دانشگاه پیام نور

دانشکده علوم پایه

پایان‌نامه برای دریافت مدرک کارشناسی ارشد

رشته فیزیک حالت جامد

گروه فیزیک

بررسی فیبرهای فوتونیک کریستالی "یک و دو بعدی" جهت هدایت باریکه نور لیزری با استفاده از شبیه‌سازی کامپیوتری

محسن عظیمی مقدم

استاد راهنما:

دکتر فریدون پیامی

استاد مشاور:

دکتر عبدالرسول قرائتی

شهریور ۱۳۹۱

بسم الله الرحمن الرحيم

دانشگاه پیام نور

دانشکده علوم پایه

مرکز شیراز

پایان‌نامه برای دریافت مدرک کارشناسی ارشد

رشته فیزیک حالت جامد

بررسی فیبرهای فوتونیک کریستالی "یک و دو بعدی" جهت هدایت باریکه نور لیزری با استفاده از شبیه‌سازی کامپیوتری

محسن عظیمی مقدم

استاد راهنما:

دکتر فریدون پیامی

استاد مشاور:

دکتر عبدالرسول قرائتی

شهریور ۱۳۹۱

جمهوری اسلامی ایران
وزارت علوم، تحقیقات و فناوری

دانشگاه پیام نور استان فارس
باسمه تعالی

تاریخ : ۹۱/۰۶/۳۰
شماره : ۰۵/۱۶۲۷۵
پیوست :

صورتجلسه دفاع از پایان‌نامه دوره کارشناسی ارشد

جلسه دفاع از پایان نامه دوره کارشناسی ارشد **آقای محسن عظیمی مقدم** دانشجوی رشته **فیزیک** گرایش **حالت جامد** به شماره دانشجویی **۸۸۰۲۷۴۵۰۸** با عنوان:

" بررسی فیبرهای فوتونیک - کریستالی یک و دو بعدی جهت هدایت باریکه نور لیزری با استفاده از شبیه‌سازی کامپیوتری"

با حضور هیات داوران در روز **پنج‌شنبه** مورخ **۱۳۹۱/۶/۳۰** ساعت **۱۲** در محل ساختمان **غدیر دانشگاه پیام نور شیراز** برگزار شد و هیأت داوران پس از بررسی، پایان‌نامه مذکور را شایسته نمره به عدد ۱۷/۸ به حروف هفده و هشت صحیح با درجه عالی تشخیص داد.

ردیف	نام و نام خانوادگی	هیأت داوران	مرتبه دانشگاهی	دانشگاه	امضاء
۱	دکتر فریدون پیامی	راهنما	استادیار	پژوهشگاه علوم و فنون هسته‌ای	
۲	دکتر عبدالرسول قرائتی جهرمی	مشاور	دانشیار	پیام نور شیراز	
۳	دکتر محمود حسینی‌فرزاد	داور	استادیار	شیراز	
۴	دکتر احمد خاکساری	نماینده تحصیلات تکمیلی	دانشیار	پیام نور شیراز	

رئیس اداره تحصیلات تکمیلی

شیراز- شهرک گلستان، بلوار دهخدا
قبل از نمایشگاه بین المللی
تلفن : ۳-۶۲۲۲۲۴۰-۰۷۱۱
دورنگار : ۶۲۲۲۲۴۹-۰۷۱۱
صندوق پستی :۱۳۶۸ - ۷۱۹۵۵
www.spnu.ac.ir
Email : admin@spnu.ac.ir

اینجانب محسن عظیمی مقدم دانشجوی ورودی سال ۱۳۸۸ مقطع کارشناسی ارشد رشته عمران گواهی می نمایم چنانچه در پایان نامه خود از فکر ، ایده و نوشته دیگری بهره گرفته ام با نقل قول مستقیم یا غیر مستقیم منبع و ماخذ آن را نیز در جای مناسب ذکر کرده ام . بدیهی است مسئولیت تمامی مطالبی که نقل قول دیگران نباشد بر عهده خویش می دانم و جوابگوی آن خواهم بود .

دانشجو تائید می نماید که مطالب مندرج در این پایان نامه نتیجه تحقیقات خودش می باشد و در صورت استفاده از نتایج دیگران مرجع آن را ذکر نموده است .

نام و نام خانوادگی دانشجو

تاریخ و امضاء ۱۳۹۱/۸/۱۴

اینجانب محسن عظیمی مقدم دانشجوی ورودی سال ۱۳۸۸ مقطع کارشناسی ارشد رشته عمران گواهی می نمایم چنانچه بر اساس مطالب پایان نامه خود اقدام به انتشار مقاله ، کتاب ، و ... نمایم ضمن مطلع نمودن استاد راهنما ، با نظر ایشان نسبت به نشر مقاله ، کتاب ، و ... و به صورت مشترک و با ذکر نام استاد راهنما مبادرت نمایم .

نام و نام خانوادگی دانشجو

تاریخ و امضاء

۱۳۹۱/۸/۱۴

کلیه حقوق مادی مترتب از نتایج مطالعات ، آزمایشات و نوآوری ناشی از تحقیق موضوع این پایان نامه مطعلق به دانشگاه پیام نور می باشد .

