





دانشگاه تربیت مدرس
دانشکده مهندسی برق و کامپیوتر

بسمه تعالی

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

آقای سیامک عباسلو پایان نامه ۶ واحدی خود را با عنوان تحلیل عملکرد و طراحی سوئیچ تمام نوری در نانو موجبر سیلیکونی 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.

عضو هیات داوران	نام و نام خانوادگی	رتبه علمی	امضا
استاد راهنما	دکتر وحید احمدی	استاد	
استاد ناظر	دکتر محمدکاظم مروج فرشی	استاد	
استاد ناظر	دکتر داوود فتحی	استادیار	
استاد ناظر	دکتر نصرت اله گرانیپایه	دانشیار	
مدیر گروه (پا نماینده گروه تخصصی)	دکتر محمدکاظم مروج فرشی	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 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: سیامک عباسلو

امضاء:



دانشگاه مهندسی برق و کامپیوتر

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 نگارنده در رشته برق الکترونیک است که در سال ۱۳۹۰ در دانشکده مهندسی برق و کامپیوتر دانشگاه تربیت مدرس به راهنمایی جناب آقای دکتر وحید احمدی 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، تامین نماید.

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

نام و نام خانوادگی: سیامک عباسلو

تاریخ و امضا:

۹/۱۳/۱۰



دانشگاه تربیت مدرس
دانشکده مهندسی برق و کامپیوتر

پایان نامه دوره کارشناسی ارشد مهندسی برق-الکترونیک

تحلیل عملکرد و طراحی سوئیچ تمام نوری در نانو موجبر سیلیکونی

سیامک عباسلو

استاد راهنما:

دکتر وحید احمدی

بهمن ۱۳۹۰

همه اش یکجا تقدیم به

تنهایک بخند مادر عزیزم

قدردانی و سپاس

اکنون که به لطف و کرم ایزدمنان با ارزانی این رساله، این مرحله از تحصیل خود را پشت سر می گذارم، حمد و سپاس فراوان خود را به درگاه با عظمتش تقدیم می کنم و توفیق به کارگیری این نعمت را در جهت کسب رضایت او و خدمت به زندگانش مسلت دارم.

و غنیمتی خود می دانم که از زحمات استاد گرامی جناب آقای دکتر وحید احمدی که راهنمایی این رساله را بر عهده گرفتند و مراد اجزای آن صمیمانه و با کفایت روی یاری رساندن، تشکر و قدردانی کنم. ایشان علاوه بر دانش گسترده، الگوی اخلاق نیز هستند. انجام مراحل این تحقیق، بدون راهنمایی ایشان امکان پذیر نبود. در انجام رساله‌ی خود از نظرات علمی و فنی جناب دکتر محمد کاظم مروج فرشی بهره‌ی فراوان برده‌ام و لازم است سپاس و تشکر خود را به ایشان ابراز دارم. از استادان محترم آقایان دکتر کرناز و دکتر فتحی که زحمت داوری این رساله را بر عهده داشتند و نظرات سازنده‌ی ایشان به اصلاح و تکمیل این رساله کمک شایانی کرده است کمال تشکر را دارم.

از بهی به کلاسی با دوستان خود در طول مدت تحصیل، که شیرینی زندگی در کنارشان همیشه در خاطر من خواهد ماند سپاس گزارم و برای تک تک آن‌ها آرزوی موفقیت و شادکامی دارم.

انجام این رساله از حمایت‌های ستاد نانو بر خوردار بوده است. این حمایت‌ها در پیش برد مراحل پژوهش بسیار مؤثر بوده و شایسته‌ی قدردانی است. در پایان موفقیت خود را به همون خانواده‌ی خود می‌بخشم که صبر و گذشت ایشان مایه‌ی دلگرمی و دعایشان همیشه امیدبخش زندگانی من خواهد بود.

چکیده

نانو موجبر سیلیکونی به دلیل خواص غیرخطی بالا و تمرکز مناسب نور کاربرد فراوانی در الکترونیک نوری پیدا کرده است. به دلیل افزایش چگالی توان در نانوموجبر برخی از رفتارهای غیرخطی نوری را می‌توان تقویت کرد. از طرفی پالس‌های باریک سالی‌تونی فمتوثانیه با توان بالا گزینه‌ای مناسب برای مشاهده اثرات غیرخطی در موجبر است.

