١٤٣٤

دانشکده علوم

گروه فیزیک

(فوتونیک)

بررسی عددی انتشار سالیتون نوری در فیبر نوری خمیده با استفاده از روش FFT BPM

از

حمیده افتخاری

استاد راهنما

دکتر حمید رضا مشایخی

۱۳۸۹/۷/۳

بهمن ۸۸

۱۴۱۴۶۴

درود بر هم او که آفرید، آفرید چونان شمایی را،

پدر و مادرم تشکر از شما،

شمایی که زشتی ها و درشتی هایم را گویی هیچگاه ندیدید و

ندانستید مهر ورزیدید و باز هم مهر،

همواره تکیه گاهم بودید و پلکانم برای صعود و اگر نبودید...

تقدیم به

پدر و مادر مهربانم.

سپاس خدای را که به ید قدرت بی منتهایش دریای آفرینش را جاری کرد و به اراده ازلی اش همه خلق را صورت بخشید.

در ابتدا بر خود لازم می دانم از استاد بزرگوارم جناب آقای دکتر مشایخی که در انجام این پروژه از راهنمایی و کمک های بی دریغ شان بهره مند شدم و در تمام مراحل انجام کارمرا یاری نمودند، تشکر و قدر دانی نمایم. با تشکر از اساتید گرانقدرجناب دکتر باطبی و دکتر رجایی که در سمت اساتید ممتحن زحمت مطالعه پایان نامه مرا تقبل نمودند. همچنین از جناب آقای دکتر پناهی که به عنوان نماینده تحصیلات تکمیلی در جلسه حضور داشتند، تشکر می‌نمایم.

از خانواده مهربان و دلسوزم که همواره پشتیبان و حامی من بوده اند و دوستان مهربانم که صمیمانه یاریگر من بودند نیز تقدیر می‌نمایم.

فهرست مطالب

عنوان		صفحه
چکیده فارسی		خ
چکیده انگلیسی		د
مقدمه		۱
فصل۱	**مروری بر تاریخچه ارتباطات**	۳
۱-۱	تاریخچه ارتباطات	٤
۱-۲	خط انتقال فیبر نوری	۷
۱-۲-۱	مزایای مخابرات با استفاده از فیبر نوری	۸
۱-۳	موجبر	۹
۱-۳-۱	چرا به موجبر نیاز داریم؟	۹
۱-۳-۲	چرا موجبرها انواع مختلفی دارند؟	۱۲
۱-٤	محدودیت‌های اساسی	۱۲
۱-۵	سالیتون‌های نوری	۱۵
فصل۲	**شیوه انتشار پرتو (BPM)**	۱۷
۲-۱	ساختار موجبرها	۱۸
۲-۱-۱	شکل‌گیری مدهای هدایت‌شده	۲۰
۲-۲	روش انتشار پرتو (BPM)	۲٦
۲-۳	معادله‌های اصلی BPM بر اساس FFT	۲۷
۲-۳-۱	انتشار موج در موجبرهای نوری	۲۷
۲-۳-۲	انتشار پالس در فیبر نوری	۳۰
۲-٤	بررسی انتشار یک موج اپتیکی با استفاده از FFT BPM	۳۱
۲-٤-۱	حل عمومی با استفاده از عملگرها	۳۱
۲-٤-۲	روش عددی با استفاده از الگوریتم تبدیل فوریه گام به گام	۳۳
۲-۵	بررسی انتشار پالس اپتیکی با استفاده از FFT BPM	۳٦
فصل ۳	**انتشار سالیتون در موجبرهای نوری خمیده**	٤۰
۳-۱	انتشار سالیتون در فیبر نوری مستقیم	٤۲
۳-۲	انتشار سالیتون فضایی در فیبر نوری خمیده	٤۵
۳-۲-۱	پروفایل ضریب شکست برای موجبرهای خمیده	٤۵
۳-۲-۲	شبیه‌سازی انتشار سالیتون‌های فضایی در فیبر نوری خمیده	٤۷

