بسم الله الرحمن الرحيم

۱۳۰۱۸۹

دانشکده مهندسی برق و کامپیوتر

گروه مهندسی الکترونیک

رساله

برای دریافت درجه دکترای تخصصی در رشته مهندسی برق- الکترونیک

عنوان

مدلسازی، طراحی و شبیه سازی دی مالتی پلکسرهای تمام نوری با کریستال های فوتونیکی برای اهداف DWDM مخابراتی

استاد راهنما

دکتر علی رستمی

استاد مشاور

دکتر عبدالرحمن نامدار

پژوهشگر

حامد علیپور بنائی

۱۳۸۸/۱۰/۲۷

مرکز اطلاعات و مدارک علمی ایران

تهیه مدارک

آذر ۱۳۸۸

۱۳۰۱۸۹

قدردانی

اکنون پس از گذشت بیش از دو دهه شاگردی و کسب دانش و معرفت نزد کلیه معلمان عزیز و اساتید بزرگوارم، بر خود لازم می دانم که از زحمات و تلاشهای خستگی ناپذیر پروفسور علی رستمی استاد راهنمای ارجمندم در دانشکده مهندسی برق و کامپیوتر دانشگاه تبریز که بی شک بدون راهنمایی های ایشان انجام این مهم میسر نبود تشکر و قدردانی نمایم. همت عالی، راهنمایی های خالصانه، تشویق ها و امید بخشی به آینده از مشخصه های بارز استاد عزیزم در انجام این رساله و سایر مراحل دوران دانشگاهی بنده بوده است. بهترین آرزوها را برای ایشان در تمامی مراحل زندگانی و علمی از درگاه ایزد منان مسئلت دارم و امیدوارم در سایه خداوند عزّوجل همواره سلامت و کامیاب باشند.

از استاد گرانقدر و بزرگوارم جناب آقای دکتر ضیاءالدین دایی کوزه کنانی مدیر گروه محترم رشته الکترونیک دانشکده مهندسی برق و کامپیوتر دانشگاه تبریز که همواره با راهنمایی های ارزنده و خالصانه خود در طول دوران تحصیل دانشگاهی مرا مورد لطف و عنایت خود قرار داده اند تشکر و سپاس فراوان دارم و امیدوارم که همواره موفق و سلامت باشند.

از جناب آقای دکتر عبدالرحمن نامدار که استاد مشاور بنده در این رساله بوده اند کمال تشکر و قدردانی را دارم و امیدوارم که در تمامی مراحل علمی و زندگانی خود مانند همیشه، موفق و پیروز باشند.

در پایان نیز از کلیه دوستان عزیزم درآزمایشگاه تحقیقاتی فوتونیک و نانوکریستال دانشکده مهندسی برق و کامپیوتر دانشگاه تبریز، به خصوص تیم پرتلاش تحقیقاتی فوتونیک آقایان مهندس فخرالدین نظری، مهندس علی بهرامی، مهندس حمید رضا حبیبان و مهندس علی حدادپور کمال تشکر را دارم و برای یکایک این عزیزان آرزوی موفقیت و سربلندی می نمایم. همچنین از آقای مهندس حامد باغبان اصغری نژاد نیز به خاطر راهنمائیها یشان سپاسگذارم و امیدوارم همواره موفق باشند.

تقدیم به

روح شاد و روان پاک پدر عزیز و بزرگوارم که همواره دعاهایش بدرقه راه من در مسیر پرفراز و نشیب زندگی بوده است و به یقین آگاهم که کلیه موفقیت های اینجانب تحت دعاهای خالصانه ایشان برای من و خانواده ام بوده است.

مادر دلسوز، فداکار، مهربان و صبورم که در طول سالیان سال اعم از نوجوانی و جوانی مایه دلگرمی بنده بوده اند و همواره در تمامی سختی ها و مشقت های زندگی صبر و اراده را سرلوحه زندگی من قرار داده اند. امیدوارم همواره در پناه خداوند بزرگ سلامت و سربلند مثل همیشه بوده و عمر با عزت داشته باشند.

برادر کوچک و عزیزم، آقای مهندس عباس علیپور بنائی، که منش، نظم و صداقت را همواره از او در زندگی ام، آموخته ام و بهترین آرزوها را در تمامی مراحل زندگانی اعم از تحصیلی و کاری برایش از خداوند بزرگ مسئلت می نمایم.

