

سلام الاضلاع



بسمه تعالی

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

خانم سارا بخشی پایان نامه ۹ واحدی خود را با عنوان طراحی و شبیه سازی نانو سویچ
ماخ زندر مبتنی بر بلور فتونی با تزریق سیال نوری در تاریخ ۱۳۸۹/۱۲/۱۵
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.

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

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 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 خواهد بود.



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 الکترونیک است که در سال ۸۹ در دانشکده برق و کامپیوتر دانشگاه تربیت مدرس به راهنمایی جناب آقای دکتر محمد کاظم مروج فرشی، مشاوره جناب آقای دکتر مجید ابن علی حیدری 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.

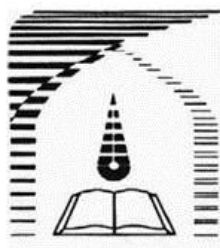
ماده ۴: در صورت عدم رعایت ماده ۳، ۵۰٪ بهای شمارگان چاپ شده را به عنوان خسارت به دانشگاه تربیت مدرس، تأدیه کند.

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 کتابهای عرضه شده نگارنده برای فروش، تامین نماید.

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

نام و نام خانوادگی: سارا بخشی

تاریخ و امضا: 



دانشگاه تربیت مدرس
دانشکده برق و کامپیوتر

پایان نامه دوره کارشناسی ارشد مهندسی برق - الکترونیک

طراحی و شبیه سازی سویچ ماخ-زندر مبتنی بر فتونیک کریستال با تزریق سیال

سارا بخشی

استاد راهنما:

پروفسور محمد کاظم مروج فرشی

استاد مشاور:

دکتر مجید ابن علی حیدری

اسفند ۱۳۸۹

در اینجا لازم است از زحمات بی دریغ جناب آقای دکتر محمد کاظم مروج فرشی که استاد راهنمایی و جناب آقای دکتر مجید ابن علی که استاد مشاور من را به عهده داشتند و با راهنمایی‌های خود مرا در انجام این پایان نامه یاری داده‌اند تشکر کنم.

از جناب آقای دکتر وحید احمدی و جناب آقای دکتر نصرت الله گرانپایه که اطلاعات مفید و گرانقدری را در طول تحصیل در کلاس‌های ایشان کسب کرده‌ام و با صبر و حوصله نظرات ارزشمندشان را در اختیار من قرار داده‌اند تشکر می‌نمایم.

از خانواده‌ی عزیزم که با پشتیبانی‌های همه‌جانبه‌ی خود همیشه به من دلگرمی دادند نیز کمال تشکر را دارم.

در انتها نیز از دوستان خوبم که در این سال‌ها با محبت‌های خود مرا یاری دادند تشکر می‌کنم.

چکیده

در این پایان نامه طراحی و شبیه‌سازی سوییچ تمام نوری ماخ‌زندر مبتنی بر کریستال‌های فوتونی با روش تزریق سیال نوری ارائه شده است. برای طراحی این سوییچ برای ایجاد شیف‌ت فاز از اثرات غیر خطی در یک بازوی ماخ‌زندر بهره گرفته شده است. برای افزایش این اثر که موجب کوچک شدن اندازه‌ی قطعه و پایین آمدن توان مورد نیاز برای اعمال آن می‌شود، ساختار نور کند طراحی شده است. ساختارهای نور کند با کم کردن سرعت گروه نور باعث افزایش برهم‌کنش نور با محیط اطراف شده و تاثیر اثرات غیر خطی را بیشتر می‌کنند. افزایش اثرات غیر خطی ناشی مخربی بر روی پاشندگی نور عبوری از موج‌بر خواهند داشت بنابراین در اینجا علاوه بر کند کردن سرعت گروه نور، مهندسی پاشندگی نیز در بازوها صورت گرفته است. از آنجایی که از خمش‌های 60° برای طراحی این سوییچ استفاده‌ی زیادی می‌شود تلفات توان بسیار بالا خواهد بود. برای کم کردن این تلفات و افزایش پهنای باند در موج‌برهای خمیده نیز ساختار جدیدی ارائه شده است. لازم به ذکر است در این طراحی برای اجتناب از خطای فرایند ساخت قطعه که اجتناب ناپذیر می‌باشد در تمام مراحل مانند طراحی خم بهینه، طراحی ساختار نور کند و مهندسی پاشندگی در بازوهای سوییچ از تزریق انتخابی سیال نوری استفاده شده است.

