

اللهم صل على محمد وآل محمد



دانشکده علوم

پایان نامه کارشناسی ارشد در رشته فیزیک (اپتیک و لیزر)

بررسی اثرات غیرخطی و پاشندگی و وابستگی آن‌ها به طول موج در
فیبرهای کریستال فوتونی

توسط:

مهین ناصرپور

استاد راهنما:

دکتر عبدالناصر ذاکری

۱۳۸۸/۷/۱۶

کتابخانه دانشگاه شیراز
تسبیح ذاکری

مرداد ۱۳۸۸

۱۲۱۴۵۰

به نام خدا

اظهار نامه

اینجانب مهین ناصرپور (۸۵۰۸۴۳)، دانشجوی رشته‌ی فیزیک گرایش اپتیک و لیزر دانشکده علوم اظهار می‌نمایم که این پایان نامه حاصل پژوهش خودم بوده و در جاهایی که از منابع دیگر استفاده کرده‌ام، نشانی دقیق و مشخصات آنها را نوشته‌ام. همچنین اظهار می‌کنم که تحقیق و موضوع پایان نامه‌ام تکراری نیست و تعهد می‌نمایم که بدون مجوز دانشگاه دستاوردهای آن را منتشر ننموده و یا در اختیار غیر قرار ندهم.

کلیه حقوق این اثر مطابق با آیین نامه مالکیت فکری و معنوی متعلق به دانشگاه شیراز است.



مهین ناصرپور

به نام خدا

بررسی اثرات غیرخطی و پاشندگی و وابستگی آن‌ها به طول موج در
فیبرهای کریستال فوتونی

توسط:

مهین ناصرپور

پایان نامه

ارائه شده به تحصیلات تکمیلی دانشگاه به عنوان بخشی از فعالیت‌های تحصیلی
لازم برای اخذ درجه کارشناسی ارشد

در رشته‌ی:

فیزیک

از دانشگاه شیراز

شیراز

جمهوری اسلامی ایران

ارزیابی شده توسط کمیته پایان نامه با درجه : عالی

دکتر عبدالناصر ذاکری، استاد بخش فیزیک (استاد راهنما).....

دکتر محمود مرادی، استاد بخش فیزیک.....

دکتر محمود حسینی فرزاد، استادیار بخش فیزیک.....

دکتر محسن حاتمی، استادیار بخش فیزیک دانشگاه یزد.....

مرداد ۱۳۸۸

تقدیم به خوبان زندگی؛

پدرم که هستی‌ام از برکت دستان مهربانش لبریز است

و بی‌مانند ترین اسطوره‌ی عشق و فداکاری، مادرم

و تمام کسانی که دوستشان دارم.

سپاسگزاری

سپاس و ثنا یگانه خالق را که ذرات وجودم از جوشش مهرش جان می‌گیرد، او که یگانه‌ترین در عظمت، تنهاترین در اوج و پاک‌ترین در وجود است.

بر خود لازم می‌دانم از استاد ارجمند جناب آقای دکتر عبدالناصر ذاکری که هدایت این رساله را به عهده داشتند و با رهنمودهای ارزشمند خود مرا در انجام این رساله یاری کردند و آقایان دکتر محمود مرادی، دکتر احمد پوست‌فروش، دکتر محمود حسینی‌فرزاد و دکتر محسن حاتمی که در به انجام رساندن این پژوهش مرا یاری نمودند، کمال تشکر و قدردانی را بنمایم.

سپاسی بی‌شائبه دارم از خانواده‌ی مهربانم که همواره مشوق اصلی من در تمام دوران تحصیل بوده‌اند. موفقیت خویش را قطعاً مرهون زحمات و حمایت‌های بی‌دریغ ایشان بوده و هستم. امیدوارم که قدردان زحمات این عزیزان باشم.

