استاد	
استاد ناظر	دکتر وحید احمدی	استاد	
استاد ناظر	دکتر احسان اله کبیر	استاد	
استاد ناظر	دکتر محمود شاه آبادی	دانشیار	
استاد ناظر	دکتر سینا خراسانی	رئیس هیات داوران	
نماینده شورای تحصیلات تکمیلی	دکتر وحید احمدی	استاد	



این نسخه به عنوان نسخه نهایی با پایگاه ملی رساله مورد تایید است.
 اعضای هیات داوران: احسان اله کبیر

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 باشد. تبصره: در مقالاتی که پس از دانش‌آموختگی 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 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 می‌شود.

نام و نام خانوادگی: مجید ابن علی حیدری

امضاء

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 فعالیتهای 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 **مهندسی برق** - **الکترونیک** است که در سال **۱۳۸۸** در دانشکده **مهندسی برق و کامپیوتر** دانشگاه تربیت مدرس به راهنمایی جناب آقای دکتر **محمد کاظم مروج فرشی**، مشاوره سرکار خانم دکتر کریستل 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 رابه 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 کتابهای عرضه شده نگارنده برای فروش، تأمین نماید.

ماده ۶: اینجانب **مجید ابن علی حیدری** دانشجوی رشته **مهندسی برق** مقطع **دکتری** تعهد فوق و ضمانت اجرایی آن را قبول کرده، به آن ملتزم می شوم.

نام و نام خانوادگی: **مجید ابن علی حیدری**

تاریخ و امضا: **۱۳۸۸/۶/۱۶**



دانشگاه تربیت مدرس
دانشکده مهندسی برق و کامپیوتر

رساله دوره دکتری مهندسی برق - الکترونیک

مدل سازی و شبیه سازی انتشار نور کند در موجبرهای
بلورهای فوتونی

مجید ابن علی حیدری

استاد راهنما:
دکتر محمد کاظم مروج فرشی

استاد مشاور:
دکتر کریستل مونات

شهریور ۸۸

تقدیم به

همسر فداکار و فرزند عزیزم

که بدون صبر و حوصله آنها این کار میسر نمی شد.

از راهنمایی‌های بی‌دریغ استاد ارجمندم جناب آقای دکتر محمد کاظم مروج فرشی که مرا در انجام این امر یاری نموده‌اند تشکر و قدرانی می‌کنم.

از خانم دکتر کریستل مونات و آقای دکتر کریشتن گریله که مرا در قسمت عملی و تئوری رساله کمک کردند تشکر می‌کنم.

از راهنمایهای علمی جناب آقای دکتر وحید احمدی در طول انجام رساله کمال تشکر را دارم.

چکیده

در این رساله رفتار پالس‌های نوری در ناحیه نور کند در موجبرهای بلورهای فوتونی شبیه‌سازی خواهد شد. مدیریت پاشندگی در ناحیه نور کند در بلور فوتونی با ایجاد نقص در بلور، توسط سیال نوری صورت گرفته است. سپس نشان داده می‌شود که با استفاده از این تکنیک، می‌توان بافرهای نوری طراحی کرد که میزان تاخیر آنها با تغییر ضریب شکست سیال نوری قابل تنظیم است. همچنین با استفاده از این روش سرعت گروه بین $c/30$ تا $c/110$ با پهنای نوار (λ) از 3nm تا 10nm حاصل شده است.

جهت اندازه‌گیری آثار غیرخطی در بلور فوتونی، انتشار پالس نوری در بلور فوتونی تیغه‌ای سیلیکونی به طور عملی اندازه‌گیری می‌شود. ناحیه نور کند با پاشندگی ناچیز در بلور فوتونی در ساختار عملی به صورت نقص در دوردیف اول نزدیک به هسته، تغییر مکان دو ردیف اول، در ضریب شکست وارد می‌شود. سپس رفتار انتشار پالس نوری در ناحیه نور کند با ضرایب گروه متفاوت اندازه‌گیری می‌شود. بر اساس داده‌های اندازه‌گیری شده نحوه وابستگی آثار غیرخطی خود مدوله شدگی فازی، جذب الکترون‌های آزاد، جذب دو فوتونی، و ترکیب چهارموج در ناحیه نور کند به ضریب گروه مدل سازی و شبیه‌سازی می‌شود. جهت شبیه‌سازی آثار غیرخطی پارامترهای γ و β_{TPA} با ضریب k^2 و α ، σ و k_c با ضریب k در معادله شرودینگر غیرخطی اصلاح خواهد شد. در ادامه با استفاده از مزایای ناحیه نور کند به بررسی بهینه‌سازی در تقویت اثر غیرخطی چهارموجی پرداخته می‌شود. در این فصل نقاط مناسب برای طول موج پمپ و پروب برای افزایش بازدهی ترکیب چهارموجی ارائه خواهد شد. با استفاده از مزایای نور کند در تقویت آثار غیرخطی شیوه طراحی قطعه بازتولیدکننده سیگنال ارائه می‌شود.