ماه و سال

آبان ۱۳۹۱

تقدیم به روح جاودان پدرم و مهربانی همتای مادرم

تقدیم به همسر عزیزم که بی یاری او، دستیابی به این مهم سخت بود

و تقدیم به دختر عزیزم زهرا

تشکر و تقدیر

راز و رمز پویای علم و کشف معانی بدیع و تجلی جلوه های شهودی معرفت کیمیایی است که آسمان علم به برکت سیما و سیره ی نورانی نبی مکرم صلی الله علیه و آله و سلم، انسان در بند خاک را به معراج حضور می خواند.

و چه خرم علمی که از چشمه ی معارف سیراب شود و چه زیبا دانشی که قبای پرنیانش به عطر و بوی گلستان محمدی معطر شود و چه معماری باشکوهی، بنایی که سنگ هویت و فرهنگ آن ریشه در مدینه النبی بیابد.

و امروز کاخ آباد علم به سروش معنوی و مفهوم پیام او بیش از پیش محتاج راهنمایانی است که علاوه بر حفظ آبادانی آن در راه اعتلای آن به فرزندان خویش محبت نمایند.

در آغاز لازم می دانم از زحمات همسر عزیزم که در طی زندگی، تحصیل و کار، مشوق و پشتیبانم بوده و هست، کمال تشکر و سپاس را داشته باشم. همچنین از دکتر فریدون پیامی عضو هیئت علمی سازوان انرژی اتمی ایران (استاد راهنمای محترم) که با تشویقهایشان و آزاد گذاشتن فضای فکری ام، راه را بر من آسان نمود، تشکر ویژه دارم. از اساتید و دوستان، به ویژه دکتر عبدالرسول قرائتی عضو هیئت علمی و مدیر گروه بخش فیزیک دانشگاه پیام نور شیراز (استاد مشاور محترم) که در دوران تحصیل با راهنمایی هایشان راهگشای کارم بوده اند، کمال تشکر را دارم.

چکیده

بررسی فیبرهای فوتونیک کریستالی "یک و دو بعدی" جهت هدایت باریکه نور لیزری با استفاده از شبیه‌سازی کامپیوتری

انتقال و هدایت فوتون‌های باریکه‌ی لیزری (که معمولا تک بسامد یا در محدوده‌ی بسیار باریکی از بسامد قرار دارند) به محل مورد استفاده، از طریق محیط واسطه‌ای که حداقل اتلاف را داشته باشد، یکی از مسائل مهم اپتیک می‌باشد که محققان بسیاری آن را از طریق فیبرهای نوری و فیبرهای بلور فوتونی پیگیری می‌کنند.

این مهم در فیبرهای فوتونی هسته توپر و توخالی به‌وسیله دو پدیده بازتاب داخلی کلی و یا ایجاد گاف نواری فوتونی، در مغزی (هسته) فیبر محقق می‌شود. در فیبرهای هسته توخالی که مورد نظر ما هستند، در صورتی‌که بسامد (در کار ما طول‌موج) یا محدوده بسامدی فوتون‌های لیزری متناظر با بسامد گاف نواری غلاف فیبر باشد (که از جنس بلور فوتونی است)، موج الکترومغناطیسی قادر به عبور از این باند توقف نبوده، به مغزی برگشته و موجبری نور درون مغزی حاصل می‌شود.

ما در این تحقیق با استفاده از نرم افزار COMSOL، مقطع طولی یک فیبرراطراحی کرده و با اعمال شرایط مرزی و ثبت ضریب شکست عناصر و ترکیبات مختلفی از گروه‌های ۳ تا ۵ جدول تناوبی که به‌عنوان لایه‌ها و عناصر سازنده غلاف فیبر فوتونی مورد استفاده قرارداده‌ایم، موجبری باریکه نور لیزرهای واقع در محدوده طول موجی ۱۰۰۰ تا ۱۵۶۰ نانومتر را درون هسته فیبرهایی که توخالی (از جنس هوا) بوده و غلاف‌شان از جنس بلور فوتونی یک بعدی حلقوی و دو بعدی شش گوشی که جهت ساده‌سازی مسئله به یک بعدی حلقوی تبدیل می‌کنیم، شبیه‌سازی و بررسی کرده‌ایم.