در این پژوهش تلاش خواهیم کرد تا رفتارهای غیرخطی را در نانوموجبر سیلیکونی بررسی و مدل‌سازی کنیم. در گام اول به منظور طراحی پارامترهای پاشندگی موجبر معادلات کرل ماکسول در حوزه فرکانس حل می‌کنیم و سطح مدی موثر و ضریب شکست موثر نانوموجبر را بدست می‌آوریم. با استفاده از ضریب شکست موثر پارامترهای پاشندگی را محاسبه می‌کنیم و امکان انتشار پالس سالی‌تونی در طول موج مخابراتی (۱/۵۵ میکرومتر) را در نانو موجبر نشان می‌دهیم. سپس با حل رابطه شرودینگر غیرخطی و رابطه چگالی حامل‌های آزاد پهن شدن پالس و تولید ابرپیوستار را بررسی می‌کنیم. در اثر انتشار یک پالس باریک سالی‌تونی مرتبه سوم با پهنای ۵۰ fs در نانوموجبری به طول ۳ mm پالس ابرپیوستار با پهنای باند ۴۰۰ نانومتر ایجاد می‌شود. اثر غیرخطی مدولاسیون فاز خودی موجب خزش فرکانسی و ایجاد طول موج‌های دیگر می‌شود. به این ترتیب امکان ایجاد طول موج‌های بالاتر کوک پذیر با توان پالس ورودی را نشان می‌دهیم. در اثر انتشار پالس باریک سالی‌تونی مرتبه سوم ۵۰ fs در نانوموجبر سیلیکونی به طول ۱/۲ cm واپاشی سالی‌تون و تولید طول موج‌های کمتر در اثر تابش چرنکوو را نشان می‌دهیم. به این ترتیب امکان ایجاد طول موج‌های بالاتر و پایین‌تر را بررسی می‌کنیم. برای نخستین بار در این پایان‌نامه با حل رابطه‌های شرودینگر غیرخطی تزویج شده با رابطه چگالی حامل انتشار پالس‌های باریک مرتبه بالا را در موجبر بررسی می‌کنیم. در این حالت به کمک اثر مدولاسیون فاز متقابل امکان تولید ابرپیوستار با پهنای باند ۶۰۰ nm پالس سالی‌تونی مرتبه دوم و در طول موجبر ۱ mm نشان می‌دهیم. در پایان برای بررسی نخستین بار با حل روابط شرودینگر غیرخطی برداری تزویج شده با رابطه چگالی حامل با استفاده از ورودی کنترلی پالسی و بکارگیری اثر بهره رامان در نانوموجبر سیلیکونی به طول ۳ mm یک سوئیچ تمام نوری با قابلیت حذف و بازسازی کانال به منظور استفاده در شبکه‌های مخابرات نوری DWDM معرفی می‌کنیم.

کلید واژه: سوئیچ تمام نوری، نانوموجبر سیلیکونی، تولید ابرپیوستار، مبدل طول موج، سالی‌تون نوری.

فهرست

ط	فهرست	.....
ک	فهرست علایم و نشانه‌ها	.....
س	فهرست جدول‌ها	.....
ع	فهرست شکل‌ها	.....
۱	فصل ۱- پیشگفتار	.....
۱-۱	مقدمه	.....
۱-۲	فناوری‌های سوئیچینگ نوری	.....
۱-۳	ساختارهای مختلف موجبرهای نوری	.....
۱-۳-۱	معرفی موجبرهای سیلیکنی	.....
۱-۳-۲	ساختار موجبرهای سیلیکنی	.....
۱-۳-۳	چالش‌های موجود در موجبر سیلیکنی و راه حل‌های ارائه شده	.....
۱۴	فصل ۲- رابطه‌های حاکم بر انتشار نور در موجبر سیلیکنی	.....
۱-۲	مقدمه	.....
۲-۲	بررسی اثرات غیرخطی در موجبرهای سیلیکنی SOI	.....
۳-۲	معرفی ادوات تمام نوری در موجبرهای سیلیکنی	.....
۱-۳-۲	ادوات غیرفعال	.....
۲-۳-۲	ادوات فعال	.....
۴-۲	نتیجه‌گیری	.....
۲-۴-۲	سالیتون‌های نوری و موجبر سیلیکنی	.....
۵-۲	انتشار میدان نوری در موجبر سیلیکنی	.....
۱-۵-۲	مقدمه	.....
۲-۵-۲	معادلات ماکسول در محیط پاشنده غیرخطی	.....
۳-۵-۲	انتشار غیرخطی میدان نوری	.....
۴-۵-۲	مدهای هدایت شونده	.....
۵-۵-۲	انتشار غیرخطی	.....
۶-۲	اثر رامان	.....
۱-۶-۲	مقدمه	.....
۲-۶-۲	مقدمه‌ای بر فیزیک پراش رامان	.....
۳-۶-۲	رابطه شرودینگر غیرخطی برداری در حوزه زمان	.....
۴-۶-۲	برهم کنش دو نور با در نظر گرفتن اثر رامان و مدولاسیون فاز متقابل	.....
۷-۲	بررسی اثر مدولاسیون فاز خودی و متقابل در انتشار پالس‌های کوتاه سالیتونی	.....
۱-۷-۲	فیزیک فرایند ابریوستار	.....