واژه‌های کلیدی: بلورهای فوتونی، سیم‌های فوتونی، نور کند، آثار غیرخطی، موجبر سیلیکونی، سیال

نوری، بازتولیدکننده سیگنال

فهرست مطالب

الف	صفحه عنوان
د	چکیده
ه	فهرست مطالب
ح	فهرست جدول ها
ط	فهرست شکل ها

فصل ۱: مقدمه

۴	۱-۱- مروری بر نور کند
۷	۲-۱- معیارهای مقایسه در ایجاد نور کند
۱۴	۳-۱- ساختار پایان نامه

فصل ۲: بلورهای فوتونی

۱۶	۱-۲- مروری بر بلورهای فوتونی
۱۷	۲-۲- افزاره های طراحی شده با استفاده از بلور فوتونی
۱۸	۳-۲- معادلات حاکم بر بلور های فوتونی
۲۰	۴-۲- مدل سازی بلورهای فوتونی
۲۲	۵-۲- روش های عددی در تحلیل بلور های فوتونی
۲۲	۱-۵-۲ روش بسط امواج تخت
۲۳	۲-۵-۲ روش تفاضل های متناهی در حوزه زمان (FDTD)
۲۴	۳-۵-۲ روش فوریه با گام های مجزا (SSFM)
۲۸	۶-۲- ساختار نوار در بلور فوتونی
۲۸	۱-۶-۲ ساختار نوار برای بلورهای فوتونی یک بعدی
۳۰	۲-۶-۲ ساختار نوار برای بلورهای فوتونی دو بعدی
۳۲	۳-۶-۲ ساختار نوار برای بلور فوتونی تیغه ای

فصل ۳: مهندسی پاشندگی در ناحیه نور کند

- ۳۶ ۱-۳- سیال نوری
- ۳۷ ۲-۳- میکرو فلودیک برای استفاده در روش سیال نوری
- ۳۹ ۳-۳- ناحیه نور کند با پاشندگی ناچیز در بلور فوتونی با تزریق سیال نوری

فصل ۴: وابستگی آثار غیرخطی در ناحیه نور کند به ضریب گروه

- ۵۴ ۱-۴ آثار غیرخطی در موجبر سیلیکونی
- ۵۴ ۱-۱-۴ خود مدوله شدگی فازی (SPM)
- ۵۴ ۲-۱-۴ مدوله سازی فاز متقابل (XPM)
- ۵۵ ۳-۱-۴ ترکیب چهارموج (FWM)
- ۵۶ ۴-۱-۴ پراکندگی القایی رامان (SRS)
- ۵۷ ۵-۱-۴ جذب دو فوتونی (TPA)
- ۵۷ ۶-۱-۴ جذب الکترون‌های آزاد (FCA)
- ۵۸ ۲-۴ تقویت آثار غیرخطی در ناحیه نور کند
- ۶۱ ۳-۴ مهندسی بلور فوتونی جهت ایجاد ناحیه نور کند در ساختار عملی
- ۶۵ ۴-۴ نتایج شبیه‌سازی و آزمایش‌های عملی

فصل ۵: تقویت اثر غیرخطی ترکیب چهار موجی در ناحیه نور کند

- ۸۶ ۱-۵ نتایج شبیه سازی
- ۹۰ ۲-۵ طراحی باز تولید سیگنال تمام نوری توسط FWM در ناحیه نور کند بلور فوتونی