نام خانوادگی دانشجو: علیپور بنائی **نام:** حامد

عنوان پایان نامه: مدلسازی، طراحی و شبیه سازی دی مالتی پلکسرهای تمام نوری با کریستال های فوتونیکی برای اهداف DWDM مخابراتی

استاد راهنما: دکتر علی رستمی

استاد مشاور: دکتر عبدالرحمن نامدار

مقطع تحصیلی: دکترای تخصصی **رشته:** مهندسی برق **گروه:** الکترونیک **دانشگاه:** تبریز

دانشکده: مهندسی برق و کامپیوتر **تاریخ فارغ التحصیلی:** ۱۳۸۸/۹/۱۱ **تعداد صفحه: ۱۳۰**

کلید واژه‌ها : کریستال های فوتونیکی، دی مالتی پلکسر، فیلتر، ناراستی، FDTD ، پهنای باند، تداخل

چکیده :

امروزه با توجه به نیاز روزافزون صنعت مخابرات جهت افزایش سرعت پردازش و انتقال داده های مخابراتی، نیاز به المانهای فرکانس بالا کاملاً مشهود می باشد. لذا المانهای الکترونیک نوری می توانند برای این مهم مدنظر قرار گیرند. همچنین امروزه استفاده از فیبرهای نوری در مخابرات نیز امری متداول شده است و هدف ما در این رساله جداسازی طول موج های مختلف دریافتی از یک فیبر و ارسال آن به مقصدهای مختص خود می باشد که این مهم توسط المانی به نام دی مالتی پلکسر نوری انجام می شود. از آنجایی که به هنگام طراحی المانهای الکترونیکی فشرده بودن آنها برای تحقق مدارات مجتمع یکی از ضرورات می باشد، از کریستال های فوتونیکی به عنوان یکی از بسترهای مناسب برای این منظور، در این رساله استفاده شده است. این ساختارها توانایی فوق العاده ای برای هدایت و کنترل امواج نور را در ابعاد بسیار کوچک را دارا هستند. دی مالتی پلکسر مدنظر برای سیستم های مخابراتی DWDM مناسب می باشد. در این رساله با استفاده از روش های عددی همانند FDTD برای اولین بار ساختاری پیشنهاد و شبیه سازی شده است که در آن بدون استفاده از مواد خاص و یا سختی پیچیده ای در هنگام ساخت، جداسازی چهار طول موج را با فاصله کانالی ۰/۸ نانومتر با پهنای باند کمتر از ۰/۵ نانومتر تحقق دهد. البته ذکر این نکته نیز لازم است که کلیه محدودیت های ساخت این ساختارها با توجه به محدودیت های امروزی موجود در تکنولوژی ساخت در تمامی طراحی ها مد نظر بوده است که مقدار درجه وضوح به هنگام ساخت المانها در حد ۵ نانومتر است. اساس کار انجام شده در طراحی دی مالتی پلکسر مورد نظر با طراحی و تعبیه صحیح یک نوع کاواک (حذف چندین حفره و تغییر شعاع بعضی از حفره ها) که قابلیت فیلترینگ و سپس جداسازی طول موج هایی با کمترین هم پوشانی و فاصله کانالی زیر ۱ نانو متر را دارند انجام شد که منطبق بر سیستم های DWDM است. همچنین برای اهداف WDM نیز توانسته شد چندین ساختار پیشنهاد و شبیه سازی شود. از جمله دی مالتی پلکسر دو طول موجه با فاصله کانالی ۵/۸ نانومتر، سپس دی مالتی پلکسر چهارطول موجه با فاصله کانالی متوسط ۳/۵ نانومتر و نیز با ارائه ساختار Y- Branch تعمیم یافته، چهار کانال با فاصله کانالی متوسط ۳/۵ نانومتر با شدت خروجی بالا در ابعاد بسیار کوچک تحقق یافت. با استفاده از کریستال های مایع نیز در یک ساختار دو بعدی توانستیم ساختار دی مالتی پلکسر DWDM را تحقق بخشیم. در نهایت نیز ساختاری برای اولین بار با مدل ساختاری T تعمیم یافته ارائه شد که چهار کانال را به کمک تغییراتی در کاواک ذکرشده با فاصله کانالی زیر ۱ نانومتر و پهنای باند کمتر از ۰/۵نانومتر برای اهداف DWDM جدا نموده ومساحت قطعه برابر با $۵۳۶\ \mu m^2$ به دست آمده است که برای اهداف مجتمع سازی برای جداسازی چهار کانال در سیستم های مخابراتی DWDM بسیار مطلوب بوده و کمترین میزان تداخل را نیز مابین کانال های مجاور دارا می باشد.

فهرست مطالب

مقدمه..... ۱

فصل اول : بررسی منابع (پایه های نظری و پیشینه پژوهش)

