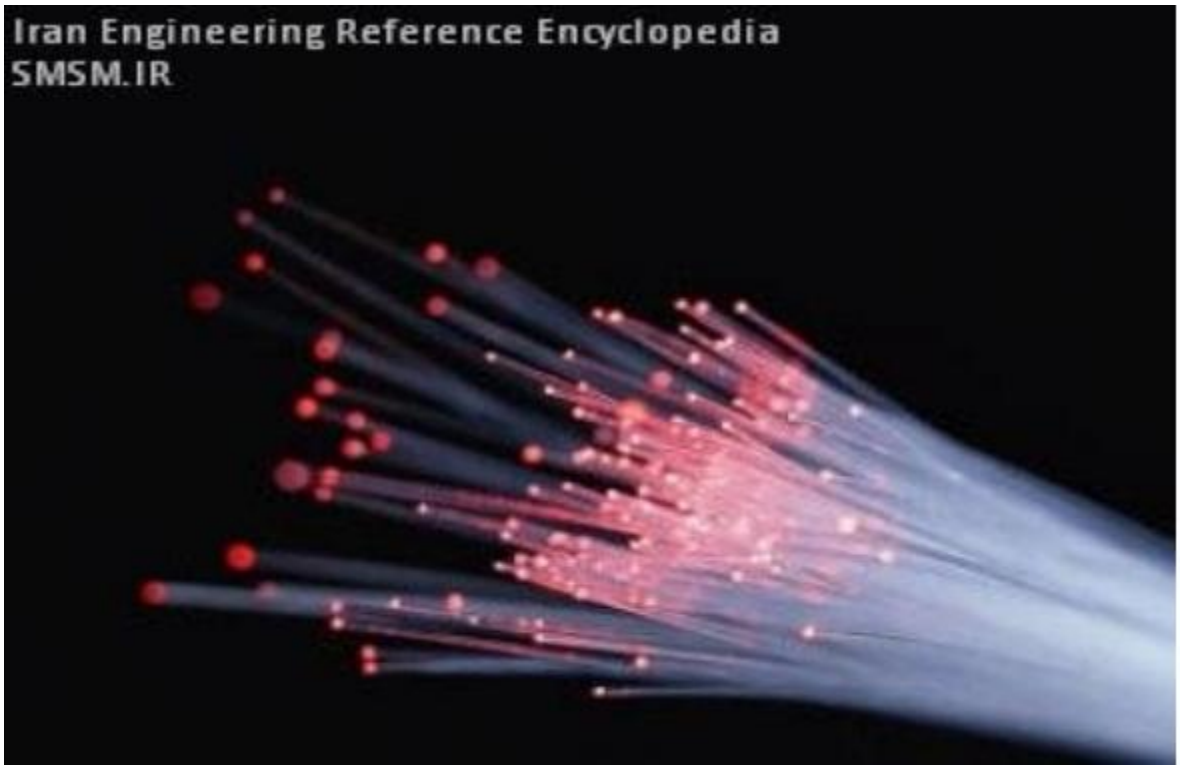
فیبرنوری چگونه کار می‌کند؟



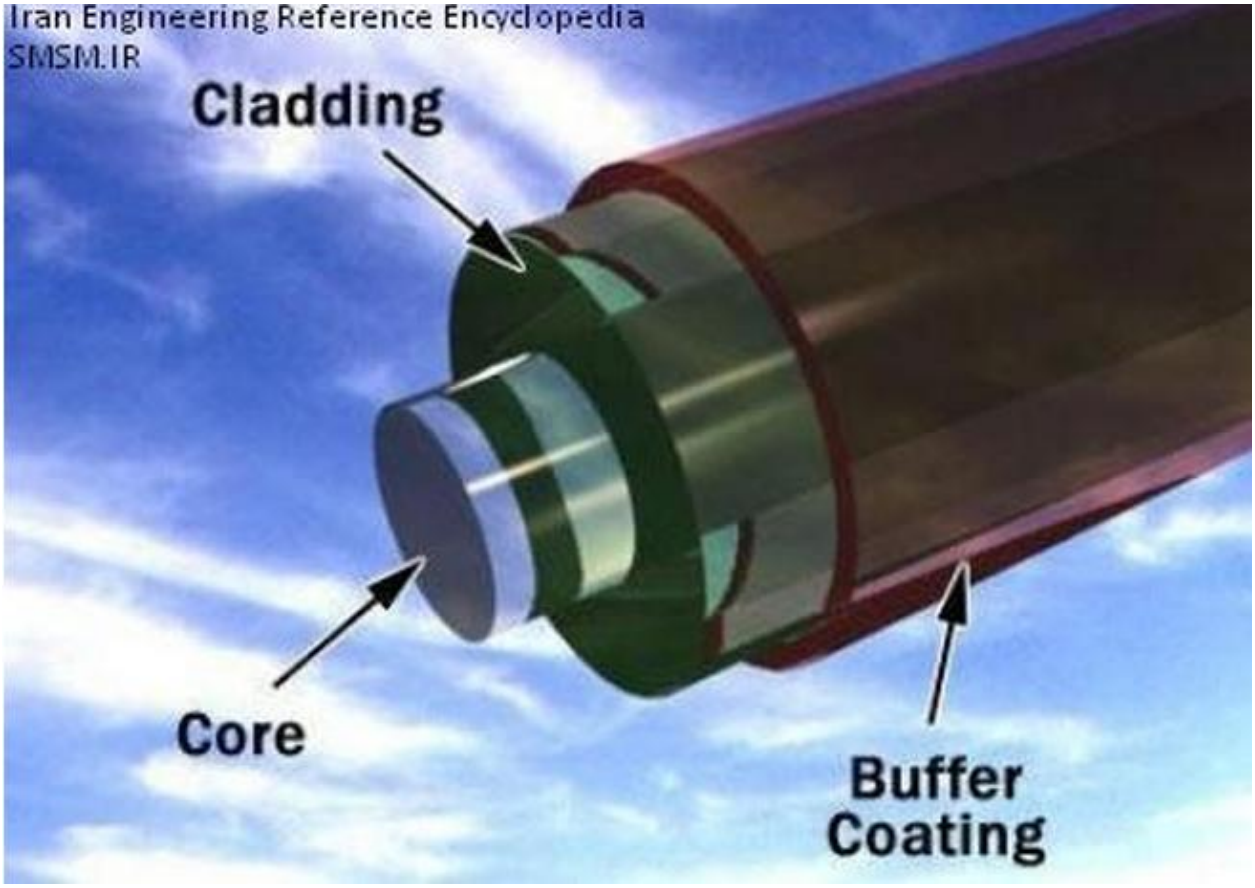
هرجا که صحبت از سیستم‌های جدید مخابراتی، سیستم‌های تلویزیون کابلی و اینترنت باشد، در مورد فیبر نوری هم چیزهایی می شنوید. فیبرهای نوری از شیشه شفاف و خالص ساخته می‌شوند و با ضخامتی به نازکی یک تار موی انسان، می‌توانند اطلاعات دیجیتال را در فواصل دور انتقال دهند. از آنها همچنین برای عکسبرداری پزشکی و معاینه های فنی در مهندسی مکانیک استفاده می‌شود.

در این مقاله می‌خوانیم که این فیبرهای نوری چگونه نور را منتقل می‌کنند و نیز درمورد روش عجیب ساخت آنها مطالبی می‌آموزیم.

فیبرنوری چیست؟

فیبرهای نوری رشته‌های بلند و نازکی از شیشه بسیار خالصند که ضخامتی در حدود قطر موی انسان دارند. آنها در بسته هایی بنام کابلهای نوری کنار هم قرار داده میشوند و برای انتقال سیگنال‌های نوری در فواصل دور مورد استفاده قرار می‌گیرند.