فصل ۶: نتیجه‌گیری و پیشنهادها

- ۱۰۰ ۱-۶ نتیجه‌گیری
- ۱۰۱ ۲-۶ پیشنهادها
- ۱۰۲ مراجع
- ۱۱۱ پیوست‌ها

۱۱۲

پیوست ۱: واژگان از فارسی به انگلیسی

۱۱۳

پیوست ۲: واژگان از انگلیسی به فارسی

۱۱۴

پیوست ۳: فهرست نمادها

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
۱۲
- جدول ۱-۴ پارامترهای تجربی مورد استفاده در طراحی موجبرهای بلور فوتونی
۶۲
- جدول ۲-۴: پارامترهای به کار رفته در شبیه‌سازی
۶۷
- جدول ۱-۵: پارامترهای به کار رفته در موجبرهای مورد استفاده در شبیه‌سازی
۸۵

فهرست شکل‌ها

- شکل ۱-۱ تراشه فوتونی تمام نوری ۲
- شکل ۱-۲ نمونه Lab on chip ۴
- شکل ۳-۱ شمای تقویت آثار غیرخطی در ناحیه نور کند ۵
- شکل ۴-۱ افزاره دو دهنه‌ای با استفاده از عملکرد نور کند ۵
- شکل ۵-۱ کاربرد نور کند در زمینه‌های گوناگون ۱۴
- شکل ۱-۲ بلور فوتونی. (الف) یک بعدی (ب) دو بعدی (ج) سه بعدی ۱۷
- شکل ۲-۲ نحوه گسسته سازی فضای دوبعدی در روش تفاضل های متناهی برای قطبش TE ۲۴
- شکل ۳-۲ نمودار مورد استفاده در شبیه‌سازی به روش SSFM ۲۷
- شکل ۴-۲ 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 و ناهمگن هستند ۲۹
- شکل ۵-۲ شمای بلور فوتونی دو بعدی مثلثی حفره‌ای در فضای مکان (شکل بالا) و در فضای وارون (شکل پایین). (ب) پهناى نوار ساختار شکل الف برای قطبش TE (نقاط مشکی) و قطبش TM (نقاط آبی) ۳۱
- شکل ۶-۲ شمای بلور فوتونی دو بعدی مثلثی میله‌ای در مکان. (ب) پهناى نوار ساختار شکل الف برای قطبش TE (نقاط مشکی) و قطبش TM (نقاط آبی). ۳۱
- شکل ۷-۲ شمای بلور فوتونی تیغه‌ای در فضای مکان (شکل بالا) و در فضای وارون (شکل پایین). (ب) پهناى نوار ساختار شکل الف برای قطبش TE (نقاط قرمز) و قطبش TM (نقاط آبی) ۳۲
- شکل ۸-۲ پهناى نوار موجر بلور فوتونی تیغه‌ای سیلیکانی با نقص خطی در جهت Γ -K ۳۴
- شکل ۱-۳ (الف) تصویر تراشه فوتونی سیال نوری با استفاده از میکروفلوئیدیک‌های گوناگون (ب) یک تصویر کلی جهت پیاده‌سازی افزاره سیال نوری که شامل ۳ لایه است (۱) کنترل سیال نوری (۲) نوع میکروفلوئیدیک (۳) بستر سیال نوری ۳۷

شکل ۳-۲ تصویر افزاره فوتونی سیال نوری با استفاده از میکروفلوئیدیک در بلور فوتونی یک بعدی ۳۸

شکل ۳-۳ نمونه‌ای از مجموعه آزمایشگاهی CUDOS جهت پر کردن بلور فوتونی توسط میکروفلوئید ۳۸

شکل ۳-۴ تصویر بلور فوتونی توسط مجموعه ۱-۳ ۳۸

شکل ۳-۵ تصویر میکروتریپ جهت پر کردن بلور فوتونی توسط مجموعه ۱-۳ ۳۹

شکل ۳-۶ ساختار نوار به روش 3D-PWM، خطوط قرمز، و 2D-FDTD، نقاط آبی رنگ، برای بلور فوتونی تیغه‌ای W09 حفره‌ای با شبکه مثلثی، ثابت شبکه، $a=420$ nm، شعاع حفره $r=0/3a$ و قطبش TE. ۴۱

شکل ۳-۷ پاشندگی مرتبه ۲ (آبی) و ضریب گروه (سبز) برای مد زوج اصلی بلور فوتونی تیغه‌ای W09، با ثابت شبکه، $a=420$ nm، شعاع حفره $r=0/3a$ و قطبش TE ۴۱