چکیده

بررسی اثرات غیرخطی و پاشندگی و وابستگی آن‌ها به طول موج در فیبرهای کریستال فوتونی

به وسیله‌ی:

مهین ناصرپور

استفاده از تقویت‌کننده‌ها در سیستم‌های ارتباطی، به منظور تقویت سیگنال‌های تضعیف شده، از اهمیت بسیاری برخوردار است. پیدایش تقویت‌کننده‌های نوری که سیگنال‌های نوری را به صورت مستقیم و بدون نیاز به تبدیل به سیگنال‌های الکتریکی، تقویت می‌کنند، انقلابی را در سیستم‌های فیبر نوری بر پا کرد. در این رساله وابستگی ضریب شکست موثر غلاف، پاشندگی، مساحت موثر مد و ضریب غیر خطی به طول موج در تقویت‌کننده‌های فیبری کریستال فوتونی آلاییده به Er^{+3} ، ضمن تغییر قطر و فواصل بین حفره‌های هوا در غلاف فیبر مورد بررسی قرار گرفته است. همچنین با به کارگیری روش عددی فوریه گام جدا، جهت حل معادله شرودینگر غیر خطی، تاثیر این وابستگی بر انتشار و تقویت پالس بررسی شده است. تغییر اندازه قطر و فاصله بین حفره‌های هوا در غلاف فیبر، تاثیر قابل توجهی بر وابستگی ضریب شکست موثر غلاف، پارامترهای غیرخطی و پاشندگی به طول موج دارد به گونه‌ای که افزایش فاصله بین حفره‌ها از میزان وابستگی به طول موج می‌کاهد. در تقویت‌کننده شبیه‌سازی شده، پاشندگی و اثر غیرخطی کم‌تر تاثیر یکدیگر را بر پهنای پالس تا حد زیادی خنثی می‌کنند، بطوریکه تغییرات پهنای پالس کمتر از ۱٪ می‌باشد. افزایش فاصله بین حفره‌ها از میزان وابستگی توان خروجی به طول موج می‌کاهد. همچنین در محدوده طول موجی بررسی شده، تغییرات توان پالس خروجی بر حسب طول موج، کمتر از ۰/۰۱ mW است.

فهرست مطالب

عنوان.....	صفحه.....
۱-مقدمه.....	۱.....
۱-۱-خلاصه‌ای از تاریخ ارتباطات.....	۱.....
۱-۲- روش ساخت فیبرهای نوری.....	۷.....
۲-۲- هدایت نور در فیبر نوری.....	۸.....
۳-۲- ویژگیهای فیبر نوری.....	۱۰.....
۱-۳-۲- روزنه عددی (Numerical Aperture).....	۱۰.....
۲-۳-۲- تضعیف در فیبرهای نوری.....	۱۱.....
۳-۳-۲- پاشندگی.....	۱۱.....
۴-۳-۲- محاسبه پاشندگی در فیبرهایی با ضریب شکست پله‌ای.....	۱۲.....
۵-۳-۲- مکانیزم افت.....	۱۴.....
افت‌های جاذب.....	۱۵.....
افت تابشی.....	۱۵.....
۴-۲- اثرات غیرخطی فیبرها.....	۱۷.....
۱-۴-۲- اثر غیرخطی کیر.....	۱۷.....
۵-۲- فیبرهای کریستال فوتونی.....	۱۹.....
۱-۵-۲- روش ساخت فیبرهای کریستال فوتونی.....	۲۴.....

۲۵	۳- تقویت کننده ها
۲۵	۳-۱- تقویت کننده‌های الکترونیکی
۲۶	۳-۲- تقویت کننده‌های نوری
۲۶	۳-۲-۱- تقویت کننده‌های تزریق شده با عناصر خاکی نادر (EDFA)
۲۷	۳-۲-۲- تئوری تقویت از طریق گسیل القایی
۳۱	۳-۲-۳- ویژگی‌های جذب و تابش در EDFA
۳۶	۳-۲-۴- تقویت کننده های نیمه رسانا (SOA):
۳۸	۳-۲-۵- تقویت کننده رامان:
۳۹	۴- معادله شرودینگر غیر خطی و روش فوریه گام جدا
۳۹	۴-۱- معادله شرودینگر غیر خطی
۴۳	۴-۲- روش فوریه گام جدا
۴۶	۵- بررسی نتایج عددی
۴۶	۵-۱- ساختار فیبر مورد مطالعه و خصوصیات پالس
۴۸	۵-۲- ضریب شکست موثر غلاف
۵۰	۵-۳- ثابت انتشار مرتبه دوم و مرتبه سوم
۵۴	۵-۴- مساحت موثر مد و ضریب غیر خطی
۶۰	۵-۵- بررسی پهنای پالس‌های خروجی
۶۱	۵-۶- بررسی توان خروجی پالس‌ها
۶۴	۵-۷- پاشندگی
۶۶	۶- نتیجه‌گیری و پیشنهادات:
۶۶	۶-۱- نتیجه‌گیری
۶۷	۶-۲- پیشنهادات
۶۸	فهرست منابع

فهرست جدول‌ها

عنوان.....	صفحه.....
جدول ۱-۵ مقادیر α به ازای نسبت‌های مختلف d/Λ	۴۷.....
جدول ۲-۵ اختلاف بیشترین و کمترین توان خروجی در بازه طول موجی بررسی شده برای $d/\Lambda = 0/4$	۶۳.....
جدول ۳-۵ مقادیر پاشندگی در ساختارهایی با $\Lambda = 3/29, 2/98, 2/91 \mu m$	۶۵.....

