

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ



دانشگاه تربیت مدرس
دانشکده فنی و مهندسی

پایان نامه دوره کارشناسی ارشد مهندسی برق-الکترونیک

آنالیز و طراحی تقویت کننده های نوری مبتنی بر ریزشدیدگر

سید محمد افضل

استاد راهنما:

دکتر وحید احمدی

استاد مشاور:

دکتر غلامرضا عبائانی

عضو هیات علمی پژوهشگاه علوم و فنون هسته ای

تابستان ۱۳۸۸

تأییدیه هیات داوران

(برای پایان نامه)

اعضای هیئت داوران، نسخه نهائی پایان نامه آقای: سید محمد افصلی

را با عنوان: آنالیز و طراحی تقویت کننده‌های نوری مبتنی بر ریزتشدیدگر

از نظر فرم و محتوی بررسی نموده و پذیرش آن را برای تکمیل درجه کارشناسی ارشد تأیید می‌کند.

امضاء	رتبه علمی	نام و نام خانوادگی	اعضای هیئت داوران
		دکتر وحید احمدی	۱- استاد راهنما
		دکتر غلامرضا عبائیان	۲- استاد مشاور
		دکتر عبدالرضا نبوی	۳- استاد ممتحن
		دکتر محمد رزاقی	۴- استاد ممتحن
		دکتر احسان الله کبیر	۵- نماینده گروه

دستورالعمل حق مالکیت مادی و معنوی در مورد نتایج پژوهشهای علمی

دانشگاه تربیت مدرس

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

ماده ۱- حقوق مادی و معنوی پایان نامه ها / رساله های مصوب دانشگاه متعلق به دانشگاه است و هرگونه بهره برداری از آن باید با ذکر نام دانشگاه و رعایت آیین نامه ها و دستورالعمل های مصوب دانشگاه باشد.

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

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

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

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

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

نام و نام خانوادگی

تاریخ و امضا

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

است که در سال	در دانشکده	دانشگاه
تربیت مدرس به راهنمایی سرکار خانم/جناب آقای دکتر	مشاوره سرکار خانم/جناب آقای دکتر	
آقای دکتر	و مشاوره سرکار خانم/جناب آقای دکتر	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 دانشجوی رشته مقطع

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

نام و نام خانوادگی:

تاریخ و امضا:

تقدیم به

عزیزترین‌هایی

که در قلبم

جای دارند.

تشکر و قدردانی

با تشکر و قدردانی از استاد دکتر وحید احمدی که اتمام این مقطع تحصیلی را مدیون صبر و دلسوزی و محبت‌های ایشان می‌باشم که پیمودن این مسیر دشوار جز با یاری خداوند و تخصص و تبحر ایشان ممکن نبود.

این پایان نامه با حمایت مالی مرکز تحقیقات مخابرات ایران ITRC به انجام رسیده است.

لذا بدین وسیله کمال تشکر و قدر دانی از آن سازمان محترم به عمل آورده می‌شود.

سید محمد افضلی

دانشگاه تربیت مدرس

گروه الکترونیک نوری و نیمه هادی

تابستان ۱۳۸۸

چکیده

تقویت کننده‌های نوری مبتنی بر ریزحلقه، به لحاظ شکل و ساختار، بدون نیاز به آینه، قابلیت تشدید کنندگی دارند. ساخت آسان و نیز بکارگیری آنها در مدارات مجتمع، سرعت بالا و قابلیت تنظیم دقیق طول موج و فرکانس، از جمله مزایای این گونه ساختارها می‌باشد. مدل‌سازی، آنالیز و طراحی ساختار تقویت کننده‌های نوری مبتنی بر ریز تشدیدکننده‌ها با بررسی معادلات در ساختار حلقوی و بررسی پارامترهای ساختاری موثر در عملکرد آنها صورت گرفته و از آن در جهت استفاده و بهره‌برداری در بالابردن قابلیت مجتمع‌سازی و بهینه سازی افزاره‌های نوری از لحاظ عملکرد مورد بررسی قرار گرفته است. حل معادلات حاکم بر انتشار موج شامل معادلات ماکسول و معادله بسط به روش CMT در ساختارهای ریزحلقه و نیز حل همزمان معادلات نرخ و انتشار برای بررسی ساختار فعال و محاسبه گین و اثرات ناشی از اشباع انجام گرفته و اثرات کوپلینگ بین موجبر حلقوی و مستقیم لحاظ شده است. اثرات تغییر پارامترهای اساسی مانند شعاع حلقه و به تبع آن فاز اولیه، که در آن میزان تقویت برای فاز اولیه صفر که مد کاری حلقه می باشد، در مقادیر اولیه شدت نور ورودی بیشترین است. تغییر شکاف هوایی بین حلقه و موجبر مستقیم و به تبع آن تغییر ضریب کوپلینگ، که در آن برای بعضی مقادیر ضریب کوپلینگ (بعنوان مثال ۰/۵۵) بیشترین تقویت را داریم و تغییر جریان تزریقی و مشاهده نحوه افزایش بهره خروجی بررسی می شود. بر اساس نتایج بدست آمده می‌توان شرایطی را ترسیم کرد که در آن بتوان تقویتی به میزان ۲۰ dB بدست آورد. با استفاده از روش CMT پارامترهای بهینه محاسبه و مدهای حالت فعال مورد تحلیل قرار می‌گیرد.