شکل ۳-۸ ساختار نوار به روش 3D-PWM، خطوط قرمز، و 2D-FDTD، نقاط آبی رنگ، برای بلور فوتونی تیغه‌ای W09 پر شده با سیال، با ثابت شبکه، $a=420$ nm، شعاع حفره $r=0/3a$ و قطبش TE. گوشه سمت چپ شکل شمای ساده بلور فوتونی پر شده با سیال فوتونی را نشان می‌دهد. ۴۲

شکل ۳-۹ پاشندگی مرتبه ۲ (آبی) و ضریب گروه (سبز) برای مد زوج بلور فوتونی تیغه‌ای W09 پر شده با سیال نوری با ثابت شبکه، $a=420$ nm، شعاع حفره $r=0/3a$ و قطبش TE ۴۳

شکل ۳-۱۰ ساختار نوار مد زوج اصلی برای بلور فوتونی تیغه‌ای W09 پر شده با سیال نوری با ضریب شکست بین $1/75$ و $1/95$ با ثابت شبکه، $a=420$ nm، شعاع حفره $r=0/3a$ و قطبش TE. ۴۵

شکل ۳-۱۱ ضریب گروه برای مد زوج اصلی بلور فوتونی تیغه‌ای W09 پر شده با سیال نوری با ضریب شکست بین $1/75$ و $1/95$ با ثابت شبکه، $a=420$ nm، شعاع حفره $r=0/3a$ و قطبش TE ۴۵

شکل ۳-۱۲ حاصلضرب ضریب گروه در پهنای نوار با ضریب شکست ثابت با تغییرات یک درصد، در بلور فوتونی تیغه‌ای باتلورانس ده درصدی شعاع حفره‌ها و جبران خطا با استفاده از سیال نوری با ضریب شکست متفاوت ۴۷

شکل ۳-۱۳ حاصلضرب ضریب گروه در پهنای نوار با ضریب شکست ثابت با تغییرات پنج درصد، در بلور فوتونی تیغه‌ای باتلورانس ده درصدی شعاع حفره‌ها و جبران خطا با استفاده از سیال نوری با ضریب شکست متفاوت ۴۷

شکل ۳-۱۴ ضریب گروه مد اصلی زوج برای بلور فوتونی تیغه‌ای W09 پرشده با سیال نوری با مشخصات چهار نقطه سفید در شکل ۳-۱۳

شکل ۳-۱۵ شمای موجبر بلور فوتونی مورد استفاده در شبیه‌سازی و ناحیه میانی بلور فوتونی تیغه‌ای است که طول آن به اندازه ۷ دوره تناوب با ثابت شبکه $a_c=480\text{ nm}$ است ۵۰

شکل ۳-۱۶ طیف انتقال موجبر نشان داده شده در شکل ۳-۱۵ حاصل از شبیه سازی سه بعدی FDTD نشان می‌دهد. منحنی سبز رنگ بیانگر انتقال نور درون موجبر بدون حضور ناحیه میانی و منحنی آبی رنگ در حضور ناحیه میانی است. منحنی قرمز و منحنی نقطه چین آبی به ترتیب نشان دهنده ضریب گروه حاصله از روش 3D-PWM و 3D-FDTD است ۵۱

شکل ۴-۱ نحوه ایجاد FWM توسط دو فرکانس f_1 و f_2 ۵۵

شکل ۴-۲ پراکندگی القایی رامان ۵۶

شکل ۴-۳ شمای نحوه فشردگی مکانی پالس از ناحیه نور سریع (آبی) به ناحیه نور کند (قرمز) (ب) نمایش ورود نور از سیم نانویی به بلور فوتونی با $n_g=20$ ۵۹

شکل ۴-۴ ضریب گروه اندازه‌گیری شده برای چهار موجبر با مشخصات جدول ۴-۱. ۶۲

شکل ۴-۵ شمای (الف) ساختار موجبر سیلیکونی و موجبر بلور فوتونی به همراه ابعاد (ب) شمای ساده نحوه جفت شدگی نور درون موجبر تیغه‌ای (شکل بالا) شمای SEM ساختار بلور فوتونی، موجبر سیلیکونی، و سیم نانویی سیلیکونی مورد استفاده در آزمایش عملی ۶۲