لغات کلیدی–باریکه نور لیزر، بلور فوتونی، فیبر بلور فوتونی، گاف نواری فوتونی

فهرست عناوین

صفحه

فصل اول مقدمه..... ۱

فصل دوم لیزر و کاربردهای آن ۹

۲-۱ مقدمه ۹

۲-۲ اصول لیزر..... ۱۰

۲-۲-۱ برهم‌کنش تابش با ماده ۱۰

۲-۲-۱-۱گسیل خود به‌خودی ۱۰

۲-۲-۱-۲جذب ۱۱

۲-۲-۱-۳ گسیل القایی ۱۱

۲-۲-۲ وارونی جمعیت ۱۲

۲-۳ ساختار لیزر..... ۱۴

۲-۳-۱ محیط فعال (تقویت کننده)..... ۱۴

۲-۳-۲ دمش (پمپاژ)..... ۱۴

۲-۳-۲-۱بازدهی دمش..... ۱۵

۲-۳-۳ کاواک لیزر ۱۵

۲-۴ پهن‌شدگی خط..... ۱۶

۲-۵ تشدید کننده‌ها (مشددهای) لیزری..... ۱۷

۲-۶ ویژگی‌های باریکه (اشعه) لیزری ۲۱

۲-۶-۱ تکفامی..... ۲۱

۲-۶-۲ هم‌راستایی (جهت‌مندی)..... ۲۲

۲-۶-۳ هم‌دوسی..... ۲۲

۲-۷ انواع لیزر..... ۲۲

۲-۷-۱ لیزرهای حالت جامد..... ۲۳

۲-۷-۲ لیزرهای گازی..... ۲۴

۲-۷-۳ لیزرهای مایع ۲۶

۲-۷-۴ لیزرهای نیم‌رسانا..... ۲۶

۲-۸ کاربردهای لیزر..... ۲۶

۲-۸-۱ لیزر در فیزیک و شیمی ۲۶

۲-۸-۲ کاربرد در زیست‌شناسی و پزشکی..... ۲۷

۲-۸-۳ کاربرد در ارتباطات نوری..... ۳۰

۲-۸-۴ کاربرد در اندازه‌گیری، بازرسی و صنعت..... ۳۲

۲-۸-۵ کاربرد نظامی ۳۵
۲-۸-۶ تمام‌نگاری ۳۷

فصل سوم بلورهای فوتونی ۳۹

۳-۱ مقدمه ۳۹
۳-۲ تاریخچه بلورهای فوتونی ۴۱
۳-۳ معادلات ماکسول در محیط تناوبی ۴۲
۳-۴ انتشار نور در محیط دورهای ۴۴
۳-۵ تقارن‌های بلور؛ مدهای بلوخ و مناطق بریلوئن ۴۶
۳-۶ بلورهای فوتونی یک بعدی ۴۹
۳-۷ مدها و نقص‌ها ۵۲
۳-۸ بلورهای فوتونی دو بعدی ۵۵
۳-۹ بلورهای فوتونی با اجزاء ساختاری فلزی و نیم‌رسانا ۶۱
۳-۱۰ سرعت فاز، گروه و انرژی ۶۲
۳-۱۱ کاربردهای بلورهای فوتونی دو بعدی ۶۲

فصل چهارم فیبرهای بلور فوتونی ۶۴

۴-۱ مقدمه تاریخی ۶۴
۴-۲ فیبرهای نوری ۶۴
۴-۳ اصول فیبرهای بلور فوتونی ۶۷
۴-۳-۱ فیبرهای بلور فوتونی هسته (مغزی) توپر ۶۹
۴-۳-۲ فیبرهای بلور فوتونی هسته (مغزی) توخالی ۷۰
۴-۴ ساخت فیبرهای بلور فوتونی ۷۱
۴-۵ تکنیک‌های تحلیل مسائل الکترومغناطیس ۷۳
۴-۵-۱ تئوری الکترومغناطیس امواج ۷۳
۴-۵-۱-۱معادلات ماکسول در خلا ۷۳
۴-۵-۱-۲معادلات ماکسول در محیط مادی ۷۴
۴-۵-۲ مدل‌سازی و روش‌های عددی ۷۵
۴-۵-۳ حل مسائل الکترومغناطیسی یک بعدی به روش المان متناهی ۸۰
۴-۵-۴ حل مسائل الکترومغناطیسی دو بعدی به روش المان متناهی ۸۱
۴-۶ آنالیز فیبرهای بلور فوتونی یک بعدی ۸۳
۴-۶-۱ تحلیل میدان‌ها در فیبرهای فوتونی یک بعدی ۸۴

۴-۶-۲ حل معادله موج ۸۷
۴-۶-۳ شرایط مرزی و رابطه پراشیدگی ۸۹
۴-۷ فیبرهای بلور فوتونی دو بعدی ۹۱
۴-۷-۱ ارائه الگوی تبدیل‌سازی (تقریب‌زنی) ۹۱
۴-۷-۲ استفاده از کارهای ارائه شده در ژورنال‌های معتبر جهت مقایسه و تست خواص انتقالی فیبر سیلیکایی دو بعدی شش گوشی دارای حفره‌های هوایی ۹۳
۴-۸ شبیه‌سازی فیبرهای یک و دو بعدی تبدیل‌سازی شده توسط نرم‌افزارCOMSOL ۹۸
۴-۸-۱ معرفی نرم‌افزار COMSOL، تنظیمات ابتدایی و طراحی فضای فیبر در نرم‌افزار ۹۸
۴-۸-۲ پارامترهای مهم دخیل در کار ۱۰۱
۴-۸-۳ نگاهی به انواع فیبرهای طراحی شده ۱۰۲
۴-۸-۴ نمونه‌های شبیه‌سازی ۱۰۳
فصل پنجم نتیجه‌گیری و پیشنهادات ۱۱۳
۵-۱ برنامه کامپیوتری ۱۱۳
۵-۲ جداول حاصل از بررسی شبیه‌سازی‌ها و نمودارها ۱۱۵
۵-۳ نتایج پایانی ۱۴۹
۵-۳-۱ نتایج فیبر یک بعدی حلقوی ۱۴۹
۵-۳-۱-۱فیبر بلور فوتونی یک بعدی با لایه‌های از جنس هوا ۱۴۹
۵-۳-۱-۲فیبر بلور فوتونی یک بعدی با لایه‌های غلاف از جنس سایر موارد جدول ۴-۱ ۱۴۹
۵-۳-۲ نتایج فیبر دو بعدی شش گوشی تبدیل‌سازی شده به یک بعدی ۱۵۰
۵-۳-۲-۱فیبر بلور فوتونی دوبعدی شش گوشی با حفره‌های قسمت غلاف از جنس هوا ۱۵۰
۵-۳-۲-۲فیبر بلور فوتونی دوبعدی شش گوشی پایه از جنس سیلیسیم و ژرمانیوم و دارای حفره‌های قسمت غلاف از جنس سایر موارد جدول ۴-۱ ۱۵۱
۵-۴ پیشنهادات ۱۵۲
فصل ششم منابع و مراجع ۱۵۳
چکیده انگلیسی ۱۵۸