۱-۱— ارسال، دریافت و پردازش داده های مخابراتی..... ۴

۱-۲— تکنیک های مختلف برای تحقق MUX/DEMUX..... ۹

۱—۲-۱- فیلترهای فیلم نازک (TFF)..... ۹

۱—۲-۲- گریتینگ فیبر براگ (FBG)..... ۱۰

۱—۲-۳- گریتینگ موجبرهای آرایه ای (AWG)..... ۱۳

۱—۲-۴- گریتینگ پراش (DG)..... ۱۴

۱—۲-۵- کریستال های فوتونیکی (PhCs)..... ۱۵

۱-۲-۵-۱- معرفی کریستال های فوتونیکی و ویژگیهای آنها..... ۱۶

۱-۲-۵-۲ - ادوات مبتنی بر کریستال های فوتونیکی وساختارهای هم خانواده آن..... ۱۹

۱-۲-۵-۲-۱- موجبرهای مبتنی بر کریستال ها و شبه کریستال های فوتونیکی..... ۲۰

۱-۲-۵-۲-۲- نقش نقص ها در ساختارهای پریودیک و شبه پریودیک..... ۲۳

۱-۲-۵-۲-۳- فیلترهای حذف- اضافه تشدید پریودیک و شبه پریودیک..... ۲۴

۱-۲-۵-۲-۴- کوپلرهای نوری مبتنی بر کریستال های فوتونیکی..... ۲۷

۱-۲-۵-۲-۵- رزوناتورهای حلقوی نوری مبتنی بر کریستال های فوتونیکی..... ۲۸

۱-۲-۵-۲-۶- ساختارهای مبتنی بر پدیده Super Prism..... ۳۱

فصل دوم : مواد و روش ها

۲-۱- روش محاسبه ساختار باند در کریستال فوتونیکی..... ۳۷

۲-۱—۱- روش عددی PWE..... ۴۴

۲-۲- الگوریتم Yee..... ۵۱

فصل سوم : نتایج و بحث

۳-۱- متمرکزسازی با استفاده از ساختارهای مبتنی بر شبه کریستال های فوتونیکی..... ۶۰
۳-۲- تحقق فیلتر نوری DWDM بر اساس ساختارهای شبه پریودیک تک بعدی..... ۶۵
۳-۳- دی مالتی پلکسر دو کاناله با به کارگیری کاواک در ساختار دو بعدی فوتونیکی..... ۷۱
۳-۴- دی مالتی پلکسر چهار کاناله WDM با به کارگیری کاواک در ساختار دو بعدی فوتونیکی..... ۷۸
۳-۵- دی مالتی پلکسر چهار کاناله با استفاده از ساختار تعمیم یافته Y-Branch ۸۳
۳-۶- دی مالتی پلکسر چهار کاناله DWDM با استفاده از ساختار T تعمیم یافته..... ۸۷
۳-۶-۱- بررسی خواص پارامترهای کاواک و اثرات آن به عنوان فیلتر..... ۹۷
۳-۷- تحقق فیلتر طول موجی مبتنی بر شبه کریستال های فوتونیکی..... ۱۰۱
۳-۸- دی مالتی پلکسر (تقسیم کننده) طول موجی تمام نوری بر پایه موجبرهای مالتی مد..... ۱۰۹
۳-۹- دی مالتی پلکسر (تقسیم کننده) طول موج تمام نوری شانزده کاناله..... ۱۱۵

فصل چهارم : نتیجه گیری و پیشنهادها

نتیجه گیری و پیشنهادها..... ۱۲۲

منابع..... ۱۲۶

فهرست جداول

جدول ۳-۱- نتایج شبیه سازی به ازای تغییر پارامترهای متفاوت در ساختارDEMUX دو طول موجه ۷۸
جدول ۳-۲- نتایج عددی خروجی های ساختار طراحی شده برای سیستم های WDM..... ۸۲
جدول ۳-۳ - Crosstalk بین کانال های خروجی ساختار WDM (dB)..... ۸۳
جدول ۳-۴- نتایج عددی ساختار DEMUX چهارطول موجه Y- Branch تعمیم یافته..... ۸۶
جدول ۳-۵- Crosstalk بین خروجی های ساختار DEMUX چهارطول موجه Y- Branch تعمیم یافته..... ۸۶
جدول ۳-۶- مقادیر دقیق نتایج خروجی ساختار DEMUX چهار طول موجه برای DWDM..... ۹۴
جدول ۳-۷- مقادیر Crosstalk درخروجی ساختار DEMUX چهار طول موجه برای DWDM..... ۹۴
جدول ۳-۸- نتایج پارامتر های خروجی ساختار شکل (۳-۲۸) با شعاع حفره های کناری از کاواک بالا تا پائین به ترتیب برابر با ۷۵nm، ۷۹nm، ۸۳nm و ۸۷nm..... ۹۶
جدول ۳-۹- جدول همپوشانی مابین کانال های خروجی شکل (۳-۲۸) با شعاع حفره های کناری از کاواک بالا تا پائین به ترتیب برابر با ۷۵nm، ۷۹nm، ۸۳nm و ۸۷nm..... ۹۶
جدول ۳-۱۰- تغییرات طول موج و پهنای باند فیلتر با تغییرات شعاع R_2..... ۱۰۷
جدول ۳-۱۱- تغییرات طول موج و پهنای باند فیلتر با تغییرات شعاع R_2..... ۱۰۸
جدول ۳-۱۲- طول و عرض موجبرهای مالتی مد در دی مالتی پلکسر طراحی شده..... ۱۱۲
جدول ۳-۱۳- پارامترهای اساسی محاسبه شده برای دی مالتی پلکسر طراحی شده..... ۱۱۴
جدول ۳-۱۴- مقادیر Cross stalk محاسبه شده برای دی مالتی پلکسر ساختار مالتی مد..... ۱۱۵