- ۲-۷-۲ - بررسی اثر مدولاسیون فاز خودی در انتشار پالسهای کوتاه سالیتمونی ۵۵
- ۳-۷-۲ - بررسی اثر مدولاسیون فاز متقابل در انتشار پالسهای کوتاه سالیتمونی ۵۶

فصل ۳ - روشهای شبیه‌سازی ۵۷

- ۱-۳ - اصول طراحی پاشندگی و انتشار مد در موجبر سیلیکونی ۵۷
- ۱-۱-۳ - روشهای محاسبه مدهای موجبر ۵۸
- ۲-۳ - انتشار سالیتمون در موجبر سیلیکونی ۶۰
- ۱-۲-۳ - روشهای عددی حل رابطه شرودینگر غیر خطی ۶۰
- ۲-۲-۳ - روش تبدیل فوریه به همراه پله‌های جزئی ۶۰

فصل ۴ - بررسی نتایج شبیه‌سازی ۶۴

- ۱-۴ - طراحی نانو موجبر سیلیکونی ۶۴
- ۲-۴ - طراحی پاشندگی و انتشار سالیتمون ۶۶
- ۳-۴ - انتشار پالسهای سالیتمونی در موجبر سیلیکونی ۶۸
- ۱-۳-۴ - مقدمه ۶۸
- ۲-۳-۴ - انتشار پالس‌های پهن سالیتمونی در موجبر سیلیکونی ۶۸
- ۴-۴ - بررسی اثر مدولاسیون فاز خودی و متقابل در انتشار پالسهای کوتاه سالیتمونی ۷۱
- ۱-۴-۴ - تولید ابرپیوستار ۷۱
- ۲-۴-۴ - بررسی اثر مدولاسیون فاز خودی در انتشار پالس‌های باریک سالیتمونی ۷۲
- ۵-۴ - تولید ابرپیوستار ۷۲
- ۱-۵-۴ - طراحی پارامترهای پاشندگی موجبر ۷۲
- ۲-۵-۴ - انتشار پالسهای کوتاه سالیتمونی در موجبر سیلیکونی ۷۴
- ۳-۵-۴ - بررسی اثر مدولاسیون فاز متقابل در انتشار پالسهای باریک سالیتمونی ۷۸
- ۶-۴ - سوئیچ تمام نوری بر مبنای اثر رامان ۸۲
- ۱-۶-۴ - طراحی پاشندگی موجبر ۸۲

فصل ۵ - جمع‌بندی ۸۹

- ۱-۵ - مقدمه ۸۹
- ۲-۵ - نتیجه‌گیری ۸۹
- ۳-۵ - پیشنهادات ۹۱

فهرست مراجع ۹۲

- پیوست ۱ ۹۶
- واژه نامه فارسی به انگلیسی ۹۶
- پیوست ۲ ۱۰۰
- واژه نامه انگلیسی به فارسی ۱۰۰
- پیوست ۳ ۱۰۴
- علائم اختصاری ۱۰۴

فهرست علائم و نشانه‌ها

واحد	علامت اختصاری	عنوان
V	A	تابع پوش موج رونده
m^2	A_{eff}	سطح مقطع موثر
-	a_x	بردار یکه جهت X
-	a_y	بردار یکه جهت Y
-	a_z	بردار یکه جهت Z
$Kg.s^{-2}.A^{-1}$	B	چگالی شار مغناطیسی
$m.s^{-1}$	C	سرعت نور در خلاء
-	$C.C$	بخش مزدوج مختلط تابع
$A.s.m^{-2}$	D	چگالی شار الکتریکی
A.s	E	بار الکترون
$V.m^{-1}$	E	میدان الکتریکی
-	e_p	بردار یکه میدان پمپ
-	e_s	بردار یکه میدان استوک
-	e_{TE}	بردار یکه قطبش TE
-	e_{TM}	بردار یکه قطبش TM
m^{-1}	F	تابع پوش موج ایستاده
$m.V^{-2}$	$g_R(t)$	بهره رامان در حوزه زمان
$m.V^{-2}$	$G_{Rj}(\omega)$	بهره رامان در حوزه فرکانس
m	H	ارتفاع نانوموجبر
$A.m^{-1}$	H	میدان مغناطیسی
$m^2.kg.s^{-1}$	\hbar	ثابت پلانک کاهش یافته
-	I	جهت کریستالی
-	$Im()$	بخش انگاری تابع
$V^2.m^{-2}$	I_{maxP}	شدت بیشینه سیگنال پمپ
$V^2.m^{-2}$	I_{maxS}	شدت بیشینه سیگنال پروب
$V^2.m^{-2}$	I_p	شدت سیگنال پمپ