طراحی این سوییچ در یک فوتونیک کریستال با شبکه‌ی مثلثی صورت گرفته است. این شبکه دارای دوره تناوب $a = 420 \text{ nm}$ و $r = 0.3 a$ است. سرعت گروه نور در این بازوهای این سوییچ تا $c/16/6$ کاهش یافته و پاشندگی بسیار ناچیز نیز در این سرعت گروه بدست آمده است. در موج‌برهای خمیده‌ی این سوییچ نیز پهنای باند با استفاده از اثرات غیر خطی تا 142 nm افزایش یافته است. سرعت این سوییچ برابر 25 GHz است که در مقایسه با سوییچ‌های الکترو نوری و گرما نوری دارای سرعت بالاتری است.

واژه‌های کلیدی: کریستال فوتونی، گاف انرژی فوتونی، سیال نوری، نور کند، نمودار پاشندگی،

خمش 60° ، موده‌های موج‌برهای GK و GM، سوییچ ماخزندر

فهرست مطالب

عنوان.....	شماره صفحه
چکیده.....	أ
فهرست مطالب.....	ط
فهرست شکل‌ها و جداول.....	ه
مقدمه.....	۱
فصل ۱.....	۳
۱-۱- زمین‌های تاریخی.....	۳
۲-۱- معرفی بلورهای فوتونی.....	۵
۳-۱- پارامترهای مهم در عملکرد بلورهای فوتونی.....	۸
۴-۱- مروری بر ابزارهای محاسباتی بلورهای فوتونی.....	۹
۱-۴-۱- مقدمه‌ای بر معادلات ماکسول.....	۹
۲-۴-۱- مواد غیر خطی.....	۱۱
۳-۴-۱- محاسبه‌ی ساختار نوار به روش بسط امواج تخت.....	۱۳
۴-۴-۱- تحلیل انتشار نور به روش تفاضل محدود در حوزه‌ی زمان.....	۱۶
۵-۱- ساختار نوار در بلور فوتونی.....	۲۰
۱-۵-۱- ساختار نوار برای بلورهای فوتونی یک بعدی.....	۲۰
۲-۵-۱- ساختار نوار برای بلورهای فوتونی دو بعدی.....	۲۱
۳-۵-۱- ساختار نوار برای بلور فوتونی تیغه‌ای.....	۲۳
۶-۱- زمین‌های کاربرد کریستال فوتونی.....	۲۵
۱-۶-۱- ساختارهای موج‌بری.....	۲۶

۲۷	..... تولید لیزر	۲-۶-۱
۲۷	..... فیلترها	۳-۶-۱
۲۸	..... فیبرهای نوری	۴-۶-۱
۲۹	..... محدوده‌ی پاشندگی	۵-۶-۱
۳۰	..... مدارات فعال	۶-۶-۱
۳۱	.....	فصل ۲
۳۱	..... سیال نوری	۱-۲
۳۲	..... استفاده از ریز سیال در سیال نوری	۲-۲
۳۳	..... استفاده از ریز سیال در بلورهای فوتونی	۳-۲
۳۵	..... چگونگی تزریق سیال نوری	۴-۲
۳۶	..... کاربرد ریز سیال نوری در ایجاد نور کند در بلور فوتونی	۵-۲
۳۷	..... مروری بر نور کند	۱-۵-۲
۴۰	..... معیارهای مقایسه در ایجاد نور کند	۲-۵-۲
۴۵	.....	فصل ۳
۴۵	..... بررسی عبور نور از موج‌بر خمیده	۱-۳
۵۰	..... طراحی موج‌بر خمیده‌ی بهینه	۲-۳
۵۴	..... تطبیق مودها با تغییر ضریب شکست سیال نوری	۱-۲-۳
۵۶	..... تطبیق مودها با تغییر شعاع حفره	۲-۲-۳
۵۹	..... تطبیق مودها با اثر غیر خطی	۳-۲-۳
۶۲	..... نتیجه‌گیری	۳-۳
۶۴	.....	فصل ۴
۶۴	..... مقدمه‌ای بر سویچ نوری	۱-۴