کلید واژه :

ریز حلقه، قابلیت تنظیم، تشدید، کوپلینگ، ساختار فعال، گین

CMT, Microring, Optical Resonator, Coupling, Active, Tuning, Gain

.....	فهرست مطالب	.....	أ
.....	فهرست علايم و نشانه‌ها	.....	ج
.....	فهرست جدول‌ها	.....	د
.....	فهرست شكل‌ها	.....	هـ
.....	مقدمه	.....	۲
.....	پيشگفتار	.....	۲
.....	اهداف پايان‌نامه	.....	۶
.....	ساختار تشديدگر حلقوی	.....	۸
.....	تئوری ريزحلقه و ساختار آن	.....	۸
.....	ناحيه کوپلاژ	.....	۹
.....	افزايش ميدان	.....	۱۴
.....	كوپلاژ بحرانی	.....	۱۵
.....	بهره يا تضعيف در مسير گردش	.....	۱۶
.....	پهنای باند تشديدگر	.....	۱۷
.....	گستره طيف آزاد	.....	۱۸
.....	دقت تشديدگر	.....	۱۹
.....	طول عمر کاواک	.....	۱۹
.....	فاكتور کيفيت کاواک	.....	۲۰
.....	فيلترهای نوری اضافه کننده/جداکننده	.....	۲۱
.....	انواع کوپلاژ	.....	۲۳
.....	۲.۱۲.۱ کوپلاژ جانی ۲۳	.....
.....	کوپلاژ عمودی	.....	۲۴
.....	خلاصه:	.....	۲۴
.....	۲.۱۴.۱ -ساختار	.....	۲۴
.....	۲.۱۴.۲ -سادگی	.....	۲۴
.....	۲.۱۴.۳ -مواد	.....	۲۵

۲۷	مدلسازی و حل مدهای موجبر حلقوی به روش CMT	۳
۲۷	مدلسازی موجبر حلقوی	۳.۱
۲۷	موجبر حلقوی در مختصات استوانه‌ای	۳.۱.۱
۲۹	معادلات ماکسول	۳.۱.۲
۳۰	معادله بسل	۳.۱.۳
۳۳	شدت توان انتقالی	۳.۱.۴
۳۴	حل مدهای درون موجبر حلقوی	۳.۲
۳۴	حل معادله بسل	۳.۲.۱
۳۷	بررسی مدهای درون موجبر	۳.۲.۲
۳۸	طول موج ثابت	۳.۲.۳
۴۸	تغییرات طول موج	۳.۲.۴
۴۸	معرفی روش CMT	۳.۳
۴۹	تئوری CMT	۳.۳.۱
۵۱	میدان در موجبر منحنی:	۳.۳.۲
۵۲	میدان در موجبر مستقیم	۳.۳.۳
۵۶	توان انتشار:	۳.۳.۴
۵۸	نسبت تزویج و دامنه انتشار	۳.۳.۵
۶۲	تقویت در ریز حلقه‌ها	۴
۶۲	معرفی ساختار	۴.۱
۶۵	روابط گین در چاه کوانتومی	۴.۲
۶۵	محاسبه ساختار نوار و پوش توابع موج الکترون و حفره در ساختارهای چاه کوانتومی	۴.۲.۱
۶۸	انتشار حامل در عرض چاه کوانتومی و باز ترکیب سطحی	۴.۳
۷۲	تقویت در ساختار ریز حلقه	۴.۴
۸۵	بررسی تغییرات ضریب شکست:	۴.۵
۹۲	نتیجه گیری	۵
۹۲	نتیجه گیری	۵.۱
۹۳	پیشنهادات	۵.۲
۹۴	واژه نامه فارسی به انگلیسی	
۹۶	واژه نامه انگلیسی به فارسی	
۹۸	فهرست مراجع	