فهرست اشکال

صفحه

شکل ۲-۱ طرح کلی هر سه فرایند گسیل خودبه‌خودی، گسیل القایی و جذب ۱۰
شکل ۲-۲ طرح کلی فرایند گسیل القایی ۱۱
شکل ۲-۳ شماتیک فرایند لیزر در سیستم‌های سه و چهار ترازی ۱۲
شکل ۲-٤ چگونگی تغییر شدت باریکه در فرایندهای جذب و گسیل القایی ۱۳
شکل ۲-۵ طرح کلی یک مولد اشعه لیزر ۱۴
شکل ۲-٦ پهن‌شدگی شکل خط به‌صورت تابع گوسی ۱۷
شکل ۲-۷ چند تا از مدهای اولیه ۱۸
شکل ۲-۸ مناطقی که شرط پایداری در آن صدق می‌کند ۱۹
شکل ۲-۹ ویژگی‌های پرتو لیزری ۲۰
شکل ۲-۱۰ شماتیک یک لیزر یاقوتی ساده ۲۳
شکل ۲-۱۱ شماتیک یک لیزر گازی ۲۵
شکل ۳-۱ یک دی‌الکتریک که در امتداد محور y دارای تقارن گسسته است ۴۷
شکل ۳-۲ یک بلور یک بعدی (فیلم بس لایه‌ای) ۵۰
شکل ۳-۳ چگونگی تشکیل گاف نواری فوتونی در یک بلور یک بعدی ۵۰
شکل ۳-٤ نمایش ساختار نواری مختلط بلور فوتونی یک بعدی ۵۳
شکل ۳-۵ نقص در یک بلور یک بعدی ۵۴
شکل ۳-٦ شبکه دو بعدی از ستون‌ها در بلور فوتونی دو بعدی به‌همراه سلول واحد آن ۵۶
شکل ۳-۷ ساختارهای نواری و گاف حاصل از آرایه مربعی از ستون‌های دی‌الکتریک (بالا) و حفره‌های هوایی (پایین) ۵۷
شکل ۳-۸ ساختار نواری و گاف نواری حاصل از مدهای شبکه مربعی متشکل از رگه‌های دی‌الکتریک ۵۸
شکل ۳-۹ بلور فوتونی دو بعدی دارای سلول واحد مثلثی (تصویر الحاقی) متشکل از ستون‌های هوا در محیط زمینه دی‌الکتریک ۵۹
شکل ۳-۱۰ ساختار نواری و گاف فوتونی حاصل از مدهای یک آرایه‌ی مثلثی از ستون‌های هوا در محیط زمینه با $\varepsilon = 13$ ۵۹
شکل ۳-۱۱ساختار نواری حاصل مدهای یک شبکه مربعی از استوانه‌های فلزی با فاکتور پرشدگی هفتاد درصد ۶۱
شکل ٤-۱ شماتیک کلی اجزاء یک فیبر نوری ۶۵