۶۵	..... ۱-۱-۴ انواع سویچ‌های نوری
۶۸	..... ۲-۱-۴ نحوه‌ی عملکرد سویچ ماخ‌زندر
۷۲	..... ۲-۴ طراحی سویچ تمام نوری
۷۲	..... ۱-۲-۴ طراحی ساختار نور کند
۷۹	..... ۲-۲-۴ نحوه‌ی بدست آوردن طول بازوها
۸۱	..... ۳-۲-۴ نتایج شبیه‌سازی
۸۹	..... فصل ۵
۸۹	..... ۱-۵ نتیجه‌گیری
۹۱	..... ۲-۵ پیشنهادات
۹۳	..... فهرست مراجع
۹۹	..... پیوست‌ها

فهرست شکل‌ها و جدول‌ها

- شکل ۱-۱ یک نمونه از ساختارهای بلور فوتونی (الف) یک بعدی (ب) دو بعدی (ج) شبه دو بعدی (د) سه بعدی ۶
- شکل ۱-۲: نمودار فرکانس بر حسب ثابت انتشار. بازه‌ی فرکانسی مقابل بخش رنگ شده یک PBG در ساختار دو بعدی ۷
- شکل ۱-۳ سلول دوبعدی برای گسسته‌سازی میدان الکتریکی مد TE در روش FDTD ۱۸
- شکل ۱-۴ ساختار نوار 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 ۲۱
- شکل ۱-۵ ساختار نوار 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 ۲۲
- شکل ۱-۶: (الف) نمای بلور فوتونی دو بعدی مثلثی میله‌ای در مکان (ب) ساختار نوار شکل الف برای قطبش TE (نقاط مشکی) و قطبش TM (نقاط آبی) ۲۳
- شکل ۱-۷ (الف) شمای ساده ای از ساختار بلور فوتونی تیغه ای حفره‌ای با شبکه مثلثی (شکل بالا) به همراه سلول واحد آن فضای وارون (شکل پایین). (ب) ساختار نوار مربوط به بلور تیغه ای شکل (الف) برای قطبش TE (نقاط قرمز) و قطبش TM (نقاط آبی) ۲۴
- شکل ۱-۸ ساختار نوار موجر بلور فوتونی تیغه‌ای سیلیکونی با نقص خطی در جهت $K\Gamma$ [۴] ۲۵
- شکل ۱-۹ دو نمونه ساختار بلور فوتونی که در بست آنها موج‌برهایی وجود دارند [۱۷] ۲۶
- شکل ۱-۱۰ دو نمونه از فیلترهای ساخته شده با بلور فوتونی (الف) و (ج) یک فیلتر فرود را نشان می‌دهد و در (ب) فرکانسی که در دو ساختار دیگر جدا می‌شود به موجر دوم منتقل می‌شود. [۱] ۲۸
- شکل ۱-۱۱ دو نونه فیبر نوری ساخته شده بر اساس بلورهای فوتونی. محیط انتشار موج (الف) دی‌الکتریک (ب) هوا ۲۹

شکل ۱-۲ (الف) شمای لایه‌ای یک افزاره برپایه سیال نوری، در حالت کلی: (A) کنترل ریزسیال؛ (B) کانال‌های ریزسیال؛ و (C) ساختار نوری برای مثال بلورهای فوتونی است [۲۴]. (ب) تصویر یک افزاره تراش‌های با اجتماع المان‌های ریزسیال پیچیده [۲۶]..... ۳۲

شکل ۲-۲ ساختارهای نوری تنظیم پذیر ریزسیال [۲۹]. (الف) شمایی از عملکرد افزاره. دستگاه کنترل ریزسیال که مایع‌ها را با یکدیگر مخلوط کرده و به آرایه‌های نانو سیالی توزیع می‌کند. ساختار نانوسیالی مایع‌ها را مستقیماً به یک ردیف یا حفره‌های مقصد در بلورهای فوتونی تحویل می‌دهد و قابلیت تنظیم پذیری بسیار بالایی برای ضریب شکست $\Delta n/n$ را فراهم می‌کند. (ب) شرحی از ساختمان یک افزاره سیال نوری که در آن لایه نوری پایین‌تر، لایه سیالی وسط و لایه کنترل بالا نشان داده شده است. (ج) تصویر نوری نشان دهنده‌ی جای‌گذاشت کانال‌ها با بلور فوتونی (د) تصویر یک تراشه مجاور یک سکه ده سنتی آمریکایی ۳۳

شکل ۳-۲ مدارهای بلور فوتونی بازنویس پذیر با استفاده از تزریق "نقطه به نقطه" سیال در حفره‌های شبکه [۳۰]..... ۳۴