فهرست شکل‌ها

عنوان.....	صفحه.....
شکل ۱-۲ توزیع ضریب شکست یک فیبر نوری.....	۶
شکل ۲-۲ سطح مقطع فیبرهای تک مد و چند مد.....	۶
شکل ۳-۲ انتشار پرتو نور درون فیبر نوری.....	۸
شکل ۴-۲ انتشار پرتو درون فیبر خمیده.....	۹
شکل ۵-۲ پالس‌ها در ورودی فیبر دارای پهنای τ_1 می‌باشند. پس از انتشار درون فیبر پهنای پالس‌ها بیشتر شده و به τ_2 می‌رسد.....	۱۲
شکل ۶-۲ پالس‌ها با فاصله 100ns از یکدیگر جدا شده‌اند و پس از طی مسافت 1km قابل تجزیه‌اند اما همین پالس‌ها پس از طی مسافت 2km دیگر قابل تجزیه نیستند.....	۱۴
شکل ۷-۲ نمودار افت دریک فیبر نوری تک مد.....	۱۵
شکل ۸-۲ PCF با روزه عددی بزرگ.....	۲۱
شکل ۹-۲ PCF با مساحت مد بزرگ.....	۲۱
شکل ۱۰-۲ PCF با اثرات غیرخطی بالا.....	۲۲
شکل ۱۱-۲ فیبر کریستال فوتونی LIC.....	۲۲
شکل ۱۲-۲ فیبر میان تهی یا هوا-راهنما.....	۲۳
شکل ۱۳-۲ فیبر براگ.....	۲۳
شکل ۱-۳ طرح کلی یک تقویت‌کننده الکتریکی.....	۲۵
شکل ۲-۳ طرح یک تقویت‌کننده چهار ترازی.....	۲۷
شکل ۳-۳ ترازهای انرژی اربیم.....	۳۲
شکل ۴-۳ ترازهای استارک در تراز پایه و اولین تراز برانگیخته اربیم در $\text{SiO}_2 - \text{Al}_2\text{O}_3$	۳۳
شکل ۵-۳ طیف فلورسانس EDFA مربوط به گذارهای شکل ۴-۳.....	۳۳
شکل ۶-۳ نمودار جذب و نشر اربیم در سلیکایی که در آن فسفر و آلومینیوم پراکنده شده است.....	۳۴
شکل ۷-۳ ترازهای انرژی یون اربیم در شیشه سلیکا.....	۳۵