فهرست علائم و نشانه‌ها

عنوان	علامت اختصاری
ضریب میرایی	κ
فرکانس طبیعی	τ
طول موج	λ
ضریب شکست	n
گین ساختار	α
ضریب انتشار	β
میدان در درگاه خروجی	E_t
میدان در ریز حلقه	E_r
افزایش میدان	FE
شدت میدان درون ریز حلقه	I_r
شدت میدان ورودی	I_{in}
شعاع حلقه	R
طول حلقه (محیط)	L
گین بدون اشباع در چاه کوانتومی	g_0
گین با اشباع در چاه کوانتومی	g
فاز اولیه	ϕ_0
فاز	ϕ
ضریب شکست موثر	n_{eff}
طول موثر حلقه	L_{eff}

فهرست جدول‌ها

صفحه	عنوان
۳	جدول ۱-۱ مزایا و معایب اپتیک بر اساس پارامترهای مهم در مجتمع سازی
۴۲	جدول ۱-۳ نمایش تاثیر شعاع بروی ثابت انتشار
۴۵	جدول ۲-۳ نمایش تاثیر اختلاف ضریب شکست بروی ثابت انتشار
۶۵	جدول ۱-۴ مشخصات لایه‌های ریزحلقه با کوپلاژ عمودی
۶۷	جدول ۲-۴ پارامترها و مقادیر استفاده شده در (InGaAsP) Barrier
۶۷	جدول ۳-۴ پارامترها و مقادیر استفاده شده در زیرلایه InP
۶۸	جدول ۴-۴ پارامترها و مقادیر استفاده شده در (InGaAs) Well
۷۹	جدول ۵-۴ مقادیر اولیه در نظر گرفته شده
۸۶	جدول ۶-۴ شرایط و مقادیر اولیه استفاده شده در محاسبه

- شکل ۱-۱ نمونه ای از استفاده ترکیبی از ریزحلقه‌ها برای بهبود عملکرد و نیز دست یابی به کاربردهای بالاتر ۴
- شکل ۱-۲ شماتیک یک نمونه از موجبر حلقوی همراه با دو موجبر مستقیم بعنوان Add and Drop ۵
- شکل ۱-۳ نمونه‌ایی از کاربرد ریزحلقه ۵
- شکل ۱-۲ ساختار ریزحلقه بصورت کلی. درگاه‌های ورودی و خروجی در شکل مشخص شده‌اند. ۸
- شکل ۲-۲ شماتیک ناحیه کوپلاژ بین دو موجبر مستقیم و حلقوی و دو ناحیه ورودی و خروجی ۱ و ۲ ۹
- شکل ۳-۲ شماتیک کوپل موجبر حلقوی به موجبر مستقیم. ناحیه کوپلاژ بصورت خط‌چین نشان داده شده است. ۱۱
- شکل ۴-۲ نمودار نرمالیزه شده شدت در حلقه و درگاه خروجی بر حسب طول موج برای حلقه ایندیم‌فسفاید با شعاع ۱۰ میکرومتر و $\alpha = 0.8$ ، $\kappa = 0.6$ ، $n = 3.2$ ۱۳
- شکل ۵-۲ نمودار افزایش میدان در برابر ضریب کوپلاژ به ازای مقادیر مختلف α : $a = 0.99$ ، $b = 0.97$ ، $c = 0.95$ ، $d = 0.93$ ، $e = 0.91$ و نمودار f که شرایط کوپلاژ بحرانی را نشان می‌دهد بر اساس رابطه ۱-۲۲ ۱۵
- شکل ۶-۲ شماتیک یک فیلتر اضافه کننده/جدا کننده با ۲ موجبر مستقیم. نواحی کوپلاژ در شکل نشان داده شده است. ۲۱
- شکل ۷-۲ نمودار شدت در درگاه خروجی (Drop) و درگاه (Through). مقادیر همانند قبل بصورت : حلقه ایندیم‌فسفاید با شعاع ۱۰ میکرومتر و $\alpha = 0.8$ ، $\kappa_{1\&2} = 0.6$ ، $n = 3.2$ ۲۲
- شکل ۸-۲ نمای کوپلاژ جانبی بین حلقه و موجبر در گذرگاه. هسته با رنگ قرمز و اطراف آن با رنگ آبی مشخص است. ۲۳
- شکل ۹-۲ نمای کوپلاژ عمودی بین حلقه و موجبر در گذرگاه. هسته با رنگ قرمز و اطراف آن با رنگ آبی مشخص است. ۲۴
- شکل ۱-۳ نمایش مختصات دکارتی بروی موجبر حلقوی. صفحه X-Z صفحه موجبر حلقوی بوده و محور Y جهت ارتفاع موجبر حلقوی می‌باشد. ۲۷
- شکل ۲-۳ شماتیک یک موجبر مستقیم کوپل شده با موجبر خمیده. ۲۷
- شکل ۳-۳ پروفایل میدان بصورت حقیقی، موهومی بترتیب مشکی و قرمز و اندازه (آبی). اختلاف ضریب شکست $\Delta n = 0.2$ ($n = 1.2$) و شعاع ۱ میکرومتر ۳۸
- شکل ۴-۳ شرایط مانند شکل ۱ با تغییر شعاع تا ۲ میکرومتر ۳۹
- شکل ۵-۳ شرایط مانند شکل ۱ با شعاع ۵ میکرومتر ۳۹
- شکل ۶-۳ شرایط مانند شکل ۱ با شعاع ۱۰ میکرومتر ۳۹