شکل ۴-۲ طرحی از یک بلور فوتونی با ساختار ناهمگون دوتایی که در یک موجبر $W1$ و در جهت ΓK که با تزریق سیال نوری ایجاد شده است [۳۶]..... ۳۴

شکل ۵-۲ الگوی کلی از تزریق سیال: یک ریزقلم شیشه‌ای نوک تیز برای کشیدن سیال تزریقی روی بلور فوتونی استفاده می‌شود [۳۶]..... ۳۵

شکل ۶-۲ شمایی از تقویت آثار غیرخطی در ناحیه نور کند [۴۲]..... ۳۸

شکل ۷-۲ افزاره دو دهانه‌ای با استفاده از عملکرد نور کند..... ۳۸

شکل ۸-۲ کاربرد نور کند در زمینه‌های گوناگون [۳۷]..... ۴۴

شکل ۱-۳ نمایی از یک خم ساده در بلور فوتونی دو بعدی..... ۴۶

شکل ۲-۳ نمایی از خمش ۹۰ درجه در فوتونیک بلور دو بعدی با شبکه‌ی مربعی..... ۴۷

شکل ۳-۳ مدهای منتشر شده در ساختار شکل ۳-۲ و چاه پتانسیل مدل شده برای این ساختار..... ۴۸

شکل ۴-۳ (الف) مدهای منتشره در موجبر مستقیم (ب) مدهای منتشره در موجبر خمیده..... ۴۹

شکل ۳-۵ ساختار بهینه شده‌ی شکل ۳-۱ با اضافه کردن یک حفره در گوشه‌ی داخلی خم و کوچک کردن حفره‌ی گوشه‌ی خارجی.....۴۹

شکل ۳-۶ ضریب عبور عبور(الف) قبل از بهینه سازی(ب) در ساختار بهینه شده.....۵۰

شکل ۳-۷ نمایی از یک خم ساده در فوتونیک بلور دو بعدی با دوره تناوب $a = 480 \text{ nm}$ و شعاع حفره‌های هوایی $r = 150 \text{ nm}$۵۱

شکل ۳-۸ گاف انرژی فوتونی برای ساختار شکل ۳-۷.....۵۱

شکل ۳-۹ نمودار ضریب عبور برای ساختار شکل ۳-۷ که یک خم ساده را نشان می‌دهد.....۵۲

شکل ۳-۱۰ طیف ضریب عبور (۳dB) برای ساختار شکل ۳-۷.....۵۲

شکل ۳-۱۱ (الف) مودهای منتشر شده در موج‌بر خمیده (ΓM) (ب) مودهای منتشر شده در موج‌بر مستقیم (ΓK).....۵۳

شکل ۳-۱۲ نمایی از ساختار معرفی شده برای بهینه‌سازی پهنای باند عبور.....۵۴

شکل ۳-۱۳ طیف ضریب عبور (۳ dB) ساختار پیشنهادی، با تزریق سیال با ضریب شکست بین $n = 1/3$ (مثلث) و $n = 2/1$ (خط‌ممتد). دایره‌ی تو خالی نمودار ساختار بدون نقص را نشان می‌دهد.....۵۵

شکل ۳-۱۴ ساختار نوار موج‌بر خمیده برای ساختار شکل ۳-۱۲ هنگامی که حفره‌ی مرکزی با ضریب شکست $n = 2/1$ پر شده است.....۵۶

شکل ۳-۱۵ نمودار ضریب عبور بر حسب شعاع حفره‌ی مرکزی در دو حالت (آبی) هنگامی که حفره‌ی مرکزی با ضریب شکست $2/1$ و (قرمز) ضریب شکست $1/3$ پر شده است.....۵۷

شکل ۳-۱۶ طیف پهنای باند برای شعاع‌های متفاوت حفره‌ی مرکز خم بدون در نظر گرفتن اثر غیر خطی کر در حالتی که ضریب شکست سیال (الف) $1/3$ و (ب) $2/1$ می‌باشد.....۵۸

جدول ۳-۱ مقادیر ضریب عبور و پهنای باند برای شعاع‌های مختلف هنگامی که حفره‌ی مرکز خم یا سیال‌هایی با ضرایب شکست $1/3$ و $2/1$ پر شده باشد.....۵۹