$A.m^{-2}$	J	چگالی جریان الکتریکی
m^{-1}	k_0	عدد موج در خلاء
$m^2.kg.s^{-2}.K^{-1}$	k_B	ثابت بولتزمن
m	L	طول موجبر
m	L_D	طول پاشندگی
m	L_{int}	طول اندرکنش
m	L_{NL}	طول غیرخطی
m	L_W	طول جدانشدگی
Kg	m_{ce}	جرم الکترون در باند هدایت
Kg	m_{ch}	جرم حفره در باند هدایت
m^{-3}	N	چگالی حامل‌های آزاد
-	n_0	ضریب شکست ماده
$m^2.V^{-2}$	n_2	ضریب کر
-	N_B	فاکتور اشغال بوز
m^{-3}	N_e	چگالی الکترون‌های آزاد
-	n_{eff}	ضریب شکست موثر
m^{-3}	N_h	چگالی حفره
-	O	خطای گسسته سازی
$A.s.m^{-2}$	P	قطبش
$A.s.m^{-2}$	P_L	قطبش خطی
$A.s.m^{-2}$	P_{NL}	قطبش غیرخطی
V^2	P_t	شدت سیگنال پمپ کوک شده
-	$Re()$	بخش حقیقی تابع
-	R_i	ماتریس رامان
$m^{-1}.Sr^{-1}$	S	بهره پراش خودبخودی
-	Sr	زاویه فضائی
s	T_{FWHM}	پهنای پالس گوسی
$m.s^{-1}$	v_p	سرعت فاز
m	W	عرض نانوموجبر
m	Z	مکان
m^{-1}	α_0	ضریب جذب خطی

m^{-1}	α_{FC}	ضریب جذب حامل‌های آزاد
m^{-1}	α_L	ضریب جذب بواسطه نشت فوتون‌ها
m^{-1}	α_p	ضریب جذب خطی سیگنال پمپ
m^{-1}	α_s	ضریب جذب خطی سیگنال پروب
$m.V^{-2}$	α_{TPA}	ضریب جذب دو فوتونی
m^{-1}	B	ثابت انتشار
$s^j . m^{-1}$	β_j	ضریب پاشندگی مرتبه j ام
$V^{-2} . m^{-1}$	Γ	ضریب غیرخطی
$Rad.s^{-1}$	Γ_R	نصف پهنای باند بهره رامان
$s.m^{-1}$	Δ	ضریب طول اثر
-	Δn	اختلاف ضریب شکست هسته و غلاف
-	Δn_{FC}	تغییر ضریب شکست بدلیل حامل‌های آزاد
-	Δn_{kerr}	تغییر ضریب شکست بواسطه اثر کر
-	Δn_p	تداخل کوچک ضریب شکست
-	Δn_{total}	مجموع تغییر ضریب شکست
m	Δz	گام‌های شبیه‌سازی
-	$\Delta \beta$	تلفات و اثرات خطی و غیرخطی
m	$\Delta \lambda$	تفاوت بین بیشینه و کمینه تغییر طول موج
m	$\Delta \lambda_s$	جابجائی طول موج بدلیل گرما
m	$\delta \lambda_T$	انحراف از طول موج دلخواه
Rad	$\Delta \varphi$	اندازه تغییر فاز
$A.s.V^{-1}.m^{-1}$	E	مجموع ضریب گذردهی
$A.s.V^{-1}.m^{-1}$	ε_0	ضریب گذردهی در خلاء
-	ε_{NL}	ضریب گذردهی نسبی غیرخطی
-	ε_r	ضریب گذردهی نسبی خطی
$m^2.V^{-2}$	ζ_R	حساسیت رامان تحت شرایط تشدید
m	L	طول موج میدان نوری
m	λ_p	طول موج سیگنال پمپ
m	λ_s	طول موج مرکزی تغییر یافته سیگنال پروب
m	λ_{s0}	طول موج مرکزی اولیه سیگنال پروب
$J.A^{-2}.m^{-1}$	μ_0	ضریب تراوانی در خلاء

$m^2.V^{-1}.s^{-1}$	μ_e	تحرک پذیری الکترون
$m^2.V^{-1}.s^{-1}$	μ_h	تحرک پذیری حفره
$Kg.m^{-3}$	P	چگالی جرمی
s	τ_1	زمان پاسخ رامان
s	τ_2	ثابت مربوط به پهنای باند رامان
s	τ_c	طول عمر حامل‌های آزاد
-	$\chi^{(1)}$	حساسیت مرتبه اول
$m^1.V^{-1}$	$\chi^{(2)}$	حساسیت مرتبه دوم
$m^2.V^{-2}$	$\chi^{(3)}$	حساسیت مرتبه سوم
$m^2.V^{-2}$	χ_R	حساسیت مربوط به اثر رامان
V	ψ_p	تابع پوش پمپ
V	ψ_{sj}	تابع پوش سیگنال پروب کانال <i>z</i> ام
$Rad.s^{-1}$	Ω	فرکانس سیگنال
$Rad.s^{-1}$	Ω_{ps}	اختلاف فرکانسی پمپ و پروب
$Rad.s^{-1}$	Ω_R	فرکانس فونون‌های نوری