اگر با دقت به یک رشته فیبر نوری نگاه کنید، می‌بینید که از قسمت‌های زیر ساخته شده :



• هسته _ هسته بخش مرکزی فیبر است که از شیشه ساخته شده و نور در این قسمت سیر می‌کند.

• لایه روکش _ واسطه شفافی که هسته مرکزی فیبر نوری را احاطه می‌کند وباعث انعکاس نور به داخل هسته می‌شود.

• روکش محافظ _ روکشی پلاستیکی که فیبر نوری در برابر رطوبت و آسیب دیدن محافظت می‌کند.

صدها یا هزاران عدد از این رشته‌های فیبر نوری بصورت بسته‌ای در کنار هم قرار داده می‌شوند که به آن کابل نوری گویند. این دسته از رشته‌های فیبر نوری با یک پوشش خارجی موسوم به ژاکت یا غلاف محافظت می‌شوند.

فیبرهای نوری دو نوعند:

• فیبرهای نوری تک وجهی _ این نوع از فیبرها هسته‌های کوچکی دارند (قطری در حدود 10x 5/3 inch (-4) یا ۹ میکرون) و می توانند نور لیزر مادون قرمز (با طول موج ۱۳۰۰ تا ۱۵۵۰ نانومتر) را درون خود هدایت کنند.

• فیبرهای نوری چند وجهی _ این نوع از فیبرها هسته‌های بزرگتری دارند (قطری در حدود 10x 5/2 inch (-3) یا ٦٢/٥ میکرون) و نور مادون قرمز گسیل شده از دیودهای نوری موسوم به LEDها را (با طول موج ۸۵۰ تا ۱۳۰۰ نانومتر) درون خود هدایت می‌کنند.

برخی از فیبرهای نوری از پلاستیک ساخته می‌شوند. این فیبرها هسته بزرگی (با قطر ٤ صدم inch یا یک میلیمتر) دارند و نور مرئی قرمزی را که از LEDها گسیل می‌شود (و طول موجی برابر با ٦٥٠ نانومتر دارد) هدایت می کنند.

یک فیبر نوری چگونه نور را هدایت می‌کند؟

فرض کنید می‌خواهید یک باریکه نور را بطور مستقیم و در امتداد یک کریدور بتابانید. نور براحتی در خطوط راست سیر میکند و مشکلی ازین جهت نیست. حال اگر کریدور مستقیم نباشد و در طول خود خمیدگی داشته باشد چگونه نور را به انتهای آن می‌رسانید؟ برای این منظور میتوانید از یک آینه استفاده کنید که در محل خمیدگی راهرو قرار می‌گیرد و

نور را در جهت مناسب منحرف می‌کند. اگر راهرو خیلی پیچ در پیچ باشد و خمهای زیادی داشته باشد چه؟ میتوانید دیوارها را با آینه بپوشانید و نور را به دام بیندازید بطوریکه در طول راهرو از یک گوشه به گوشه دیگر بپرد. این دقیقا همان چیزی است که در یک فیبرنوری اتفاق می افتد.

نور در یک کابل فیبرنوری، بر اساس قاعده‌ای موسوم به بازتابش داخلی، مرتبا بوسیله دیواره آینه پوش لایه‌ای که هسته را فراگرفته، به این سو و آن سو پرش میکند و در طول هسته پیش می‌رود.

از آنجا که لایه آینه پوش اطراف هسته هیچ نوری را جذب نمی‌کند، موج نور می‌تواند فواصل طولانی را طی کند. به هر حال، برخی از سیگنال‌های نوری در حین حرکت در طول فیبر، ضعیف می‌شوند که علت عمده آن وجود برخی ناخالصی‌ها داخل شیشه است. میزان ضعیف شدن سیگنال به درجه خلوص شیشه بکار رفته در داخل فیبر و نیز طول موج نوری که درون فیبر سیر میکند بستگی دارد (بعنوان مثال

۸۵۰ نانومتر = ٦٠ تا ٧٥ درصد در هر یک کیلومتر

۱۳۰۰ نانومتر = ۵۰ تا ٦٠ درصد در هر یک کیلومتر

۱۵۵۰ نانومتر = بیش از ۵۰ درصد در هر یک کیلومتر).