شکل ٤-٢ طرح یک فیبر نوری و پدیده‌های احتمالی که ممکن است بر اثر عبور نـور درون مغـزی فیبـر اتفـاق بیافتد. ۶۶
شکل ٤-٣ تصویر مقطع عرضی تعدادی از فیبرهای بلور فوتونی ۶۸
شکل ٤-٤ تصویر مقطع عرضی فیبرهای بلور فوتونی شش گوشی و حلقوی هسته توخالی و توپر ۶۸
شکل ٤-٥ شماتیک پدیده بازتاب داخلی کلی در فیبرهای هسته توپر ۶۹
شکل ٤-٦ شماتیک بازتاب ناشی از وجود گاف نواری در فیبرهای هسته توخالی ۷۰
شکل ٤-٧ شماتیک کلی از مراحل ساخت فیبرهای بلور فوتونی ۷۱
شکل ٤-٨ مقطع عرضی یک فیبر فوتونی یک بعدی حلقوی در مختصات استوانه‌ای ۸۳
شکل ٤-٩ نمایش بردارهای موج درون یک فیبر ۸۶
شکل ٤-١٠ الگوی تبدیل‌سازی حلقه‌های شش گوشی (که روی اضلاع دارای حفره‌های استوانه‌ای از جنس هـوا میباشد) به حلقه‌های دایروی در قسمت غلاف فیبر ۹۲
شکل ٤-١١ نمایش علائم و شکل یک حلقه شش گوشی در قسمت غلاف فیبر ۹۲
شکل ٤-١٢ نمودار ثابت انتشار بهنجار شده به‌صورت تابعی از طول‌مـوج بهنجـار شـده بـرای قطـر حفـره‌هـای متفاوت، جهت مقایسه با نتایج حاصل از روش FEM گزارش شده در مرجع [۴۷]. ۹۳
شکل ٤-١٣ نمودار GVD بر حسب طول‌موج، جهت مقایسه با نتایج گزارش شده در مرجع [٦٣]. ۹۴
شکل ٤-١٤ نمودار GVD بر حسب طول‌موج، جهت مقایسه با نتایج گزارش شده در مرجع‌های [٦٣] و [۵۹] که بر اساس روش چند قطبی انجام شده است. ۹۵
شکل ٤-١٥ نمودار سطح موثر بهنجار شده به‌صورت تابعی از طول‌موج بهنجار شده برای قطـر حفـره متفـاوت، جهت مقایسه با نتایج گزارش شده در مرجع [٦٤]. ۹۶
شکل ٤-١٦ نمودار اتلاف نشتی بر حسب Λ، جهت مقایسه با نتایج گزارش شده در مرجع [۶۵]. ۹۷
شکل ٤-١٧ پنجره اصلی COMSOL ۹۸
شکل ٤-١٨ پنجره تعیین ضریب شکست قسمت‌های مختلف فیبر ۹۹
شکل ٤-١٩ پنجره تعیین نواحی و لبه‌های مرزی ۹۹
شکل ٤-٢٠ پنجره تعیین مقدار طول‌موج فوتون‌های عبورکننده ۱۰۰
شکل ٤-٢١ مقطع طولی مش‌بندی شده در نرم‌افزار COMSOL ۱۰۰
شکل ٤-٢٢ نمونه‌ای از هدایت بدون نشت مقادیر مولفه z میدان الکتریکی نور لیزر با طول‌مـوج ۱۰۴۷ نـانومتر، درون مغـزی فیبـر یـک بعـدی کـه غلافـش از جـنس پایـه InSb و دارای لایـه‌هـای دوم و چهـارم از جـنس Al20Ga80As است. ۱۰۴

شکل ٤-٢٣ تصویر بالا، نمودار مقادیر مولفه z میدان الکتریکی در راستای عرض فیبر و سپس در سطح قطعه، مربوط به هدایت نور لیزر با طول‌موج ١٠٤٧ نانومتر، درون مغزی هوایی فیبر یک بعدی که غلافش از جنس پایه InSb و دارای لایه‌های دوم و چهارم از جنس Al20Ga80As است. ١٠٥
شکل ٤-٢٤ نمودار مقادیر مولفه z میدان الکتریکی در طول مغزی فیبر (با لحاظ کردن مختصات طول و عرض قطعه‌ی دلخواه فیبر) مربوط به هدایت نور لیزر با طول‌موج ١٠٤٧ نانومتر، درون مغزی فیبر یک بعدی که غلافش از جنس پایه InSb و دارای لایه‌های دوم و چهارم از جنس Al20Ga80As است. ١٠٦
شکل ٤-٢٥ تصویر اول، نمودار مقادیر مولفه z میدان مغناطیسی در راستای عرض فیبر و سپس در سطح قطعه، مربوط به هدایت نور لیزر با طول‌موج ١٠٤٧ نانومتر، درون مغزی هوایی فیبر یک بعدی که غلافش از جنس پایه InSb و دارای لایه‌های دوم و چهارم از جنس Al20Ga80As است. ١٠٧
شکل ٤-٢٦ نمودار مقادیر مولفه عرضی میدان مغناطیسی در طول قطعه‌ای از فیبر (با لحاظ کردن مختصات طول و عرض قطعه‌ای از فیبر) مربوط به هدایت نور لیزر با طول‌موج ١٠٤٧ نانومتر، درون مغزی هوایی فیبر یک بعدی که غلافش از جنس پایه InSb و دارای لایه‌های دوم و چهارم از جنس Al20Ga80As است. ١٠٧
شکل ٤-٢٧ نمودار مقادیر میانگین زمانی چگالی انرژی الکتریکی در عرض قطعه‌ای از فیبر (با لحاظ کردن مختصات طول و عرض قطعه‌ای از فیبر) مربوط به هدایت نور لیزر با طول‌موج ١٠٤٧ نانومتر، درون مغزی هوایی فیبر یک بعدی که غلافش از جنس پایه InSb و دارای لایه‌های دوم و چهارم از جنس Al20Ga80As است. ١٠٨
شکل ٤-٢٨ نمودار مقادیر میانگین زمانی چگالی انرژی مغناطیسی در عرض قطعه‌ای از فیبر (با لحاظ کردن مختصات طول و عرض قطعه‌ای از فیبر) مربوط به هدایت نور لیزر با طول‌موج ١٠٤٧ نانومتر، درون مغزی هوایی فیبر یک بعدی که غلافش از جنس پایه InSb و دارای لایه‌های دوم و چهارم از جنس Al20Ga80As است. ١٠٨
شکل ٤-٢٩ نمودار مقادیر میانگین زمانی چگالی انرژی کل در عرض قطعه‌ای از فیبر (با لحاظ کردن مختصات طول و عرض قطعه‌ای از فیبر) مربوط به هدایت نور لیزر با طول‌موج ١٠٤٧ نانومتر، درون مغزی هوایی فیبر یک بعدی که غلافش از جنس پایه InSb و دارای لایه‌های دوم و چهارم از جنس Al20Ga80As است. ١٠٩
شکل ٤-٣٠ نمونه‌ای از نشت میدان الکتریکی نور لیزر با طول‌موج ١٥٢٠ نانومتر، درون مغزی و پوشش فیبری که غلافش از جنس پایه Al10Ga90As و دارای لایه‌های از جنس هوا ١٠٩
شکل ٤-٣١ تصویر اول، نمودار مقادیر مولفه z میدان الکتریکی در عرض قطعه‌ای از فیبر (با لحاظ کردن مختصات طول و عرض قطعه‌ی انتخاب شده)، تصویر دوم، در سطح مقطع طولی آن و در پایان مولفه z میدان الکتریکی پراکنده‌شده در سطح مقطع طولی مربوط به هدایت نور لیزر با طول‌موج ١٥٢٠ نانومتر، درون مغزی و پوشش فیبری که غلافش از جنس پایه Al10Ga90As و دارای لایه‌های از جنس هوا ١١٠