- شکل ۳-۸ تقویت کننده نیمه رسانا..... ۳۷
- شکل ۵-۱ سطح مقطع فیبر کریستال فوتونی بررسی شده..... ۴۶
- شکل ۵-۲ ضریب شکست موثر بر حسب طول موج برای $d/\Lambda = 0/3$ ۴۸
- شکل ۵-۳ ضریب شکست موثر بر حسب طول موج برای $d/\Lambda = 0/4$ ۴۸
- شکل ۵-۴ ضریب شکست موثر بر حسب طول موج برای $d/\Lambda = 0/5$ ۴۹
- شکل ۵-۵ ضریب شکست موثر بر حسب طول موج برای $d/\Lambda = 0/3, 0/4, 0/5$ و $\Lambda = 3\mu m$ ۴۹
- شکل ۵-۶ پارامتر پاشندگی مرتبه دو بر حسب طول موج برای $d/\Lambda = 0/3$ ۵۱
- شکل ۵-۷ پارامتر پاشندگی مرتبه سوم بر حسب طول موج برای $d/\Lambda = 0/3$ ۵۲
- شکل ۵-۸ پارامتر پاشندگی مرتبه دو بر حسب طول موج برای $d/\Lambda = 0/3, 0/4, 0/5$ و $\Lambda = 2\mu m$ ۵۳
- شکل ۵-۹ پارامتر پاشندگی مرتبه سوم بر حسب طول موج برای $d/\Lambda = 0/3, 0/4, 0/5$ و $\Lambda = 2\mu m$ ۵۴
- شکل ۵-۱۰ مساحت موثر مد مرتبه دوم برای $d/\Lambda = 0/5$ ۵۵
- شکل ۵-۱۱ نمودار عملکرد تک مد و چند مد فیبرهای کریستال فوتونی. نقاط مشخص شده مقادیر جدا کننده ناحیه تک مد و چند مد هستند که از طریق مساحت موثر مد مرتبه دوم محاسبه شده‌اند..... ۵۶
- شکل ۵-۱۲ مساحت موثر مد بر حسب طول موج برای $d/\Lambda = 0/4$ ۵۷
- شکل ۵-۱۳ ضریب غیر خطی بر حسب طول موج برای $d/\Lambda = 0/3, 0/4, 0/5$ و $\Lambda = 4\mu m$ ۵۷
- شکل ۵-۱۴ ضریب غیر خطی بر حسب طول موج برای $d/\Lambda = 0/4$ ۵۸
- شکل ۵-۱۵ ضریب غیر خطی بر حسب طول موج برای $d/\Lambda = 0/3, 0/4, 0/5$ و $\Lambda = 3\mu m$ ۵۹
- شکل ۵-۱۶ پالس ورودی..... ۵۹
- شکل ۵-۱۷ پهنای پالس خروجی بر حسب طول موج در $d/\Lambda = 0/3, 0/4, 0/5$ و $\Lambda = 3\mu m$ ۶۰
- شکل ۵-۱۸ پهنای پالس خروجی با طول موج 1550 nm بر حسب Λ برای $d/\Lambda = 0/4$ ۶۱
- شکل ۵-۱۹ پالس تقویت شده..... ۶۲
- شکل ۵-۲۰ شکل توان خروجی بر حسب طول موج برای $d/\Lambda = 0/4$ ۶۲

شکل ۲۱-۵ توان خروجی بر حسب طول موج برای $d/\Lambda = 0/3, 0/4, 0/5$ و $\Lambda = 3\mu\text{m}$

۶۳

شکل ۲۲-۵ پاشندگی مربوط به $d/\Lambda = 0/3$

۶۴

شکل ۲۳-۵ پاشندگی ساختارهای بهینه شده با کمترین پاشندگی در طول موج 1550nm

۶۵

۱- مقدمه

۱-۱- خلاصه‌ای از تاریخ ارتباطات

استفاده از نور به عنوان وسیله‌ای برای ارتباط پدیده جدیدی نیست. بشر اولیه از نور برای ارسال پیام استفاده می‌کرد و با فرستادن علائم به صورت دود که خود نوعی ارتباط نوری بود مقاصد خاصی را به دیگران ابراز می‌نمود. به عنوان مثال در چین باستان سربازان برای ارسال اطلاعات آتش بزرگی را بر روی دیوار روشن می‌کردند. در سال ۱۸۳۷ ساموئل مورس^۱ انقلابی را در ارتباطات از طریق اختراع تلگراف بر پا کرد که می‌توانست چند بایت را در هر ثانیه ارسال کند. این رکورد برای چند قرن باقی ماند تا در سال ۱۸۷۵ تلفن توسط گراهام بل اختراع شد. در همان سال، جیمز ماکسول^۲ معادلات خود را بیان کرد. ۱۰ سال بعد هنریک هرتز^۳ امواج رادیویی بلند را شناسایی کرد. تا آن زمان تنها محیط انتقال سیم‌ها بود. در سال ۱۸۹۵ مارکنی^۴ ارتباطات رادیویی را بر اساس امواج الکترومغناطیسی نشان داد. پس از آن ارتباطات با سرعت بالاتر از طریق امواجی با فرکانس‌های بالاتر و پهنای باند بزرگتر صورت گرفت.