برخی از فیبرهای نوری هم هستند که سیگنال در داخل آنها خیلی کم تضعیف می‌شود. (کمتر از ۱۰ درصد در هر یک کیلومتر برای ۱۵۵۰ نانومتر).

سیستم ارتباط بوسیله فیبرنوری

برای پی بردن به اینکه فیبرهای نوری چگونه در سیستمهای ارتباطی مورد استفاده قرار می‌گیرند، اجازه دهید نگاهی بیاندازیم به فیلم یا سندی که مربوط به جنگ جهانی دوم است. دو کشتی نیروی دریایی را درنظر بگیرید که از کنار یکدیگر عبور می‌کنند و لازم است باهم ارتباط برقرار کنند درحالی که امکان استفاده از رادیو وجود ندارد و یا دریا طوفانی است. کاپیتان یکی از کشتی‌ها پیامی را برای یک ملوان که روی عرشه است می‌فرستد. ملوان آن

پیام را به کد مورس ترجمه می‌کند و از نورافکنی ویژه که یک پنجره کرکره جلو آن است برای ارسال پیام به کشتی مقابل استفاده می‌کند. ملوانی که در کشتی مقابل است این پیام مورس را می‌گیرد، ترجمه می‌کند و به کاپیتان می‌دهد. (ملوان کشتی دوم عکس عملی را انجام می‌دهد که ملوان کشتی اول انجام داد.)

حالا فرض کنید این دو کشتی هر یک در گوشه ای از اقیانوسند و هزاران مایل فاصله دارند و در فاصله بین آنها یک سیستم ارتباطی فیبرنوری وجود دارد.

سیستم های ارتباط بوسیله فیبرنوری، شامل این قسمت‌هاست:

• فرستنده _ سیگنالهای نور را تولید میکند و به رمز در میاورد.

• فیبرنوری _ سیگنالهای نور را تا فواصل دور هدایت می‌کند.

• تقویت کننده نوری _ ممکن است برای تقویت سیگنالهای نوری لازم باشد. (برای ارسال سیگنال به فواصل خیلی دور)

• گیرنده نوری _ سیگنالهای نور را دریافت و رمزگشائی می‌کند.

فرستنده

نقش فرستنده شبیه ملوانی است که روی عرشه کشتی فرستنده پیام ایستاده و پیام را ارسال می‌کند. فرستنده ابزار تولید نور را در فواصل زمانی مناسب خاموش یا روشن می‌کند.

فرستنده در عمل به فیبر نوری متصل می‌شود و حتی ممکن است دارای لنزی برای متمرکز کردن نور به داخل فیبر هم باشد. قدرت اشعه لیزر بیش از LEDهاست اما با کم و زیاد شدن دما شدت نورشان تغییر می‌کند و گرانتر هم هستند. متداول ترین طول موج‌هایی که استفاده می‌شود عبارتند از: ۸۵۰ نانومتر، ۱۳۰۰ نانومتر و ۱۵۵۰ نانومتر. (مادون قرمز و طول موج‌های نامرئی طیف)

تقویت کننده نوری

همانطور که قبلا هم به آن اشاره شد، نور حین عبور از فیبر ضعیف می‌شود. (مخصوصا در فواصل طولانی بیش از نیم مایل یا حدود یک کیلومتر مثلا در کابل‌های زیر دریا) بنابرین یک یا بیش از یک تقویت کننده نوری در طول کابل بسته می‌شوند تا نور ضعیف شده را تقویت کنند.