۳-۳	برهمکنش سالیتون‌ها	۵۳
فصل ٤	**بررسی اتلاف در فیبر نوری خمیده**	**۵۵**
٤-۱	خمش خط انتقال	۵۷
٤-۲	اتلاف انتقال فیبر نوری	۵۸
٤-۲-۱	اتلاف جذبی و پرکنداگی	۵۹
٤-۲-۲	اتلاف اتصال	٦۰
٤-۲-۳	اتلاف انحنا و ناهمواری‌های مرز میان هسته و پوشش	٦۵
فصل ۵	**نتیجه‌گیری**	**۷۱**
۵-۱	نتیجه‌گیری	۷۲
۵-۲	پیشنهاد برای ادامه کار	۷۳
مراجع		۷٤
پیوست		۷۷

فهرست شکل‌ها

عنوان صفحه

شکل۱.۱ نمایی از فیبر نوری ۷

شکل۲.۱ نواحی مختلف طیف الکترومغناطیسی ۹

شکل ۳.۱ تابش از یک آنتن به صورت تابعی از محیط مدار ۱۰

شکل٤.۱ تراگسیلندگی جوی ۱۱

شکل ۱.۲ ساختار اساسی و پروفایل ضریب شکست موجبرهای نوری ۱۸

شکل ۲.۲ پرتوهای نوری و جبهه‌های موج در موجبر ۲۰

شکل۳.۲ بازتاب کلی از یک صفحه موج در فصل مشترک یک دی‌الکتریک ۲۱

شکل٤.۲ شکل گیری مدها الف) مد پایه ب) مدهای مراتب بالاتر ۲۳

شکل۵.۲ منحنی پاشندگی موجبر تیغه‌ای ۲٤

شکل٦.۲ نمایی از روش BPM: الف) انتشار نور در موجبر تیغه‌ای ب) جداسازی انتشار در فضای آزاد و اثر موجبر در BPM ۲۹

شکل۱.۳ انتشار سالیتون فضایی در فیبر نوری مستقیم بدون در نظر گرفتن اتلاف ٤۳

شکل۲.۳ انتشار سالیتون در فیبر نوری مستقیم با لحاظ کردن اتلاف ٤٤

شکل۳.۳ موجبر خمیده دو بعدی و انتقال آن به موجبر مستقیم ٤۵

شکل٤.۳ پروفایل ضریب شکست معادل با موجبر مستقیم ٤٦

شکل۵.۳ پالس ورودی به فیبر نوری خمیده ٤۷

شکل٦.۳ شدت پالس ورودی به فیبر خمیده ٤۸

شکل۷.۳ تغییرات انحنا در امتداد موجبر خمیده S شکل سینوسی و کسینوسی ٤۹

شکل۸.۳ انتشار سالیتون در فیبر نوری خمیده S شکل سینوسی ۵۰

شکل۹.۳ انتشار سالیتون در فیبر نوری خمیده S شکل کسینوسی ۵۰

شکل۱۰.۳ انتشار سالیتون در فیبر نوری خمیده S شکل سینوسی با حضور اتلاف ۵۱

شکل۱۱.۳ انتشار سالیتون در فیبر نوری خمیده S شکل کسینوسی با حضور اتلاف ۵۲

شکل۱۲.۳ برهمکنش دو سالیتون در فیبر نوری خمیده S شکل (نمودارهای سمت راست S شکل سینوسی و سمت چپ کسینوسی) ۵٤

شکل۱.٤ موجبر خمیده S شکل ۵٦

شکل۲.٤ دو پدیده در محل خمش یک موجبر ضریب شکست پله‌ای الف) تبدیل مد ب) تشعشع ۵۷

شکل۳.٤ الف) تبدیل مد ب) تشعشع در محل خمش یک موجبر ضریب شکست تدریجی ۵۸

شکل ٤.٤ مکانیسم‌های تلفات اتصال در یک فیبر نوری ۵۸

شکل۵.٤ پیشرفت‌های حاصل در کاهش تلفات انتقال فیبر نوری ۵۹

شکل٦.٤ الف) اتصال دو فیبر ضریب شکست پله‌ای ب) دو فیبر ضریب شکست تدریجی ٦۰

شکل۷.٤ پروفایل مد موجبر خمیده ٦۲

شکل ٨.٤ اتلاف اتصال نسبت به شعاع انحنا ٦٤
شکل ٩.٤ اتلاف خمش فیبر نوری ٦٥
شکل ١٠.٤ ضریب اتلاف بر حسب شعاع انحنا ٦٧
شکل ١١.٤ پروفایل خمیده s شکل ٦٨
شکل ١٢.٤ اتلاف انحنا در امتداد موجبر خمیده s شکل نسبت به طول مسیر ٦٩
شکل ١٣.٤ اتلاف انحنا نسبت به شعاع انحنای موجبرهای خمیده ٧٠