شکل ۳-۱۷ نمودار ضریب عبور بر حسب شعاع حفره‌ی مرکزی در دو حالت (آبی) هنگامی که حفره‌ی مرکزی با ضریب شکست $2/1$ و (قرمز) ضریب شکست $1/3$ پر شده است. این نمودار با اعمال اثر غیر خطی کر بدست آمده است.....۶۰

شکل ۳-۱۸ پهنای باند برای ضریب شکست $2/1$ و شعاع حفره $0.11 \mu\text{m}$ (آبی) و $0.15 \mu\text{m}$ (قرمز) در حالی که سیال دارای اثر غیر خطی باشد ۶۱

جدول ۳-۲ مقادیر ضریب عبور و پهنای باند برای شعاع‌های مختلف هنگامی که حفره‌ی مرکز خم یا سیال‌هایی با ضریب شکست $2/1$ پر شده باشد ۶۱

شکل ۳-۱۹ شمایی از عبور نور از موج‌بر خمیده‌ی ساختار شکل ۳-۷ ۶۲

شکل ۳-۲۰ از عبور نور از موج‌بر خمیده‌ی ساختار شکل ۳-۱۲ در حالتی که شعاع حفره‌ی مرکزی $m\mu$ $r = 0.11$ و ضریب شکست سیال $n = 2/1$ باشد در دو رژیم (الف) خطی (ب) غیر خطی ۶۳

شکل ۴-۱ سویچ ماخزندر حرارتی- نوری با بلور فوتونی ۶۵

شکل ۴-۲ سویچ ماخزندر الکترواپتیکی در بلور فوتونی ۶۶

شکل ۴-۳ سویچ تمام نوری مبتنی بر بلور فوتونی ۶۷

شکل ۴-۴ سویچ ماخزندر متقارن در بلور فوتونی با استفاده از اثرات غیر خطی ۶۸

شکل ۴-۵ نمایی از ساختار یک تداخل‌سنج ماخزندر مرسوم ۶۸

شکل ۴-۶ نمایی از یک ماخزندر ساده که در بازوی بالایی ریز سیال تزریق شده است ۷۰

شکل ۴-۷ نمودار تغییرات خروجی بر حسب تغییرات ضریب شکست سیال ۷۱

شکل ۴-۸ نمودار تغییر شدت نور خروجی سویچ بر حسب تغییر توان ورودی ۷۲

شکل ۴-۹ ساختار نوار به روش 2D-FDTD، برای بلور فوتونی تیغه‌ای W09 حفره‌ای با شبکه مثلثی، ثابت شبکه $a = 420 \text{ nm}$ ، شعاع حفره $r = 0.3a$ و قطبش TE ۷۳

شکل ۴-۱۰ ضریب گروه (آبی)، پاشندگی مرتبه ۲ (بنفش) برای مد اصلی بلور فوتونی تیغه‌ای W09، با ثابت شبکه $a = 420 \text{ nm}$ ، شعاع حفره $r = 0.3a$ و قطبش TE ۷۴

شکل ۴-۱۱ ساختار نوار به 2D-FDTD برای بلور فوتونی تیغه‌ای W09 با ثابت شبکه $a = 420 \text{ nm}$ ، شعاع حفره $r = 0.3a$ و قطبش TE پر شده با سیال نوری با ضریب شکست $1.1/1.85$. گوشه سمت چپ شکل شمای ساده بلور فوتونی پر شده با سیال فوتونی را نشان می‌دهد ۷۵

شکل ۴-۱۲ ضریب گروه (آبی)، پاشندگی برای مد اصلی بلور فوتونی تیغه‌ای W09 با ثابت شبکه ،
a=۴۲۰nm ، شعاع حفره $r=0/3a$ و قطبش TE پر شده با سیال نوری با ضریب شکست ۱/۸۵.....۷۶
جدول ۴-۱ مقادیر پاشندگی و ضریب گروه برای موجبرهای W1 و W09 در حالتی که دو ردیف کنار
موجبر دارای ضرایب گروه متفاوت باشند.....۷۷

شکل ۴-۱۳ (الف) ضریب گروه (ب) پاشندگی برای مد اصلی بلور فوتونی تیغه‌ای W09 پر شده با سیال نوری
با ضریب شکست بین ۱/۷۵ و ۱/۹۵ با ثابت شبکه a=۴۲۰nm ، شعاع حفره $r=0/3a$ و قطبش TE.....
۷۸