فهرست جدول‌ها

عنوان	صفحه
جدول ۱: مقایسه پارامترهای فیبر تک مد با نانوموجبر سیلیکونی [۲۲].....	۹
جدول ۲: مقایسه بین بازده موجبرهای سیلیکونی و تشدیدگرهای حلقوی برای کاربردهای غیرخطی [۱۵].....	۱۲
جدول ۳: مقایسه ویژگی سوئیچ‌های مختلف مبتنی بر اثرات غیرخطی.....	۲۹
جدول ۴: پارامترهای موجبر ریب در بدست آوردن ضریب‌های پاشندگی.....	۶۴
جدول ۵: پارامترهای شبیه‌سازی رابطه شرودینگر غیرخطی.....	۶۹
جدول ۶: پارامترهای شبیه‌سازی رابطه شرودینگر غیرخطی تعمیم یافته.....	۷۴
جدول ۷: پارامترهای شبیه‌سازی روابط تزویج شده شرودینگر غیرخطی تعمیم یافته.....	۷۹
جدول ۸: پارامترهای بکار رفته در شبیه‌سازی رابطه‌های شرودینگر غیرخطی برداری.....	۸۳

فهرست شکل‌ها

صفحه

عنوان

- شکل ۱-۱: نمونه‌ای از انواع مختلف موجبرهای نانوسیم فوتونیک از جنس سیلیکا و نیمه‌رسانا : (a) نانوسیم فوتونیک از جنس شیشه سیلیکا (b) سطح مقطع فیبر سیلیکا در ابعاد میکرو با حفره‌های اتفاقی که از هسته درونی آن به عنوان موجبر مایکرونی استفاده میشود (c) سطح مقطع فیبر تیزشده سیلیکا در ابعاد مایکرو (d) فیبر شیشه SF₆ با ساختار مایکرو تیز شده (e) موجبر نانو شیشه کالکوژناید تخت با غلافی از کریستال فوتونی (f) نانو موجبر سیلیکونی به همراه ساختار تشدید (g) سطح مقطع نانوموجبر سیلیکونی بدون غلاف (h) لیزر حلقوی نانو سیم فوتونیک از جنس InGaAs (i) سطح مقطع نانو سیم سیلیکونی از جنس AlGaAs [۱۹]..... ۵
- شکل ۱-۲: چهار ساختار ایجاد موجبرهای سیلیکونی (a) موجبرهای کانالی (b) موجبرهای نواری (c) موجبرهای کریستال فوتونی (d) موجبرهای شیاردار [۲۰]..... ۸
- شکل ۱-۳: تغییرات ضریب جذب دو فوتونی در طول موج‌های مختلف [۲۳]..... ۱۰
- شکل ۱-۴: چگالی حامل‌های آزاد تولید شده در اثر TPA برای پالس‌هایی با پهنای کامل نیمه بیشینه 20 ns (خط پیوسته) و 20 ps (خط چین) در طول موج 1545 nm [۲۵]..... ۱۱
- شکل ۱-۵: سطح مقطع شماتیک ساختار دیود p-i-n پیاده‌سازی شده در موجبر نواری سیلیکونی بر روی SOI و منحنی تغییرات طول عمر حامل با اعمال ولتاژ بایاس معکوس [۲۶]..... ۱۱
- شکل ۱-۶: نتایج اندازه‌گیری طول عمر حامل‌های آزاد برای موجبر سیلیکونی کریستالی و موجبر سیلیکونی متخلخل در طول موج ۱۵۵۰ nm [۲۷]..... ۱۳
- شکل ۱-۷: اندازه‌گیری سیگنال پمپ و پراب برای موجبر سیلیکونی با کاشت یونی و بدون کاشت یونی [۲۸]..... ۱۳
- شکل ۱-۲: اثر حامل‌های آزاد در تقویت سیگنال (نمودار قرمز رنگ نشانگر ضریب حامل‌های آزاد منفی-آبی برابر صفر - سبز بزرگتر از صفر میباشد) [۲۳]..... ۱۸
- شکل ۲-۲: مقایسه پهنای باند بهره سیگنال خروجی با اعمال یک یا دو سیگنال پالس [۲۳]..... ۱۸
- شکل ۲-۳: نمودار بهره بر حسب توان ورودی سیگنال پمپ با پهنای متفاوت [۲۳]..... ۱۹
- شکل ۲-۴: طرح شماتیک تداخل‌سنج ماخ زندر [۲۴]..... ۲۰
- شکل ۲-۵: شبیه‌سازی انجام شده برای جداکننده 1×8 [۲۴]..... ۲۱
- شکل ۲-۶: شماتیک آزمایش سوئیچ سیلیکونی بر مبنای XPM که از تداخل‌سنج ماخ زندر برای سوئیچ کردن استفاده شده. تغییر فاز ناشی از XPM موجب سوئیچ شدن سیگنال پیوسته در خروجی می‌شود پنجره سوئیچینگ دز شکل نشان داده شده است. [۲]..... ۲۲
- شکل ۲-۷: (a) طرح شماتیک سوئیچ تمام نوری میکرو حلقه بر پایه موجبر شیاری Si/SiO₂ با تنظیم نور پمپ در فرکانس تشدید میکرو حلقه انرژی آن وارد حلقه شده و ضریب شکست موثر را تغییر می‌دهد این تغییر موجب تغییر در فرکانس تشدید و مدوله شدن نور در درگاه پراب خروجی می‌شود (b) سطح مقطع موجبر سیلیکونی شیاری [۳]..... ۲۳
- شکل ۲-۸: تصویر SEM موجبر نانو کاواک تیزشده با N عدد حفره متناوب و طول کاواک c که N_{TI} تعداد حفره‌های کوچک شونده در قسمت کاواک و N_{TO} تعداد حفره‌های بیرون کاواک است [۳۰]..... ۲۴
- شکل ۲-۹: آزمایش سوئیچ نوری بر مبنای اثر مدولاسیون جذب متقابل [۳۱]..... ۲۵