شکل ۴-۶ (الف) مدار مورد استفاده در آزمایش عملی (ب) بخشی از مجموعه آزمایشگاهی (ج) طیف انتقال و ضریب گروه برای بلور فوتونی با $S_1=52\text{ nm}$ ، $S_2=0\text{ nm}$ ، و طول $80\text{ }\mu\text{m}$ ۶۴

شکل ۴-۷ نتیجه اندازه‌گیری شده طیف انتقالی (الف) موجبر سیلیکونی (ب) سیم فوتونی با تغییر توان ورودی از ۲ الی ۲۳۵ وات ۶۷

شکل ۴-۸ (الف-د) طیف خروجی سیگنال نور در چهار موجبر بلور فوتونی با سرعت گروه بین $c/20$ الی $c/50$ ۶۸

شکل ۴-۹ نمایش اثر مخالف SPM بر اساس FC (الف) جابجایی فاز (ب) جابجایی فرکانس. منحنی آبی برای SPM و منحنی قرمز جهت FC. پوش پالس با منحنی سبز رنگ نمایش داده شده است. ۶۹

شکل ۴-۱۰ مقایسه نتایج شبیه‌سازی (ستون سمت چپ) با نتایج عملی (ستون سمت راست) با
نمایش دو بعدی پهن شدگی طیفی سیگنال خروجی با افزایش توان ورودی برای ضریب
گروه‌های $n_g=20, 30, 40, 50$

شکل ۴-۱۱ اثر حامل‌های آزاد در جابجایی طول موج. علامت ستاره، نقطه چین قرمز، و نقطه چین
آبی به ترتیب بیانگر اندازه‌گیری تجربی، نتایج شبیه‌سازی با در نظر گرفتن اثر FC و
بدون در نظر گرفتن اثر FC می‌باشند

شکل ۴-۱۲: متوسط توان خروجی بر حسب بیشینه توان جفت برای موجبرهای مختلف به دست
آمده از اندازه‌گیری تجربی (ستاره‌ها و دایره‌های رنگی) و نتایج شبیه‌سازی (نقاط نقطه
چین)

شکل ۴-۱۳ نتایج عملی پهن شدگی طیفی (الف) بر حسب پارامتر انحراف قدرمطلق میانگین طول
موج از طول موج مرکزی $\langle |\lambda - \lambda_0| \rangle$ (ب) میزان جابجایی طول موج پالس خروجی از
طول موج مرکزی انحراف میانگین $\langle \lambda - \lambda_0 \rangle$ بر حسب توان ورودی در موجبرها با ضریب
شکست گوناگون

شکل ۴-۱۴ نتایج شبیه‌سازی پهن شدگی طیفی بر حسب پارامتر انحراف قدرمطلق میانگین طول
موج از طول موج مرکزی $\langle |\lambda - \lambda_0| \rangle$ بر حسب توان ورودی در موجبرها با ضریب شکست
گوناگون

شکل ۴-۱۵ نتایج عملی (ستاره قرمز) و شبیه‌سازی (خطوط خطچین) پهن شدگی طیفی بر حسب
پارامتر انحراف قدرمطلق میانگین طول موج از طول موج مرکزی $\langle |\lambda - \lambda_0| \rangle$ بر حسب
توان ورودی در حضور همزمان اثرات TPA و FC (خط قرمز) تنها اثر TPA (خط آبی) و
عدم حضور TPA و FCA (خط قهوه‌ای) در موجبرها با ضریب شکست گوناگون

شکل ۵-۱ شمای FWM نیمه تبهگن در ساختار بلور فوتونی

شکل ۵-۲ رابطه بین بهره و اختلاف طول موج پروب و پمپ برای حالتی که مقدار β_4 قابل صرف نظر
است

شکل ۵-۳ ضریب گروه برای بلور فوتونی (الف) بدون مهندسی پاشندگی (ب) پر شده با سیالی با
ضریب شکست $1/85$ در دو ردیف اول

شکل ۵-۴ پاشندگی مرتبه ۲ (آبی) و پاشندگی مرتبه ۴ (سبز) (الف) بلور فوتونی بدون مهندسی
پاشندگی (ب) برای بلور فوتونی با سیال نوری پر شده با ضریب شکست $1/85$

