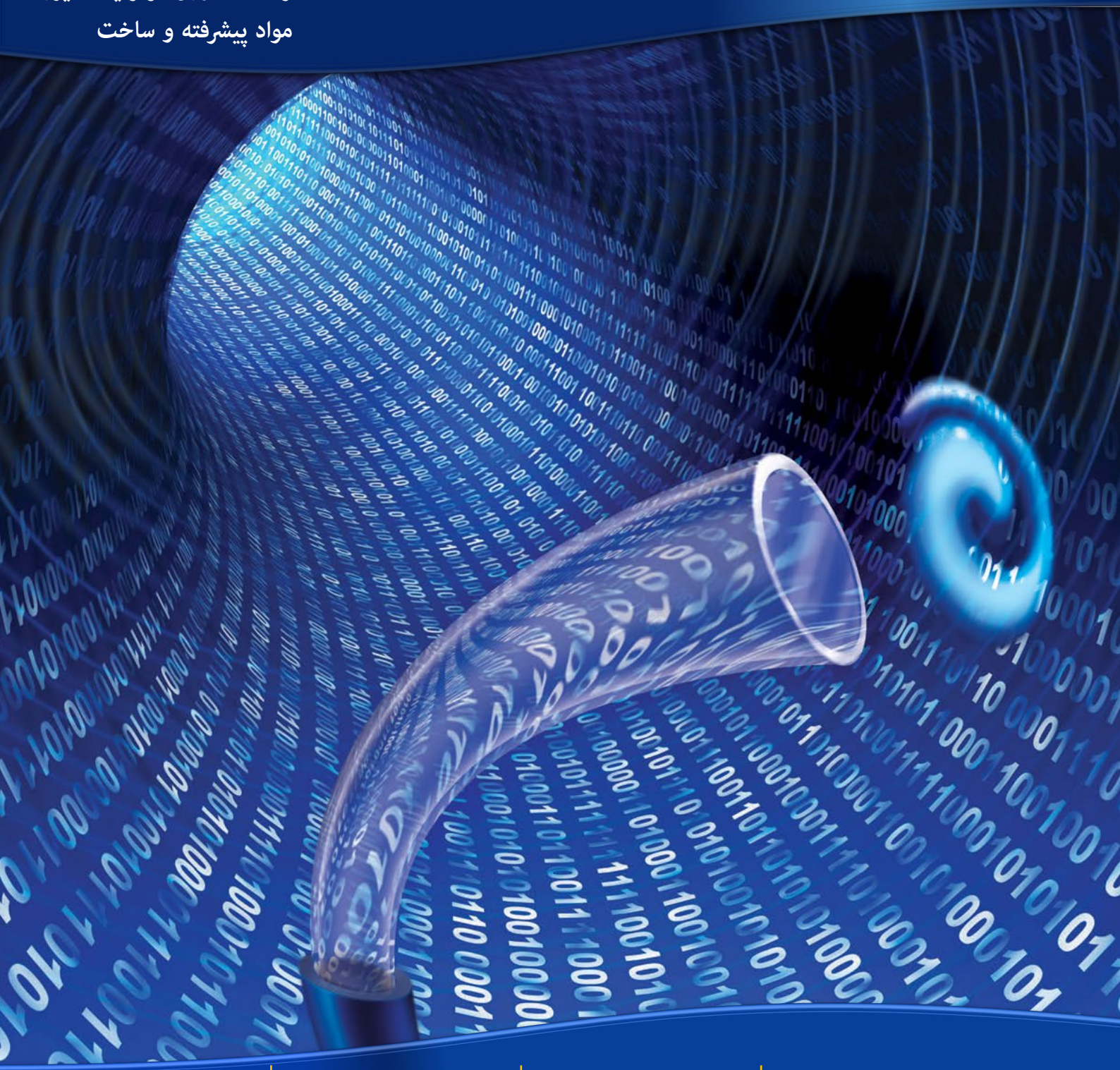
ماهنامه فناوری فوتونیک و مواد پیشرفته

سال دوم. شماره ۱۳. آبان ۱۴۰۰

ریاست جمهوری
معاونت علمی و فناوری
ستاد توسعه فناوری فوتونیک، لیزر
مواد پیشرفته و ساخت

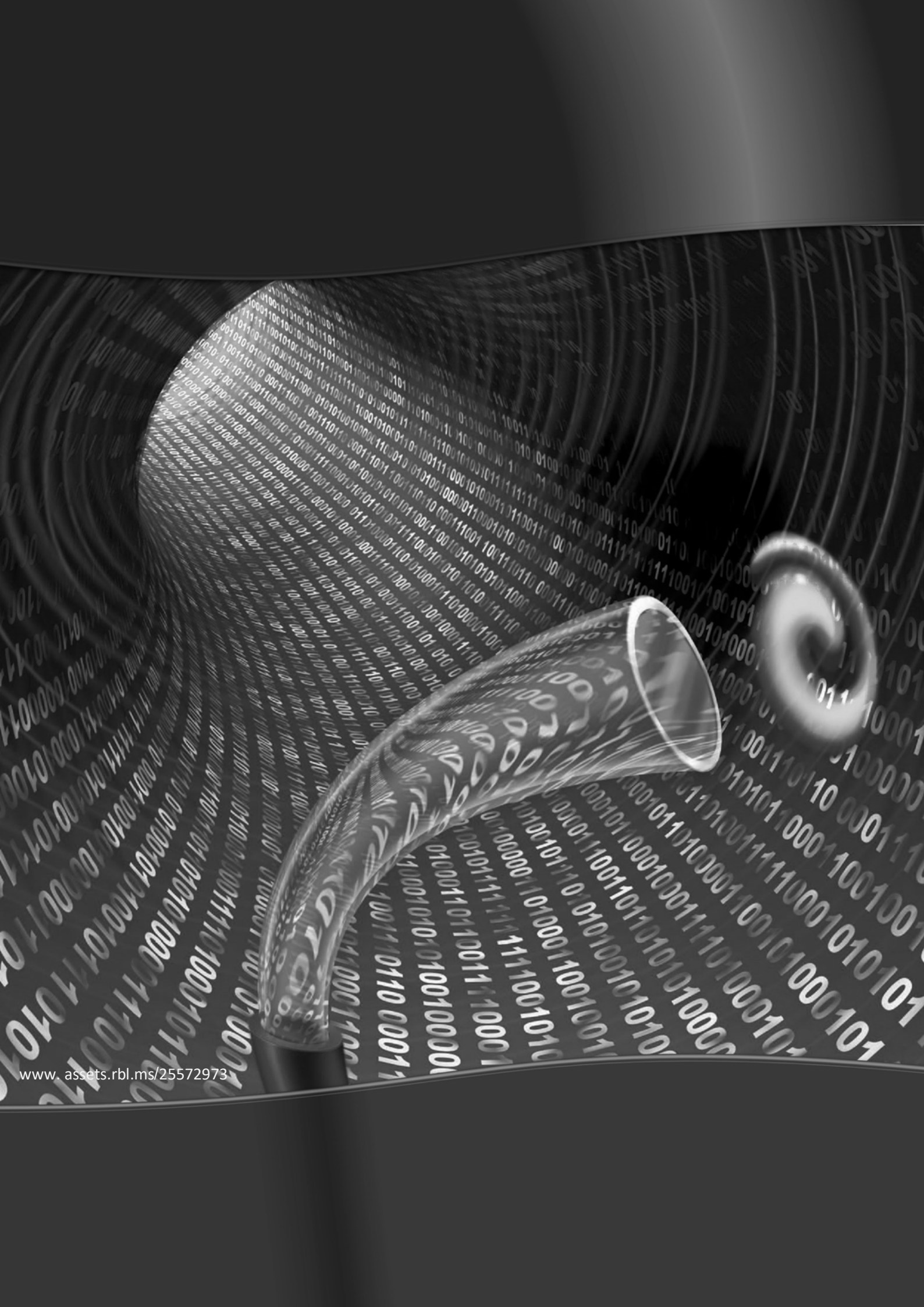


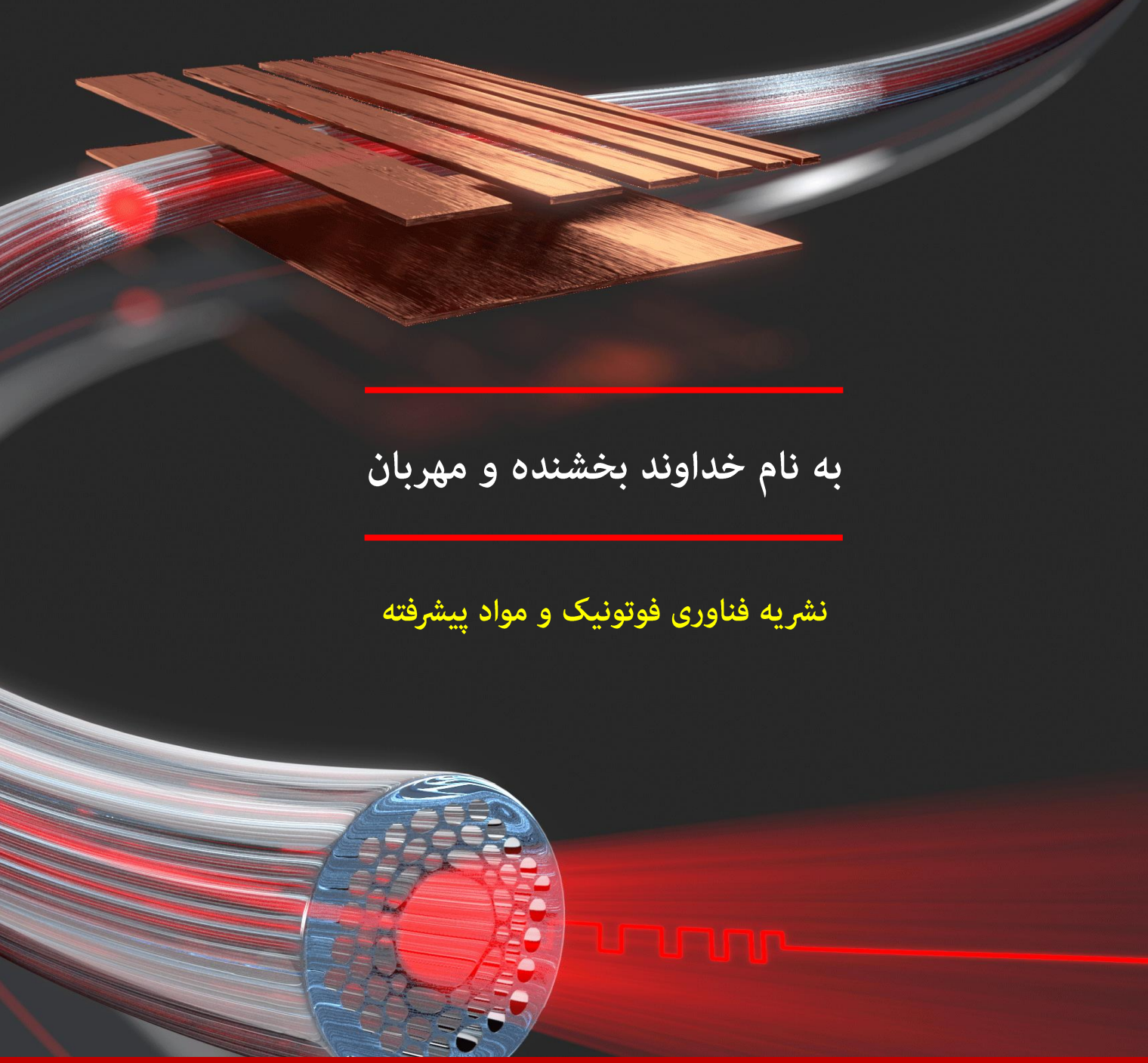
ساخت اولین
میکروسکوپ تمام‌نگاری
فیبر نوری

حسگرهای گسترده
فیبر نوری برای
نظارت بر محیط

توسعه فناوری
لیزر فیبر
با حمایت ستاد

بهبود عملکرد
فیبرهای نوری
به کمک نانومواد


www. assets.rbl.ms/25572973



به نام خداوند بخشنده و مهربان

نشریه فناوری فوتونیک و مواد پیشرفته

ریاست جمهوری
معاونت علمی و فناوری
ستاد توسعه فناوری
فوتونیک، لیزر، مواد پیشرفته و ساخت

پژوهشکده علوم کاربردی
دانشگاه خوارزمی

نشریه فناوری فوتونیک و مواد پیشرفته

صاحب امتیاز: ستاد توسعه فناوری فوتونیک، لیزر، مواد پیشرفته و ساخت

مدیر مسئول و سردبیر: محمدحسین مجلس‌آرا

جانشین سردبیر: بابک عفافی

ویراستار و ناظر علمی: سیده ثریا موسوی

تحریریه: مریم بهروان، علی کاویانفر، علی کاظم‌پور، سید مرتضی احمدی

سیده ثریا موسوی، بابک عفافی

گروه مشاورین: سیامک میرزازاده، مریم بهرامی کهیش‌نژاد، زهرا عربگل
سید حسین نکومنش‌فرد، سید محمد قریشی
پشتیبانی: کیومرث مهدی‌نیا گتابی

تارنما: pam.isti.ir ; asrc.khu.ac.ir
کانال نشریه: t.me/PAM_Tech
صفحه اینستاگرام: https://instagram.com/pam_tech_
صفحه کانال آپارات: https://www.aparat.com/PAM_Tech
پست الکترونیک سردبیر: deputy@pam.isti.ir
پست الکترونیک جانشین سردبیر: babak.efafi@gmail.com

تلفن: ۰۲۱۲۲۱۸۳۱۱۳
نشانی: تهران، خیابان زعفرانیه، خیابان شهید سرلشکر فلاحی، کوچه شیرکوه، پلاک ۱۱،
ساختمان شماره دو معاونت علمی و فناوری ریاست جمهوری