فهرست شکل ها

شکل ۱-۱- روش مالتی پلکس تقسیم زمانی برای چهار کاربرنمادین درفیبر تک مد..... ۵

شکل ۱-۲- خانواده سیستم WDM..... ۶

شکل ۱-۳- نمایش گرافیکی عرض کانال، فاصله کانال ها وعرض طیفی..... ۷

شکل ۱-۴- یک TFF تک محفظه..... ۹

شکل ۱-۵- خروجی یک TFF با تعداد محظه های متفاوت..... ۱۰

شکل ۱-۶- تغییرات ضریب شکست با تناوب Λ در یک FBG با روش نقطه به نقطه اشعه UV..... ۱۱

شکل ۱-۷- طیف منعکس شده از FBG در دوحالت توزیع یکنواخت ضریب شکست و superimposed ۱۲

شکل ۱-۸- DEMUX طراحی شده با ترکیب Circulator وFBG..... ۱۳

شکل ۱-۹- یک DEMUX با استفاده از خاصیت منشور..... ۱۴

شکل ۱-۱۰- ساختار DG و نحوه تابش وبازتابش نور..... ۱۴

شکل ۱-۱۱- ساختار DG به عنوان یک DEMUX..... ۱۵

شکل ۱-۱۲- نمایش گرافیکی کریستال های فوتونیکی یک بعدی، دو بعدی وسه بعدی..... ۱۶

شکل ۱-۱۳- کاربردهایی از ایجاد نقص در کریستال های فوتونیکی..... ۱۷

شکل ۱-۱۴- منحنی پاشندگی در مد TE (قرمز) و مد TM (آبی) در یک ساختار فوتونیکی با ثابت شبکه a ۱۸

شکل ۱-۱۵- شبه کریستال های فوتونیکی هشت تایی..... ۱۹

شکل ۱-۱۶- نمونه ای از موجبرهای کریستال فوتونیکی الف) ساختار موجبر حاصل از حذف دی الکتریک های خاص ب) نحوه انتشار نور در موجبر فوتونیکی..... ۲۱

شکل ۱-۱۷- کوپل موجبرهای نوری توسط فیبر نوری..... ۲۱

شکل ۱-۱۸- موجبر نوری به شکل Y..... ۲۲

شکل ۱-۱۹- موجبرهای ساخته شده با شبه کریستال های فوتونیکی دو بعدی..... ۲۲

شکل ۱-۲۰- نحوه ایجاد نقص ها در ساختارهای پریودیک الف) نقص نقطه ای ب) نقص خطی ج) ترکیب نقص نقطه ای- خطی..... ۲۳

شکل ۱-۲۱- نقص های نقطه ای و خطی ساختار کریستالی پریودیک فوتونیکی..... ۲۴
شکل ۱-۲۲- ساختار شبه پریودیک دارای نقص های نقطه ای و خطی نقطه ای..... ۲۴
شکل ۱-۲۳- شماتیک سیستم رزونانس نوری..... ۲۵
شکل ۱-۲۴- ساختار اولیه فیلتر حذف- اضافه تشدید با Cavity های مرکزی تک مد..... ۲۵
شکل ۱-۲۵- نمایش خروجی هر یک از موجبرها (a)، نمایش گرافیکی ساختار فیلتر حذف- اضافه تشدید(b)..... ۲۶
شکل ۱-۲۶- ساختار و نتایج مربوط به فیلتر حذف- اضافه تشدید با استفاده از شبه کریستال های فوتونیکی..... ۲۶
شکل ۱-۲۷- ساختار کوپلر دو بعدی کریستال فوتونیکی..... ۲۷
شکل ۱-۲۸- نمایش کوپلینگ مابین موجبر اصلی با هر یک از موجبرهای مورب..... ۲۷
شکل ۱-۲۹- مشخصه انتقالی خروجی/ ورودی هر یک از کانال های ساختارشکل(۱-۲۷)..... ۲۸
شکل ۱-۳۰- رزوناتورهای حلقوی طراحی شده با a) ساختارهای مربعی b) ساختارهای شش ضلعی c) شبه پریودیک ۱۲ تایی..... ۲۸
شکل ۱-۳۱- رزوناتور حلقوی مبتنی بر کریستال های فوتونیکی..... ۲۹
شکل ۱-۳۲- مشخصه های عبوری رزوناتور حلقوی..... ۲۹
شکل ۱-۳۳- مشخصه عبوری بهبود یافته جهت حصول DWDM با رزوناتور حلقوی..... ۳۰
شکل ۱-۳۴- مشخصه عبوری بهبود یافته جهت حصول DWDM با دو رزوناتور حلقوی..... ۳۰
شکل ۱-۳۵- نحوه تاثیر تغییرات ضریب شکست روی مولفه های فرکانسی..... ۳۱
شکل ۱-۳۶- ساختار کریستال فوتونیکی Super Prism..... ۳۲
شکل ۱-۳۷- ساختار دی مالتی پلکسر تمام نوری طراحی شده بر اساس پدیده super Prism..... ۳۲
شکل ۱-۳۸- خروجی چهار کانال دی مالتی پلکسر مبتنی بر Super Prism..... ۳۳
شکل ۱-۳۹- طول موج های موجود در خروجی های دی مالتی پلکسر تمام نوری..... ۳۴
شکل ۲-۱- کریستال یک بعدی در راستای x..... ۳۹
شکل ۲-۲- سلول واحد در یک کریستال فوتونیکی بدون نقص..... ۴۳
شکل ۲-۳- نوع مسیرهای موجود در درون سلول پایه برای محاسبه ساختار باند..... ۴۳
شکل ۲-۴- نمایی از الگوریتم Yee برای محاسبه معادلات FDTD..... ۵۲
شکل ۲-۵ - نمودار زمانی- فضایی الگوریتم Yee برای انتشار موج یک بعدی..... ۵۲