شکل ۴-۱۴ ساختار نوار برای مد اصلی بلور فوتونی تیغه‌ای W09 پر شده با سیال نوری با ضریب شکست
بین ۱/۷۵ و ۱/۹۵ با ثابت شبکه a=۴۲۰nm ، شعاع حفره $r=0/3a$ و قطبش TE..... ۷۹

شکل ۴-۱۵ ساختار نوار به روش 2D-FDTD برای بلور فوتونی تیغه‌ای W09 ، با ثابت شبکه a=۴۲۰nm ،
شعاع حفره $r=0/3a$ و قطبش TE. پر شده با سیال با ضریب شکست ۱/۸۵ در توانی که اثر کر اعمال شده
است (بنفش)، در توانی که اثر کر اعمال نشده است (آبی).....۸۰

شکل ۴-۱۶ شمایی از سویچ ماخ زندر طراحی شده با طول بازوی ۵۲a، حفره‌های آبی با سیال با ضریب
شکست ۱/۹۵ و حفره‌های سبز با سیال غیر خطی با ضریب شکست ۱/۸۵ پر شده‌اند. عرض تمامی
موجبرها ۰/۹ است.....۸۲

شکل ۴-۱۷ نمایی از میدان منتشر شده در سویچ برای ساختار شکل ۱۸ (الف) هنگامی که بخش B در
ابتدای موجبر ورودی قرار دارد (ب) در حالتی که بخش B حذف شده است.....۸۳

شکل ۴-۱۸ نمودار شدت توان نرمالیزه‌ی خروجی بر حسب توان ورودی.....۸۴

شکل ۴-۱۹ نمودار شدت توان خروجی بر حسب توان ورودی برای ساختار شکل ۴-۱۸ هنگامی که طول
موج مرکزی میدان اعمال شده $1/58 \mu\text{m}$ می‌باشد.....۸۵

شکل ۴-۲۰ نمودار ورودی و خروجی سویچ بر حسب زمان در حالتی که بر روی موجبر مهندسی
پاشندگی صورت نگرفته است (سبز-نقطه چین)، بر روی موجبر مهندسی پاشندگی صورت گرفته است ولی
خمش‌ها بهینه نشده‌اند (قرمز-خط چین) و روی موجبر مهندسی پاشندگی صورت گرفته است و از
خمش‌های بهینه استفاده شده است (بنفش-خط توپر).....۸۷

شکل ۴-۲۰ نمودار تغییرات شدت خروجی با خاموش شدن ورودی..... ۸۸

جدول ۵-۱ پارامترهای فیزیکی و هندسی سویچ طراحی شده در فصل ۴..... ۹۰

جدول ۵-۲ مقایسه‌ی سویچ‌های ماخ‌زندر نوری..... ۹۱

شکل ۵-۱ شمایی از ساختارهای متفاوت برای سویچ ماخ‌زندر..... ۹۲

امروزه با پیشرفت مخابرات سرعت بالا و تکنولوژی مجتمع سازی افزارها استفاده از افزارهای تمام نوری در تمامی زمینه‌های الکترونیک و مخابرات اجتناب ناپذیر شده است. ادوات مبتنی بر فوتونیک کریستال‌ها بدلیل قابلیت جمعیت در یک تراشه از عناصر کلیدی برای توسعه‌ی افزارهای تمام نوری هستند. این ادوات بدلیل داشتن گاف فوتونی قابلیت استفاده در کاربردهای مخابراتی DWDM را نیز دارا هستند. از آنجاییکه سویچ‌ها، مدولاتورها و فیلترها از پرکاربردترین اجزای مخابرات نوری هستند در زمینه‌ی طراحی این ادوات مبتنی بر فوتونیک کریستال تلاش‌های زیادی صورت گرفته‌است. تداخل‌سنج ماخ‌زندر نیز از معمول‌ترین تداخل‌سنج‌ها برای استفاده در این کاربردهای اپتیکی است و طراحی آن از چالش‌های مهم در ساخت افزارهای اپتیکی است.