- شکل ۳-۷ شرایط مانند شکل ۱ با شعاع ۲۰ میکرومتر ۴۰
- شکل ۳-۸ شرایط مانند شکل ۱ با شعاع ۵۰ میکرومتر ۴۰
- شکل ۳-۹ میدان بصورت حقیقی، موهومی بترتیب مشکی و قرمز و اندازه (آبی). اختلاف ضریب شکست
 $\Delta n = 0.35$ ($n=1.35$) و شعاع ۵ میکرومتر و طول موج 1.55 ۴۱
- شکل ۳-۱۰ میدان بصورت حقیقی، موهومی بترتیب مشکی و قرمز و اندازه (آبی). اختلاف ضریب شکست
 $\Delta n = 0.35$ ($n=1.35$) و شعاع ۱۰ میکرومتر و طول موج ۱.۵۵ ۴۱
- شکل ۳-۱۱ نمودار ضریب تضعیف بر حسب شعاع حلقه برای طول موج ۱/۱ و ضریب شکست هسته برابر
 ۱/۲ در غلاف هوا با ضریب شکست برابر ۱. عرض موجبر در آن حالت برابر ۰.۵ میکرومتر می‌باشد. ۴۲
- شکل ۳-۱۲ نمودار ضریب فاز بر حسب شعاع حلقه برای طول موج ۱.۱ و ضریب شکست هسته برابر ۱.۲
 در غلاف هوا با ضریب شکست برابر ۱. عرض موجبر در آن حالت برابر ۰.۵ میکرومتر می‌باشد. ۴۳
- شکل ۳-۱۳ نمودار پروفایل مد اول در موجبر حلقوی برای شعاع یک میکرومتر و اختلاف ضریب شکست
 ۰.۲ تا ۰.۷ به ترتیب از الف تا و . طول موج ۱.۱. عرض موجبر در این حالت برابر ۰.۵ میکرومتر است. ۴۴
- شکل ۳-۱۴ نمودار پروفایل مد اول در موجبر حلقوی برای شعاع ۱۰ میکرومتر و اختلاف ضریب شکست
 ۰.۲۵ تا ۰.۷۵ به ترتیب از الف تا د . طول موج ۱.۳. عرض موجبر در این حالت برابر ۰.۵ میکرومتر است.
 ۴۵
- شکل ۳-۱۵ نمودار ضریب فاز بر حسب اختلاف ضریب شکست حلقه برای طول موج ۱.۳ و شعاع حلقه
 برابر ۵ میکرومتر در غلاف هوا با ضریب شکست برابر ۱. عرض موجبر در این حالت برابر ۰.۵ میکرومتر
 می‌باشد. ۴۶
- شکل ۳-۱۶: نمودار ضریب تضعیف بر حسب اختلاف ضریب شکست حلقه برای طول موج ۱.۳ و شعاع
 حلقه برابر ۵ میکرومتر در غلاف هوا با ضریب شکست برابر ۱. عرض موجبر در این حالت برابر ۰.۵
 میکرومتر می‌باشد. ۴۶
- شکل ۳-۱۷ β / κ_0 بر حسب شعاع های مختلف برای مقادیر مختلف ضریب شکست برای طول موج ۱.۱
 میکرومتر ۴۷
- شکل ۳-۱۸ β / κ_0 بر حسب شعاع های مختلف برای مقادیر مختلف ضریب شکست برای طول موج ۱.۳
 میکرومتر ۴۷
- شکل ۳-۱۹ نمایش کوپلاژ در دو موجبر مستقیم و حلقوی یا دو موجبر حلقوی و نمایش i امین قسمت
 در فضای کوپلاژ. ۴۹
- شکل ۳-۲۰ نمایش تبدیل فضای کوپلاژ بین دو موجبر منحنی و مستقیم به جمع آثار دو میدان در
 موجبرهای مستقیم و منحنی ۵۱
- شکل ۳-۲۱ نمایش تبدیل فضای کوپلاژ بین تشدیدگر حلقوی و مستقیم ۵۳
- شکل ۳-۲۲ نمایش فضای کوپلاژ بین دو موجبر مستقیم و حلقوی ۵۵