شکل ٤-٣٢ نمودار مقادیر مولفه عرضی میدان الکتریکی در عرض قطعه‌ای از فیبر (با لحاظ کردن مختصات طول و عرض قطعه‌ای از فیبر) مربوط به هدایت نور لیزر با طول‌موج ١٥٢٠ نانومتر، درون مغزی و پوشش فیبری که غلافش از جنس پایه Al10Ga90As و دارای لایه‌های از جنس هوا..... ١١١
شکل ٤-٣٣ نمودار مقادیر مولفه عرضی میدان مغناطیسی در عرض قطعه‌ای از فیبر (با لحاظ کردن مختصات طول و عرض قطعه‌ای از فیبر) مربوط به هدایت نور لیزر با طول‌موج ١٥٢٠ نانومتر، درون مغزی و پوشش فیبری که غلافش از جنس پایه Al10Ga90As و دارای لایه‌های از جنس هوا..... ١١١
شکل ٤-٣٤ نمودار مقادیر میانگین زمانی چگالی انرژی کل در عرض قطعه‌ای از فیبر (با لحاظ کردن مختصات طول و عرض قطعه‌ای از فیبر) مربوط به هدایت نور لیزر با طول‌موج ١٥٢٠ نانومتر، درون مغزی و پوشش فیبری که غلافش از جنس پایه Al10Ga90As و دارای لایه‌های از جنس هوا..... ١١٢

فهرست جداول

صفحه

جدول ٤-١ عناصر و ترکیبات استفاده شده به‌عنوان لایه‌های قسمت غلاف فیبر ١٠١
جدول ٤-٢ انواع لیزرها و محدوده‌های طول‌موجی‌شان بر حسب نانومتر ١٠٢
جدول ٥-١ نتایج فیبر یک بعدی حلقوی-پایه از جنس عناصر جدول ٤-١و دارای غلافی که یک لایه در میان از جنس هواست..... ١١٦
جدول ٥-٢ نتایج فیبر یک بعدی حلقوی-پایه ژرمانیوم و دارای غلافی که یک لایه در میان از جنس سایر عناصر جدول ٤-١ است..... ١١٩
جدول ٥-٣ نتایج فیبر یک بعدی حلقوی-پایه سیلیسیم و دارای غلافی که یک لایه در میان از جنس سایر عناصر جدول ٤-١ است..... ١٢٢
جدول ٥-۴ نتایج فیبر یک بعدی حلقوی-پایه InSb و دارای غلافی که یک لایه در میان از جنس سایر عناصر جدول ٤-١ است..... ١٢٥
جدول ٥-۵ نتایج فیبر یک بعدی حلقوی-پایه InAs و دارای غلافی که یک لایه در میان از جنس سایر عناصر جدول ٤-١ است..... ١٢٨
جدول ٥-۶ نتایج فیبر یک بعدی حلقوی-پایه InP و دارای غلافی که یک لایه در میان از جنس سایر عناصر جدول ٤-١ است..... ١٣١
جدول ٥-٧ نتایج فیبر یک بعدی حلقوی-پایه GaAs و دارای غلافی که یک لایه در میان از جنس سایر عناصر جدول ٤-١ است..... ١٣۴
جدول ٥-٨ نتایج فیبر یک بعدی حلقوی-پایه GaP و دارای غلافی که یک لایه در میان از جنس سایر عناصر جدول ٤-١ است..... ١٣٧
جدول ٥-٩ نتایج فیبر دو بعدی تبدیل‌شده به یک بعدی-پایه از جنس عناصر جدول ٤-١ و در قسمت غلاف دارای حفره‌هایی از جنس هوا..... ١۴٠
جدول ٥-١٠ نتایج فیبر دو بعدی تبدیل‌شده به یک بعدی-پایه از جنس ژرمانیوم و در قسمت غلاف دارای حفره‌هایی از جنس سایر عناصر جدول ٤-١..... ١۴٣
جدول ٥-١١ نتایج فیبر دو بعدی تبدیل‌شده به یک بعدی-پایه از جنس سیلیسیم و در قسمت غلاف دارای حفره‌هایی از جنس سایر عناصر جدول ٤-١..... ١۴۶