شکل ۵-۵ کارایی تبدیل ایدلر، G_{idler} ، بر حسب طول موج‌های مختلف پمپ و نانتظیمی پروب در بلور فوتونی (الف) بدون مهندسی پاشندگی (ب) پر شده با سیال نوری پر شده با ضریب شکست ۱/۸۵

شکل ۵-۶ ضریب گروه (سمت چپ) و کارایی تبدیل FWM (سمت راست)، G_{idler} ، بر حسب طول موج‌های مختلف پمپ و نانتظیمی پروب در بلورهای فوتونی نور کند با (الف-ب) $r/a=0/31$ (ج-د) $r/a=0/32$ (و-ه) $r/a=0/33$

شکل ۵-۷ (الف) کارایی تبدیل FWM بر حسب نانتظیمی پروب برای موجبرهای مختلف با ضریب گروه‌های گوناگون ۳۰، ۴۰، ۴۷، ۶۶، $n_g=3/5$ موجبر تیغه‌ای سیلیکونی و موجبر نانوسیم به عنوان مرجع در نظر گرفته شده است. (ب) نمای طیف خروجی با طول موج‌های مختلف سیگنال پروب و طول موج ثابت سیگنال پمپ، $1565/8$ nm در بلور فوتونی با ضریب گروه ۳۱

شکل ۵-۸ وابستگی توان ایدلر به توان سیگنال ورودی پمپ در ضریب شکست‌های گروه مختلف از شکل ۵-۷ در نانتظیمی پروب (الف) $2,5$ nm (ب) 4 nm

شکل ۵-۹ (الف) نتایج شبیه‌سازی کارایی FWM بر حسب توان ورودی در حضور همزمان کلیه اثرات غیرخطی (نقاط آبی) تنها اثر TPA (نقاط قرمز) و عدم حضور TPA و FCA (دایره قرمز) در موجبر برای $n_g=66$ با طول موج پمپ $1519/6$ nm (ب) وابستگی G_{idler} به طول موج سیگنال پمپ بر حسب نانتظیمی پروب طول موج سیگنال پمپ در مقدار مختلف 1517 nm، 1518 nm، $1518/5$ nm، 1519 nm، و $1519/6$ nm برای $n_g=66$

شکل ۵-۱۰ مقایسه باز تولید کننده سیگنال (الف) الکترواپتیکی (ب) تمام نوری

شکل ۵-۱۱ نحوه (الف) شکل دهی، (ب) تقویت و (ج) حذف جیتر زمانی توسط افزاره باز تولید کننده سیگنال تمام نوری

شکل ۵-۱۲ منحنی تابع توان به شکل S به منظور طراحی افزاره باز تولید سیگنال نوری

شکل ۵-۱۳ نحوه استخراج سیگنال ایدلر جهت افزاره باز تولید سیگنال توسط FWM

شکل ۵-۱۴ (الف) شکل گیری طیف سیگنال‌های پمپ، پروب، و ایدلر در بلور فوتونی با ضریب گروه ۳۱ بر حسب افزایش توان سیگنال پمپ (ب) وابستگی شدت توان ایدلر به توان سیگنال ورودی پمپ در نانتظیمی طول موج میانی فیلتر متفاوت. پارامترهای طول موج پمپ ($\lambda_{pump}=1565/8$ nm) و طول موج پروب ($\lambda_{pump}=1569/8$ nm) و طول بلور فوتونی $80 \mu m$ در نظر گرفته شده است. شکل سیگنال پمپ و پروب بر مبنای شکل ۵-۱۴ است

شکل ۵-۱۵ وابستگی شدت توان ایدلر به توان سیگنال ورودی پمپ (الف) در نانتنظیمی طول موج میانی فیلتر $\Delta\lambda_f=0/1,0/3,0/9nm$ به ترتیب برای موجبرهای موجبر تیغه‌ای، بلورهای فوتونی با ضریب گروه ۳۱، $n_g=66$ (ب) در نانتنظیمی طول موج میانی فیلتر برابر $0/3nm$ با پهنای باند فیلتر برابر $BP_W=0/3 nm$