شکل ۴-۱ نمایی از کوپلاژ عمودی ریزحلقه و موجبر مستقیم همراه با شکاف مابین آنها که از جنس زیرلایه می‌باشد. ۶۲.....

شکل ۴-۲ نمایش لایه‌ای یک ریزحلقه با کوپلاژ عمودی. ناحیه چاه کوانتومی بصورت دانه های پر رنگ در قسمت ریزحلقه نشان داده شده است. ۶۳.....

شکل ۴-۳ نحوه قرارگیری و لایه های مختلف در کوپلاژ عمودی و تماس های فلزی آند و کاتد [51]..... ۶۴

شکل ۴-۴ ساختار یک چاه کوانتومی مستطیل شکل ۶۶

شکل ۴-۵ شماتیک مقطع عرضی یک ریزحلقه با کوپلاژ عمودی ۶۶

شکل ۴-۶ نمودار گین بر حسب انرژی انرژی با عرض چاه های مختلف ۶۸

شکل ۴-۷ شماتیک مقطع عرضی یک ریز تشدیدگر فعال بصورت عمودی و در جهت Z به چاه های کوانتومی تزریق می‌شود..... ۶۹

شکل ۴-۸ نمودار توزیع چگالی حامل‌ها در عرض موجبر. که در این شکل ۲ میکرومتر در نظر گرفته شده است..... ۷۱

شکل ۴-۹ نمودار انتشار حامل‌های الکترون در عرض موجبر. که در این شکل ۲ میکرومتر در نظر گرفته شده است. ۷۱.....

شکل ۴-۱۰ نمودار میزان اتلاف جریان در سطح نسبت به جریان تزریق شده. برای مقادیر مختلف τ_c . همانطور که در شکل دیده می‌شود با افزایش τ_c نسبت جریان سطحی به جریان تزرقی افزایش می‌یابد. S_v در این حالت: $2.5e4$ در نظر گرفته شده است..... ۷۲

شکل ۴-۱۱ نمودار گین در درگاه خروجی بر حسب شدت نور ورودی بر اساس فاز اولیه متفاوت. فازهای اولیه بطور مشخص بروی نمودارها نشان داده شده است..... ۷۵

شکل ۴-۱۲ الگوریتم کلی حل همزمان چهار معادله اشاره شده برای محاسبه مقادیر و پارامترهای ریزحلقه..... ۷۶

شکل ۴-۱۳ نمودار گین در درگاه خروجی بر حسب شدت نور ورودی بر اساس فاز اولیه متفاوت..... ۷۷

شکل ۴-۱۴ نمودار گین در درگاه خروجی بر حسب شدت نور ورودی بر اساس فاز اولیه متفاوت. گین ماده در این حالت برابر $g_0 = 2000$ می‌باشد..... ۷۷

شکل ۴-۱۵ نمودار گین در درگاه خروجی بر حسب شدت نور ورودی بر اساس فاز اولیه متفاوت. گین ماده در این حالت برابر $g_0 = 2000$ می‌باشد..... ۷۸

شکل ۴-۱۶ نمودار گین در ریزحلقه بر حسب شدت نور ورودی بر اساس فاز اولیه متفاوت. گین فعال در این حالت برابر $g_0 = 1500$ می‌باشد..... ۷۸

شکل ۴-۱۷ نمودار تغییرات فاز (الف) و ضریب تغییرات شکست (ب) درون موجبر با افزایش شدت ورودی در حالت مانا..... ۷۹

شکل ۴-۱۸ الف: تغییرات گین در درگاه خروجی با افزایش شدت در درگاه ورودی برای مقادیر مختلف جریان تزریق یا به تبع آن g_0 ۸۰