سخن سردبیر

در سال‌های اخیر یکی از پرکاربردترین فناوری‌های فوتونیکی که در صنایع مختلف مورد استفاده قرار گرفته است، فناوری فیبر نوری است. این فناوری موجب ارتقا چشم‌گیر محصولات مختلف فوتونیکی از قبیل لیزرهای صنعتی، پزشکی و حوزه ارتباطات شده است. رشد روز افزون کاربردهای مختلف این فناوری در صنایع پیشرفته موجب شکل‌گیری بازار بزرگی برای این محصول پرکاربرد شده است به طوری که بر اساس جدیدترین گزارش بانک جهانی، بازار محصولات مبتنی بر فیبر نوری تا سال ۲۰۲۱ بالغ بر ۵ میلیارد دلار بوده است و پیش‌بینی می‌شود که حجم این بازار با رشد چشم‌گیری تا پایان سال ۲۰۲۸ به بیش از ۱۰ میلیارد دلار برسد. در حال حاضر کشور ما سهم بسیار ناچیزی از این بازار بزرگ را در اختیار دارد که عمدتا در حوزه خام فروشی است و تاکنون در زمینه ساخت و تولید محصولات مبتنی بر فیبر نوری تقریبا سهمی از بازار جهانی نداشته‌ایم. حتی در داخل کشور نیز تعداد شرکت‌های تولید کننده این محصولات از قبیل لیزرهای صنعتی فیبری یا لیزرهای پزشکی بسیار ناچیز است و به نظر کمتر از ۱۰ درصد نیاز داخل کشور با تولیدات داخلی تامین می‌شود. در صورتی که بازار موجود در کشورهای همسایه به تنهایی حجم مالی بسیار بزرگی را در اختیار تولیدکنندگان قرار می‌دهد و تامین این نیازها به صورت کامل از مسیر واردات انجام می‌شود. از طرفی با توجه به زیرساخت‌های موجود در زمینه تولید فیبرنوری امکان ساخت محصولات مبتنی بر فیبر نوری در داخل کشور محیا است و با تربیت نیروی متخصص می‌توان به این مهم دست یافت تا با تامین نیاز داخلی ضمن جلوگیری از خروج ارز برای واردات محصولات این حوزه، با ورود به بازار بزرگ کشورهای منطقه، ارزش افزوده بسیار زیادی را برای کشور به ارمغان آورد. لذا نشریه فناوری فوتونیک و مواد پیشرفته متناظر با سیاست‌های ستاد توسعه فناوری‌های فوتونیک، لیزر، مواد پیشرفته و ساخت، بر خود لازم می‌داند گامی هرچند کوچک در راستای معرفی و توسعه فناوری‌های مرتبط با صنایع مبتنی بر فیبر نوری بردارد و ضمن معرفی جدیدترین فناوری‌ها و محصولات فوتونیکی این حوزه، مواد پیشرفته مورد استفاده برای ارتقاء کیفیت فیبرهای نوری، محصولات فوتونیکی مبتنی بر فیبر نوری از قبیل انواع لیزرهای صنعتی، دستگاه‌های فوتونیکی تصویربرداری، انواع حسگرهای فیبری و همچنین محصولات و مشتقات این صنایع و سایر زیرساخت‌ها و امکانات موجود در داخل کشور را با هدف ارتقا کیفیت تولیدات این حوزه مورد تجزیه و تحلیل قرار دهد. امید است با تلاش هرچه بیشتر صنعت‌گران و افزایش دانش فنی تولیدکنندگان از پیشرفت‌های اخیر این حوزه، محصولاتی با کیفیت مطابق با آخرین استانداردهای جهانی، شایسته اعتماد ستودنی هم‌میهنان عزیزمان تولید شود که به این ترتیب بتوانیم همگام با کشورهای پیشرفته دنیا به بهره‌وری حداکثری در صنایع فیبرنوری دست‌یابیم و سهم قابل توجهی از بازار گسترده جهانی این محصولات را به دست آوریم.

فهرست مطالب

اخبار فناوری

اخبار فناوری داخلی----------۱۰
ساخت اولین میکروسکوپ تمام‌نگاری مبتنی بر فیبر نوری در ایران
اولین لیزرهای فیبر نوری دانش‌بنیان با توان بالا در اصفهان
ساخت کوپلر فیبر نوری با دستگاه ایرانی جوش لیزری شیشه
اخبار فناوری خارجی----------۱۴
تولید فیبرهای نوری با هسته مایع
انتقال اطلاعات رمزگذاری شده کوانتومی از طریق فیبر نوری
اخبار علمی----------۱۸
تأثیر اشباع وارونگی جمعیت بر آستانه ناپایداری مد عرضی
اندازه گیری نیروهای مکانیکی نانونیوتنی در علوم زیستی
تازه‌ها----------۲۰
شکلات‌هایی که به سادگی تبدیل به حسگر می‌شوند
تولید نور با نقاط کوانتومی در نقص‌های شبکه نیم‌رسانا

دورنما

حسگرهای گسترده فیبر نوری برای نظارت بر محیط ----------۲۴
حسگری گسترده لرزش و امواج صوتی
حسگری گسترده میدان‌های مغناطیسی و الکتریکی

آموزش کاربردی

مواد و روش‌های مورد استفاده در ساخت فیبرهای نوری ----------۳۴
ساخت فیبرهای نوری بر پایه شیشه‌های سیلیکا
آزمایشی ساده برای آموزش عملکرد فیبر به کودکان

گفتگو

گفتگوی اختصاصی با دکتر محمدجواد حکمت مدیر شرکت نوران صنعت----------۴۶
توسعه فناوری لیزر فیبر با حمایت ستاد فوتونیک

از علم تا ثروت

فیبرنوری، مبداء تحول فناوری‌های عصر حاضر!----------۵۲
معرفی شرکت دانش‌بنیان نیرا تولیدکننده انواع فیبر نوری
انواع کابل‌های فیبر نوری
اسپلیتر فیبر نوری

نوآورانه

صنعت فیبر نوری ----------۶۲
ورود نانو مواد در بهبود عملکرد فیبرهای نوری
ورود فیبر نوری در پزشکی
حسگرهای فیبر توری براگ در پزشکی

دروازه‌های علم

کاربرد فیبر نوری در تصویربرداری پزشکی ----------۷۲
تولید طیف ابرپیوسته توسط قطعه‌ای میلی‌متری
کاربرد فیبر نوری در شیمی----------۷۶
فوتوکاتالیست‌های نوین از جنس فیبر نوری

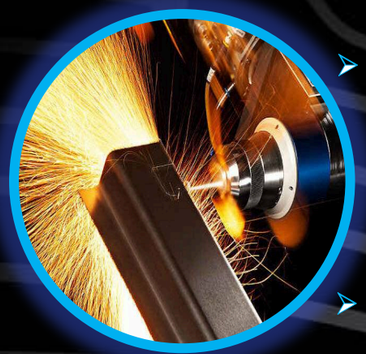
اخبار فناوری

اخبار داخلی

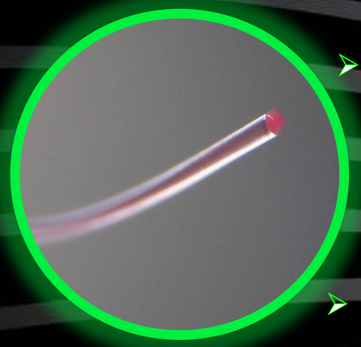
اخبار خارجی

اخبار علمی

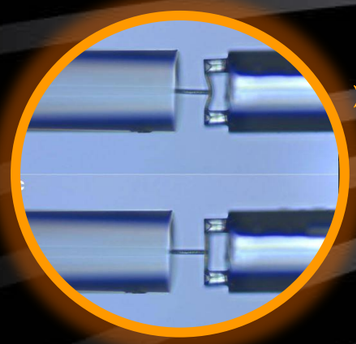
تازه ها



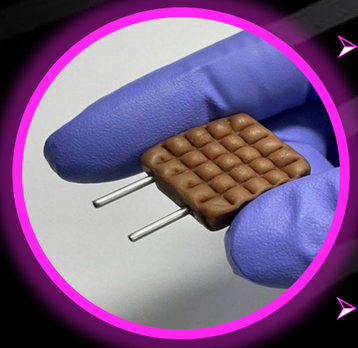
- ساخت اولین میکروسکوپ تمام‌نگاری مبتنی بر فیبر نوری در ایران
- حسگر آکوستیکی فیبر نوری در زمره محصولات ایران‌ساخت
- اولین لیزرهای فیبر نوری دانش‌بنیان با توان بالا در اصفهان
- ساخت کوپلر فیبر نوری با دستگاه ایرانی جوش لیزری شیشه



- تولید فیبرهای نوری با هسته مایع
- انتقال اطلاعات رمزگذاری شده کوانتومی از طریق فیبر نوری
- استفاده از فیبرهای نوری برای دزیمتری تشعشعات در فضا
- افزایش سرعت رایانه‌های کوانتومی به کمک فیبرهای نوری



- تأثیر اشباع وارونگی جمعیت بر آستانه ناپایداری مد عرضی در نوسان سازهای لیزر فیبری با توان بالا
- اندازه گیری نیروهای مکانیکی نانونیوتنی در علوم زیستی با استفاده از طیف بازتابی درون فیبر نوری



- تصفیه سریع آب به وسیله قرص هیدروژل
- لیزر آرگون فلوراید، فناوری امیدوارکننده در تولید انرژی همجوشی
- شکلات‌هایی که به سادگی تبدیل به حسگر می‌شوند
- تولید نور با نقاط کوانتومی در نقص‌های شبکه نیم‌رسانا

اخبار داخلی

اولین میکروسکوپ تمام‌نگاری مبتنی بر فیبر نوری در آزمایشگاه تصویربرداری دانشگاه تحصیلات تکمیلی زنجان ساخته شد

به قلم علی کاظم پور
Kazempoorali.a@gmail.com

اولین میکروسکوپ تمام‌نگاری مبتنی بر فیبر نوری در ایران، با تلاش محققان دانشگاه تحصیلات تکمیلی زنجان و با حمایت ستاد توسعه فناوری‌های فوتونیک، لیزر، مواد پیشرفته و ساخت، بومی سازی شد.

با توجه به اینکه تمام‌نگاری دیجیتالی بر اساس تداخل نور عمل می‌کند، به شدت به ارتعاشات و نویزهای محیطی حساس است. یک رهیافت مناسب برای بهینه کردن روش تصویربرداری میکروسکوپی تمام‌نگاری و کمینه کردن خطاها، استفاده از چیدمان‌های خودمرجع است؛ در این چیدمان‌ها بخشی از باریکه‌ی لیزر رد شده از نمونه روی پرتو دیگر متمرکز شده و تداخل صورت می‌گیرد. در عمل دو باریکه‌ی تداخلی نویزهای وابسته به یکدیگر دارند و این تداخل موجب حذف آن‌ها می‌شود.

یکی از چالش‌های موجود در این فناوری، غیرقابل حمل بودن میکروسکوپ است. چیدمان میکروسکوپی تمام‌نگاری، حتی با چیدمان خودمرجع هم به آسانی قابل حمل نیست و محققان کشورمان این چالش را با استفاده از فیبرهای نوری مرتفع ساختند. در انتقال تصویر با فیبر نوری به دلیل تداخل بین مدهای مختلف، تصویر انتقالی دچار لک‌وپیس می‌شود. پژوهشگران آزمایشگاه تصویربرداری و آشکارسازی چندبعدی در دانشکده فیزیک دانشگاه تحصیلات تکمیلی زنجان، برای رفع این لک‌وپیس‌ها از دسته فیبرهای همدوس استفاده کرده‌اند و این رهیافت را به میکروسکوپ تمام‌نگاری دیجیتالی تعمیم داده‌اند.

در این میکروسکوپ با استفاده از میکروکره‌ی شفاف بجای عدسی شیئی و بدون اتصال فیبر، چیدمان مینیاتوری تمام‌نگاری دیجیتالی با موفقیت محقق شده است.

دکتر علیرضا مرادی، استادیار دانشکده فیزیک دانشگاه تحصیلات تکمیلی زنجان، در گفت‌وگو با تحریریه اخبار ماهنامه ستاد فوتونیک، گفت: «پیش‌تر نشان داده‌ایم که با افزودن میکروکره‌های شفاف، امکان میکروسکوپی تمام‌نگاری دیجیتالی ابرتفکیک هم وجود دارد. در دستگاه جدید، چیدمان میکروسکوپی تمام‌نگاری دیجیتالی بر پایه‌ی استفاده از میکروکره، بدون حضور عدسی شیئی و بدون استفاده از باریکه‌ی مرجع، طراحی گردیده و ساخته شده است.

این چیدمان برای نخستین بار ارائه می‌گردد و سابقه‌ای چه در ایران و چه خارج از کشور برای آن وجود ندارد». مطالعه نمونه‌های زیستی و میکروشاره‌ها که نمونه‌های عبوری هستند، از کاربردهای مهم این میکروسکوپ به شمار می‌روند.

حسگر آکوستیکی فیبر نوری در زمره محصولات ایران‌ساخت قرار گرفت

کنترل و حفاظت از تأسیسات حیاتی نظیر تأسیسات نظامی، نیروگاه‌ها، پالایشگاه‌ها، فرودگاه‌ها، خطوط مرزی و لوله‌های انتقال نفت و گاز اهمیت بسیار بالایی دارد. تاکنون تدابیر زیادی برای دستیابی به فناوری‌های نظارتی دقیق اندیشیده شده است که از آن جمله می‌توان به استفاده از حسگرهای ارتعاشی، حسگرهای حرکتی و تصویربرداری اشاره کرد. حسگر آکوستیک فیبری یکی از مؤثرترین روش‌ها در مقایسه با همه روش‌های ذکر شده در حفاظت پیرامونی است که به تازگی توسط شرکت «ویرا فناور سبز آروند» و با حمایت ستاد توسعه فناوری‌های فوتونیک، لیزر، مواد پیشرفته و ساخت، تولید شده است.

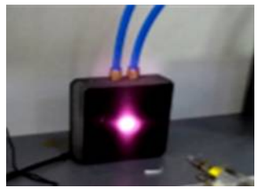
ایمن بودن حسگر آکوستیک فیبری در محیط‌های آلوده به مواد منفجره و شیمیایی، نصب و راه‌اندازی آسان، عدم تأثیر امواج الکترومغناطیسی بر عملکرد حسگر و هچنین عدم آشکارسازی آن توسط عوامل مزاحم، از جمله مزیت‌های این حسگر نسبت به روش‌های متداول دیگر به منظور استفاده در حفاظت پیرامونی است.

با بکارگیری این حسگرها نیاز به حضور نیروهای انسانی کاهش می‌یابد و با شبکه نمودن تعداد زیادی از این حسگرها، می‌توان منطقه وسیعی را تحت پوشش قرار داد.

طرح ساخت حسگر فیبری حفاظت پیرامونی در سال ۱۳۹۸ آغاز شد. بنا به گفته دکتر سودابه نوری، استادیار دانشکده علوم پایه دانشگاه مازندران و مدیر عامل شرکت ویرا فناور، ابتدا نمونه اولیه حسگر شبه توزیعی حفاظت پیرامونی ساخته شد و در شرایط واقعی مورد آزمون قرار گرفت. پس از دو سال، با شبیه‌سازی و بررسی مکانیک خاک، نسبت به ارتقاء کیفی سامانه و رفع چالش‌ها، تلاش زیادی صورت گرفت و در نهایت نمونه نیمه‌صنعتی در سال ۱۴۰۰ تکمیل گردید.