یک تقویت کننده نوری دارای فیبرهای نوری با پوشش ویژه ای است. نور ضعیف شده پس از ورود به این تقویت کننده تحت تاثیر این پوشش خاص و نیز نور لیزری که به این پوشش تابیده می‌شود تقویت می‌شود. ملکول‌های موجود در این پوشش ویژه با تابش لیزر به آنها، سیگنال نوری جدید و قوی تولید میکنند که مشخصات آن مشابه نور ورودی به تقویت کننده است. درواقع تقویت کننده نوری یک آمپلی فایر لیزری برای نور ورودی به آن است. جزئیات بیشتر را در سایت www.Photonics.com ببینید.

گیرنده نوری

گیرنده نوری مشابه ملوانی که روی عرشه کشتی گیرنده پیام بود عمل می‌کند. این گیرنده سیگنالهای نوری ورودی را می‌گیرد، رمزگشائی می‌کند و سیگنالهای الکتریکی مناسب را برای ارسال به کامپیوتر، تلویزیون یا تلفن کاربر تولید و به آنها ارسال می‌کند. این گیرنده برای دریافت و آشکارسازی نور ورودی از فتوسل یا فتودیود استفاده می‌کند.

مزایای فیبر نوری

چرا فیبر نوری باعث بوجود آمدن انقلابی در ارتباطات شده است؟

فیبر نوری در مقایسه با سیمهای فلزی مرسوم (سیمهای مسی)، دارای این مزایا است: ارزان‌تر بودن _ فیبر نوری بطول چندین مایل از سیم مسی با همین طول ارزانتر است. این

قیمت مناسب باعث میشود که بتوانید تلویزیون کابلی یا اینترنت را هر جایی در اختیار داشته باشید و در پول شما هم صرفه جویی می‌شود.

نازکتر بودن _ فیبرنوری با ضخامتی کمتر از ضخامت سیم مسی تولید می‌شود و این مزیت بزرگی است.

ظرفیت انتقال بالاتر _ از آنجا که فیبرنوری نازکتر از سیمهای مسی است، بنابراین در کابلی با قطر معلوم تعداد فیبرنوری بیشتری جا می‌گیرد تا سیم مسی. پس این امکان فراهم میشود که از کابلی با قطر مشابه تعداد خطوط تلفن بیشتر یا تعداد کانال های تلویزیونی بیشتری عبور داده شود.

تضعیف کمتر سیگنال _ سیگنال عبوری از فیبرنوری نسبت به سیگنال عبوری از سیم مسی کمتر ضعیف می‌شود.

سیگنال های نوری _ برخلاف سیگنالهای الکتریکی در سیمهای مسی که با سیگنالهای عبوری از کابلهای نزدیک تداخل میکنند، سیگنالهای نوری در فیبرنوری حتی با سیگنالهای عبوری از فیبری که در همان کابل است هم تداخل نمیکند. بنابراین صدا در مکالمات تلفنی واضح‌تر منتقل میشود و کانال های تلویزیونی هم بهتر دریافت می‌شوند.

کم مصرف بودن _ از آنجا که سیگنالها در فیبرنوری کمتر ضعیف می‌شوند، بنابراین فرستنده های کم مصرف تری نسبت به فرستنده‌های با ولتاژ بالا در سیمهای مسی نیاز است. این مزیت باز هم باعث صرفه جویی در هزینه‌ها می‌شود.

سیگنال‌های دیجیتال _ بهترین و اصلی ترین کاربرد فیبر نوری انتقال اطلاعات دیجیتال است که بخصوص برای شبکه‌های کامپیوتری مفید است.

اشتعال ناپذیری _ چون هیچ الکتریسیته‌ای از فیبرنوری عبور نمی‌کند، خطر اشتعال هم وجود ندارد.

سبک بودن _ فیبرنوری درمقایسه با سیم مسی وزن کمتری دارد و فضای کمتری را می‌گیرد.