در سیستم‌های الکتریکی، معمولاً انتقال اطلاعات پس از تبدیل سیگنال اطلاعات به یک موج الکترومغناطیسی که به آن موج حامل می‌گویند، صورت می‌گیرد. در این روش حجم اطلاعات قابل ارسال، به فرکانس موج حامل بستگی دارد. هر چه فرکانس موج حامل بیشتر باشد، پهنای باند یا ظرفیت آن بیشتر است. برای افزایش اطلاعات و همچنین، در اختیار داشتن سیستم‌های مخابراتی وسیع، باید پهنای باند فرکانسی وسیعی در دسترس بوده و برای افزایش پهنای باند، باید فرکانس افزایش یابد (یعنی طول موج کمتر). طیف امواج نوری بین ۵۰ نانومتر تا

^۱ Samuel Morse

^۲ James C. Maxwell

^۳ Heinrich Hertz

^۴ Guglielmo Marconi

۱۰۰ میکرومتر می باشد که بخشی از آن حدود ۴۰۰ تا ۷۰۰ نانومتر، طیف نور مرئی می باشد. فرکانس امواج نوری بین 10^{12} الی 10^{16} هرتز است.

در سال ۱۹۱۷ آلبرت انیشتین نشان داد که تابش القایی باید وجود داشته باشد تا آنکه در سال ۱۹۶۰ میمن^۵ عمل لیزر را در یاقوت نشان داد. با اختراع لیزر و مشاهده اینکه نور منتشره از لیزر شباهت زیادی با امواج الکترومغناطیسی ارسالی از یک فرستنده رادیویی دارد، فکر استفاده از لیزر برای انتقال اطلاعات به وجود آمد. ظهور لیزر پهنای باند بزرگی را در سیستمهای ارتباطی فراهم می کرد. فرکانس نور لیزر در حد $10^{14} \times 5$ هرتز است و ظرفیت اطلاعات آن تقریباً 10^5 برابر سیستم های مایکروویو و معادل ۱۰ میلیون کانال تلویزیونی است.

اولین محیطی که برای انتقال اطلاعات در سیستم های مخابرات نوری مورد استفاده قرار گرفت، جو یا اتمسفر بود که به علت اختلالات ناشی از شرایط جوی، نظیر رعد و برق، بارندگی، سرما و گرما و... ضریب شکست هوا تغییر می کرد و تنظیم عدسی ها به هم می خورد و شدت نور تغییر پیدا می کرد.

با توجه به اشکالاتی که در انتقال نور در هوا وجود داشت، به فکر استفاده از هدایت نور توسط موجبر افتادند. در تلاش های ابتدایی، اشعه نور در طول مسافت طولانی هدایت گردید و این عمل با بکارگیری عدسی هایی که در لوله مناسبی قرار داده شده بودند انجام شد. به این ترتیب از تمایل اشعه به پخش در اطراف، بر اثر شکست نور، ممانعت به عمل آمد و از ورود شعاع های نور خارجی و رطوبت به آن جلوگیری شد. چنین سیستم هایی نیز به نتیجه مطلوب نرسید زیرا به علت لرزش زمین عدسی ها کمی جابه جا شده و مسیر نور تغییر می کرد. به این ترتیب ایده بکارگیری فیبر نوری برای انتقال اطلاعات شکل گرفت. اما ارتباطات نوری پدیدار نشد زیرا تضعیف در فیبرها برای ارتباطات نوری هنوز بالا بود. در سال ۱۹۶۵ کایو^۶ و هاگمن^۷ از یک کمپانی استاندارد سازی تلفن و کابل انگلیسی اولین کسانی بودند که تشخیص دادند تضعیف کابل های آن دوره از ناخالصیها ناشی می شود، که می توانست حذف یا برداشته شود. آنها نشان دادند که اگر بتوانند تضعیف را به زیر ۲۰ dB در هر کیلومتر برسانند، فیبر نوری می تواند یک محیط کاربردی برای انتقال باشد. با این تخمین، اولین فیبر کاربردی برای ارتباطات در سال ۱۹۷۰ توسط محققان به نامهای فرانک زیمار^۸، دونالد کک^۹، پیتر شولتز^{۱۰} و روبرت مور^{۱۱} از کارمندان یک شرکت آمریکائی ساخت شیشه اختراع شد. آنها یک فیبر با تضعیف نوری $17 \frac{dB}{km}$ ساختند که در آن از فناوری تغلیظ سیلیکون با تیتانیوم استفاده شده بود. در پایان سال ۱۹۷۲

^۵ Theodore Maiman

^۶ Charles K. Kao

^۷ George A. Hockman

^۸ Frank Zimar

^۹ Donald Keck

^{۱۰} Peter Schultz

^{۱۱} Robert Maurer

فیبرهای چند مدی، با تضعیفی کمتر از $4 \frac{dB}{km}$ نیز شناخته شد که پیشرفتی شایسته در این زمینه بود.