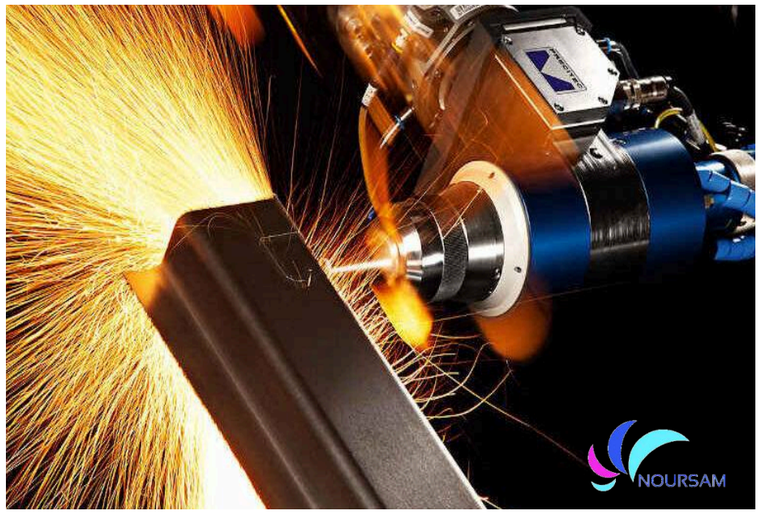
سامانه نهایی با قابلیت نصب زیر خاک، روی فنس و دیوار، دارای دقت بالایی در شناسایی تردد است که با ارزیابی کارشناسان حوزه حفاظتی، نمره مطلوبی را کسب نموده است. از جمله کاربردهای این حسگر می‌توان به حفاظت از مرزهای کشور و تأسیسات حیاتی نظیر فرودگاه‌ها، مراکز نظامی و امنیتی، نیروگاه‌ها، چاه‌ها و لوله‌های نفت و گاز، تأسیسات هسته‌ای و کنترل تردد در جاده‌ها اشاره کرد. دکتر نوری در گفت‌وگو با تحریریه اخبار ماهنامه ستاد فوتونیک، از ادامه پژوهش‌ها در این حوزه خبر داد. همچنین پژوهش در راستای توسعه و گسترش سامانه با هدف افزایش بهره‌وری در شرایط زیر آب همچنان ادامه دارد.

حسگرهای فیبر نوری بر اساس سازوکارهای مختلف پراکندگی برای اندازه گیری کمیت‌های خارجی به کار می‌روند. به عنوان مثال، پراکندگی بریلوئن به دلیل برهم‌کنش بین نور و فونون‌های شبکه بلوری فیبر رخ می‌دهد. تغییرات شدت و فرکانس در اثر این برهم‌کنش به دما و کرنش بستگی دارد و با اندازه‌گیری آن‌ها، کمیت‌های مورد نظر در یک سامانه توزیعی فیبری قابل آشکارسازی خواهد بود.



تمامی آزمون‌های کیفی در مراحل ساخت لیزرهای فیبری، در شرکت نوران صنعت انجام می‌شود. آزمون توان اپتیکی لیزرهای تولید شده این شرکت نیز با پاورمتر ساخت ایران صورت می‌گیرد که توسط شرکت «آشا» تولید شده است و قابلیت اندازه‌گیری توان لیزر تا ۲ کیلووات را دارد.

تولید لیزرهای فیبر نوری با توان بالا در شرکت دانش بنیان نوران صنعت مصباح



اولین لیزر فیبری توان بالای دانش‌بنیان، توسط شرکت نوران صنعت مصباح در شهرک علمی و تحقیقاتی اصفهان تولید شد. این شرکت نوپای دانش‌بنیان، با تکیه بر دانش کارشناسان داخلی و با حمایت ستاد فوتونیک و مواد پیشرفته، بعد از تولید لیزرهای فیبری ۱ کیلوواتی، اکنون به سفارش مشتریان خود موفق به ساخت لیزر فیبری ۲ کیلوواتی جهت برش و جوش در صنایع مختلف گردیده است.

فناوری به‌کار گرفته شده در این لیزر، استفاده از ترکیب لیزرهای ۱ کیلوواتی است. دکتر محمدجواد حکمت، مدیرعامل شرکت نوران صنعت مصباح، در این باره گفت: «اگرچه امکان تولید لیزر ۲ کیلوواتی تک‌ماژول نیز وجود دارد، اما ترکیب لیزرهای ۱ کیلوواتی باعث بالا رفتن طول عمر این لیزرها در کاربردهای صنعتی خواهد شد». شرکت نوران صنعت مصباح، اولین شرکت ایرانی است که لیزرهای فیبری صنعتی را روانه بازار کرده است. طبق گفته مدیر عامل این شرکت دانش‌بنیان در گفت‌وگو با تحریریه اخبار ماهنامه ستاد فوتونیک، تمامی مراحل طراحی اپتیکی، مکانیکی و الکترونیکی این لیزر توسط کارشناسان شرکت انجام شده است.

دکتر حکمت در مورد مقایسه این لیزرهای ایران‌ساخت با نمونه‌های مشابه خارجی گفت: «اگرچه هزینه تمام شده تولید لیزرهای فیبری در داخل کمی بیشتر از قیمت تمام شده نمونه‌های خارجی است، اما قیمت فروش لیزرهای شرکت نوران صنعت مصباح در مقایسه با قیمت واردکنندگان آن پایین‌تر است». همچنین مدیرعامل این شرکت دانش‌بنیان با بیان اینکه

میزان خرابی لیزرهای فیبری خارجی بالا است، به هزینه‌های پنهان ناشی از خرابی لیزرها برای مشتریان محصولات خارجی اشاره کرد. بنا به گفته دکتر حکمت، تولیدکنندگان خارجی با پایین آوردن کیفیت لیزر جهت ایجاد یک بازار مصرفی، باعث خرابی زودهنگام لیزرها می‌شوند که با توجه به شرایط اقتصادی کشورمان، موجب از بین رفتن سرمایه صنعتگران خواهد شد. لذا تولید لیزرهای داخلی، این نگرانی مشتریان را تا حد زیادی برطرف می‌کند، چرا که امکان تعمیر لیزرها در شرکت نوران صنعت وجود دارد. همچنین با افزایش تولید امکان کاهش قیمت نیز میسر خواهد بود.

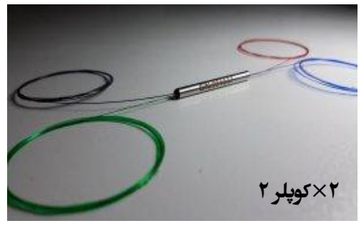
ساخت کوپلر فیبر نوری با دستگاه ایرانی پردازش و جوش لیزری شیشه

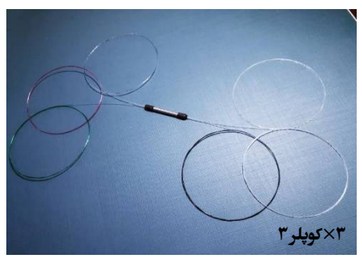
کوپلرهای فیبر نوری از اهمیت خاصی در کاربردهای فیبری نظیر سامانه‌های ارتباط داده با سرعت بالا، سامانه‌های تقسیم‌کننده نوری، حسگرهای فیبر نوری، لیزرها و سامانه‌های اندازه‌گیری فیبرهای نوری برخوردار است. ستاد فناوری‌های فوتونیک، لیزر، مواد پیشرفته و ساخت، جهت رفع نیاز صنایع نوری کشور در این زمینه از شرکت‌های دانش‌بنیان حمایت می‌کند.

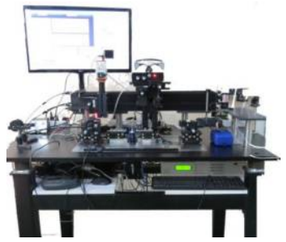
شرکت دانش‌بنیان «نوران حسگر صبا» که در زمینه ادوات فیبر نوری فعالیت می‌کند، به تازگی با حمایت ستاد فوتونیک موفق به ساخت انواع کوپلرهای فیبر نوری شده است.

کارشناسان شرکت نوران حسگر صبا که پیش از این، دستگاه پردازش و جوش شیشه را تولید کرده بودند، اکنون با استفاده از این دستگاه توانایی تولید انواع کوپلرها و کمباینرهای فیبر نوری را دارند. این دستگاه همچنین قادر به ایجاد انواع هندسه‌های مختلف مانند میکروکره‌ها بر روی فیبر نوری است.

دستگاه جوش شیشه به جای الکترود و شعله از منبع حرارت لیزر دی‌اکسید کربن استفاده می‌کند و عملکرد قابل تکرار را تضمین می‌دهد. دستگاه از سامانه تجزیه و تحلیل نوری دقیقی برخوردار است و با دقت بالایی انواع کوپلرهای تک‌مد و چندمد را تولید می‌کند. کوپلرهای فیبر نوری شرکت نوران حسگر دارای اتلاف پایین، بازدهی بالای کوپل، محدوده دمای عملیاتی بالا، قابلیت حمل، وزن سبک با روکش فولادی هستند. پراب طیف‌سنجی مبتنی بر فیبر نوری از دیگر محصولات جدید تولید شده در این شرکت است.







کیت پردازش و جوش شیشه بر پایه لیزر نوران حسگر صبا، از منبع حرارت لیزر CO_2 برای انجام اتصال و باریک شدن آدیاباتیک فیبرها استفاده می‌کند. پرتو لیزر توسط برخی از اجزای نوری به صورت عمودی بر روی فیبر نوری می‌تابد و سپس با استفاده از آینه گالوانومتر، فیبر نوری را جاروب می‌کند و گرمای یکنواختی را در محل جوش ایجاد می‌کند. این سامانه با برنامه Labview از پیش نوشته شده در رایانه، به طور دقیق قابل تنظیم است و قادر به تولید هندسه مخروطی، میکروکره، انواع کوپلرها و اتصال‌دهنده‌ها است.

میکروکره

اخبار فناوری
فناوری فوتونیک و مواد پیشرفته
۱۳
ماهنامه فناوری فوتونیک و مواد پیشرفته
شماره سیزدهم آبان ۱۴۰۰

اخبار خارجی

تیم تحقیقاتی دانشگاه لیدز نشان دادند که رویکرد جدید، عملکردی شبیه تکرارکننده‌های نوری دارد و از تلفات نوری فراتر از حد سنتی ۱۰۰ دسی‌بل، در یک کانال کوانتومی به طول ۶۰۵ کیلومتر جلوگیری می‌کند. از این فناوری جدید برای سایر پروتکل‌های ارتباط کوانتومی و کاربردهایی مانند بهبود تلسکوپ‌های تداخل‌سنجی نیز می‌توان استفاده کرد.

www.toshiba.eu

انتقال اطلاعات رمزگذاری شده کوانتومی از طریق فیبر نوری به طول بیش از ۶۰۰ کیلومتر

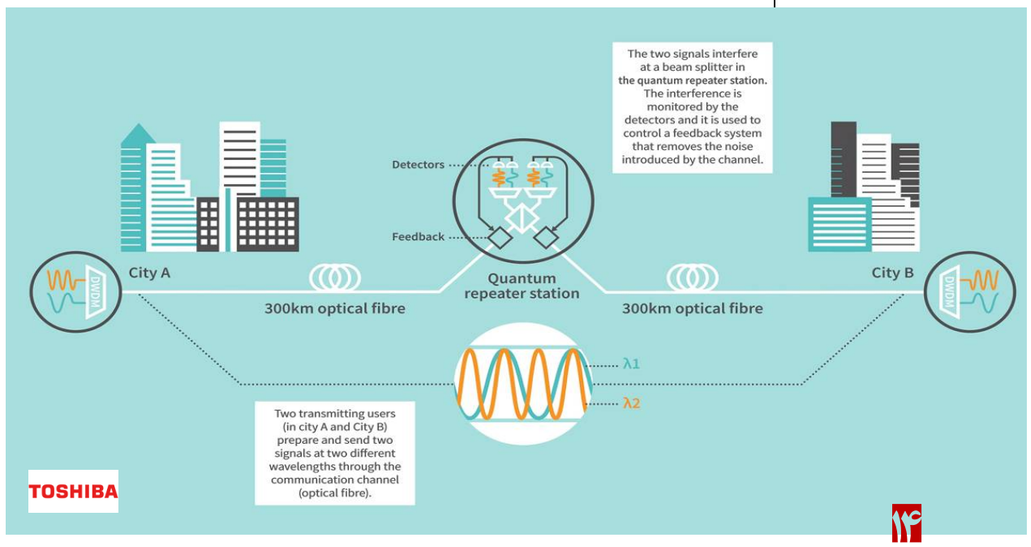
محققان دانشگاه لیدز و شرکت توشیبا اروپا، به تازگی با اجرای یک روش جدید تثبیت سیگنال، با استفاده از پروتکل توزیع کلید کوانتومی دو میدانی (QKD)، به ارتباط کوانتومی ایمن بر بستر فیبر نوری به طول ۶۰۵ کیلومتر دست یافتند. این روش جدید راه را برای انتقال اطلاعات بسیار امن و رمزگذاری‌شده کوانتومی در فواصل طولانی، مانند مسافت‌های بین شهری هموار می‌کند. بنا به گفته «میرکو پیتالوگا»، این طرح برای اولین بار برد ارتباطات کوانتومی مبتنی بر فیبر نوری را فراتر از ۶۰۰ کیلومتر گسترش می‌دهد. همچنین روش جدید ممکن است برای سایر کاربردهای تک فوتون حساس به فاز نیز استفاده شود.

طبق گفته رئیس بخش فناوری‌های کوانتومی در شرکت توشیبا اروپا، این فناوری امکان ایجاد شبکه‌های فیبر نوری در مقیاس ملی و قاره‌ای را ایجاد کرده است که مناطق بزرگ شهری را به هم متصل می‌کند و این یک گام بزرگ در ساخت شبکه‌های کوانتومی جهانی است.

QKD به دو کاربر در مکان‌های مختلف اجازه می‌دهد تا با تبادل فوتون‌هایی که معمولاً از طریق فیبر نوری منتقل می‌شوند، یک رشته مخفی مشترک از بیت‌ها ایجاد کنند. دستیابی به امکان انتقال این داده‌ها در فواصل طولانی، یکی از بزرگ‌ترین چالش‌ها برای اجرای عملی ارتباطات کوانتومی است. محدودیت اساسی این فناوری، جذب و پراکندگی فوتون‌ها در مسیرهای طولانی است که منجر به از دست رفتن اطلاعات می‌شود. استفاده از تقویت‌کننده‌ها و تکرارکننده‌های نوری، تا حدودی این مشکل را در بسترهای فیبر نوری حل می‌کند، اما برای انتقال اطلاعات کوانتومی چندان قابل اعتماد نیست.

پروتکل QKD دو میدانی که توسط محققان در بریتانیا توسعه یافته است، پتانسیل غلبه بر محدودیت فاصله را دارد. در این روش جدید از رویکرد تثبیت فاز مبتنی بر تقسیم طول موج استفاده شده است. محققان برای به حداقل رساندن نوسانات فاز در فواصل طولانی فیبر نوری، از دو سیگنال مرجع نوری در طول موج‌های مختلف بهره برده‌اند. از طول موج اول برای لغو نوسانات سریع و متغیر استفاده می‌شود و طول موج دوم، طول موج کیوبیت‌های نوری است که برای تنظیم دقیق فاز استفاده می‌شود.

این نتایج در یک محیط آزمایشگاهی به دست آمده است و گروه تحقیقاتی اکنون در حال انجام یک آزمایش میدانی است. نتایج این پژوهش در nature photonics منتشر شده است.