انعطاف‌پذیری _ از آنجا که فیبرهای نوری بسیار انعطاف پذیرند و می‌توانند نور را ارسال و دریافت کنند، در بسیاری از دوربین‌های انعطاف پذیر و تاشو در اهداف زیر کاربرد دارند:

• عکسبرداری پزشکی _ در bronchoscope (لوله ای نازک برای عکسبرداری از نایچه‌ها)،

• در endoscope (برای تصویربرداری از اعضای تو خالی بدن مثل معده و مثانه)،

• و در laparoscope (ابزاری پزشکی برای بررسی معده و برخی جراحی‌های کوچک) کاربرد دارد.

• تصویربرداری ماشینی _ برای چک کردن جوشهایی که در لوله ها و موتورها بصورت ماشینی اجرا میشود. (مثلا در هواپیماها،• راکتها،• شاتل‌های فضایی و ماشین‌ها)

• لوله کشی _ برای بررسی مجاری فاضلاب

بخاطر وجود این مزایاست که شما فیبرنوری را در بسیاری از صنایع، در ارتباطات برجسته امروزی و شبکه های کامپیوتری می‌بینید. مثلا اگر از آمریکا به اروپا تلفن بزنید (یا برعکس)، و این ارتباط از طریق یک ماهواره مخابراتی انجام شود، اغلب می‌شنوید که صدا دچار تکرار و انعکاس میشود. ولی باوجود فیبرنوری ارتباط شما مستقیم و بدون پژواک است.

فیبرنوری چگونه ساخته می‌شود؟

فیبرنوری از شیشه شفاف بسیار خالص ساخته می‌شود. اگر شیشه پنجره را بعنوان محیطی شفاف که نور را از خود عبور می‌دهد در نظر بگیریم، بدلیل وجود ناخالصی‌ها در شیشه، نور بطور کامل و بدون تغییر عبور نمی‌کند. بهرحال شیشه ای که در ساخت فیبرنوری بکار میرود، نسبت به شیشه بکار رفته برای پنجره ناخالصی‌های بسیار کمتری دارد. توصیف یک شرکت تولید کننده فیبرنوری از شیشه ای که برای ساخت آن بکار میرود به اینصورت است: اگر روی سطح اقیانوسی از شیشه بکار رفته در ساخت فیبرنوری بایستید، میتوانید عمق چندین مایلی آنرا بوضوح ببینید.

برای ساخت فیبرنوری بایستی مراحل زیر طی شود:

ساخت یک استوانه شیشه‌ای از پیش تعیین شده

کشیدن فیبر از استوانه آماده شده

آزمایش فیبرهای تولید شده

ساخت استوانه شیشه‌ای

شیشه مورد استفاده برای ساخت استوانه طی روندی موسوم به MCVD یا رسوب سازی تعدیل شده شیمیایی با بخار تولید می‌شود.

در روش MCVD اکسیژن از میان محلول کلراید سیلیکون (SiCl4)، کلراید ژرمانیوم (GeCl4) و دیگر مواد شیمیایی می‌جوشد (قلقل می‌کند).

این مخلوط بسیار دقیق و حساب شده، ویژگیهای فیزیکی و اپتیکی گوناگونی دارد. (ازجمله ضریب شکست، ضریب انبساط، نقطه ذوب و ...)

سپس بخارهای گاز بوسیکه یک ماشین مخصوص با حرکات دورانی بداخل یک لوله سیلیس مصنوعی یا لوله کوارتز هدایت می‌شود که به این عمل آبکاری گویند. در حین چرخش ماشین، یک مشعل در بیرون لوله به بالا و پایین حرکت می‌کند. حرارت بسیار زیاد ناشی از مشعل، باعث میشود دو چیز اتفاق بیفتد:

سیلیکون و ژرمانیوم با اکسیژن واکنش میدهند، دی اکسید سیلیکون (SiO2) و دی اکسید ژرمانیوم (GeO2) حاصل می‌شود.