شکل ۲-۱۰: (a) شمای سوئیچ و نمایه انتشار تک مد در (b) موجبر نواری (c) موجبر نواری گسسته [۳۳]..... ۲۶

شکل ۲-۱۱: طرح شماتیک سوئیچ تمام نوری مبتنی بر SOI که در آن A و B سیگنال پمپ اضافی و رامان می- باشند و C خروجی در طول موج استوک است و در نمودار زیرین پنجره سوئیچینگ نشان داده شده است [28]. ۲۷

شکل ۲-۱۲: طرح شماتیک شاتر بر مبنای اثر کر که بر روی موجبر کانالی سیلیکونی پیاده سازی شده و پنجره سوئیچینگ به ازای پالس پمپ با طولهای مختلف با حل عددی و رابطه تحلیلی [۷]..... ۲۸

شکل ۲-۱۳: (a) اصول عملکرد (b) جدول صحت (c) شمای گیت NOR [۸]..... ۳۰

شکل ۲-۱۴: شمای ساختار گیت AND تمام نوری [۹]..... ۳۰

شکل ۲-۱۵: شبیه سازی حرکت پالس ورودی در موجبر و ایجاد موج استوک برای گیت AND رامان [۹]..... ۳۱

شکل ۲-۱۶: تصویر SEM که موجبر نواری SOI را به همراه شبکه براگ با دوره تناوب ۲۲۳ nm نشان میدهد [۳۸]..... ۳۲

شکل ۲-۱۷: طیف خروجی شبکه براگ در ۱۵۴۳ nm برای هر دو قطبش نور نشان داده شده، به طیف مد TM میزان ۲ dB- افسست برای تمایز بهتر اضافه شده [۳۸]..... ۳۳

شکل ۲-۱۸: پاسخ سالیتان رابطه شرودینگر غیر خطی که $T_{FWHM} = 2 \ln(1 + \sqrt{2}) / \sqrt{2q}$ [۲۳]..... ۳۵

شکل ۲-۱۹: پراش رامان از دید کوانتم مکانیک [۴۸]..... ۴۶

شکل ۲-۲۰: منحنی پاشندگی فونونهای سیلیکن [۴۸]..... ۴۷

شکل ۲-۲۱: طیف بهره رامان [۳۵]..... ۴۸

شکل ۲-۲۲: چرخش محورهای مختصات برای موجبر SOI که در جهت $[0 \bar{1} 1]$ رشد داده شده است [۴۱]..... ۵۰

شکل ۳-۱: محاسبه تغییرات ضریب شکست سیلیکن و سیلیکا در طول موجهای مختلف با استفاده از روابط (۳-۱) و (۳-۲)..... ۵۸

شکل ۳-۲: روندنمای برنامه برای محاسبه ضریبهای پاشندگی و توزیع میدان در موجبر..... ۵۹

شکل ۳-۴: طرح شماتیک روش SSF متقارن که در حل عددی بکار میرود. به این ترتیب موجبر به تعداد زیادی قسمت با پهنای h تقسیم میشود که در هر قسمت اثرات غیر خطی در وسط آن اعمال میشود [۳۹]..... ۶۱

شکل ۳-۵: روندنمای برنامه حل عددی رابطه شرودینگر غیر خطی برداری به روش SSF..... ۶۳