فهرست جداول

عنوان	صفحه
جدول۳-۱. پارامترهای موجبر	٤٧
جدول٤-۱. مقادیر تجربی و محاسبه شده A و B	٦٤
جدول ٤-۲. پارامترهای اتلاف اندازه‌گیری شده و محاسبه شده	٦٧

چکیده

بررسی عددی انتشار سالیتون نوری در فیبر نوری خمیده با استفاده از FFT BPM.

حمیده افتخاری

موجبرهای خمیده تک مد از اجزای مهم در مدارهای مجتمع نوری می‌باشند. این موجبرها در مدارهای مجتمع نوری برای اتصال دو موجبر مستقیم که جهت‌های مختلفی دارند و یا وقتی جابجایی بدون تغیر جهت مورد نیاز باشد، ضروری هستند. سالیتون فضایی از تعادل ظریف بین اثر غیر خطی و پاشندگی به وجود می‌آید و بدون تغییر شکل و سرعت در فیبر نوری منتشر می‌شوند. این ویژگی باعث شده تا سالیتون‌ها کاندیدای خوبی برای ارسال اطلاعات در سیستم مخابرات نوری برای مسافت طولانی باشند. در این پایان‌نامه، انتشار سالیتون‌های فضایی در فیبرهای نوری خمیده با استفاده از روش FFT BPM شبیه‌سازی شده است. از طرف دیگر اتلاف وارد شده توسط موجبرهای خمیده عامل مهمی است که کارایی مدارهای اپتیکی ساخته شده روی یک زیرلایه را معین می‌کند. بنابراین دو نوع اتلاف انحنا و اتلاف اتصال در فیبر نوری خمیده نیز بررسی می‌شود.

کلید واژه: روش عددی (FFT BPM) ، سالیتون فضایی، فیبرهای نوری خمیده، اتلاف انحنا و اتلاف اتصال.

Abstract

Numerical investigation of the propagation of optical soliton in bend optical fiber using FFT BPM

Hamideh Eftekhari

Single mode waveguide bends are indispensable elements in integrated optical circuits.These are used to connect two straight guides that have different directions or to introduce a lateral displacement without change of direction. As a result of compensation of the dispertion with nonlinear effects, these pulses propagate in optical fibers whithout any change in their shape and velocity. This property makes them a good candidate for transferring information for long distance optical communication systems. In this thesis, propagation of spatial soliton in bend optical fibers using FFT BPM is simulated. By the other hand, the optical loss introduced by waveguide bends is a key factor which determined the overall performance of optical circuits fabricated on a single substrate. Thus two kind bending loss and transition loss are investigated.

Keywords: Numerical method (FFT BPM), Spatial solitons, Bend optical fibers, Bending loss and transition loss.

مقدمه

مقدمه

موجبرهای نوری خمیده در مدارهای مجتمع نوری به طور گسترده برای ارتباط دادن اجزای مختلف مدار به‌کار می‌روند. این موجبرها برای اتصال دو موجبر موازی که جهت‌های مختلفی دارند یا وقتی جابجایی بدون تغییر جهت مورد نیاز باشد به‌کار می‌روند. اتلاف اپتیکی وارد شده به وسیله این موجبرها عامل مهمی است که کارایی مدارهای اپتیکی ساخته شده روی یک زیر لایه را معین می‌کنند.