دی اکسید سیلیکون و دی اکسید ژرمانیوم روی سطح داخلی لوله رسوب می‌کنند، باهم آمیخته میشوند تا شیشه شکل بگیرد.

ماشین مخصوص بطور مستمر می‌چرخد تا استوانه ای استوار و اندود شده ساخته شود. خلوص شیشه با استفاده از قطعات پلاستیکی که در برابر خوردگی مقاوم است و در سیستم تزریق گاز بکار رفته و نیز با کنترل دقیق جریان گاز و ترکیب آن حفظ می‌شود. روند ساخت این استوانه کاملا خودکار است و چندین ساعت بطول می‌انجامد. بعد از اینکه استوانه ساخته شده خنک شد، تست کنترل کیفیت روی آن انجام می‌شود.

کشیدن فیبر از استوانه آماده شده

بعد از اینکه استوانه شیشه‌ای کنترل کیفی شد، روی دستگاهی بنام برج فیبر کشی سوار می‌شود.

استوانه شیشه ای در یک کوره گرافیتی داغ میشود (۳٤٥۲ تا ۳۹۹۲ درجه فارنهایت یا ۱۹۰۰ تا ۲۲۰۰ درجه سانتیگراد) تا حدی که یک گلوله گداخته شده از نوک آن، تحت تاثیر نیروی جاذبه سقوط می‌کند. گلوله شیشه ای مذاب در حین سقوط خنک می‌شود و یک رشته شیشه ای را بوجود می‌آورد.

متصدی دستگاه این رشته را در داخل دیگر قسمت‌های برج از جمله تعدادی فنجانک اندود کننده و نیز کوره ماوراء بنفش نخ کشی میکند تا در نهایت به قرقره پایین دستگاه برسد.

قرقره مکانیکی فیبر را به آرامی از استوانه داغ شده می‌کشد. یک ریزسنج لیزری بدقت این مرحله را کنترل می‌کند و قطر فیبر را اندازه می‌گیرد. اطلاعات بدست آمده از ریزسنج به سیستم خودکار قرقره مکانیکی ارسال می‌شود. فیبرها با سرعت ۳۳ تا ٦٦ فوت بر ثانیه (۱۰ تا ۲۰ متر بر ثانیه) از استوانه داغ کشیده می‌شوند و محصول نهایی روی قرقره پیچیده می‌شود. معمولا در نهایت بیش از ۱/٤ مایل (۲/۲ کیلومتر) فیبرنوری روی قرقره جمع نمی‌شود.

موضوع برخی آزمایشها که روی فیبرنوری تولید شده انجام میشود:

مقاومت کششی _ فیبر باید بتواند نیروی کشش معادل ۱۰۰/۰۰۰ پوند بر اینچ مربع یا بیشتر را تحمل کند.

- آزمایش منحنی ضریب شکست:

بررسی فیبر از لحاظ ابعاد هندسی ازجمله کنترل یکنواختی قطر هسته و یکنواختی ضخامت لایه روکش

- آزمایش میزان تضعیف امواج در فیبرنوری:

در این آزمایش مشخص میشود که سیگنالهای نوری در طول موجهای مختلف چه مقدار انرژی خود را از حین عبور از فیبر دست می‌دهند.

- ظرفیت انتقال اطلاعات (پهنای باند):

تعداد سیگنالهایی که در هر لحظه میتواند بوسیله فیبر منتقل شود.

- طیف رنگی:

انتشار طول موجهای مختلف نور در هسته فیبر که در بحث پهنای باند حائز اهمیت است.

- دمای عملیاتی / دامنه تغییرات رطوبت:

تاثیر دما در تضعیف سیگنال عبوری

- توانایی هدایت نور در زیر آب:

حائز اهمیت برای کابلهایی که در زیر دریا استفاده می‌شود.