شکل ۴-۱: شمای موجبر سیلیکونی ریب [۲۰]..... ۶۴

شکل ۴-۲: نمایه میدان در سطح مقطع موجبر ریب برای مدهای اصلی الف) شبه TM و ب) شبه TE..... ۶۵

شکل ۴-۳: محاسبه پاشندگی در موجبری با پهنای $W = 1 \mu m$ و ارتفاع $H = 0.6 \mu m$ و قطر لایه ریب..... ۶۶

شکل ۴-۴: منحنی ZDWL برای مدهای TE و TM به ازای عرض مختلف موجبر و طول $H = 0.6 \mu m$ و $h = 0.3 \mu m$ ۶۷

شکل ۴-۵: منحنی ZDWL برای مدهای TE و TM به ازای ارتفاع مختلف موجبر و طول $W = 1 \mu m$ و $h = 0.3 \mu m$ ۶۷

شکل ۴-۶: (a) پوش و (b) طیف پالس خروجی با در نظر گرفتن مکانیزمهای تلفاتی مختلف با در نظر گرفتن پاشندگی مرتبه سوم در تمامی حالات با استفاده از پارمترهای موجبر ذکر شده در متن ۷۰

شکل ۴-۷: تغییرات پوش پالس در اثر انتشار در موجبری به طول ۵ cm با در نظر گرفتن تلفات خطی و اثرات TPA و FCA..... ۷۱

شکل ۴-۸: تغییرات طیف پالس در اثر انتشار در موجبری به طول ۵ cm با در نظر گرفتن تلفات خطی و اثرات TPA و FCA. ۷۱

شکل ۴-۹: ضریب شکست موثر و پارامترهای پاشندگی مرتبه اول، دوم و سوم محاسبه شده برای موجبر سیلیکونی کانالی به ابعاد $W = 0.8 \mu\text{m}$, $H = 0.7 \mu\text{m}$ با استفاده از روش FDFD. ۷۳

شکل ۴-۱۰: ضریب شکست موثر و پارامترهای پاشندگی مرتبه چهارم، پنجم و ششم محاسبه شده برای موجبر سیلیکونی کانالی به ابعاد $W = 0.8 \mu\text{m}$, $H = 0.7 \mu\text{m}$. ۷۳

شکل ۴-۱۱: ابرپیوستار تولید شده در موجبر کانالی به طول ۳ mm با ابعاد $W = 0.8 \mu\text{m}$, $H = 0.7 \mu\text{m}$ سالیتون ورودی (منحنی نقطه چین) و خروجی (خط پیوسته) و خروجی بدون در نظر گرفتن اثر جذب دو فوتونی (منحنی نقطه چین) نشان داده شده است. ۷۵

شکل ۴-۱۲: نمایه چگالی حامل در طول موجبر به ازای پالس سالیتونی ۵۰ fs مرتبه سوم. ۷۵

شکل ۴-۱۳: طیف ورودی و خروجی پالس سالیتونی ۵۰ fs به ازای مرتبه‌های مختلف سالیتون و توان‌های مختلف. ۷۶

شکل ۴-۱۴: نمایه خروجی (a) مکانی و (b) طیف پالس سالیتونی ۵۰ fs مرتبه سوم در موجبر سیلیکونی به طول ۱/۲ cm ورودی بصورت نقطه چین نشان داده شده است. ۷۷

شکل ۴-۱۵: طیف پالس خروجی سالیتونی ۵۰ fs در موجبر سیلیکونی به طول ۱/۲ cm با در نظر گرفتن سالیتون‌های از مرتبه مختلف و ایجاد پالس‌هایی با طول موج متغیر. ۷۸

شکل ۴-۱۶: نمایه خروجی طیف در اثر انتشار دو پالس سالیتونی ۵۰ fs مرتبه دوم در موجبر سیلیکونی با طول‌های مختلف. ۷۹

شکل ۴-۱۷: تغییرات طیف پالس سالیتونی ۵۰ fs مرتبه دوم در موجبر سیلیکونی. ۷۹

شکل ۴-۱۸: نمایه خروجی طیف در اثر انتشار سه پالس سالیتونی ۵۰ fs مرتبه دوم در موجبر سیلیکونی با طول‌های مختلف. ۸۱

شکل ۴-۱۹: تغییرات طیف پالس سالیتونی ۵۰ fs مرتبه دوم در موجبر سیلیکونی. ۸۱

شکل ۴-۲۰: وابستگی فرکانسی ضریب شکست موثر و پارامتر پاشندگی مرتبه اول در مدهای TE و TM برای موجبر کانالی با $W = 350 \text{ nm}$ و $h = 400 \text{ nm}$. ۸۲

شکل ۴-۲۱: پیکربندی سوئیچ تمام نوری با اثر رامان. ۸۴

شکل ۴-۲۲: تغییرات بیشینه شدت کانال برای کانال تنظیم شده (خط پیوسته) و اولین کانال‌های کناری (خط چین) و دومین کانال‌های کناری (خط-مربع). ۸۴