شبیه‌سازی انتشار پالس نوری در مورد موجبرهای خمیده یکی از راه‌های مطالعه‌ی تاثیر محیط و اثرات اپتیکی بر آن است. از این میان، شبیه‌سازی انتشار پالس‌های سالیتونی از عمده مسائل مورد توجه در سال‌های اخیر می‌باشد. سالیتون‌های فضایی حاصل تعادلی ظریف بین آثار غیر خطی و پاشندگی هستند که در مورد برخی از پدیده‌های فیزیکی و در پاره‌ای از محیط‌ها پدید می‌آیند. سالیتون‌های فضایی جوابهایی از معادله موج هلمهولتز می‌باشند. سالیتون‌ها در زمینه‌های گوناگونی از اپتیک و سیالات گرفته تا حالت جامد و سیستم‌های شیمیایی دیده شده و مورد مطالعه قرار گرفته‌اند.

در این پایان‌نامه به شبیه‌سازی انتشار سالیتون‌های فضایی در فیبرهای نوری خمیده پرداخته می‌شود. برای مطالعه رفتار سالیتون‌های فضایی نیاز به حل عددی معادله هلمهولتز می‌باشد که برای حل آن از روش FFT BPM[1] استفاده شده است. سرعت محاسبه این روش نسبت به روش‌های دیگر BPM نظیر FDM BPM بیشتر و کدنویسی آن راحت‌تر است. فصل اول در برگیرنده مروری کوتاه بر تاریخچه مخابرات می‌باشد که در نهایت ظهور سالیتون‌ها را به عنوان جهشی در این سیستم‌ها معرفی می‌کند. در فصل دوم ابتدا ساختار موجبرها و شکل‌گیری مدهای هدایت شده در آنها توضیح داده می‌شود و در ادامه روش BPM بر اساس FFT به طور مفصل شرح داده می‌شود. در فصل سوم با استفاده از جواب سالیتونی معادله هلمهولتز به شبیه‌سازی انتشار سالیتون فضایی در دو نوع فیبر نوری خمیده S شکل سینوسی و کسینوسی می‌پردازیم. فصل چهارم شامل بررسی اتلاف در فیبرهای نوری خمیده می‌باشد و دو نوع اتلاف اتصال و اتلاف انحنا برای موجبرهای خمیده ذکر شده بدست آورده می‌شود. در نهایت فصل پنجم جمع‌بندی و نتایج حاصل را ارائه نموده و پیشنهادهایی جهت ادامه کار مطرح می‌شود.

[1] Fast fourier transform beam propagation method

فصل ۱

مروری بر تاریخچه مخابرات

۱-۱ تاریخچه ارتباطات

از کجا مرور تاریخی این موضوع را شروع کنیم ؟! نور همیشه با ما بوده است. مخابرات با استفاده از نور در اوایل دوران پیشرفت بشری، از زمانی که بشر ابتدا با استفاده از علامت دادن با دست پیام خود را ارسال می‌کند، شروع شده است. این خود بطور بدیهی یک نوع مخابرات نوری است و در تاریکی قابل اجرا نمی‌باشد.

در طول روز، منبع نور برای سیستم مورد مثال خورشید است. اطلاعات از فرستنده به گیرنده از طریق پرتو نور خورشید ارسال می‌گردد. نور بر حسب حرکات دست تغییر وضعیت داده یا مدوله می‌گردد. چشم پیام را آشکار کرده و مغز پردازش لازم را روی آن انجام می‌دهد. در این سیستم، انتقال اطلاعات کند، میزان اطلاعات قابل انتقال در یک زمان معین محدود و احتمال خطا زیاد است. سیستم نوری دیگری که برای مسیرهای طولانی‌تر مفید است ارسال علائم دودی است. پیام با استفاده از تغییر شکل دود حاصل از آتش ارسال می‌گردیده است. در این سیستم به طرح و یادگیری یک رمز بین فرستنده و دریافت‌کننده نیاز می‌باشد. این سیستم با سیستم‌های جدید مخابرات دیجیتال که در آن از رمزهای پالسی استفاده می‌شود قابل قیاس است.