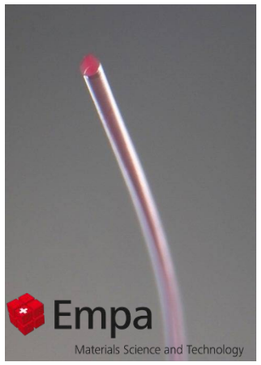


فیبرهای نوری با هسته مایع، وارد بازار فناوری فیبر نوری می‌شوند

سال‌های زیادی است که با استفاده از فیبرهای نوری، داده‌های زیادی با اطمینان و سرعت بالا منتقل می‌شوند. اما کوچکترین آسیبی به الیاف شیشه‌ای فیبر نوری، سامانه انتقال داده را مختل می‌کند. تنش خمشی یا کششی قوی می‌تواند به سرعت فیبرهای نوری را غیرقابل استفاده کند. به تازگی تیم تحقیقاتی علوم و فناوری مواد (Empa)، در آزمایشگاه فدرال سوئیس، یک فیبر نوری با هسته گلیسرول مایع ساخته‌اند که علاوه بر انتقال نور با همان کیفیت و سرعت فیبرهای معمولی، از استحکام بالاتری نیز برخوردار است. استحکام این فیبرهای نوری جدید آن‌ها را به گزینه مناسبی برای ساخت قطعات میکروهیدرولیک و حسگرهای نوری نیز تبدیل کرده است.

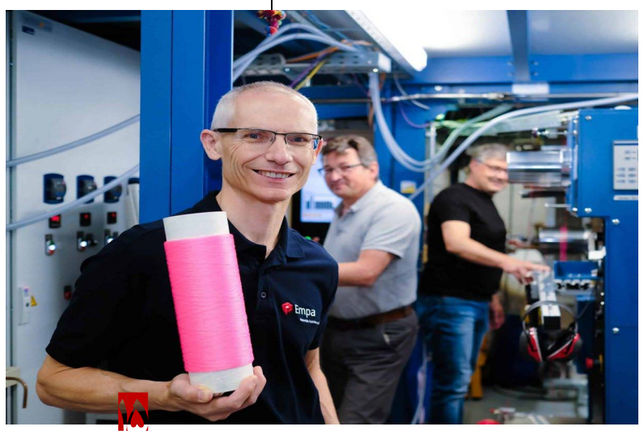
رودولف هوفنوس، مدیر این گروه تحقیقاتی می‌گوید: «ما انواع مواد را از نظر عبوردهی نور جهت ساخت الیاف نوری بررسی کرده‌ایم، اما حتی با بهترین هسته‌های فیبر جامد نیز نمی‌توانیم به خواص کششی و خمشی عالی فیبر پر از مایع دست پیدا کنیم».

با این حال، برای هدایت نور در الیاف با هسته مایع، همه چیز باید کنترل شود. تفاوت در ضریب شکست بین مایع و مواد روکش شفاف بسیار مهم است. ضریب شکست مایع باید به طور قابل توجهی بیشتر از مواد روکش باشد تا نور در آن حبس شود. همه مواد باید از نظر حرارتی پایدار باشند. طبق گفته محققان، دو جزء فیبر باید با هم تحت فشار بالا و در دمای ۲۰۰ تا ۳۰۰ درجه سانتی‌گراد از دستگاه تولید فیبر عبور کنند. بنابراین برای تولید فیبر به مایعی با ضریب شکست مناسب و با کمترین فشار بخار ممکن نیاز است. پس از آزمایش مواد مختلف، سرانجام هسته مایعی از گلیسرول و غلاف ساخته شده از فلوروپلیمر انتخاب شد.

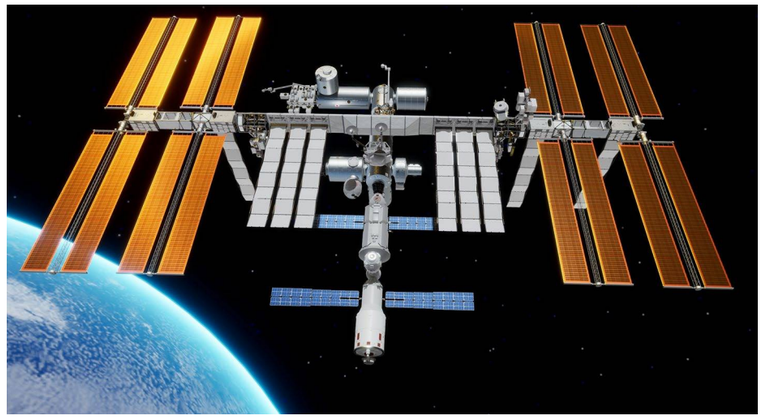


فیبری که گروه Empa تولید کرد می‌تواند تا ۱۰% طول عادی خود، کشیدگی را تحمل کند و سپس به طول اولیه باز گردد. این ویژگی علاوه بر انتقال نور، برای سنجش فشار و کشش نیز می‌تواند استفاده شود.

www.empa.ch



پای فیبرهای نوری برای دزیمتری تشعشعات به فضا باز شد



در یک فضاپیما، برای محافظت از خدمه و وسایل الکترونیکی در برابر تشعشعات، سرمایه‌گذاری در سامانه‌های نظارت بر تشعشعات بسیار ضروری است. ایستگاه فضایی بین‌المللی (ISS)، درست مانند برخورددهنده بزرگ هادرون در سرن، یک محیط تشعشعی پیچیده است که به دستگاه‌های دزیمتری سفارشی نیاز دارد. فناوری‌های مبتنی بر فیبر نوری می‌توانند اندازه‌گیری دز تابش توزیع‌شده و نقطه‌ای را با دقت بالا ارائه دهند.

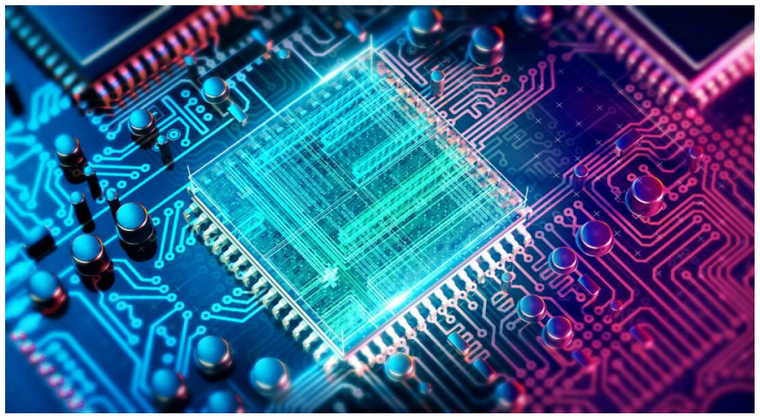
در ۱۸ آگوست ۲۰۲۱، یکی از فضانوردان آژانس فضایی اروپا، آزمایش Lumina را در داخل ایستگاه فضایی بین‌المللی آغاز کرد. این طرح با هماهنگی آژانس فضایی فرانسه و با مشارکت سرن و همچنین محققان دانشگاهی صورت گرفت. دانشمندان از دو فیبر نوری چند کیلومتری به عنوان دزیمتر فعال استفاده کردند که تشعشعات یونیزه‌کننده در ایستگاه فضایی را با دقت بالایی اندازه‌گیری می‌کند.

دنیل ریچی، مدیر بخش مهندسی فیبر نوری در سرن، گفته است: «زمانی که فیبرهای نوری در معرض محیط تابشی فضا قرار می‌گیرند، افت نسبی توان ارسالی را تجربه می‌کنند که ما آن را تضعیف ناشی از تشعشع می‌نامیم». در واقع با استفاده از یک کانال کنترل مرجع، تضعیف ناشی از تشعشع برخی از فیبرهای نوری خاص را می‌توان به دقت اندازه‌گیری کرد که با کل تشعشع یونیزه‌کننده در ارتباط است.

ایده دزیمتری مبتنی بر فیبر نوری یا همان آزمایش لومینا، چندین سال است که در برخورددهنده هادرون در سرن استفاده می‌شود. با تکیه بر این تجربه، برای اولین بار این سامانه در فضا نیز با موفقیت آزمایش شد.

home.cern

افزایش سرعت رایانه‌های کوانتومی در دمای اتاق به کمک فیبرهای نوری



گروهی از محققان دانشگاه فنی دانمارک، طرحی را در آگوست ۲۰۲۱ ارائه کردند که از آن با نام «سامانه مکمل» برای یک رایانه کوانتومی نوری یاد می‌شود. این فناوری بر پایه فیبر نوری توسعه یافته است و بنا به گفته محققان، یک فناوری جامع و مقیاس‌پذیر است.

مایکل لارسن، مدیر این طرح گفته است: «فناوری جامع و مقیاس‌پذیر، به این معنی است که هر الگوریتم دلخواه را می‌توان در سامانه ابداع شده با ورودی‌های مناسب، یعنی کیوبیت‌های نوری، تحقق بخشید».

مقیاس‌پذیری سامانه محاسبات کوانتومی نوری به هزاران کیوبیت، برای افزایش چشمگیر قدرت پردازش اطلاعات نسبت به رایانه‌های مبتنی بر ترانزیستور استاندارد بسیار مهم است. این قدرت بالای پردازش داده‌ها، از برنامه‌های کاربردی در صنعت داروسازی، بخش حمل و نقل، محاسبات پیچیده، ذخیره اطلاعات و توسعه مواد پیشرفته برای ذخیره کربن پشتیبانی می‌کند. اما چرا فیبر نوری کلید اصلی این فناوری است؟!

سامانه مکمل یک رایانه کوانتومی نوری، از یک دستگاه کوانتومی پشتیبانی می‌کند که مبتنی بر یک اندازه‌گیری جامع است و از فیبر نوری برای رفع نیاز به سامانه‌های پیچیده خنک‌سازی و سرماسنج‌های بزرگ استفاده می‌کند.

از لحاظ نظری، هیچ تفاوتی بین اینکه یک رایانه کوانتومی بر پایه کیوبیت‌های ابررسانا یا نوری کار کند، وجود ندارد. اما یک تفاوت عملی مهم وجود دارد! رایانه‌های کوانتومی ابررسانا به تعداد کیوبیت‌های ساخته شده بر روی یک تراشه پردازنده خاص محدود می‌شوند. در حالی که در ابداع گروه تحقیقاتی دانشگاه فنی دانمارک، می‌توان با استفاده از فیبر نوری به طور مداوم کیوبیت‌های نوری جدید ایجاد کرد و آن‌ها را به صورت کوانتومی با کیوبیت‌های در حال انجام محاسبات درگیر نمود. علاوه بر این، نیازی به خنک‌سازی سامانه تا دماهای بسیار پایین نیست. چرا که فیبرهای نوری در دمای اتاق کارایی لازم را دارند. پیاده‌سازی سامانه مکمل رایانه کوانتومی بر بستر فیبر نوری، دستیابی به اینترنت کوانتومی بدون واسطه‌های پیچیده و با هزینه کمتر را در آینده نزدیک تسهیل خواهد کرد.

پردازش داده‌های نوری می‌تواند بسیاری از عملیات‌ها را به طور هم‌زمان (به صورت موازی)، بسیار سریع‌تر و آسان‌تر از پردازش الکترونیکی انجام دهد. پردازش موازی زمانی که با سرعت‌های کلیدزنی بالا همراه باشد، قدرت محاسباتی خیره‌کننده‌ای تولید می‌کند.

www.dtu.dk

اخبار علمی

نتایج این پژوهش در ۲۶ اکتبر امسال در مجله nature scientific reports منتشر شده است.

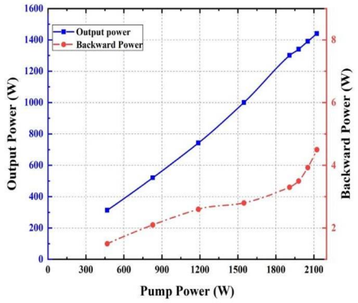
تأثیر اشباع وارونگی جمعیت بر آستانه ناپایداری مد عرضی در نوسان سازهای لیزر فیبری با توان بالا

لیزرهای فیبری توان بالا معمولا با دو پیکربندی تقویت‌کننده توان نوسان‌ساز اصلی (MOPA) و نوسان‌ساز لیزر فیبری تولید می‌شوند. از لحاظ کاربرد صنعتی، نوسان‌سازهای لیزر فیبری یکپارچه با توان بالا، در مقایسه با تقویت‌کننده‌های لیزری از مزایایی همچون ساختار ساده‌تر، دست‌کاری آسان‌تر و حساسیت کمتر در برابر نور کوپل شده به عقب برخوردار هستند. از این رو، رفع موانعی که در برابر مقیاس‌بندی توان سامانه‌های لیزر فیبری وجود دارد، اهمیت ویژه‌ای پیدا کرده است. از جمله این موانع، ناپایداری مد عرضی (TMI) و پراکندگی رامان القایی (SRS) را می‌توان نام برد. این اثرات مخرب، محدودیت‌های جدی در کارایی و کیفیت پرتو لیزرهای فیبری توان بالا ایجاد کرده است.

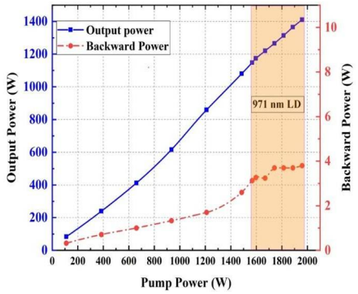
محققان مرکز ملی علوم و فنون لیزر ایران در مطالعات و آزمایش‌های اخیر خود، یکی از عوامل ناپایداری مد عرضی در لیزرهای فیبری را بررسی کردند.

در این مقاله پیکربندی‌های مختلف پمپاژ برای یک نوسان‌ساز لیزر فیبری با ناخالصی ایتربیوم و توان ۳/۰۲ کیلو وات، مورد بررسی قرار گرفته است و اثر اشباع وارونی جمعیت بر آستانه ناپایداری مد عرضی در هر پیکربندی آزمایش شده است.

پژوهشگران مرکز ملی علوم و فنون لیزر، سطح وارونی جمعیت هر پیکربندی را توسط نرم‌افزار طراحی کاربردی Liekki محاسبه کردند تا اثر



پمپاژ دوجهته

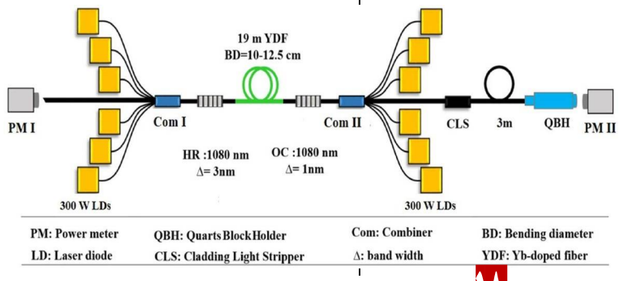


پمپاژ هیبریدی

روش‌های مختلف پمپاژ را بر اشباع بهره مقایسه کنند. نتایج شبیه‌سازی نشان داد که اشباع وارونی جمعیت، تأثیر قابل توجهی بر افزایش آستانه TMI در نوسان‌سازهای لیزر فیبری با توان بالا دارد.

علاوه بر این، چیدمان اپتیکی روش‌های پمپاژ به صورت تجربی، تأثیر مفید پمپاژ هیبریدی با طول موج های ۹۷۱ و ۹۷۶ نانومتر بر آستانه TMI را نشان داد. در نهایت محققان توانستند یک توان خروجی تک‌مد ۳/۰۲ کیلوواتی را بدون هیچ شواهدی از TMI و SRS با استفاده از یک پیکربندی پمپاژ دو جهته ارائه کنند.