شکل ۴-۲۳: خروجی قطار پالس بر حسب توان برای کانال تنظیم شده (خط چین) و اولین کانال‌های کناری (خط چین دایره) و دومین کانال‌های کناری (خط پیوسته). ۸۵

شکل ۴-۲۴: نمایه چگالی حامل‌های آزاد تولید شده در موجبر سیلیکونی به طول ۳ میلی‌متر. ۸۵

شکل ۴-۲۵: تغییرات بیشینه شدت کانال تنظیم شده و کانال‌های کناری به ازای مقادیر مختلف تاخیر پالس کنترلی. ۸۶

شکل ۴-۲۶: تغییرات بیشینه شدت کانال تنظیم شده و کانال‌های کناری به ازای پهنای مختلف پالس کنترلی. ۸۷

شکل ۴-۲۷: (a) نمایه پالس پمپ برای تضعیف کانال در طول موجبر و (b) نمایه پالس تضعیف شده در طول موجبر و (c) نمایه پالس پمپ برای بازسازی کانال (d) نمایه پالس بازسازی شده در طول در موجبر در حوزه زمان ۸۷

شکل ۴-۲۸: (a) نمایه پالس پمپ برای تضعیف کانال در طول موجبر و (b) نمایه پالس تضعیف شده در طول موجبر و (c) نمایه پالس پمپ برای بازسازی کانال (d) نمایه پالس بازسازی شده در طول در موجبر در حوزه فرکانس ۸۸

سرعت سوئیچ به سرعت تنظیم پالس پمپ و زمان عبور پالس در موجبر وابسته است. کوتاه‌ترین زمان گزارش شده برای تنظیم پالس کنترلی تقریباً ۵۰ پیکوثانیه است [۵۲] و زمان عبور پالس با استفاده از رابطه $t = L/v_g = L\beta_{1,TE}$ محاسبه شده که تقریباً برابر ۴۳ پیکوثانیه می‌باشد. ۸۸

فصل ۱ - پیشگفتار

۱ - مقدمه

سوئیچ‌های نوری یکی از ادوات پایه مخابرات نوری است. در این بخش سوئیچ‌های نوری و سوئیچ‌های تمام نوری را معرفی می‌کنیم و تلاش‌های صورت گرفته به منظور پیاده‌سازی سوئیچ‌های تمام نوری را عنوان می‌کنیم. یک بستر مناسب برای پیاده‌سازی ادوات تمام نوری موجبر سیلیکونی است. با معرفی موجبر سیلیکونی و ساختارهای مختلف آن به بررسی ویژگی‌ها و چالش‌های موجود در موجبر سیلیکونی می‌پردازیم.

۱ ۴ - فناوری‌های سوئیچینگ نوری

سوئیچ‌های نوری را می‌توان در حوزه‌های مکان، طول موج و فرکانس بررسی کرد. اغلب پیشرفت‌های اخیر در زمینه سوئیچ کردن در حوزه مکان صورت گرفته که در آنها سیگنال نوری از درگاه ورودی موجبر به درگاه خروجی سوئیچ می‌شود.

فن‌آوری سوئیچ کردن در حوزه مکان را می‌توان به روش‌های مختلف طبقه‌بندی کرد. معمولاً دو نوع عمومی قابل تفکیک است، یکی بر اساس نور هدایت شده (در فیبر و موجبر) و دیگری بر اساس اپتیک فضای آزاد. ممکن است فن‌آوری‌های سوئیچینگ نوری را بطور دقیق‌تر بر اساس اثر فیزیکی موثر در فرایند سوئیچینگ دسته‌بندی کرد. در این مورد چند دسته فن‌آوری وجود دارد که هر کدام از این رده‌بندی‌ها بسته به شیوه‌ای که در آن از اثر فیزیکی استفاده می‌شود، طراحی ادوات، مواد استفاده شده و یا ملاحظات دیگر تقسیم‌بندی می‌شوند. این رده‌بندی بصورت زیر است [۱]

(۱) سوئیچینگ الکترواپتیک^۱: این دسته از اثر الکترو اپتیک بهره می‌برد. که در آن ضریب شکست ماده با کمک میدان الکتریکی خارجی تغییر می‌کند. شناخته شده ترین فن‌آوری سوئیچینگ در این دسته در موجبرهای نوری و کوپلرهاست که بر روی زیر لایه لیتیوم نیوبات قابل پیاده‌سازی هستند فن‌آوری‌های دیگر با اثر الکترو اپتیک شامل سوئیچ-های نوری کریستال مایع با استفاده از کنترل قطبش و سوئیچ نوری الکترو هولوگرافی^۲ هستند.

¹ Electro optic: EO

² Electro-holographic optical switches