در سال ۱۸۸۰ الکساندر گراهام بل یک سیستم مخابرات نوری به نام فوتوفون را اختراع کرد[۱]. در این سیستم، بل از آئینه نازک که توسط صدا به لرزه در می‌آید استفاده نمود. نور خورشید منعکسه از این آئینه اطلاعات را حمل می‌کند. در گیرنده، نور خورشید مدوله شده به سلنیوم هادی نور اصابت می‌کند و در آن به یک سیگنال الکتریکی تبدیل می‌شود. این سیگنال الکتریکی در یک تلفن مجددا به سیگنال صوتی تبدیل می‌گردد. با وجودی که سیستم فوق نسبتا خوب کار می‌کرد هرگز یک موفقیت تجاری کسب نکرد. ابداع لامپهای ساخته بشر منجر به ساخت سیستم‌های مخابراتی ساده مثل چراغهای چشمک‌زن بین دو کشتی و یا بین کشتی و ساحل، چراغهای راهنمای اتومبیلها و یا چراغهای راهنمائی گردید. در واقع هر نوع چراغ راهنما در اصل یک سیستم مخابرات نوری است.

تمام سیستم‌های شرح داده فوق دارای ظرفیت اطلاعات کمی هستند. یک جهش اساسی که منجر به ایجاد سیستم‌های مخابرات نوری با ظرفیت زیاد شد کشف لیزر بود که اولین نوع آن در سال ۱۹۶۰ ساخته شد[۲]. لیزر به عنوان یک منبع نور مناسب، قابلیت استفاده برای حمل اطلاعات را فراهم می‌آورد. لیزرها قابل قیاس با منابع فرکانس رادیوئی مورد استفاده در

مخابرات هستند. سیستم‌های مخابرات نوری هدایت نشده (بدون فیبر) کمی بعد از کشف لیزر توسعه یافتند. مخابره اطلاعات توسط پرتوهای نوری که در جو سیر می‌کنند به آسانی انجام گردید. نقاط ضعف عمده این سیستم‌ها عبارتند از : نیاز به یک جو شفاف، نیاز به داشتن دید و مسیر مستقیم بین فرستنده و گیرنده، احتمال آسیب رسیدن به چشم بیننده‌ای که به طور ناآگاهانه ممکن است به پرتو نگاه کند. موارد استفاده اولیه سیستم‌های نوری، هر چند محدود، باعث ایجاد علاقه به سیستم‌های نوری شد که بتواند پرتو نور را هدایت کند و بر معایب ذکر شده در ارسال هدایت نشده نور غلبه نماید.

بعلاوه، پرتو هدایت‌شده می‌تواند در گوشه‌ها (انحراف مسیر) خم شود و خطوط انتقال آن می‌توانند در زیر زمین کار گذاشته شوند. کارهای اولیه انجام شده روی سیستم‌های لیزری جوی اکثر اصول نظری و خیلی از ادوات لازم برای مخابرات نوری را فراهم نموده‌اند. در خیلی از موارد دیودهای نور گسیل (LED) که به باریکی لیزر هم نیستند مناسب می‌باشند.

تقاضا برای انتقال اطلاعات به میزان گسترده و سرعت زیاد انگیزه توسعه ارتباطات اپتیکی شد. با ظهور اولین لیزر در سال ۱۹۶۰ که یک منبع نوری همدوس است و فرکانسی از مرتبه ۲×۱۰^{۱۴} دارد، پهنای باند وسیعتر برای انتقال اطلاعات فراهم گردید. مرحله بعدی یافتن یک محیط مناسب برای انتقال اطلاعات بود. در سال ۱۹۶۶ اولین فیبر شیشه‌ای نوری با اتلافی حدود ۲۰ dB/km ساخته شد[۳]، که بیش از اندازه نور را تضعیف می‌نمودند. بعد از آن در سال ۱۹۷۰ اتلاف در طول موج ۱۵۵۰nm به حدود ۰/۲ dB/km کاهش یافته و تکنولوژی فیبرهای نوری برای انتقال اطلاعات در مسافت‌های طولانی به‌کار گرفته شد. این موضوع درست ۱۰۰ سال پس از آزمایش جان تیندال[1] فیزیکدان انگلیسی بود که به مجمع سلطنتی نشان داد که نور می‌تواند در طول یک مسیر منحنی در بخار آب هدایت شود. هدایت نور توسط فیبرهای شیشه‌ای و توسط بخار آب شواهدی بر یک پدیده واحد هستند (پدیده انعکاس کلی داخلی[2]).