فهرست علائم

PC	بلور فوتونی
PCBG	گاف نواری بلور فوتونی
PCF	فیبر بلور فوتونی
FEM	روش المان متناهی
FDTD	روش تفاضل متناهی بازه زمانی
PWE	روش بسط موج تخت بردار کامل
LBF	روش توابع بسیط جایگزیده
SLM	روش شبکه ابرسلولی
MPM	روش چند قطبی
FDM	روش تفاضل متناهی
BPM	روش انتشار باریکه‌ای
GVD	پراشیدگی سرعت گروه

فصل اول

مقدمه

پیشرفت همه جانبه و روزافزون علوم در تمامی رشته‌ها و لزوم پیوستگی آن‌ها به‌هم، جهت تسریع این مهم و پدیدار شدن بارقه‌های جدید در مواردی که پیش از این مسکوت مانده و یا رها شده بود، باعث تحولی اساسی در زندگی بشر شده است. خیلی پیشتر وابستگی دنیای فیزیک به ریاضی، باعث به‌وجود آمدن ریاضی فیزیک شد که این خود کمک بسیاری برای حل مسائل فیزیکی (حداقل اثبات تئوریک برخی از آن‌ها) نموده و در حال حاضر نیز می‌نماید. در دهه‌های اخیر که دنیای کامپیوتر پا به عرصه وجود گذاشته و شیب بسیار تندی در سیر تحولات خود طی می‌کند، نرم افزارهای فنی–مهندسی زیادی برای کمک به محققان علوم مختلف از جمله فیزیک، جهت حل مسائل سخت و پیچیده، و شبیه‌سازی مواردی که تست و انجام آن‌ها نشدنی و یا پر هزینه است، طراحی و ارائه شده‌اند.

لیزر[1] شاخه‌ای از علم است که سیر تحول آن از نیمه دوم قرن بیستم شروع به پیشرفت کرده و در حال حاضر در بسیاری از علوم و حتی زندگی روزمره از باریکه نور حاصل از آن استفاده می‌شود. به‌طور کلی لیزرها از سه جزء محیط فعال، دمش و کاواک تشکیل می‌شوند [۱–۴]. با استفاده از دمش مناسب که منجر به برانگیختگی اتم حالت پایه می‌شود و در اثر فرایند گسیل القایی [۳] که درون ماده فعال و به‌واسطه آینه (تشدیدگر)های واقع در کاواک لیزر، انجام می‌شود؛ باریکه‌ای لیزری[2] شامل فوتون‌های نوری تک‌فام (تک بسامد یا طیف بسیار باریکی از بسامد)، هم‌راستا (جهت‌مندی فوتون‌های باریکه در یک راستا) و هم‌دوس (موج تک بسامد بوده و دارای نقاط هم‌فاز روی جبهه موج است) تشکیل می‌شود [۵]. باگزینش ماده مناسب به‌عنوان محیط فعال و انتخاب روش دمش خوب و طراحی بهینه محیط تشدیدگر درون کاواک (با انتخاب ترکیب آینه‌ای مناسب)، بازدهی لیزری افزایش می‌یابد [۶]. باریکه حاصله در برخی جاها به‌طور مستقیم، و در جاهائی به‌واسطه محیطی که باید حداقل اتلاف را داشته باشد، نظیر فیبر نوری، جهت انتقال به محل دیگر، به‌کار برده می‌شود.

---

1 laser

2 laser beam

الکساندر گراهام بل در سال ۱۸۸۰ فکر جدیدش یعنی استفاده از حرکت نور در هوا برای جایگزینی تپ‌های الکتریکی در سیم‌های مسی جهت انتقال صدا در فواصل دور (تلفن نوری)، را ارائه کرد. به‌علت عدم کارائی در شب و مشکلات جوی احتمالی، این فکر به رغم آزمایش نسبتا موفقش، مسکوت ماند. با این وجود او فکر می‌کرد بالاخره روزی بشر از باریکه نوری برای ارتباط در فواصل دور، استفاده خواهد کرد. هم نور و هم الکتریسیته به صورت ارتعاش و موج حرکت می‌کنند. البته امواج نوری نسبت به امواج الکتریکی طول موج های بسیار کوتاه‌تر و بسامدهای بسیار بلندتری دارند. هر چه بسامد بلندتر باشد، جا برای انتقال اطلاعات بیشتر است. به این دلیل، با استفاده از امواج نوری نسبت به الکتریسیته که در سیم‌های مسی حرکت می‌کنند، اطلاعات بسیار بیشتری را در ثانیه می‌توان انتقال داد.