این دست‌آورد پژوهشگران ایرانی، راه را برای درک بهتر پدیده TMI هموار می‌کند و منجر به افزایش آستانه TMI و دستیابی به توان‌های بالاتر در نوسان‌سازهای لیزر فیبری می‌شود.



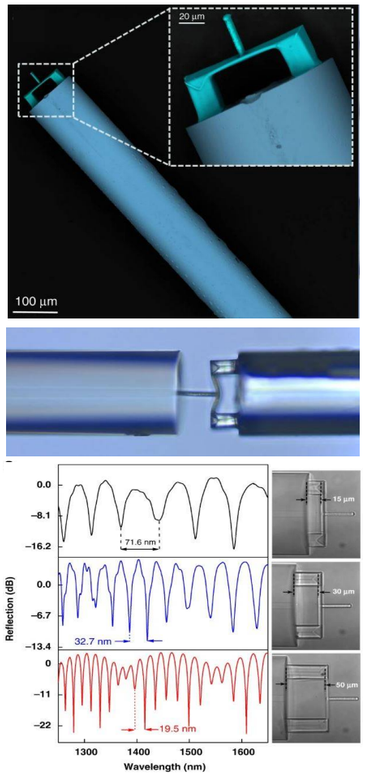
اندازه گیری نیروهای مکانیکی نانونیوتنی در علوم زیستی با استفاده از طیف بازتابی درون فیبر نوری

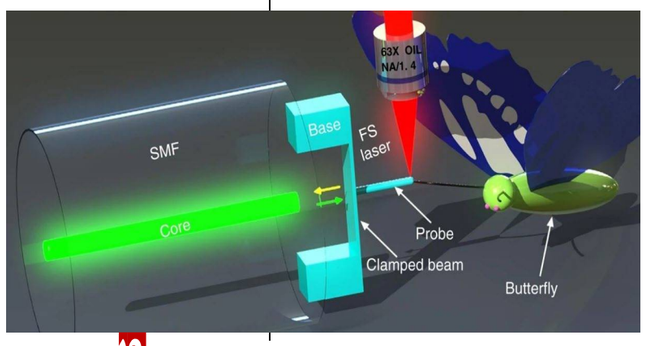
عملیات مکانیکی در ابعاد میکرونی مربوط به کاربردهای زیستی در علم مواد و پزشکی، اغلب به کنترل یا اندازه‌گیری نیروهای اعمال شده بر روی نقاط حساس با ابعاد بسیار کوچک نیاز دارند. در طول دهه گذشته، انواع حسگرهای نیروی میکروالکترومکانیکی (MEMS) پیشنهاد شده است. با این حال، حسگرهای نیروی MEMS در بسیاری از کاربردها به دلیل نیاز به بسته‌بندی مناسب و سازگاری ضعیف الکترومغناطیسی محدود هستند. در حالی که فیبرهای نوری دارای مزایایی همچون حساسیت بالا، انعطاف‌پذیری، وزن کم، زیست‌سازگاری عالی و مصونیت در برابر تداخل الکترومغناطیسی هستند.

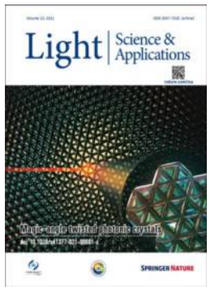
محققان دانشگاه شنژن چین برای اولین‌بار با استفاده از روش چاپ میکرونی، یک حسگر میکرونیرو مبتنی بر فیبر نوری طراحی کردند. این حسگر یک پراب پلیمری دارد که با روش لیتوگرافی پلیمریزاسیون دوفوتونی به کمک لیزر فمتوثانیه چاپ می‌شود.

برای بهبود عملکرد ایستای این حسگر، ساختار آن با روش اجزاء محدود شبیه‌سازی شده است. ساختار حسگر شامل یک فیبر نوری تک‌مد (SMF)، یک جفت پایه پلیمری که نگهدارنده پراب روی آن قرار می‌گیرد و یک پراب پلیمری است. این ساختار یک کاواک فابری‌پرو میکرونی تشکیل می‌دهد که طیف بازتابی از سطوح موجود در ساختار حسگر، درون فیبر نوری به دست می‌آید. زمانی که یک نیروی بسیار کوچک باعث خمیدگی نگه‌دارنده پرتو می‌شود، ابعاد کاواک فابری‌پرو تغییر کرده و باعث جابه‌جایی طول موج در طیف بازتابی تشکیل شده درون فیبر نوری می‌شود.

محققان چینی با آزمایش نیروی ناشی از موی انسان و شاخک‌های پروانه موفق شدند با دقت ۵۴ نانونیوتن، نیروی وارد شده به نگه‌دارنده پراب را اندازه‌گیری کنند. این حسگر برای معاینه زیست‌پزشکی و علم مواد با دقت بالا مفید خواهد بود و روش ساخت پیشنهادی، مسیر جدیدی را برای نسل بعدی تحقیقات بر روی دستگاه‌های پلیمری پیچیده با فیبر نوری فراهم می‌کند.

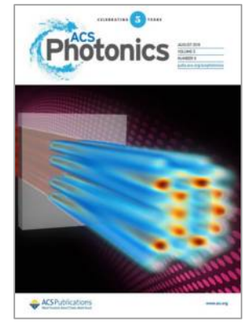






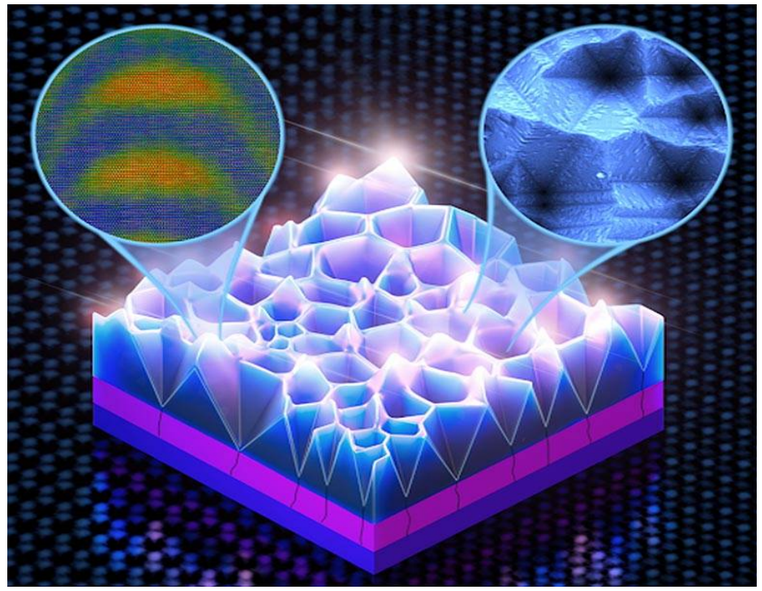
نتایج این پژوهش آگوست امسال در مجله light: science & applications منتشر شده است.

تازه ها



نتایج این پژوهش در ماه آگوست امسال در مجله ACS Photonics منتشر شده است.

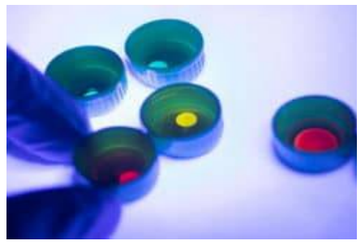
روش جدید برای تولید نور از طریق کاشت نقاط کوانتومی در نقص‌های شبکه بلور مواد نیم‌رسانا

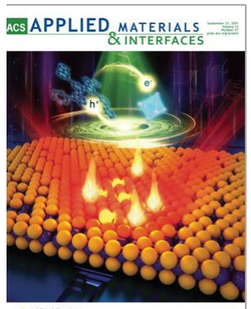


گروه تحقیقاتی میان‌رشته‌ای سامانه‌های الکترونیکی کم‌انرژی سنگاپور با همکاری مؤسسه فناوری ماساچوست، به تازگی روش جدیدی را برای تولید نور مرئی با استفاده از نقص‌های ذاتی در دیودهای ساطع‌کننده نور (LED) کشف کرده‌اند که در طیف وسیعی از کاربردها مانند روشنایی عمومی، ارتباطات داده‌ای، ذخیره اطلاعات و سنجش زیستی و شیمیایی استفاده می‌شوند.

روش جدید، یک رویکرد جایگزین برای توسعه LEDهای نور قرمز مبتنی بر InGaN ارائه می‌دهد که بازدهی پایینی دارند. علاوه بر این، ساخت LEDهای InGaN با غلظت اینديم بسیار بالا، با استفاده از ساختارهای نیم‌رسانای معمولی دشوار است. ابداع محققان سنگاپور با پیروی از روش‌های استاندارد تولید صنعتی، می‌تواند مزایایی را از طریق تولید مستقیم نور قرمز، سبز و آبی در منابع و نمایشگرهای تجاری تمام‌رنگی نیز فراهم کند. ایده اصلی این طرح، ایجاد نقاط کوانتومی InGaN در نقص‌ها و تهی‌جاهای شبکه بلوری این ماده است. در این فرآیند، نقص‌های طبیعی موجود در شبکه بلوری، با نقاط کوانتومی غنی از ایندیم جایگزین می‌شوند و جزایر کوچکی از مواد که نور با طول موج بلندتری ساطع می‌کنند، را تشکیل می‌دهند.

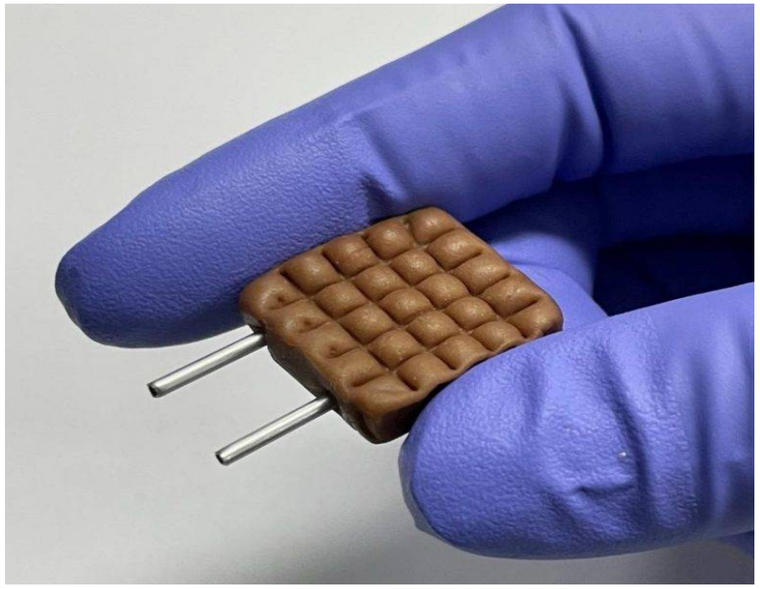
با رشد این ساختارها بر روی بسترهای سیلیکانی معمولی، نیاز به الگوسازی یا بسترهای نامتعارف بیشتر، از بین می‌رود. این نوآوری، نشان‌دهنده یک گام به جلو در غلبه بر کاهش بازده InGaN هنگام تولید نور قرمز، نارنجی و زرد است که در توسعه آرایه‌های میکرونی LEDهای متشکل از یک ماده واحد بسیار سودمند خواهد بود.



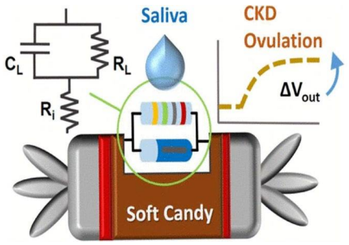


نتایج این پژوهش در سپتامبر امسال در مجله ACS Applied Materials & Interfaces منتشر شده است.

شکلات‌هایی که به سادگی تبدیل به حسگر می‌شوند و وضعیت کلیه‌های انسان را رصد می‌کنند



آزمایش‌های تشخیصی یک‌بارمصرف، اغلب برای متخصصان سلامت یا بیماران در مناطقی با منابع محدود عملی نیستند. علاوه بر آن، هزینه‌های آزمایش و تولید زباله نیز از مشکلات دیگری است که خوشبختانه روز به روز با فناوری‌های ارزان و قابل دسترس، در حال کاهش است. در ماه گذشته، بیل چوا محقق مهندسی برق دانشگاه کره جنوبی با یک ایده ساده و خلاقانه موفق شد آزمایش بزاق دهان را برای تشخیص سلامت کلیه انسان انجام دهد. او و همکارانش با یک حسگر الکترونیکی شکلاتی این آزمایش را انجام دادند. این آب‌نبات شکلاتی به همراه دو الکترود که قابلیت تشخیص، سطح نمک و الکترولیت در بزاق را دارد، برای تشخیص و نظارت بر وضعیت تخمک‌گذاری در بانوان یا سلامت کلیه استفاده می‌شود.



برای ساخت نمونه اولیه این حسگر، محققان یک شکلات را پهن کردند و شکاف‌هایی را در سطح آن ایجاد نموده تا نمونه بزاق را نگه دارند. سپس دو لوله آلومینیومی نازک و قابل استفاده مجدد را به عنوان تماس‌های الکتریکی درون شکلات قرار دادند. آن‌ها با آزمایش نمونه‌های اولیه بزاق انسان، با اندازه‌گیری ولتاژ بین دو الکترود و تعیین میزان کاهش یا افزایش نمک در بزاق دهان، وضعیت کارکرد کلیه‌ها و تخمک‌گذاری را تعیین کردند.

اگرچه آزمایش با نمونه‌های واقعی بزاق انسان باید بارها تکرار شود اما محققان دانشگاه کره جنوبی بر این باورند که استفاده از آب‌نبات‌های نرم به عنوان حسگر بزاق دهان و موفقیت آزمایش‌های آن، امکان استفاده از سایر حسگرهای ساده و مدارهای الکتروشیمیایی کم‌هزینه را در آینده فراهم می‌کند.

این قرص برای خنثی کردن باکتری‌ها، هیدروژن‌پراکسید تولید می‌کند که بازدهی نزدیک به ۱۰۰% در تصفیه آب دارد. هیدروژن‌پراکسید به همراه ذرات کربن فعال، با ایجاد اختلال در سوخت‌وساز سلول‌ها و باکتری‌ها، آن‌ها را ازبین می‌برند. این فرآیند نیاز به انرژی ندارد و محصولات جانبی مضر ایجاد نمی‌کند و مواد قرص به راحتی از آب جدا می‌شود.