همچنین با استفاده از مالتی‌پلکس کردن با تقسیم طول موج[3] (WDM) و مالتی‌پلکس کردن با تقسیم زمان[4](TDM) شبکه‌های ارتباطی فیبر نوری ظرفیت بالاتری از اطلاعات را منتقل می‌کنند. مفهوم مجتمع‌سازی در سال ۱۹۶۹ شروع شد و منجر به توسعه و ایجاد وسائل نوری نظیر سوئیچ‌های نوری، مالتی‌پلکس کننده‌ها، دی‌مالتی‌پلکس کننده‌ها، فیلترها و غیره برای اطلاعات مدرن شد. با مجتمع‌سازی روی یک زیر لایه امکان ساخت تراشه‌هائی با اندازه حدود چند سانتی متر مربع را می‌دهد. در سیستم‌های ارتباطی الکتریکی، پهنای باند به دلیل وجود اتلاف بالا در کابل دارای محدودیت بود. همان‌طور که

---

[1] John Tindall
[2] Total Internal Reflection
[3] Wavelength division multiplexing
[4] Time division multiplexing

می‌دانیم پهنای باند در محیط‌های انتقال مخابراتی به عنوان ظرفیت انتقال اطلاعات در آن محیط تعریف می‌شود و در حدود گیگا بیت است. پهنای باند سیستم‌های ارتباطی با به کارگیری مایکروویوها در سال ۱۹٤۸ به میزان زیادی افزیش پیدا کرد و این مبنای سیستم مخابرات نوری بود. مخابرات نوری عبارت است از هر فرم انتقال اطلاعات که در آن نور واسط انتقال اطلاعات باشد. کانال چنین ارتباطی می تواند فضای آزاد[٤]، هوا یا فیبر نوری باشد.

فیبرهای نوری در سیستم مخابرات نوری به دو دسته تقسیم می‌شوند:

۱–فیبرهای تک‌مدی[1] برای انتقال اطلاعات به مسافت طولانی

۲–فیبرهای چندمدی[2] برای انتقال اطلاعات زیاد برای مسافت کم

فیبرهای تک‌مدی یک سیگنال نوری را در هر زمان، انتشار می‌دهند و انتخاب مناسبی برای ارتباطات در مسافت طولانی هستند. در حالی که فیبرهای چندمدی می‌توانند صدها حالت نور را همزمان انتقال دهند. در واقع فیبرهای چندمدی، مدهای زیادی با فاز و سرعت گروه متفاوت را حمل می‌کنند. تفاوت در سرعت گروه مدهای مختلف باعث پهن‌شدگی بسته‌های مد می‌شود، بنابراین قادر نخواهد بود بسته‌های پالس را در مسافت طولانی حفظ کند. فیبرهای تک‌مدی تنها یک مد (با دو پلاریزاسیون) را حمل می‌کند. یک مد دارای سرعت گروه و فرکانس مشخص می‌باشد. اگر چه حتی یک فیبر تک‌مدی مصون از پهن‌شدگی نیست اما در این حالت پهن‌شدگی نسبت به فیبر چندمدی کمتر است. اساس کار سیستم ارتباط فیبر نوری بدین ترتیب است که ابتدا اطلاعات توسط مدار الکتریکی به پالس الکتریکی تبدیل می‌شود. این پالسها توسط یک منبع اپتیکی تبدیل به نور می‌شود و نور حاصل از طریق کابل فیبر نوری به انتهای مسیر انتقال رسیده و در آنجا توسط گیرنده به پالس الکتریکی تبدیل می‌شود و در نهایت اطلاعات از طریق پالس الکتریکی حاصل بازیافت می‌گردد. در سالهای اخیر در بسیاری از نقاط جهان استفاده از فیبر نوری نسبت به دیگر سیستم‌های انتقال افزایش چشمگیری داشته است. اما هنگامی که نور به عنوان حامل اطلاعات مورد استفاده قرار می‌گیرد دو مشکل اساسی وجود دارد:

۱. اتلاف و تضعیف بسیار شدید نور در فیبر نوری

۲. پاشیدگی موج حامل اطلاعات ضمن انتقال در مسافتهای طولانی داخل فیبر نوری

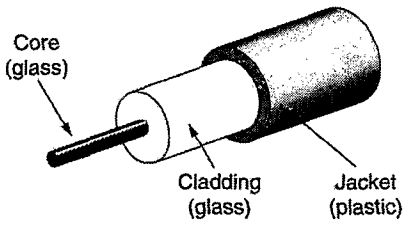
---

[1] Single mode fiber
[2] Multi mode fiber

به همین دلیل فیزیکدانان در پی راه حلی جهت انتقال اطلاعات در مسافتهای طولانی به صورت صحیح و بدون واپاشی اطلاعات و با حداقل اتلاف بودند. کشف سالیتونها راه حلی کارآمد برای حل این مشکل بود.

۱-۲ خط انتقال فیبر نوری

ساختمان خط انتقال فیبر نوری عبارت است از هسته‌ای با ضریب شکست n_1 که در اطراف آن پوششی با ضریب شکست n_2 (کوچکتر از n_1) قرار گرفته است. نور در اثر انعکاس کلی داخلی در سطح بین هسته و پوشش محصور شده و انتشار پیدا می‌کند. در شکل ۱-۱ نمایی از فیبر نوری را مشاهده می‌کنیم.



شکل ۱- ۱. نمایی از فیبر نوری

فیبر نوری از نوع موجبر دی‌الکتریکی است و موادی که در آن به کار برده می‌شود معمولا شیشه کوارتزی (سیلیکا) و یا به طور کلی مواد شیشه‌ای شکل است. بر حسب مورد، از پلاستیک یا مایعات نیز استفاده می‌شود. برای خطوط انتقال مورد استفاده در مدارهای نوری هم شیشه، پلاستیک، مواد آلی، بلورهای نوری (اپتیکی) و نیمه هادیها و غیره به کار می‌روند. شعاع هسته فیبر نوری معمولا از چند میکرون تا چندین ده میکرون، و شعاع پوشش در حدود ۱۰۰ تا ۲۰۰ میکرون است که به این ترتیب از نظر مکانیکی ضعیف است و در مقابل عوامل شیمیایی نظیر رطوبت نیز مقاوم نیست. بدین جهت روی آن را ابتدا با پلاستیک و سپس با نایلون می‌پوشانند و بیش از چند رشته از آن را دسته کرده و به صورت کابل فیبر نوری مورد استفاده قرار می‌دهند. شیشه نوع کوارتز فعلا ماده‌ای است که کمترین اتلاف را داراست و با توجه نسبت به حذف ناخالصی‌های آن، اتلاف فیبر نوری در طول موج μm ۱/۵۵ تا حدود dB/km ۰/۲ (یعنی در هر کیلومتر ۵٪ اتلاف) کاهش یافته است و امیدواری نسبت به اینکه خط انتقال فیبر نوری ضمن تلفات کم دارای پهنای باند وسیع باشد به وجود آمده است.

یکی از طول موجهایی که در آن اتلاف انتقال فیبر نوری کم است، یعنی یکی از "پنجره‌های فیبر نوری" ، در باند μm ۰/۸۵ قرار دارد. از طرف دیگر اخیرا طول موج نوسان لیزر نیمه هادی از نوع AlGaAs با قابلیت اطمینان زیاد این محدوده بسامدی را می‌پوشاند و در این باند گیرنده‌های نوری از نوع Si نیز حساسیت زیادی دارند. لیکن طول موجهایی که تلفات انتقال در آنها از تلفات در μm ۰/۸۵ نیز کمتر باشد در باند μm ۱/۵-۱ واقع شده و تحقیقاتی که در این‌باره صورت خواهد گرفت کلید موفقیت در کاربرد منبع نور لیزر نیمه هادی، گیرنده و غیره به شمار می‌رود.