شکل ۵-۱۶ نحوه استخراج سیگنال ایدلر جهت افرازه بازتولید سیگنال 3R توسط FWM

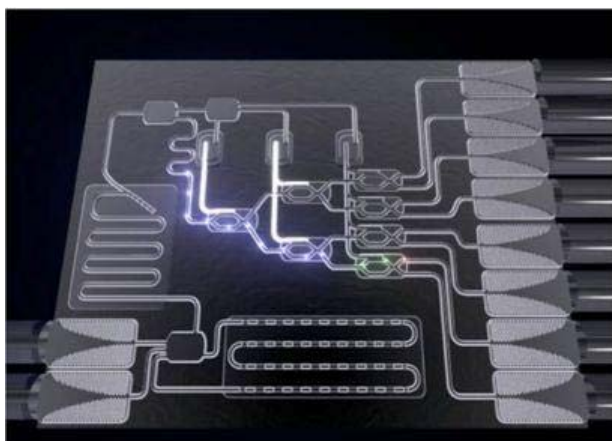
شکل ۵-۱۷ (الف) شکل گیری طیف سیگنال‌های پمپ، پروب، و ایدلر در بلور فوتونی با ضریب گروه ۳۱ بر حسب افزایش توان سیگنال پمپ (ب) وابستگی شدت توان ایدلر به توان سیگنال ورودی پمپ در نانتنظیمی طول موج میانی فیلتر متفاوت. پارامترهای طول موج پمپ ($\lambda_{pump}=1565/8nm$) و طول موج پروب ($\lambda_{pump}=1569/8nm$) و طول بلور فوتونی $80\mu m$ در نظر گرفته شده است. شکل سیگنال پمپ و پروب بر مبنای شکل ۵-۱۶ است ۹۹

فصل ۱

مقدمه

پس از اختراع لیزر به عنوان یک منبع همدوس نور، به‌طور 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 به‌طور روزافزون توسعه یابد. سامانه‌های ارتباطات نوری متداول، از اجزای نوری، اپتوالکترونیکی 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 اپتوالکترونیکی سامانه‌های نوری نیز حتی الامکان 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 اپتوالکترونیکی 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 الکترونیکی، ایمنی در مقابل تداخل امواج الکترومغناطیسی و ارزانی روز افزون. بنابراین پیشرفت سریع فناوری ارتباطات و همچنین نیاز به مجتمع‌سازی افزاره‌های اکتیو و پسیو در یک تراشه، استفاده از افزاره‌های تمام‌نوری را اجتناب‌ناپذیر می‌سازد. اگرچه انتقال اطلاعات در مخابرات نوری توسط فیبر نوری انجام می‌شود ولی تبدیل سیگنال‌های نوری به سیگنال‌های الکترونیکی 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 جهت 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 الکترونیکی، 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. لذا توجه محققان در حال حاضر، طراحی تراشه فوتونیکی بوده، که تمام اجزای تمام نوری آن همچون مبدل طول موج، تقویت کننده، بازتولیدکننده سیگنال، مالتی پلکسر و دی‌مالتی پلکسر، اتصال‌دهنده‌ها در یک تراشه نوری باشد. نمونه‌ای از این تراشه تمام‌نوری در شکل ۱-۱ نشان داده شده است.



شکل ۱-۱ تراشه فوتونیکی تمام نوری [۲]

به منظور طراحی تراشه تمام نوری، طراحی اجزاء تراشه به نحوی که با یکدیگر سازگار باشند بسیار مهم است. بلورهای فوتونیکی به دلیل قابلیت شگفت‌انگیز کنترل فوتون، قابلیت مجتمع‌سازی در یک تراشه، و راحتی ساخت، یکی از بسترهای لازم جهت طراحی تراشه نوری است [۳]. در این رساله با بهره‌گیری از نور غیرخطی در ناحیه نور کند و استفاده از بلورهای فوتونیکی سعی در کوچک‌سازی ابعاد و کاهش آستانه توان غیرخطی افزاره تمام‌نوری پرداخته خواهد شد.

نور غیرخطی یکی از موضوعات با کاربرد فراوان در سامانه‌های مخابراتی، مدارهای مجتمع نوری و الکترونیک نوری است. در نور غیرخطی، نور توسط محیط کنترل می‌شود و امکان طراحی افزاره‌های تمام نوری با استفاده از نور غیرخطی وجود دارد. از مشکلات اساسی افزاره‌های تمام نوری توسط نور غیرخطی، نیاز به توان بسیار بالا برای ایجاد آثار غیرخطی است [۴-۵]. بنابراین کاهش آستانه توان