شکل ۳-۱- نمایش دو بعدی و سه بعدی ساختار لنز مبتنی بر کریستال های فوتونیکی..... ۶۱
شکل ۳-۲- نحوه انتشار موج در دالان (D) کریستال فوتونیکی..... ۶۲
شکل ۳-۳- نمایش دو بعدی و سه بعدی ساختار دالان ایجاد شده..... ۶۲
شکل ۳-۴- ایجاد تصویری از مولفه source در ساختار..... ۶۴
شکل ۳-۵- نحوه تکامل تصویر متمرکز شده حاصل از مولفه نور ورودی در source ۶۴
شکل ۳-۶- (الف) ساختار منتخب چند لایه ای شبه پریودیک..... ۶۵
شکل ۳-۶- (ب) ساختار چندین لایه ای با مولفه های نور فرودی، انعکاسی و عبوری..... ۶۵
شکل ۳-۷- فیلتر تمام نوری DWDM ۶۷
شکل ۳-۸- فاصله کانال ها برابر ۱ نانومتر (الف) و پهنای باند هر کانال کمتر از ۱ نانومتر (ب)..... ۶۸
شکل ۳-۹- کاهش فاصله کانال ها به ۰/۵ نانومتر در اثر دو برابر نمودن ضخامت لایه ها..... ۶۹
شکل ۳-۱۰- کاهش پهنای باند در اثر دو برابر نمودن ضخامت لایه های ساختار منتخب تومورث..... ۷۰
شکل ۳-۱۱- تبدیل مولفه عبوری به انعکاسی کانال های منتخب و کنترل میزان مولفه عبوری فیلتر در هر طول موج..... ۷۰
شکل ۳-۱۲- ساختار سه بعدی مبتنی بر کریستال های فوتونیکی متشکل از سه ناحیه $Sio_2/Si/Sio_2$ ۷۲
شکل ۳-۱۳- ساختار باندیPhC هگزاگوتالی مدل حفره ای با$a=۴۲۰nm$,$R=۱۱۵nm$ و$n_{eff}=۲/۸$..... ۷۲
شکل ۳-۱۴- فیلتر اولیه مبتنی بر کریستال های فوتونیکی با یک رزونانس کاواک..... ۷۴
شکل ۳-۱۵- نتایج شبیه سازی خروجی فیلتر تک کاواک با$R_c = ۷۶ ،۸۳ ، ۹۰nm$..... ۷۵
شکل ۳-۱۶- ساختار DEMUX دو طول موجه..... ۷۶
شکل ۳-۱۷- خروجی ساختار شکل (۳-۱۶) با$R_{CT}= ۹۰nm$ و$R_{CB}= ۸۳nm$ ۷۷
شکل ۳-۱۸- ساختارفیلتر تک کاواک با قابلیت افزایش کانال در آن..... ۷۹
شکل ۳-۱۹- نتایج خروجی فیلتر تک کاواک برای DEMUX با تعداد کانال بالاتر..... ۸۰
شکل ۳-۲۰- ساختار DEMUX چهار طول موجه برای اهداف WDM ۸۱
شکل ۳-۲۱- نتایج خروجی ساختار DEMUX چهار طوله موجه برای سیستم های WDM..... ۸۲
شکل ۳-۲۲- ساختار DEMUX چهار طول موجه Y- Branch تعمیم یافته..... ۸۴
شکل ۳-۲۳- طول موج های خروجی ساختار Y-Branch مبتنی بر کریستال های فوتونیکی..... ۸۵