وقتی فیبر مراحل آزمایش را طی کرد، به شرکتهای فعال در زمینه تلفن، کابل و شبکه فروخته میشود. در حال حاضر بسیاری از شرکتها سیستمهای نوین مبتنی بر فیبرنوری را جایگزین سیستمهای قدیمی مبتنی بر سیم مسی کرده اند تا سرعت، ظرفیت و وضوح بیشتری حاصل شود.

فیزیک بازتابش کلی

وقتی نور از یک محیط با ضریب شکست m1 وارد محیط دوم با ضریب شکست کوچکتری مثل m2 میشود، زاویه ای که در محیط اول با خط عمود فرضی بر سطح جدا کننده دو محیط داشت، در محیط دوم تغییر میکند. همچنان که زاویه پرتو در محیط اول، نسبت به خط عمود فرضی بزرگتر میشود، نور شکسته شده در محیط دوم هم از خط فرضی دورتر می‌شود. (زاویه پرتو در محیط دوم هم نسبت به خط فرضی بزرگتر می‌شود)

در یک زاویه خاص (زاویه بحرانی) نور شکسته شده به محیط دوم وارد نمیشود و در عوض در امتداد خط جداکننده دو محیط حرکت می‌کند.

Sin [critical angle] = n2 / n1 که n1 و n2 ضرایب شکست‌اند بطوریکه n2 > n1 . اگر زاویه پرتو محیط اول نسبت به خط عمود فرضی، از زاویه بحرانی بزرگتر باشد، در این حالت پرتو شکسته شده بطور کامل بداخل همان محیط اول منعکس میشود (پدیده بازتابش داخلی کلی). حتی اگر محیط دوم شفاف باشد و بتواند نور را عبور دهد.

در فیزیک زاویه بحرانی نسبت به خط عمود فرضی تعریف می‌شود. در فیبرنوری، زاویه بحرانی نسبت به محوری موازی با فیبر که در مرکز آن امتداد دارد توصیف می‌شود. بنابراین (زاویه بحرانی فیزیکی – ۹۰ درجه) = زاویه بحرانی در فیبرنوری

پدیده بازتابش کلی نور در یک فیبرنوری

در یک فیبرنوری نور در هسته (با ضریب شکست بزرگتر، m1) سیر می‌کند و مرتبا با برخورد به لایه روکش (با ضریب شکست کوچکتر، m2) شکسته می‌شود چون زاویه نور همیشه از زاویه بحرانی بزرگتر است. در انعکاس نور از سطح روکش، مقدار زاویه انحنای فیبر تاثیر ندارد حتی اگر فیبرنوری یک دایره کامل ساخته باشد!

از آنجا که لایه روکش هیچ نوری از هسته جذب نمیکند، موج نور میتواند مسافتهای طولانی را طی کند. ولی بهرحال برخی سیگنالهای نوری در حین عبور از فیبر ضعیف میشوند که دلیل عمده آن ناخالصیهای موجود در شیشه است.

میزان تضعیف سیگنال به درجه خلوص شیشه و طول موج نور عبوری از فیبر بستگی دارد (مثلا نور با طول موج ۸۵۰ نانومتر در هر یک کیلومتر ٦۰ تا ۷۵ درصد ضعیف میشود. نور با طول موج ۱۳۰۰ نانومتر ۵۰ تا ٦۰ درصد در هر یک کیلومتر و نور با طول موج ۱۵۵۰ نانومتر بیش از ۵۰ درصد در هر کیلومتر تضعیف می‌شود.) برخی از انواع فیبرنوری کارایی بهتری دارند و سیگنال نور در آنها کمتر انرژی خود را از دست می‌دهد – کمتر از ۱۰ درصد در هر یک کیلومتر برای طول موج ۱۵۵۰ نانومتر.

مرجع: http://electronics.howstuffworks.com/fiber-optic.htm/printable

منبع: www.persianit.ir