در سال‌های ۱۹۶۰ تا ۱۹۷۰ ارتباط راه دور توسط باریکه‌های نوری ممکن شد. پس از آن با اختراع و ساخت فیبرهای نوری[۳] OF جهت انتقال داده‌ها و اطلاعات در قالب باریکه نوری در فواصل دور، تحولی اساسی و مقرون به‌صرفه در دنیای ارتباطات به‌وجود آمد. کاکو و کوکهام انگلیسی برای اولین بار استفاده از شیشه را به عنوان محیط انتشار مطرح، و با اختراع لیزر ارتباطات فیبر نوری ممکن شد. معمولا فیبرهای نوری شیشه‌ای را از سیلیسیم (همان ماده‌ای که برای ساختن ریز تراشه‌ها به‌کار می‌رود)، می‌سازند. سیلیسیم جزء اصلی ماسه است و لذا به وفور یافت می‌شود. فیبر (تار)های نوری دارای مغزی (هسته) شیشه‌ای با ضریب شکست n_{co} و غلاف (روکش) شیشه‌ای با ضریب شکست n_{cla} که $n_{co} > n_{cla}$ بوده و هم‌چنین یک پوشش حفاظتی آن‌را محافظت می‌کند. پدیده‌ای که در فیبر نوری به‌وقوع پیوسته و عامل انتقال نور در هسته(مغزی) می‌شود، بازتاب داخلی کلی است که در اثر اختلاف ضریب شکست هسته و روکش وصادق بودن شرط بزرگ‌تر بودن ضریب شکست هسته نسبت به غلاف، به‌وجودمی‌آید [۷-۱۱].

فیبرهای نوری دارای مزایای زیادی نسبت به سیم‌های مسی بوده و در حال حاضر به‌طور وسیعی در علوم ارتباطات و مخابرات [۱۳-۱۴] و به‌طور ویژه‌ای در پزشکی [۱۲] به‌کار برده می‌شوند (برای حمل صدا و اطلاعات یا انتقال داده‌ها). از جمله مزایای این فیبرها می‌توان به موارد زیر اشاره کرد:

-سیگنال‌های الکتریکی در سیم‌های مسی به‌علت تداخل سایر وسایل الکتریکی دچار نوفه می‌شوند، اما امواج نوری تحت تاثیر وسایل الکتریکی مجاور قرار نمی‌گیرند.

---

3 optical fibers

– برای انتقال اطلاعات می‌توان یک جفت تار نوری نخ مانند به‌جای یک دسته‌ی ۲۵۶ جفت سیم مسی به‌کار برد که این سبکی و حجم کمتر را به‌همراه دارد (به‌اضافه هزینه کمتر در این زمینه).

–برای انتقال داده‌های حیاتی و سری (به‌خصوص اطلاعات نظامی) فیبرهای نوری مطمئن‌ترند، زیرا نمی‌توان بدون آشکار شدن روی آن‌ها پارازیت انداخت یا به آن‌ها گوش داد.

–فیبرهای نوری را می‌توان کنار تدارکات جنگی یا مخازن سوخت، بدون ترس از خطر جرقه که معمولا در سیم‌های مسی وجود دارد، قرار داد.

–مصرف ولتاژ در سیم های مسی بالا است، حال آن که مصرف برق در فیبرهای نوری با توجه به اتلاف کمتر در آن‌ها، کمتر است.

–سرعت انتقال داده‌ها در فیبرهای نوری بیشتر است.

–در تاسیسات خطوط تلفنی که سیم مسی به‌کار می‌برند، هر ۱/۶ کیلومتر نیاز به تقویت دارند، حال آن که در خطوط فیبر نوری، تقریبا هر ۱۱۰ کیلومتر نیاز به تقویت دارند.

–قابلیت انعطاف فیبرهای نوری بیشتر است (در مواردی مثل دوربین‌های دیجیتال برای کاربردهای پزشکی و لوله کشی و ... این مسئله نمود پیدا می‌کند).

به‌طور خلاصه ارزان‌تر بودن، نازک‌تر بودن، امنیت بالا، تاثیرپذیری کم از دما، سرعت بالای انتقال داده، پهنای باند وسیع، ظرفیت بالا، تضعیف کم و توانائی هدایت نور در زیر آب، از جمله مزایای فیبرهای نوری است.

با وجود این مزایا، معایبی نیز وجود دارد:

–با توجه به این‌که اساس کار فیبرهای نوری پدیده بازتاب داخلی کلی است، در جاهائی که فیبر دچار زاویه تند می‌شود، این پدیده دچار اشکال می‌شود.

–ناخالصی در فیبر اتلاف را افزایش می‌دهد، خالص سازی هر چه بیشتر هزینه‌بر است.

–اتصال دو بخش فیبر فرایند دشواری است.ضمنا نصب فیبر نوری نیاز به تجهیزات و افراد متخصص دارد.