شکل ۳—۲۴- باند ممنوعه ساختار PhC هگزاگونالی مدل حفره ای با a=۴۲۰nm، R=۱۱۵nm و n_{eff}= ۲/۷۳ ..... ۸۸
شکل ۳-۲۵- ساختار فیلتر تک کاواک با قابلیت افزایش کانال درجهت اهداف DWDM ۸۹
شکل ۳-۲۶- نتایج بررسی تغییرات شعاع حفره های کناری کاواک در حالت L = ۵۷۹/۸۴ nm ۹۰
شکل ۳-۲۷- خروجی های ناشی از تغییرات L در ازای شعاع حفره های کناری ثابت معادل با ۷۸ nm ۹۱
شکل ۳-۲۸- ساختار DEMUX چهار طول موجه برای اهداف DWDM ۹۲
شکل ۳-۲۹- خروجی ساختار DEMUX چهار طول موجه برای اهداف DWDM ۹۳
شکل ۳- ۳۰- خروجی ساختار DEMUX شکل (۳-۲۸) با اختلاف شعاع حفره های کناری ۴nm ۹۵
شکل ۳-۱ ۳- ساختار کاواک و پارامترهای مهم آن ۹۷
شکل ۳-۲ ۳- بررسی اثر تغییرات L_2با مقادیر ثابت R_1=78nm، R_2=115nm و L_1=584nm ۹۸
شکل ۳-۳۳- تغییرات طول موج رزونانس کاواک با مقادیر ثابت R_1=78nm، R_2=115nm، L_2=2080nm و متغیر L_1 ..... ۹۹
شکل ۳-۳۴- تغییرات Q برحسب تغییرات L_1 با مقادیر ثابت R_1=78nm، R_2=115nm و L_2=2080nm ۹۹
شکل ۳-۳۵- تغییرات طول موج رزونانس کاواک با تغییرات R_2 و مقادیر ثابت R_1=78nm، L_2=2080nm و L_1=584nm ۱۰۰
شکل ۳-۳۶- تغییرات Q برحسب تغییرات R_2 با مقادیر ثابت R_1=78nm، L_1=584nm و L_2=2080nm ۱۰۱
شکل ۳-۳۷- ساختار اولیه فیلتر WDM ۱۰۲
شکل ۳-۳۸- ناحیه اول بریلیون و نقاط مشخص شده Γ، M و K به منظور استخراج ساختار باند ۱۰۲
شکل ۳-۳۹- باند ممنوعه برای ساختار اولیه WDM ۱۰۳
شکل ۳-۴۰ – بخش ناراستی مبتنی بر شبه کریستال های فوتونیکی ۱۲ ضلعی ۱۰۳
شکل ۳-۴۱ – ناحیه اول شبه بریلیون و نقاط مشخص شده Γ، M و K به منظور استخراج ساختار باند شبه پریودیک ۱۰۴
شکل ۳-۴۲— ساختار باند شکل (۳-۴۰) ۱۰۴
شکل ۳-۴۳— ساختار نهایی فیلتر باند باریک ۱۰۵

شکل ۳-۴۴- طول موج های فیلتر شده ساختار شکل (۳-۴۳) با $R_0=R_1=R_3=120nm$ و R_2 متغیر..... ۱۰۶
شکل ۳-۴۵- مقایسه پهنای باند ساختار در دو حالت منتخب R_2..... ۱۰۶
شکل ۳-۴۶- طول موج های فیلتر شده ساختار شکل (۳-۴۳) با $R_0=R_1=R_3=120nm$ و R_2 متغیر..... ۱۰۸
شکل ۳-۴۷- دی مالتی پلکسر Nتایی در محیط مالتی مد..... ۱۱۰
شکل ۳-۴۸- دی مالتی پلکسر مالتی مد ۸ کاناله..... ۱۱۱
شکل ۳-۴۹- شبیه سازی پرتو نوری ساختار طراحی شده برای ۸ طول موج خروجی..... ۱۱۳
شکل ۳-۵۰- طیف طول موج خروجی در کانال های مختلف..... ۱۱۴
شکل ۳-۵۱- ساختار اولیه دی مالتی پلکسر ۱۶ کاناله..... ۱۱۶
شکل ۳-۵۲- نمایش سه بعدی ساختار اولیه فوتونیکی دی مالتی پلکسر ۱۶ کاناله..... ۱۱۶
شکل ۳-۵۳- ساختار باند استخراج شده..... ۱۱۷
شکل ۳-۵۴- ساختار نهایی دی مالتی پلکسر ۱۶ کاناله DWDM..... ۱۱۷
شکل ۳-۵۵- طیف موجود در کانال های خروجی دی مالتی پلکسر ۱۶ کاناله..... ۱۱۸
شکل ۳-۵۶- نمایش گرافیکی طیف نوری موجود در کانال ۲ دی مالتی پلکسر مربوط به طول موج ۱۵۵۰ نانومتر..... ۱۱۸
شکل ۳-۵۷- نمایش گرافیکی طیف نوری موجود در کانال ۱۳ دی مالتی پلکسر مربوط به طول موج ۱۵۶۲ نانومتر به صورت دو بعدی (الف) و سه بعدی (ب)..... ۱۱۹

فهرست اختصارات

عنوان اختصار	عبارت کامل
PhC	فوتونیک کریستال
PBG	باند ممنوعه فوتونیکی
AWG	موجبرهای آرایه ای
TFF	فیلتر فیلم نازک
DG	گریتینگ پراش
FBG	گریتینگ فیبر براگ
MUX	مالتی پلکسر
DEMUX	دی مالتی پلکسر
WDM	مالتی پلکس تقسیم کننده طول موج
DWDM	مالتی پلکس تقسیم کننده طول موج متراکم
MZ	ماخزندر