پس از آنکه افت درون فیبرها کاهش پیدا کرد ارتباطات نوری شکل گرفت. از آن پس گسترش ارتباطات، سرعت و سهولت انتقال اطلاعات از طریق سیستمهای ارتباطی و مخابرات فیبر نوری یکی از پر اهمیت ترین مباحث تحقیقاتی در جهان امروز است. در ایران نیز اولین بار در اوایل سال ۱۳۶۰، فیبر تک مدی به طول ۴۵ کیلومتر بین تهران - کرج با همکاری شرکت زیمنس آلمان، با افت ۰/۳۶ دسی بل بر کیلومتر در طول موج ۱۳۱۰ نانومتر به صورت کانالی کشیده شد.

در فیبرهایی از جنس سیلیکا ثابت تضعیف (α) مقدار کوچکی می باشد به خصوص در محدوده طول موجی $1 - 1/6 \mu m$ که کمتر از $1 \frac{dB}{km}$ می باشد و در نزدیکی طول موج $1/55 \mu m$ به کمترین مقدار خود در حدود $0/2 \frac{dB}{km}$ می رسد. در فواصل کمتر از ۱ km افت فیبر را می توان نادیده گرفت. اما در سیستم های ارتباطی فیبر نوری طولانی که فاصله انتقال اطلاعات بسیار طولانی است، این امر مهم می شود.

در این راستا استفاده از تقویت کننده ها در سیستمهای ارتباطی، به منظور تقویت سیگنال های تضعیف شده، از اهمیت بسیاری برخوردار است.

تقویت کننده های قابل استفاده در سیستمهای ارتباطی به دو دسته تقویت کننده های الکتریکی و تقویت کننده های نوری تقسیم می شوند. تقویت کننده های الکتریکی بسیار پیچیده و گران قیمت می باشند در حالیکه تقویت کننده های نوری که سیگنالهای نوری را به صورت مستقیم تقویت می کند، ساده تر و ارزان قیمت ترند.

انواع تقویت کننده های نوری در دهه ۱۹۸۰ مورد مطالعه قرار گرفته و توسعه داده شدند. در ابتدا از تقویت کننده های نیمه رسانا استفاده می شد. اما از نقطه نظر مباحث کاربردی مربوط به افت های تزویجی^{۱۲}، حساسیت نسبت به قطبش و همسنوی بین کانالی^{۱۳}، به تقویت کننده های فیبری متمایل شدند.

تقویت کننده های رامان نیاز به توان پمپ بالا دارند که به آسانی از لیزرهای نیمه رسانا به دست نمی آید.

تقویت کننده های بریلوئن می توانند با توانهای پمپاژ پایین کار کنند اما پهنای باند مفیدشان در تقویت کننده های مورد استفاده در سیستم های نوری کوچک است.

نوع دیگری از تقویت کننده های فیبری بر اساس فیبرهای سیلیکا که با عناصر خاکی نادر تزریق شده اند در اواخر دهه ۱۹۸۰ مورد بررسی و توسعه قرار گرفتند و برای کاربردهای سیستم های موج نوری به نتیجه مطلوبی رسیدند.

^{۱۲} Coupling losses

^{۱۳} Interchannel crosstalk

در سال ۱۹۸۵ گروهی از محققان نشان دادند که در طول موجهای نزدیک 1550 nm ، تقویت می‌تواند از طریق تزریق یون Er^{+3} درون هسته فیبر و پمپ کردن آن صورت پذیرد. ظهور این دسته از تقویت‌کننده‌های نوری انقلابی را در ارتباطات نوری ایجاد کرد. این دسته از تقویت‌کننده‌های فیبری در سال ۱۹۹۰ به صورت تجاری در دسترس بودند. این دسته از تقویت‌کننده‌ها توانایی برطرف ساختن نیاز سیستمهای ارتباطی فیبر نوری را جهت افزایش فاصله بین تکرار کننده‌ها، دارا می‌باشند.

فیبرهای نوری نیز پیشرفت‌های زیادی داشته و ابداعات جدیدی در طراحی آنها شکل گرفته که این ابداعات در جهت توسعه قابلیت‌های فیبر بوده است.

فیبرهای بلور فوتونی دسته جدیدی از فیبرهای نوری می‌باشند که در سالهای اخیر در ساخت لیزرها و تقویت‌کننده‌ها مورد توجه و استفاده قرار گرفته‌اند.