شکل ۴-۱۹ تغییرات گین g (گین اشباع ماده) با افزایش شدت در درگاه ورودی برای مقادیر مختلف جریان تزریق..... ۸۲

شکل ۴-۲۰ الف: تغییرات گین در درگاه خروجی با افزایش شدت در درگاه ورودی برای مقادیر مختلف ضریب کوپلینگ. در $g_0=1500$ و فاز اولیه $0.3-$ ۸۲

شکل ۴-۲۱ الف: تغییرات گین در درگاه خروجی با افزایش شدت در درگاه ورودی برای مقادیر مختلف شعاع حلقه..... ۸۳

شکل ۴-۲۲ تغییرات گین در درگاه خروجی با افزایش شعاع ریزحلقه برای شدت نور ورودی برابر 0.2 ۸۴

شکل ۴-۲۳ نمودار تغییرات گین a طبق رابطه 4.30 درون ریزحلقه بر اساس تغییرات شدت ورودی در مقادیر مختلف از g_0 . همانطور که دیده می‌شود در $g_0=400$ عبور از یک داریم..... ۸۵

شکل ۴-۲۴ تغییرات ضریب شکست درون ریزحلقه با اعمال جریان تزریق و اثر شدت ورودی برای فاز های اولیه متفاوت در این حالت $g_0=1500$ ۸۷

شکل ۴-۲۵ تغییرات ضریب شکست درون ریزحلقه با اعمال جریان تزریق و اثر شدت ورودی برای فاز های اولیه متفاوت در این حالت $g_0=2000$ ۸۷

شکل ۴-۲۶ تغییرات ضریب شکست درون ریزحلقه با اعمال جریان تزریق و اثر شدت ورودی برای فاز های اولیه متفاوت در این حالت $g_0=1500$ ۸۸

شکل ۴-۲۷ الف: تغییرات ضریب شکست درون ریزحلقه با اعمال جریان تزریق و اثر شدت ورودی برای مقادیر مختلف شدت نور در درگاه ورودی برای مقادیر مختلف گین بدون اشباع در اثر تزریق..... ۸۸

شکل ۴-۲۸ تغییرات ضریب شکست درون ریزحلقه با اعمال جریان تزریق و اثر شدت ورودی برای مقادیر مختلف شدت نور در درگاه ورودی برای مقادیر مختلف شعاع ریزحلقه..... ۸۹

شکل ۴-۳۰ الف: جابجایی پیک مد غالب درون ریزحلقه با اثر تغییرات ضریب شکست..... ۹۰

شکل ۴-۳۱ میزان تغییرات ضریب شکست بر اساس تغییر شدت ورودی برای مقادیر مختلف طول موج. با افزایش طول موج از 1350 نانومتر نمودار پایین تا 1575 نانومتر نمودار بالا..... ۹۱

فصل ۱

مقدمه

۱ مقدمه

۱.۱ پیشگفتار

در چند سال گذشته تلاش برای استفاده و به کارگیری افزارهای نوری در سیستم‌ها و شبکه‌های تمام نوری قابل ساخت بصورت مدارات مجتمع در باند فرکانسی مخابراتی بسیار وسیع، چشم‌گیر بوده است. سرعت بسیار بالای انتقال و پردازش افزارهای نوری در محدوده باند فرکانسی THz از مشخصه‌های بارز آن می‌باشد. ساختارهای ریز تشدید کننده از جمله این افزارهای نوری می‌باشند که بخاطر ساختار فیزیکی‌شان، سرعت بسیار بالا و اندازه کوچک، با رویکردهای فراوان همچون: سویچ نوری، فیلترهای نوری، شیفت‌دهنده فرکانس و طول موج با قابلیت تنظیم بالا، گیت‌های منطقی، حسگرها با قابلیت ساخت در مدارات مجتمع می‌باشند.

مبحث تقویت نوری در مدارات مجتمع نوری امری غیر قابل اجتناب است از این‌رو بررسی ساختار و خواص فیزیکی نور پس از تقویت درون این گونه ساختارها ضروری است. مدهای ایجاد شده و نحوه سازندگی یا عدم سازندگی آنها در برخورد با هم و نیز انتقال از یک موجبر به موجبر دیگر با در نظر گرفتن انتقال خواص فیزیکی و نیز تاثیر ناشی از خود ساختار از جمله این مباحث است. محدودیت در سرعت و حرکت حامل و اندرکنش بین حامل‌ها در ادوات الکترونیکی، در چند دهه اخیر گرایش به سمت فوتون در زمینه رویکردهای پردازش سیگنال را نتیجه داده است.