مقدمه

امروزه مخابرات نوری با توجه به نیاز روزافزون سیستم های ارتباطی جهت افزایش سرعت انتقال و پردازش داده ها، از اهمیت ویژه ای برخوردار شده است. همچنین پر واضح است که الکترونیک نوری با توجه به مزایایی که دارد جهت طراحی ادوات فرکانس بالا نقش عمده ای را ایفا می نماید. از مهمترین دلایل اهمیت ادوات الکترونیک نوری می توان به سرعت بسیار بالای پردازش در حوزهٔ مربوطه، انتقال و تبادل اطلاعات با سرعت بالا و امنیت بیشتر، محدوده فرکانس کاری بسیار بالای آن نسبت به الکترونیک که در حد چندین ترا هرتز است و نیز ذات پردازش موازی در حوزهٔ الکترونیک نوری که سرعت محاسبات را چندین برابر افزایش می‌دهد، اشاره نمود. نیز با توجه به اینکه امروزه مجتمع سازی و فشرده سازی مدارات الکترونیک نوری برای پژوهشگران بسیار حائز اهمیت است از ادواتی به نام کریستال های فوتونیکی برای طراحی این نوع المانهای فرکانس بالا به عنوان بسترهایی مناسب استفاده می گردد تا ضمن کاهش هزینه های ساخت، حجم المانها نیز کمتر شده و از پیچیدگی ساخت این المانها نیز جلوگیری به عمل آید.

قطعات نوری مختلفی برای پیاده سازی سیستم های مخابرات نوری مورد نیاز است. این قطعات می توانند مشتمل بر فیبرهای نوری، فیلترهای نوری، تقسیم کننده ها و ترکیب کننده های نوری برای جداسازی و ترکیب سیگنال های نوری، سوئیچ های نوری برای تغییر مسیرهای سیگنال های نوری برای استفاده از شبکه های انعطاف پذیر و نیز دی مالتی پلکسرهای تقسیم طول موجی برای معرفی کانال های نوری چندگانه به یک فیبر نوری، باشند. همچنین از آنجایی که این اجزا در فرآیندهای تقویت توان یا تبدیلات اپتیک-الکترونیک درگیر نیستند، به طور کلی جزو ادوات نوری پسیو به شمار می آیند. کریستال های فوتونیکی آرایه های پریودیک از مواد دی الکتریک هستند که به صورت خطی و غیرخطی درانواع ساختارهای یک بعدی، دو بعدی و سه بعدی به کار گرفته شده می شوند. یکی از مهمترین ویژگی های کریستال های فوتونیکی، وجود باند ممنوعه در آنها می باشد. بدین معنی که بعضی از طول موج ها اجازه عبور از ساختار را دارا نبوده که اصطلاحاً نسبت به آن طول موج ها کدر بوده و بعضی دیگر نیز اجازه عبور

از ساختار را دارند که نسبت به آنها شفاف خوانده می شود. با استفاده از این خاصیت ذاتی می‌توان به طراحی فیلترهای نوری ، سوئیچ های نوری، سیرکولاتورهای نوری و دیگر المانهای همانند دسترسی پیدا کرد. دی مالتی پلکسر تمام نوری یکی از این ادوات مهم مخابرات نوری است که تاکنون برای سیستم های مخابراتی DWDM طراحی نشده است.

در این رساله هدف، تحقق دی مالتی پلکسر تمام نوری با استفاده از کریستال های فوتونیکی برای سیستم های مخابراتی DWDM است. در این بلوک مهم مخابراتی، به دنبال طراحی دی مالتی پلکسر بر پایه کریستال های فوتونیکی هستیم که دارای فاصله کانال کمتر از ۱ نانومتر بوده و همچنین پهنای باند هر کانال نیز کمتر از ۰/۵ نانومتر باشد. همچنین کانال های مجاور هم نیز در طیف فرکانسی این المان بایستی دارای مینیمم تداخل ممکن با یکدیگر باشند و پارامتر ضریب کیفیت نیز در طراحی ها مد نظر می باشد. کلیه روش های موجود برای تحقق دی مالتی پلکسر نوری بررسی شده و معایب آنها بیان می شود. در ادامه نیز به روا یط حاکم بر کریستال های فوتونیکی و محاسبه ساختار باند و روش آنالیز عددی FDTD اشاره می شود. در نهایت نیز به شرح نتایج مطالعات انجام یافته در این رساله جهت تحقق دی مالتی پلکسر مدنظر برای سیستم های DWDM پرداخته می شود و نشان داده می شود که ساختار طراحی شده در مقایسه با سایر المانهایی که تاکنون طراحی شده اند دارای مزایای مهمی از جمله مینیمم تداخل بین کانال های مجاور، ضریب کیفیت بالا، پهنای باند کمتر و ابعاد نهایی بسیار کوچکتر می باشد.