در این رساله وابستگی پارامترهای پاشندگی و غیرخطی به طول موج در تقویت‌کننده‌های فیبر بلور فوتونی مورد بررسی و مطالعه قرار گرفته است. همچنین تاثیر این وابستگی، بر پهنای و توان خروجی پالس درون این دسته از تقویت‌کننده‌ها که عملکردشان بر اساس بازتاب داخلی کلی می‌باشد، بررسی شده است.

پالس‌های بررسی شده دارای پهنای 100 ps ، توان 5 mW و طول موجهایی در محدوده تقویت اربیم ($1530 - 1565\text{ nm}$) می‌باشند که این طول موجها جهت انتقال اطلاعات در سیستمهای مخابراتی استفاده می‌شوند.

در فصل دوم ساختار فیبرهای نوری را بررسی کرده و به بیان خصوصیات و روش ساخت آنها پرداخته‌ایم. در آخر این فصل انواع فیبرهای کریستال فوتونی معرفی شده‌اند.

در فصل سوم به معرفی تقویت‌کننده‌های مورد استفاده در سیستم‌های ارتباطی فیبر نوری پرداخته‌ایم. به ویژه نحوه تقویت در تقویت‌کننده‌های فیبری تغلیظ شده با Er^{+3} بررسی شده است.

در فصل چهارم روش به دست آوردن معادله شرودینگر غیرخطی که اساس بررسی انتشار نور در فیبر است را توضیح داده و روش عددی فوریه گام جدا را برای حل این معادله معرفی کرده‌ایم.

نهایتاً در فصل پنجم به معرفی ساختارهای بررسی شده و تحلیل نتایج به دست آمده پرداختیم.

۲- فیبرهای نوری

یک موجبر نوری وسیله‌ای است که می‌تواند یک پرتو نوری را از یک مکان به مکان دیگر هدایت کند.

فیبر نوری که از پالس‌های نور برای انتقال داده‌ها بهره می‌گیرد، از تمام محیط‌های انتقالی شناخته شده، دارای پهنای باند وسیع تر و افت کمتری می‌باشد. این‌ها دو مزیت عمده در ارزیابی سیستم‌های مخابراتی به شمار می‌رود. اکثر موجبرهای نوری مورد استفاده، فیبر نوری با ضریب شکست پله‌ای می‌باشد که از سه بخش متفاوت تشکیل شده است [۲]:

(۱) هسته (Core): هسته شامل یک تار کاملاً بازتاب کننده از شیشه خالص (معمولاً) است. هسته در برخی از کابل‌ها از پلاستیک کاملاً بازتابنده ساخته می‌شود، که هزینه ساخت را پایین می‌آورد. با این حال یک هسته پلاستیکی معمولاً کیفیت شیشه را ندارد و بیشتر برای انتقال داده‌ها در فواصل کوتاه به کار می‌رود.

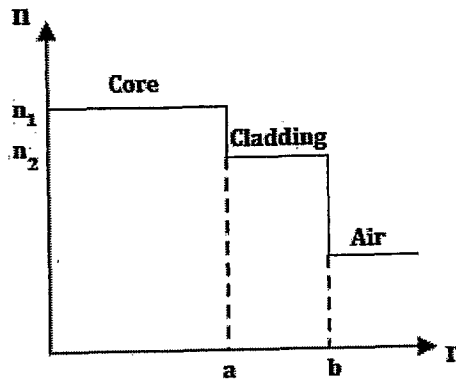
(۲) غلاف (Cladding): بخش خارجی فیبر بوده که دور تا دور هسته را احاطه کرده و باعث برگشت نور منعکس شده به هسته می‌گردد.

(۳) پوشش میانگیر (Buffer Coating): روکش پلاستیکی که باعث حفاظت فیبر در مقابل رطوبت و سایر موارد آسیب‌پذیر است.

توزیع ضریب شکست در این دسته از فیبرها به صورت زیر می‌باشد:

$$\begin{array}{lll} n(r) = n_1 & 0 < r < a & \text{هسته} & (1-2) \\ = n_2 & r > a & \text{غلاف} & (2-2) \end{array}$$

که r فاصله از مرکز هسته و a شعاع هسته می‌باشد.