استفاده از نور بجای الکترون دارای مزایایی است که به طبیعت رفتاری آن برمی‌گردد. سریع‌ترین پالس‌های نوری که امروزه تولید می‌شوند در محدوده فمتو ثانیه (fs) می‌باشند که حداقل تا ۳ مرتبه بزرگی سریعتر از پالس‌های سریع الکترونی می‌باشد. این فرکانس کاری بالا (تا 10^{15} Hz) و نیز عدم اندرکنش بین فوتون‌ها (بر خلاف الکترون‌ها که با وجود فاصله بینشان به هم نیرو وارد می‌کنند) موجب افزایش قابلیت و رویکردهایی شده است. امکان انتقال چندین سیگنال نوری با طول موج‌های مختلف در یک موجبر بصورت موازی با چنین سرعت بالایی از جمله این قابلیت‌ها می‌باشد. بطور خلاصه می‌توان مزایا و معایب اپتیک را در پردازش سیگنال به جدول ۱-۱ خلاصه کرد.

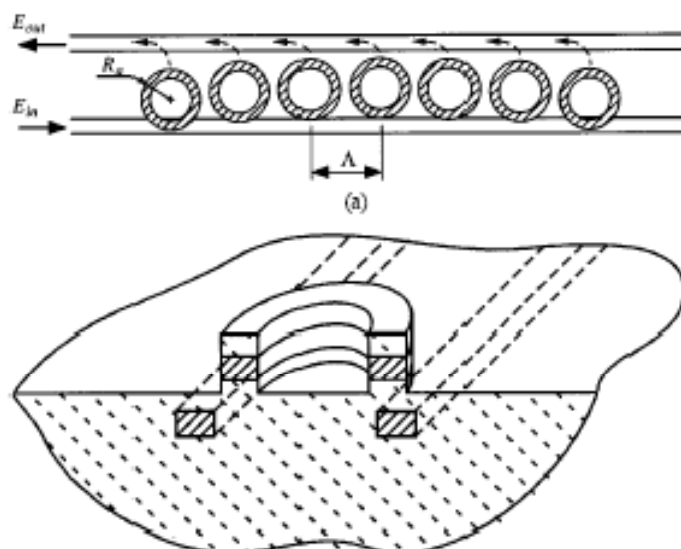
یکی از مشکلات پردازش‌های غیرخطی توسط اپتیک، توان بالا است. یکی از راه‌های افزایش توان، تشدیدکننده‌ها یا تقویت‌کننده‌ها هستند که می‌توان توسط آنها توان را در مد کاری خاصی یا طول موج کاری خاصی افزایش داد و بدین ترتیب مصرف توان را بهینه کرد. در این بین ریزتشدید کننده‌ها مبتنی بر ساختارهای ریزحلقه یا ریزصفحه بدلیل خصوصیات منحصر به فرد آن می‌توانند بصورت انتخابی، طول موج‌های خاصی را تقویت و تشدید نمایند و گرایش به سمت مجتمع‌سازی و پیاده‌سازی سیستم بروی قطعه (Chip) را برآورده سازند، از طرفی ساخت آسان و بصورت هم‌سطح با موجبرهای ورودی و خروجی آن و نیز امکان مهندسی ساختار و چیدمان آن در یک سطح برای مقاصد مختلف فراهم است. از این‌رو انتخابی مناسب در این حوزه هستند

جدول ۱-۱ مزایا و معایب اپتیک بر اساس پارامترهای مهم در مجتمع سازی

مزایای اپتیک	معایب اپتیک
پهنای باند وسیع	وجه مشترک با الکترونیک
انتشار بصورت موازی	اعوجاج Wave Front
ابعاد کوچک	توان بالا
پالس‌های سریع $< 10\text{ fs}$	
اتلاف پایین ناشی از انتشار	
مشخصات هم‌دوسی (coherent)	
تداخل و القاء پایین (Cross Talk)	