تصفیه سریع آب به وسیله قرص هیدروژل

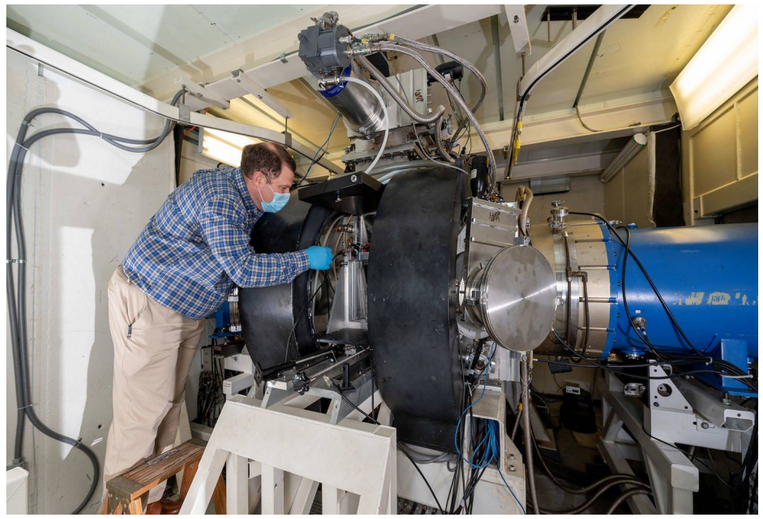
در ماه اکتبر امسال، محققان دانشگاه تگزاس یک قرص هیدروژل ساختند که می‌تواند به سرعت آب آلوده را تصفیه کند. یک عدد از این قرص می‌تواند ۱ لیتر آب رودخانه را ضدعفونی و تصفیه کرده و در زمان کمتر از ۱ ساعت، آن را به آب قابل شرب تبدیل کند.

بنا به گفته دکتر یو و همکارنش که نتایج پژوهش خود را به تازگی در مجله Advanced Materials منتشر کرده‌اند، هیدروژل چندمنظوره ساخته شده، رفع چشمگیر کمبود آب در دنیا را به ارمغان خواهد آورد؛ زیرا استفاده از آن آسان، سریع، بسیار کارآمد و بدون صرف انرژی است. همچنین تولید انبوه این قرص به راحتی امکان‌پذیر خواهد بود.

هیدروژل‌ها علاوه بر تصفیه مستقیم آب، می‌توانند فرآیند تصفیه خورشیدی آب را نیز بهبود ببخشند. سامانه‌های تقطیر خورشیدی اغلب با مسائل مربوط به رسوب زیستی و تجمع میکروارگانیسم‌ها روی تجهیزات مواجه هستند که باعث اختلال در عملکرد این سامانه‌ها می‌شود. هیدروژل‌های کشنده باکتری می‌توانند این مشکل را برطرف سازند.

بنا به گفته کیت جانستون، استاد مهندسی شیمی تگزاس، این هیدروژل به طور تصادفی کشف شده است و یکی از دانشجویان وی در پژوهش تصفیه آب خورشیدی، به خاصیت این ماده پی برده است. گروه تحقیقاتی جانستون در حال تلاش برای بهبود هیدروژل‌ها با افزایش انواع مختلف پاتوژن‌ها و ویروس‌ها در آب هستند. همچنین تجاری‌سازی نمونه‌های اولیه این هیدروژل در حال انجام است و به زودی در دسترس خواهند بود.

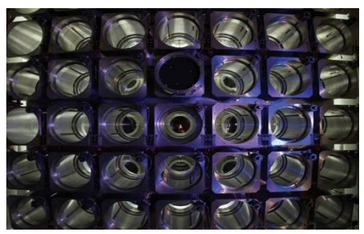
لیزر آرگون فلوراید، فناوری امیدوارکننده در تولید انرژی همجوشی

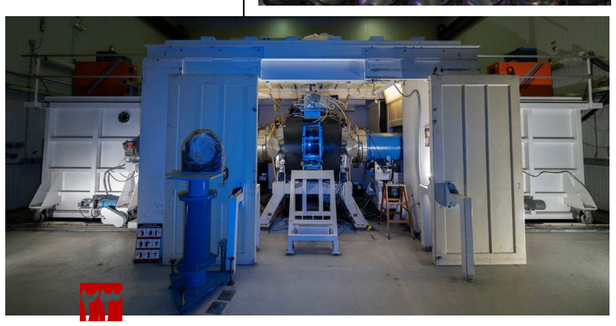


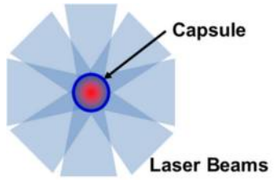
کارشناسان آزمایشگاه تحقیقات نیروی دریایی ایالات متحده، با مطالعات و شبیه‌سازی‌های انجام شده بر روی تحریک مستقیم ایزوتوپ‌های سنگین هیدروژن با لیزر فلوراید‌آرگون (ArF)، یک گام به تولید انرژی همجوشی نزدیک شدند. نتایج نشان می‌دهد که لیزر ArF با طول موج فرابنفش، یک فناوری امیدوارکننده برای دستیابی به انفجارهای همجوشی پایدار با بهره بالا است.

در حال حاضر این فناوری با لیزر کریپتون‌فلوراید آزمایش شده است اما بازدهی پایینی دارد. دانشمندان تلاش می‌کنند تا با ساخت لیزر ArF، انرژی لازم جهت واکنش همجوشی را کاهش دهند تا بازدهی این فرآیند افزایش یابد و بتوان از آن به عنوان منبع انرژی بهره‌برداری کرد.

آن‌ها معتقدند لیزر ArF قابلیت تولید انرژی همجوشی نزدیک به ۱۰۰ مگاژول را دارد و می‌تواند توسعه و ساخت نیروگاه‌های همجوشی بسیار کوچکتر و کم‌هزینه‌تر را امکان‌پذیر کند. در واقع محققان امیدوارند که با انرژی حدود ۱مگا ژول ناشی از لیزر، بتوانند ده‌ها برابر انرژی ناشی از همجوشی را تولید کنند. در این صورت تمامی دیدگاه‌های کنونی مبنی بر هزینه‌بر بودن انرژی همجوشی از بین خواهند رفت. مطابق برنامه تحقیقاتی صورت گرفته، اگر محققان بتوانند لیزر ArF را با توان بالا تولید کنند، ساخت سامانه انفجاری متشکل از ۲۰ تا ۳۰ لیزر ArF در آزمایشگاه تحقیقات نیروی دریایی ایالات متحده آغاز خواهد شد تا برای تولید انرژی همجوشی لیزری استفاده شود.







همجوشی لیزری شامل انفجار کپسول‌های کوچک دوتریوم یا تریتیوم است که با چندین لیزر پرتوان تحت تابش قرار می‌گیرد و با افزایش دما تا ۱۰۰ میلیون درجه سانتی‌گراد، انرژی لازم برای آغاز همجوشی مهیا می‌شود.

www.nrl.navy.mil

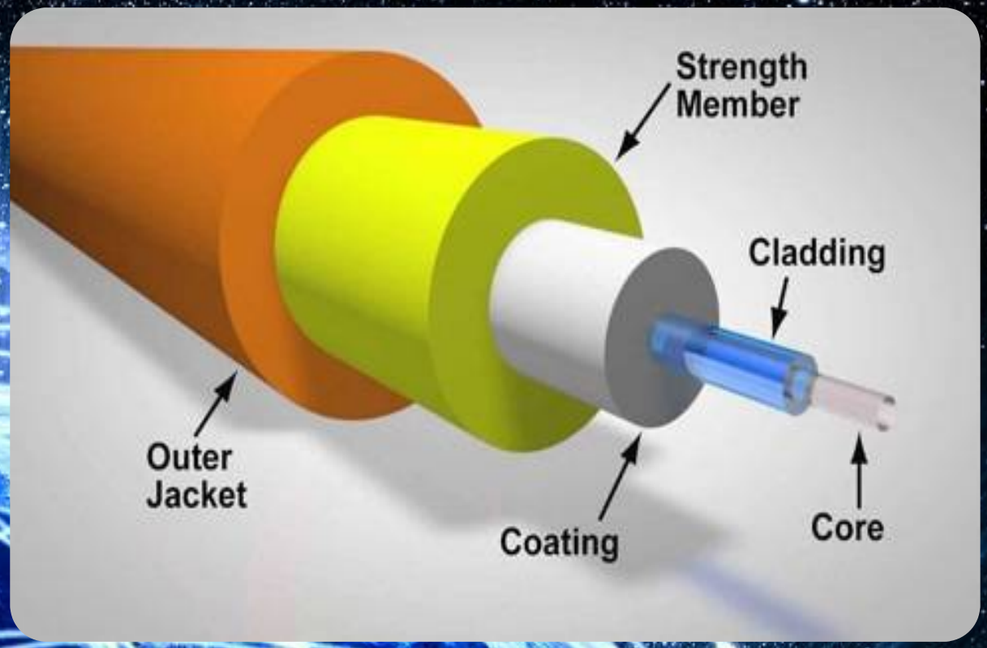
اخبار فناوری
فناوری فوتونیک و مواد پیشرفته
ماهنامه فناوری فوتونیک و مواد پیشرفته
شماره سیزدهم آبان ۱۴۰۰

دورنما

حسگرهای گسترده فیبر نوری برای نظارت بر محیط

وقتی صحبت از حسگرها می‌شود، اغلب ذهن به طور ناخودآگاه به سمت تجهیزاتی می‌رود که یک پارامتر به خصوص را در نقطه‌ای خاص آشکارسازی می‌کند. حال تصور کنید چه می‌شد اگر می‌توانستیم با استفاده از یک ابزار، بر چندین مشخصه متمایز در محدوده فیزیکی وسیعی نظارت کنیم؟

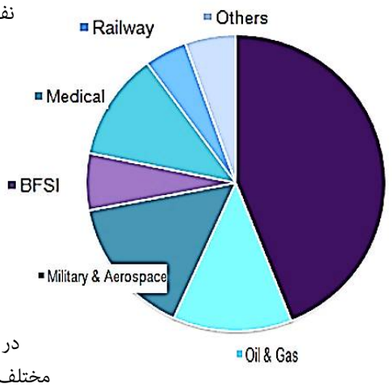
خبر خوب این که امروزه حسگرهای گسترده فیبر نوری می‌توانند این امکان را برای ما فراهم نمایند. در این شماره از نشریه فوتونیک و مواد پیشرفته به معرفی این حسگرهای شگفت‌انگیز و برخی از کاربردهای آن‌ها می‌پردازیم.



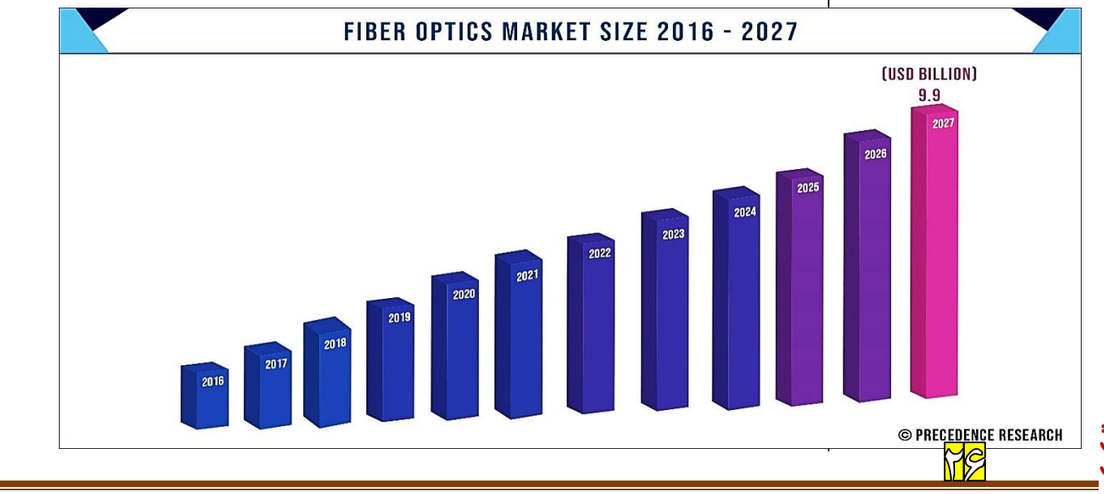
حسگرهای گسترده فیبرنوری برای نظارت برمحیط

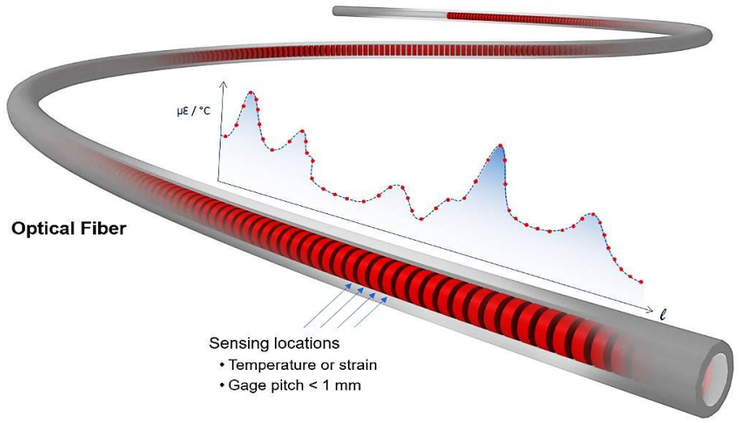
به قلم سید مرتضی احمدی
seyedmortezaahmadi@gmail.com

پس از دستیابی به فرآیند ساخت فیبرهای نوری با نرخ تضعیف کمتر از ۲۰ دسی‌بل بر کیلومتر، امروزه این ادوات به عنوان یکی از جذاب‌ترین محصولات فوتونیکی مطرح شده‌اند. حتی پیش از این نیز در دهه‌های گذشته، فیبرهای نوری جای خود را در کاربردهای مختلفی شامل مخابرات پرسرعت، تصویربرداری اپتیکی، لیزرهای فوق سریع، حسگرهای فیبر نوری و ... پیدا کرده بودند. اینترنت پرسرعت مورد استفاده در منازل، تصویربرداری از داخل عروق خونی و سوزاندن بافت‌های اضافی داخل بدن بدون نیاز به جراحی، اندازه‌گیری‌های دقیق اما با قیمت پایین، تلویزیون‌های اینترنتی و ده‌ها مورد دیگر را می‌توان به عنوان نتایج استفاده از فیبرهای نوری برشمرد. بر طبق پیش‌بینی‌ها بازار فیبرهای نوری تا سال ۲۰۲۷ به رقم خیره‌کننده ۹/۹ میلیارد دلار خواهد رسید. از این میان بالاترین رتبه استفاده از انواع فیبر نوری مورد به ترتیب به فیبرهای نوری پلاستیکی، چند مد و تک مد اختصاص خواهد یافت. بیشترین سرمایه‌گذاری بر روی فیبرهای نوری در مخابرات، صنایع نفت و گاز و صنایع دفاعی و هوافضا صورت می‌گیرد که پس از آن بخش‌های بانکی و اعتباری، پزشکی، راه آهن و ... قرار دارند.