در این پایان نامه سعی در طراحی یک تداخل‌سنج ماخ‌زندر به‌عنوان سویچ است. در این سویچ از علم تزریق ریزسیال فوتونی نیز استفاده شده. با استفاده از این روش می‌توان قابلیت بازپیکربندی و خواص اپتیکی قابل تغییر را به ساختارهای مبتنی بر فوتونیک کریستال اضافه کرد. این شاخه‌ی جدید از علم روشی نوین برای جلوگیری و اصلاح خطای ناشی از فرایند ساخت نیز می‌باشد. اپتیک غیر خطی نیز از موضوعاتی است که تاکنون برای افزایش سرعت افزارهای نوری بهره‌ی فراوانی از آن گرفته‌شده است. ولی بدلیل نیاز داشتن به توان بالا برای اعمال اثرات غیرخطی استفاده از این ایده با مشکلات زیادی همراه است. با طراحی ساختارهای نور کند می‌توان تا حدودی بر این مشکلات فایز آمد. با کند شدن سرعت گروه نور توان آستانه‌ی اعمال این اثرات غیر خطی کاهش پیدا خواهد کرد.

از موضوعات مهم دیگری که در طراحی تداخل‌سنج ماخ‌زندر باید به آن اشاره کرد تعداد قابل توجه موج‌برهای خمیده است که منجر به تلفات قابل توجهی در شدت نور خروجی خواهد داشت. که در زمینه‌ی این موضوع نیز راهکارهای زیادی ارائه شده است

در این فصل اول این پایان‌نامه مقدماتی در مورد فوتونیک کریستال، ساختار باند آنها و روش‌های شبیه‌سازی ساختارهای مبتنی بر آن آمده‌است. در فصل دوم مطالبی در مورد سیال‌های نوری، روش

استفاده از آنها در افزاره‌های اپتیکی، نور کند و همینطور طراحی ساختار نور کند با تزریق سیال نوری گفته شده است. فصل سوم این پایان نامه به بررسی خمش‌های 60° می پردازد و در انتهای این فصل روشی برای افزایش ضریب عبور و پهنای باند موجبرهای خمیده ارائه شده است. در فصل آخر نیز طراحی سویچ بر مبنای تزریق ریز سیال در دوردیف اطراف موجبرها که باعث کند شدن نور و کاهش پاشندگی می شود صورت گرفته است.

فصل ۱

مقدمه‌ای بر بلورهای فوتونی

۱-۱- زمینه‌های تاریخی

یک تحول تاریخی مهم در زمینه‌ی علم الکترونیک در اوایل دهه‌ی ۱۹۵۰ رخ داد که ترانزیستورها جایگزین لامپ‌های خلاء گردیدند. خاصیت مهم این قطعات عمر طولانی‌تر و کم حجم‌تر بودن آن‌ها نسبت به لامپ‌ها بود که این مزیت منجر به کوچک شدن حجم مدارات الکترونیک گردید. به‌کارگیری نیمه‌هادی‌ها در ترانزیستورها نیز باعث شد بتوان بسیاری از مدارات را بر روی یک بستر^۱ پیاده‌سازی نمود و مدارات را به‌صورت فشرده ساخت. بدین ترتیب هزینه‌ی ساخت مدارات الکترونیکی بسیار کاهش یافت و امکان ساخت مدارات بزرگ‌تر فراهم شد و یک جهش مهم در اقتصادی‌تر کردن صنعت الکترونیک فراهم گردید. روند پیشرفت در ساخت این مدارات به این صورت بود که در سال ۱۹۶۰ اولین مدارات فشرده شده در مقیاس کم^۲ و در سال ۱۹۶۹ مدارات فشرده شده در مقیاس بزرگ^۳ ساخته شدند [۱]. از طرف دیگر سیستم‌های مخابراتی نیز توسعه یافتند و مدارات الکترونیکی که وظیفه‌ی پردازش و مسیریابی سیگنال‌ها را بر عهده داشتند در سرتاسر جهان شکل گرفتند. بخش زیادی از این توسعه مربوط به استفاده از فیبرهای نوری به جای کابل‌های مسی بود که اطلاعات را در پهنای باند بیشتری انتقال می‌دادند. علت اصلی این موفقیت مکانیزم انتقال از طریق فوتون‌ها به جای الکترون‌ها بود [۲-۳]. البته مشکل اصلی سیستم‌های مخابراتی پردازش سریع داده‌های دریافتی بود که به علت افزایش روزافزون کاربران و تقاضای زیاد آن‌ها برای پهنای باند بیشتر در استفاده از شبکه به‌وجود آمده بود و مدارات

¹ substrate

² Small-Scaled Integration

³ Large-Scaled Integration