در اوایل ۱۹۱۰ ایده بکارگیری از حلقه برای تقویت امواج صوتی توسط Lord Rayleigh مطرح شد. [1] ایده تقویت‌کننده‌های ریزحلقه و ریز صفحه بصورت جامع ابتدا توسط Marcatili در سال ۱۹۶۹ ارائه شد [2]. بعد از آن توسط گروه‌های تحقیقاتی مختلفی مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت و با دیگر ساختارهای همسان از نظر عملکرد مانند^۱ DBR و Fabry-Perot مقایسه گردید. بعد از آن با بهره‌برداری از این ایده و استفاده از آن برای مقاصدی همچون فیلترهای Add-Drop، مالتی‌پلکسر و دی‌مالتی‌پلکسرها، فیلترهای مرتبه بالا، بازتاب‌کننده با قدرت انتخاب طول موج، لیزر و مدولاتورها، این ساختار مورد توجه بسیاری قرار گرفت. این ساختارها در گستره وسیعی از مواد مانند شیشه، پلیمر، سیلیکون و ساختارهای III-V مورد بررسی، استفاده و بهره‌برداری قرار گرفته‌اند. اولین ریز حلقه‌های نوری توسط Weber and Ulrich در سال ۱۹۷۱ نشان داده شد [3-5]. تشدیدگر آنها دارای شعاع تقریبی ۳۲ میلی‌متر بود که با ضریب شکست $1/47$ از شیشه ساخته شده بود. آنها توانستند توسط این ساختار یک لیزر را طراحی کنند. در سال ۱۹۸۲ Stokes, Chodorow, and Shaw توانستند یک فیبر تشدیدگر حلقوی را طراحی و عرضه کنند که شعاع آن در حدود ۳ متر بود [6]. تا کنون لیزرهای مربعی [7,8] دایروی [9,10] و مربعی [11,12] ارائه شده‌اند. توسط همین ساختار ساده می‌توان به کاربرد های پیچیده ای دست یافت من جمله فیلترهای نوری بصورت Add and Drop و نیز مالتی پلکسر و دی مالتی پلکسر ها [13-16]. با استفاده از ساختارهای ترکیبی از ریز حلقه ها فیلتر های از مرتبه بالا را طراحی و ارائه کرده اند (شکل ۱-۱) که بطور نمونه می‌توان به چند مورد اشاره کرد [17-24].

¹ Distributed Bragg Reflector



شکل ۱-۱ نمونه ای از استفاده ترکیبی از ریزحلقه ها برای بهبود عملکرد و نیز دست یابی به کاربردهای بالاتر

همچنین استفاده از خاصیت آینه ای ریز حلقه موجب شده است تا بتوان از آن بعنوان آینه انتخابگر طول موج استفاده کرد. [25, 26, 27]

بطور خلاصه چند نمونه از کاربرد های ریز حلقه ها را با ذکر مرجع معرفی می کنیم. لیزرها [28,29,30] مدولاتورها [31,32,33] همچنین استفاده از مواد گوناگون در بهره برداری بهتر از ریزحلقه ها نیز مورد استقبال گروه های تحقیقاتی قرار گرفته است من جمله شیشه [34,35] پلیمر [36,37] سیلیکون [38] و نیز مواد از گروه ۳-۵ مانند گالیم آرسناید و ایندیوم فسفاید [39,40]

استفاده از مواد گروه ۳-۵ نشان داد که با استفاده از اینگونه مواد در ریز حلقه ها می توان به خواص بهتری دست یافت. اولین مورد استفاده از مواد گروه ۳-۵ توسط گروه Rafizadeh et al در سال ۱۹۹۷

ساخته شد. کوچکترین شعاع ریز حلقه این گروه قطری در حدود ۶۰ میکرومتر داشت [41, 42]

در این راستا، گروه های همچون Shyh Wang ، P. J. R. Laybourn ، B. E. Little ، A. F. J. Levi ، P. P. Absil ، A. Yariv ، A. Shakouri ، J. Goldhar ، P. T. Ho و . . . در دانشگاه های مختلف در سرتاسر دنیا مشغول تحقیق و تفحص در این زمینه می باشند. [46-49].

ریز حلقه ها بعنوان ساختار پایه در صنعت اپتیک مورد استفاده قرار می گیرد. سادگی در ساختار و ساخت از جمله مسایلی است که این امر را موجب می شود. ساختارهای مشابه ای که بر اساس ریز حلقه ها ساخته می شوند بسیار متعدد است. ساختارهایی همچون ریز دیسک ها یا ریز صفحه ها از این گونه هستند که در شرایطی خاص نسبت به ریز حلقه ها برتری دارند. همچنین تشکیل ساختارهای چند گانه از ریز حلقه ها بصورتی که خواص ویژه آن را افزایش دهند نیز کاربرد فراوانی دارند.

همانطور که در شکل ۱-۲ نمایش داده شده است، می توان از ساختار ریزحلقه جهت حذف یا اضافه نمودن طول موج های خاصی که با ساختار ریزحلقه متناسب است، استفاده کرد.