در میان کاربردهای مختلف فیبرهای نوری که در بخش‌های مختلف این شماره از نشریه فوتونیک و مواد پیشرفته مشاهده خواهید نمود، فیبرهای نوری استفاده شده در کاربردهای حسگری از مزایای قابل توجهی نسبت به رقبای الکترونیکی خود برخوردار هستند. از جمله مزایای فیبرهای نوری، می‌توان به تلفات توان بسیار کم آن‌ها اشاره کرد که امکان حسگری از راه دور (sensing remote) را با کمترین میزان تخریب سیگنال فراهم می‌سازد. همچنین، فیبرهای نوری می‌توانند در مقابل عوامل متعدد فیزیکی مانند دما، کرنش، لرزش آکوستیک، جریان، فشار و ... حساسیت‌های بسیار زیادی را از خود به نمایش بگذارند که در برخی موارد از سایر روش‌های موجود حسگری از ده تا صدها دسی‌بل قوی‌تر باشد. مصونیت





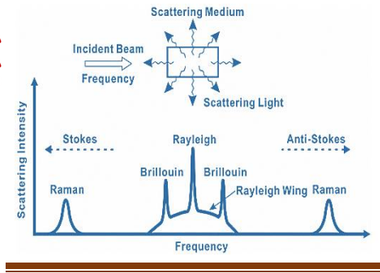
فیبرهای سیلیکایی در برابر تداخل‌های الکترومغناطیسی و مقاومت آن در برابر دماهای بالا و مواد خورنده نیز آن‌ها را برای استفاده در محیط‌های پرخطر ایده‌آل می‌سازد. علاوه بر این‌ها، هندسه جمع و جور، انعطاف‌پذیری و وزن کم فیبرهای نوری، درجه آزادی بالایی را در کاربردهایی که محدودیت فضا و جابجایی مورد نیاز است، فراهم می‌کند. حسگرهای مبتنی بر فیبر نوری در ابتدا به عنوان حسگرهای تک‌نقطه‌ای محسوب می‌شدند. ایجاد قابلیت تسهیم (Multiplexing) در فیبرهای نوری با استفاده از روش‌هایی مانند تقسیم طول موج اپتیکی، تقسیم فرکانس حامل، تقسیم زمانی، تقسیم مکانی و تقسیم همدوسی این قابلیت را فراهم کرد تا شبکه‌های گسترده حسگری مبتنی بر فیبر نوری با هزینه‌های بسیار پایین ایجاد شوند. این نوع از شبکه‌های حسگری، قابلیت اندازه‌گیری در فاصله‌های ده‌ها کیلومتری را برای آشکارسازی سریع خطرات محیطی میسر می‌کنند. در حال حاضر، حسگرهای گسترده فیبر نوری بازار بزرگتری را نسبت به حسگرهای فیبری تک‌نقطه‌ای به خود اختصاص داده‌اند و با شتاب بسیار بیشتری در حال رشد هستند. این نوع حسگری گسترده، امکان آشکارسازی چند پارامتر را در محدوده‌ای گسترده فراهم می‌کند و می‌تواند هزینه‌های مالی و فناورانه مورد نیاز برای نظارت و حسگری را به شدت کاهش دهد.

در حال حاضر، شبکه‌های گسترده حسگری مبتنی بر فیبر نوری اغلب از پراکندگی‌های نوری مانند رایلی، بریلوئن و رامان برای حسگری پارامترهای مختلف استفاده می‌کنند.

در کنار این موارد از تداخل‌سنج‌های مایکروویو نیز برای حسگری برخی پارامترهای محلی استفاده می‌شود که البته نسبت به پراکندگی‌های یاد شده با اقبال کمتری مواجه است.

به طور کلی، پراکندگی نور عبارت است از فرآیند آماری تصادفی که در تمامی جهت‌ها رخ می‌دهد.

طرحواره‌ای از پراکندگی‌های مورد استفاده در حسگرهای فیبر نوری در شکل روبرو نمایش داده شده‌اند.



پراکندگی الاستیک رایلی که در مرکز این طیف قرار دارد، ناشی از تغییرات منتشرنشونده چگالی ماده است که باعث پهن‌شدگی طیفی بدون تغییر در فرکانس مرکزی می‌شود. در کنار این قله پراکندگی، پراکندگی بریلوئن قرار گرفته که از برهمکنش نور با فونون‌های آکوستیک منتشرشونده نشات می‌گیرد و پراکندگی دیگر، پراکندگی رامان است که نشان‌دهنده لرزش‌های مولکولی ماده است. پراکندگی‌های رامان و بریلوئن غیر الاستیک هستند. در ادامه به معرفی چند نمونه از کاربردهای شبکه‌های گسترده حسگری فیبر نوری در کنترل پارامترهای محیطی که از پتانسیل بسیار خوبی برای سرمایه‌گذاری برخوردارند، می‌پردازیم.

نظارت بر سلامت سازه‌ها

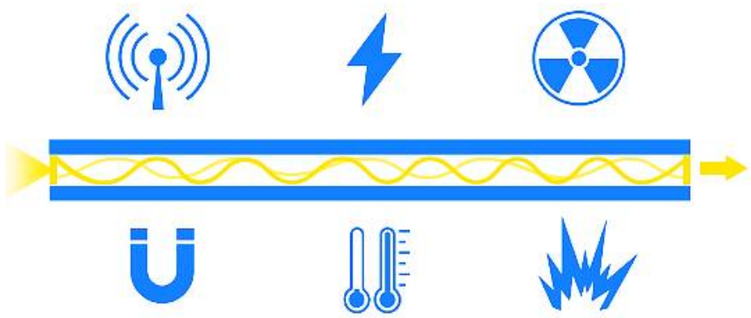
در میان انواع مختلف سامانه‌های حسگری مبتنی بر فیبر نوری، حسگرهای مبتنی بر بریلوئن به دلیل قابلیت حسگری در فواصل طولانی دارای کاربردهای بسیاری برای نظارت بر سلامت سازه‌ها، فرآیندهای شیمیایی، خطوط انتقال توان و ... هستند. شکل صفحه بعد، کاربردهای متنوع حسگرهای فیبری گسترده مبتنی بر پراکندگی بریلوئن را به نمایش می‌گذارد. این نوع از حسگرها، عملکرد چنان خوبی از خود به نمایش گذاشته‌اند که در سایر سامانه‌های حسگری متداول نظیرشان وجود ندارد.

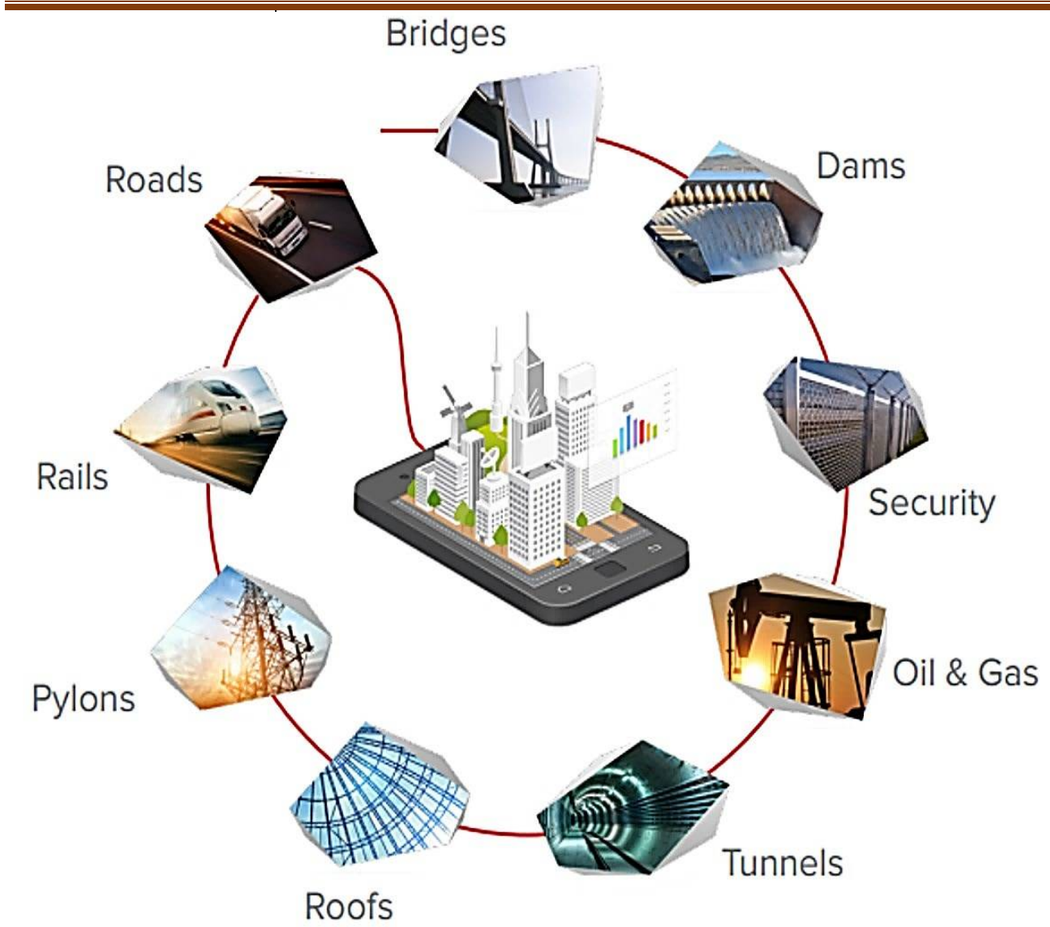
با استفاده از یک سامانه حسگری گسترده، می‌توان داده‌های با ارزشی از سازه‌های عظیم به دست آورد و از آن برای تعمیر و نگهداری استفاده نمود. برای مثال در مهندسی عمران، این نوع تجهیزات نظارت بر سازه از قدرتمندترین ابزارهای مدیریت زیرساخت است.

از دیگر کاربردهای این حسگرها می‌توان به کنترل خط لوله‌های گاز و نفت برای جلوگیری از نشتی و تخریب، نظارت بر پل‌ها، تونل‌ها و ساختمان‌ها از لحاظ رفتار سازه‌ای در طول زمان و کیفیت بتن، بررسی دائمی سازه هواپیما و تعیین زمان تعمیرات کلی آن، آشکارسازی دماهای بالا در نقاط پرخطر و صنعتی برای جلوگیری از آتش سوزی، کنترل سلامت شبکه‌های مخابراتی با نظارت بر کرنش فیبرهای نوری زیر آبی، آسیب ناشی از زلزله، تغییرات ناگهانی دما، کنترل کیفیت ریل خطوط راه آهن و بسیاری کاربردهای دیگر اشاره نمود.

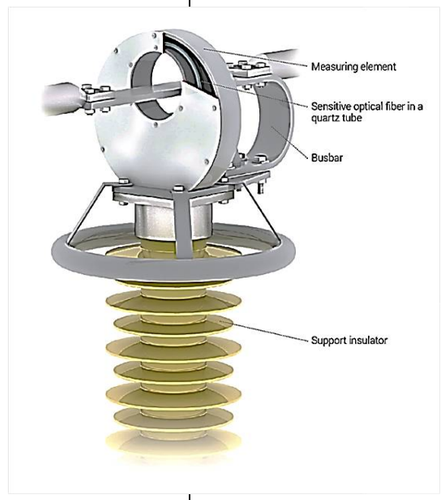
حسگر گسترده دما

حادثه‌ای که در سال ۲۰۱۱ برای راکتور هسته‌ای فوکوشیما رخ داد، اهمیت پرداختن به امنیت نیروگاه‌های اتمی را بسیار برجسته کرد.





این حوزه، یکی از موارد بسیار مهم کاربرد حسگرهای فیبر نوری گسترده به شمار می‌رود. به طور معمول در محیط‌های با تشعشع بالا، بسیاری از تجهیزات با افت عملکرد مواجه می‌شوند که این موضوع برای فیبرهای نوری مبتنی بر سیلیکا نیز صادق است. برای جلوگیری از تضعیف ناشی از تشعشع و تشکیل نقص‌های نقطه‌ای، از حسگرهای فیبری ساخته شده از پلی اترترکتون (PEEK) مبتنی بر پراکندگی رایلی و یا فیبرهای ساخته شده از یاقوت تک‌بلوری همراه با حسگرهای رامان استفاده می‌شود. یکی دیگر از تجهیزاتی که باید توسط حسگرهای فیبر نوری گسترده از نظر دمایی با دقت کنترل شوند و سایر فناوری‌ها از آن باز می‌مانند، هسته ترانسفورماتورهای پرانرژی است. در این نوع از تجهیزات الکتریکی، انواع مختلفی از تلفات توان مانند تلفات مقاومتی، تلفات جریان گردابی و تلفات هیسترزیس مغناطیسی رخ می‌دهند که موجب ایجاد دمای بالایی در هسته ترانسفورماتور می‌شوند. حسگرهای فیبر نوری گسترده مبتنی بر پراکندگی رایلی به دلیل مزایای خود مانند مصونیت در برابر تداخل الکترومغناطیسی، حساسیت بالا، پاسخ سریع و عدم تخریب ساختار دستگاه می‌توانند به وضوح اندازه‌گیری حرارت تا یک دهم درجه سانتی‌گراد رسیده و دمای چندین نقطه از هسته را به طور همزمان گزارش نمایند.

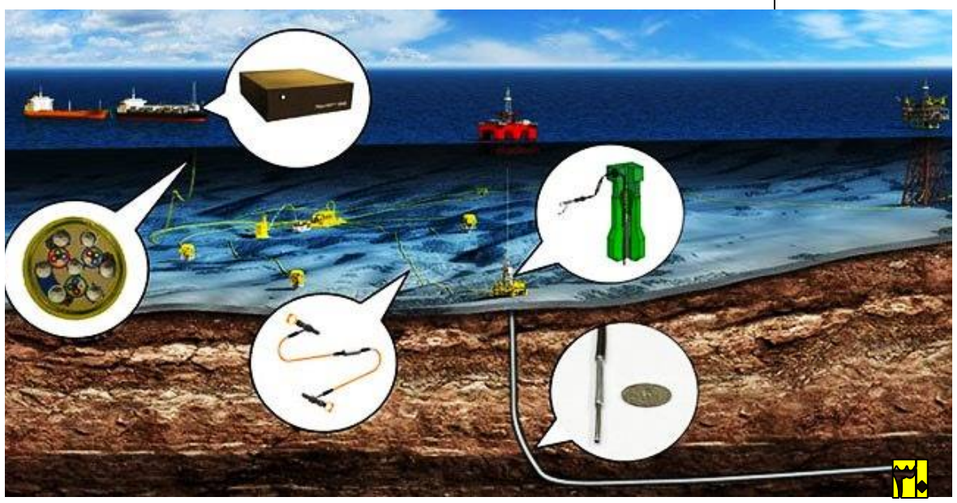


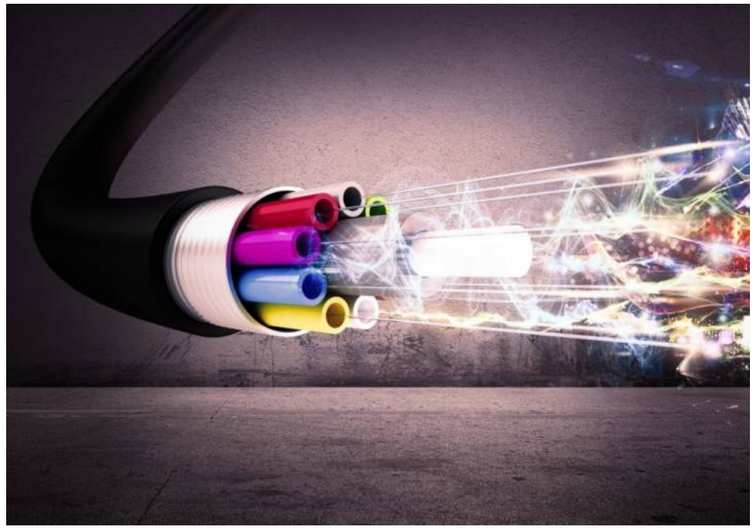
وضعیت آب‌های زیرزمینی یکی از چالش‌برانگیزترین نگرانی‌ها در صنایع نفت، گاز و ذغال سنگ است. به تازگی از حسگرهای فیبری گسترده مبتنی بر پراکندگی رامان برای مطالعه حرارت آب‌های زیرزمینی به منظور شناسایی شارش، وضعیت جریان و فشار آب استفاده می‌شود. این نوع از حسگری حرارت در منابع آبی، نیاز به استفاده از چندین دماسنج نقطه‌ای را از بین می‌برد و در مقایسه با اندازه‌گیری حرارت با استفاده از دماسنج‌های فروسرخ که فقط دمای سطح آب را گزارش می‌کنند، حسگرهای فیبری می‌توانند در عمق آب نیز به کار برده شوند و دمای مخازن آبی را با دقت بسیار بالایی گزارش نمایند. با استفاده از این نوع حسگرها، دماهای بالایی تا ۲۰۵۴ درجه سانتی‌گراد اندازه‌گیری شده‌اند و کاربردهای بسیاری را برای اندازه‌گیری گسترده دما در فضاهای خطرناک می‌توان متصور بود.