۱-۲-۱ مزایای مخابرات با استفاده از فیبر نوری

مخابرات با استفاده از فیبر نوری به علت استفاده از نور مزایایی به شرح زیر دارد:

۱- اتلاف کم [کمتر از dB/km ۱ (یعنی در هر کیلومتر ۲۱٪ تلفات)]

۲- پهنای باند وسیع

۳- قابلیت انعطاف

٤- سطح مقطع کوچک، قطر هر فیبر در حدود μm ۱۰۰ و با در نظر گرفتن لایه محافظ پلاستیکی در حدود μm ۲-۱

۵- سبکی

٦- عدم دریافت آثار القای الکترومغناطیسی

۷- مصونیت صحبت (به معنای همشنوائی[1])

۸- فراوانی مواد شیشه ای

۹- تکرار کننده‌هایی که به منظور تقویت سیگنال‌های ضعیف مورد نیاز هستند می‌توانند به فواصل زیادی از هم قرار بگیرند.

۱۰-فیبرهای شیشه‌ای می‌توانند درجه حرارت‌های شدیدی را بدون آنکه خراب شوند تحمل نمایند.

۱۱- فیبرها در طول زیاد در دسترس هستند، این امر، تعداد پیوندهای مورد نیاز را کم می‌کند.

۱۲- فیبرها توانایی انتقال اطلاعات زیاد، چه به شکل دیجیتالی، چه به شکل آنالوگ را دارند.

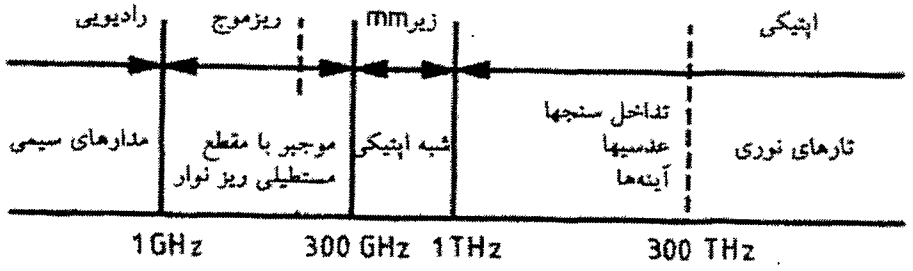
[1] Low Cross talk

۱۳- فیبرها درجه‌ای بالا از امنیت و پنهانی بودن اطلاعات را فراهم می‌کنند.

۱٤- خوردگی بدلیل آب یا مواد شیمیایی برای شیشه‌ای که جایگزین مس شده است به مراتب بی‌اهمیت‌تر است.

۱-۳ موجبر

موجبر، همان‌طور که از نام آن برمی‌آید، ساختاری است که انتشار انرژی موج الکترومغناطیسی را، در مسیری از پیش تعیین شده، هدایت می‌کند. موجبر آرمانی این کار را بدون اتلاف انرژی یا ایجاد هرگونه اعوجاجی در موج انجام می‌دهد. البته موجبرهای واقعی تنها تقریبی از حالت آرمانی‌اند. موجبرها را بسته به نوار بسامدی که در محدوده آن عمل می‌کنند، ممکن است به شکل‌های فیزیکی متفاوتی بسازند. کابل هم محور، لوله فلزی با مقطع مستطیلی و فیبر نوری همه مثالهایی از موجبرند. شکل ۱-۲ نمودار طیف الکترومغناطیسی و رایجترین موجبرهای به کار رفته در هر ناحیه آن را نشان می‌دهد.



شکل ۱- ۲. نواحی مختلف طیف الکترومغناطیسی

۱-۳-۱ چرا به موجبرها نیاز داریم؟

در بسامدهای نسبتا پایین، مثلا کمتر از حدود MHz ۱۰۰، با اجزای فشرده‌ای نظیر مقاومتها، القاگرها و خازن‌هایی که با سیم به هم متصل شده و تشکیل مدار داده‌اند، می‌توان تقریبا به هر هدف الکترونیکی دلخواه دست یافت. اکنون این نظر چنان جا افتاده است که به راحتی می‌توان فراموش کرد که هنوز با میدان‌های الکترومغناطیسی‌ای سروکار داریم که معادلات ماکسول و معادله موج بر آنها حاکم است[۵].