فصل اول:

بررسی منابع

(پایه های نظری

و

پیشینه پژوهش)

۱-۱- ارسال، دریافت و پردازش داده های مخابراتی

امروزه نیاز روزافزون تکنولوژی برای پردازش و تبادل داده های مخابراتی با سرعت بالا و حجم فراوان سبب شده است که دانشمندان و پژوهشگران به سمت استفاده از تکنیک ها و روش هایی دیگر به غیر از روش های قدیمی و مرسوم جهت برطرف کردن این خواسته های مهم حرکت کنند. چرا که روش های سنتی مخابرات به دلیل محدودیت های آن به عوامل متعدد از جمله پهنای باند پایین، سرعت پردازش کم، اغتشاش پذیری بالا و سایر عوامل دیگر، نمی توانند جوابگوی نیازهای تکنولوژی مدرن امروزی باشند. با توجه به بالا بودن سرعت پردازش و انتقال داده های مخابراتی در حوزه نور، یکی از روش های مهم جهت برون رفت از این مشکلات، معرفی وکاربردی کردن مخابرات نوری[1] بوده است. سیستم های مخابرات نوری با تکیه بر ویژگی های منحصر به فرد الکترونیک نوری همانند ذات پردازش موازی در حوزه نور، اغتشاش ناپذیری و غیره، باسرعت در حال تکامل وپیشرفت هستند.

از دیگر مهمترین این ویژگیها می توان به سرعت بالای انتقال اطلاعات[2] و پهنای باند[3] بالای ادوات مخابرات نوری نیز اشاره داشت. ادوات الکترونیک نوری نیز با تکیه بر توانایی های منحصربفرد خود نقش مهمی را در ارسال و دریافت سیگنال های مخابراتی که حاوی داده ها هستند، ایفا می نمایند. یکی از بارزترین و پرکاربردترین آنها فیبرهای نوری هستند. ویژگی های فیبرهای نوری تک مد و چند مد باعث شده است تا تمامی سیستم های مخابراتی مجهز به آنها شده باشند. ازجمله آنها می توان به حجم بالای داده های ارسالی، تاثیرناپذیری از عوامل محیطی چون دما، رطوبت و سایر پارامترهای دیگر اشاره داشت. در کنار فیبرهای نوری ادواتی دیگری نیز لازم هستند تا بتوانند مقصد نهایی سیگنال های دریافتی از آنها را مدیریت نماید.

یکی از این ادوات و تکنولوژی های فعال در پیشرفت شبکه های مخابرات نوری جدا کننده تقسیم طول موج[4] (DEMUX) است[۱]. عملکرد این بلوک مهم مخابراتی به طور خلاصه بدین ترتیب است که مجموعه ای از سیگنال های دریافتی با طول موج های متفاوت را به مقصدهایی متفاوت که متناسب با

[1] Optical Communication
[2] Bite Rate
[3] Bandwidth
[4] Wavelength Division Multiplexing

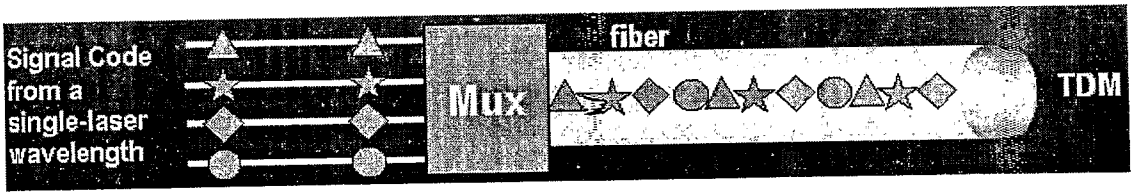
طول موج خاص خود هستند ارسال می نمایند. لذا در ابتدا به معرفی مختصری از روش های تبادل اطلاعات پرداخته می شود. امروزه برای انتقال اطلاعات از یکی از سه روش کلی زیر استفاده می شود که عبارتند از:

الف) مالتی پلکس تقسیم فرکانس[5]

در این روش طیف فرکانسی در دسترس را به زیرباندهایی کوچکتر تقسیم می کنند و به هر کاربر یکی از این زیرباندها را اختصاص می دهند. یکی از مهمترین مشکلات در این روش، کم بودن تعداد کاربران به دلیل کمبود پهنای باند است.

ب) مالتی پلکس تقسیم زمانی[6]

در این روش کل پهنای باند در اختیار یک کاربر قرار می گیرد. به این صورت که زمان به جای پهنای باند فرکانسی مابین کاربران تقسیم می کنند. شکل (۱-۱) نمایش گرافیکی این روش را به صورت نمادین برای چهار کاربر نشان می دهد.



شکل ۱-۱- روش مالتی پلکس تقسیم زمانی برای چهار کاربرنمادین درفیبر تک مد

ج) مالتی پلکس تقسیم طول موجی

در تکنیک مالتی پلکس تقسیم زمانی که در مخابرات نوری به طور وسیع از آن استفاده می شود وابستگی ذاتی به مدارات الکتریکی امری مشهود است، از جمله اینکه در بخش مالتی- دی مالتی پلکس، به مبدل های نوری به الکتریکی و الکتریکی به نوری[7] نیاز است[۱]. این بدان معنی است که در صورت استفاده از این روش، سرعت انتقال اطلاعات به دلیل وجود مدارات الکتریکی و مشکلات آنها پائین می آید. از جمله می توان به پائین بودن فرکانس کاری مدارهای الکتریکی و الکترونیکی، نویز پذیری بالای

[5] Frequency Division Multiplexing
[6] Time Division Multiplexing
[7] Optical-Electrical-Optical System