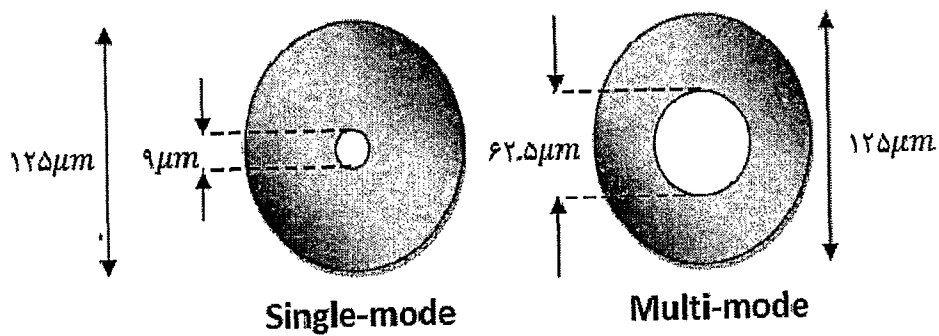


شکل ۱-۲ توزیع ضریب شکست یک فیبر نوری

اهمیت غلاف کردن فیبر نوری به این دلیل است که جهت انتقال نور از یک مکان به مکان دیگر فیبر باید محافظت شود. با انتخاب یک ضخامت مناسب برای غلاف، این امر میسر می‌گردد. علاوه بر آن در یک دسته فیبر بدون غلاف، نور می‌تواند از یک فیبر به فیبر دیگر نشت پیدا کند.

فیبرهای نوری در دو گروه عمده قرار می‌گیرند:

- ۱) فیبر تک مد (Single-mode): به منظور ارسال تنها یک مد در هر فیبر استفاده می‌شود (نظیر تلفن).
 - ۲) فیبر چند مد (Multi-mode): به منظور ارسال چندین مد در هر فیبر استفاده می‌شود (نظیر شبکه‌های کامپیوتری).
- تفاوت اصلی بین فیبرهای تک مد و چند مد در اندازه هسته این فیبرها می‌باشد.



شکل ۲-۲ سطح مقطع فیبرهای تک مد و چند مد

۲-۱- روش ساخت فیبرهای نوری

برای ساخت فیبرهای نوری با افت کم از شیشه سیلیکا ساخته شده از مولکول‌های SiO_2 استفاده می‌شود. اختلاف ضریب شکست بین هسته و غلاف از طریق تزریق مواد اضافی در حین ساخت به وجود می‌آید. موادی مانند GeO_2 و P_2O_5 موجب افزایش ضریب شکست سیلیکا می‌شوند و برای استفاده در هسته فیبر مناسب می‌باشند. از طرفی موادی مانند بورون^{۱۴} و فلورین^{۱۵} ضریب شکست سیلیکا را کاهش می‌دهند و در غلاف فیبر به کار می‌روند. مواد اضافه شده به سیلیکا با توجه به نوع نیاز انتخاب می‌شوند. به عنوان مثال برای ساخت تقویت‌کننده‌ها و لیزرهای فیبری، عناصر خاکی کمیاب مانند اربوم را درون هسته فیبر تزریق می‌کنند. ساخت فیبرهای نوری در دو مرحله انجام می‌شود. در مرحله اول با استفاده از روش ته نشینی بخار^{۱۶} یک پیش ساخت استوانه‌ای با یک توزیع ضریب شکست مطلوب و یک نسبتی از اندازه هسته و غلاف ایجاد می‌شود. معمولاً پیش ساخت دارای طول ۱ متر و قطر ۲ سانتی متر است. در مرحله دوم، پیش ساخت درون یک کوره با سرعت مناسب کشیده می‌شود. در این مرحله ابعاد هسته و غلاف تثبیت می‌شود. یکی از مهمترین روش‌ها برای تولید پیش ساخت، روش تغییر یافته ته نشینی بخار شیمیایی است (MCVD)^{۱۷}. در روش MCDV چندین لایه از SiO_2 ، از طریق ترکیب بخارهای $SiCl_4$ و O_2 در دمای $1800^\circ C$ ، درون تیوپ سیلیکا ته نشین می‌شود. برای اطمینان از یکنواختی چندین گرم کننده در طول تیوپ به جلو و عقب می‌روند. ضریب شکست لایه‌های غلاف با اضافه کردن فلورین کنترل می‌شود. زمانی که ضخامت مناسب برای غلاف توسط جابه‌جایی گرم کننده حاصل شد، بخار $POCl_3$ و $GeCl_4$ به ترکیب بخار برای ساخت هسته اضافه می‌شود [۱].

^{۱۴} Boron

^{۱۵} Fluorine

^{۱۶} Vapor-deposition

^{۱۷} Modified chemical vapor deposition