حسگرک گسترده لرزش و امواج صوتی

حسگری گسترده لرزش و امواج صوتی یکی از راه‌های مهم نظارت بر خطوط لوله، کابل‌های برق فشار قوی و ... است. دانشمندان آزمایشگاه ملی برکلی (LBNL) حتی نشان داده‌اند که از فیبرهای خاموش (شبکه عظیم فیبرهای نوری که در سراسر کشور و جهان نصب شده‌اند اما مورد استفاده قرار نمی‌گیرند) می‌توان به عنوان حسگرهای آشکارسازی زمین‌لرزه، تشخیص آب زیرزمینی، یخچال‌های دائمی و بسیاری دیگر از فعالیت‌های زیرزمینی استفاده نمود و به نتایجی در این زمینه دست یافتند که حتی از لرزه‌نگارهای متداول نیز دقیق‌تر است.

اندازه‌گیری شاخص‌های زمین‌شناسی به عنوان یکی از کلیدی‌ترین اهداف پژوهش‌های ژئوفیزیکی به خصوص در صنایع نفت و گاز محسوب می‌شود. از اندازه‌گیری لرزش‌های زمین چه در سطح و چه در درون چاه برای تخمین سرعت امواج و چگالی ساختارهای مواد اطراف





استفاده می‌شود. این اندازه‌گیری‌ها می‌توانند کمک شایانی به تشخیص منابع زیرزمینی و محل مخازن هیدروکربوی انجام دهند.

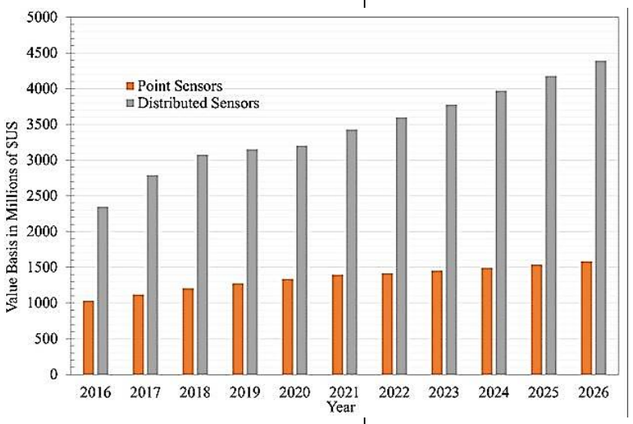
حسگرک گسترده میدان‌های مغناطیسی و الکتریکی

با استفاده از حسگرهای قطبش فیبر نوری می‌توان میدان‌های مغناطیسی و الکتریکی را نیز اندازه‌گیری نمود. این حسگرها که با استفاده از اندازه‌گیری چرخش فارادی می‌توانند سیگنال‌های ناشی از پراکندگی رایلی را آشکارسازی نمایند، دارای کاربردهای بسیار زیادی در صنایع برق قدرت هستند. در حال حاضر برای اندازه‌گیری‌های جریان در کابل‌های فشار قوی از آمپرمترهای روغنی استفاده می‌شود که بسیار پرهزینه و خطرناک هستند.

استفاده از حسگرهای جریان فیبر نوری، علاوه بر ایجاد سهولت در اندازه‌گیری جریان، هزینه آن را نیز بسیار کاهش خواهد داد. یکی دیگر از راه‌های اندازه‌گیری میدان مغناطیسی با استفاده از فیبرهای نوری، به کارگیری لایه‌های نازک آلیاژ مغناطیسی آهن-کبالت-وانادیوم است که در انتهای یک فیبر تک مد متصل شده و میدان مغناطیسی را با استفاده از تغییر رامان در نور عبوری اندازه می‌گیرد.

حسگرک شیمیایی گسترده

از حسگرهای فیبر نوری حتی می‌توان برای بررسی مواد شیمیایی نیز بهره جست. اگر این حسگرها به صورت گسترده تولید شوند، دارای کاربردهای بسیاری مانند برآورد غیرمخرب زیرساخت‌ها، نظارت بر محیط زیست و نظارت بر سلامتی خواهند بود. برای ایجاد حسگری شیمیایی در فیبرهای نوری می‌بایست پوسته آن‌ها به گونه‌ای تغییر داده شود که برهمکنش بین ماده هدف و نور عبوری از درون فیبر از طریق امواج میرا به خوبی صورت گیرد. برای مثال، در آشکارسازی هیدروژن از لایه نازک دی اکسید تیتانیوم نیمه متخلخل حساس شده با نانوذرات پالادیوم به عنوان پوسته فیبر بهره می‌برند. چگالی حامل‌های آزاد درون این لایه با حضور هیدروژن تغییر کرده که میزان نوری عبوری از درون فیبر را تغییر می‌دهد.

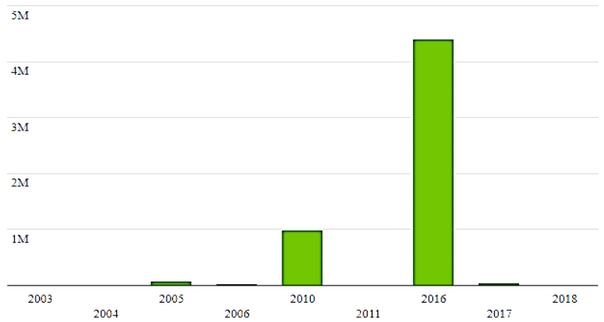


دورنمای حسگرهای گسترده فیبر نوری

سامانه‌های حسگری گسترده مبتنی بر فیبر نوری را می‌توان در زمینه‌های متنوعی به کار برد. در هر کاربرد، پارامترهای عملکردی به خصوصی مد نظر کاربر است که از ماهیت فیزیکی مورد بررسی نشات می‌گیرد. برای روش‌های مختلف حسگری، همواره تعامل متقابلی میان پارامترهای مختلف مانند فاصله مورد مطالعه، وضوح فضایی، هزینه و سایر عوامل وجود دارد. خلاصه‌ای از پارامترهای انواع مختلف حسگرهای فیبر نوری در جدول زیر آمده است.

با پیشرفت فناوری سامانه‌های حسگری گسترده فیبر نوری و کاهش هزینه‌های تولید، بازار آن‌ها در حوزه‌های مختلفی مانند انرژی، پزشکی، صنعتی و ... گسترده‌تر خواهد شد. پیش‌بینی می‌شود مجموع بازار حسگرهای فیبر نوری گسترده و تک‌نقطه‌ای در سال ۲۰۲۲ از ۱/۳ میلیارد دلار عبور کند. بر اساس این پیش‌بینی، در سال ۲۰۲۲ سهم حوزه نفت و گاز در استفاده از حسگرهای فیبر نوری با افزایش چشم‌گیری مواجه شده و ۱۹% از کل تقاضای جهانی برای این ادوات را در بر خواهد گرفت. کشور عزیزمان نیز در زمینه فناوری‌های فیبر نوری و حسگرهای مبتنی بر آن جز کشورهایی محسوب می‌شود که می‌تواند حرفی برای گفتن داشته باشد. تاریخچه فیبر نوری در ایران به اوایل دهه شصت باز می‌گردد که اولین پژوهش‌های بر روی فیبر نوری در این هنگام به انجام رسید. اولین کارخانه فیبر نوری کشور نیز در سال ۱۳۶۷ در یزد افتتاح گردید و تا سال ۷۳ ظرفیت تولید فیبر نوری در کشور از ۵۰۰ هزار کیلومتر عبور کرد تا شبکه ملی فیبر نوری ایران پایه ریزی شود. همچنین در سال ۶۷، اولین خط فیبر نوری کشور بین دو شهر تهران و کرج راه‌اندازی شد. گسترش شبکه مخابراتی مبتنی بر فیبر نوری در برنامه‌های توسعه کشور اهمیت زیادی داشت که این موضوع منجر به پیشی گرفتن نصب فیبر نوری در کشور از مقدار ۱۶۰۰۰ کیلومتری ظرفیت در نظر گرفته شده در برنامه سوم توسعه شد.

فناوری	محدوده حسگری	وضوح فضایی	زمان اندازه‌گیری	دما و کرنش	حسگری شیمیایی	حسگری بویا	نوع فیبر
OFDR رایلی همدوس	متر تا کیلومتر	میلی‌متر تا سانتی‌متر	ثانیه	بله	خیر	خیر	تک مد
OTDR رایلی غیرهمدوس	ده‌ها کیلومتر	ده‌ها متر	ثانیه	بله	بله	خیر	هر دو
ODR رایلی همدوس	کیلومتر	متر	ثانیه	خیر	خیر	بله	تک مد
OLCR رایلی	متر	میلی‌متر	دقیقه	بله	خیر	خیر	تک مد
OTDR رامان	ده‌ها کیلومتر	متر	دقیقه	فقط دما	خیر	خیر	هر دو
OTDR بریلوئن	صدها کیلومتر	سانتی‌متر تا متر	دقیقه	بله	خیر	خیر	چند مد
OTDA بریلوئن	صدها کیلومتر	سانتی‌متر تا متر	دقیقه	بله	خیر	خیر	چند مد
OTDR قطبش	کیلومتر	متر	ثانیه	خیر	خیر	بله	تک مد
OTDR فلورسنت	کیلومتر	سانتی‌متر تا ده‌ها متر	ثانیه	بله	بله	خیر	هردو

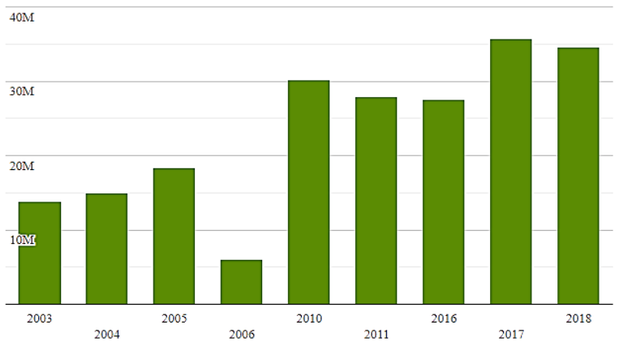


صادرات تجهیزات فیبر نوری از کشور

واردات ۳۵ میلیون دلاری این نوع تجهیزات دانش‌بنیان کاهش یابد که این موضوع علاوه بر جلوگیری از خروج ارز از کشور، بازار کار قابل توجهی را نیز ایجاد خواهد نمود و حتی زمینه صادرات نیز فراهم خواهد شد.

کشور ما با دارا بودن منابع عظیم نفت و گاز می‌تواند از مزیت‌های حسگرهای گسترده فیبر نوری در نظارت بر بخش‌های مختلف این صنایع استفاده کند. همچنین، با توجه به پهناوری کشور عزیزمان، کاربردهای محیط زیستی و کنترل خطوط انتقال توان حسگرهای فیبر نوری گسترده، بسیار ایده‌آل است. استفاده از شبکه‌های فیبر نوری گسترده در زیر زمین برای کاربردهای زمین‌شناسی، زلزله‌شناسی و جستجوی منابع نیز با توجه به جغرافیای ایران بسیار مفید خواهد بود.

ایران نیز با سابقه ۴۰ ساله در استفاده از فیبرهای نوری و دارا بودن شرکت‌های دانش‌بنیان و کارخانجات تولید فیبر از یک سو و همچنین ظرفیت‌های بالا جهت استفاده از این فناوری در کاربردهای مختلف از سوی دیگر، می‌تواند به عنوان یک مرکز مهم سرمایه‌گذاری در زمینه فیبر نوری و به خصوص حسگرهای گسترده فیبر نوری به شمار آید.



واردات تجهیزات فیبر نوری به کشور

در حال حاضر نیز افزاره‌های مختلف حسگری مبتنی بر فیبر نوری مانند کوپلرهای فیبر نوری تک مد و چند مد، رشددهنده‌های تک‌بلوری، اتصال‌های چرخان فیبر نوری، دستگاه‌های جوش لیزری فیبر نوری، لیزرهای فمتوثانیه و بسیاری دیگر از تجهیزات مرتبط با این زمینه در کشور عزیزمان تولید می‌شود. یک نمونه از شرکت‌های تولید کننده حسگرهای مبتنی بر فیبر نوری ساخت داخل، در بخش از علم تا ثروت همین شماره معرفی می‌گردد.

حسگرهای گسترده مبتنی بر فیبر نوری، یکی از چالش‌های مورد نیاز در بسیاری از صنایع کشور است و در صورت تولید این محصولات در داخل، می‌توان انتظار داشت که بخش قابل توجهی از

آموزش کاربردی

مواد و روش‌های مورد استفاده در ساخت

فیبرهای نوری

به قلم سیده ثریا موسوی
s.soraya.mosavy@gmail.com

بررسی انواع روش‌های ساخت فیبرهای نوری

در این شماره، با برخی از کاربردهای فیبرهای نوری آشنا شدید و از حجم عظیم بازار و میزان سرمایه‌گذاری‌ها در این زمینه مطلع شدید. اما اگر مایل به سرمایه‌گذاری و فعالیت در این حوزه فناورانه باشید، لازم است که در مورد روش‌های تولید فیبرهای نوری، مواد سازنده و گستره بسیار وسیعی کاربردهای آن اطلاعات کافی داشته باشید. ظرفیت علمی و تولیدی این قطعه نوری روند رو به رشد جالب توجهی دارد!

در پایان روشی را پیشنهاد می‌کنیم که بتوانید در منزل یک فیبر نوری خانگی ساخته و عملکرد فیبر نوری را برای کودکتان شرح دهید. برای این منظور قبل از هر چیز لازم است، موادی را که برای ساخت این ادوات مورد استفاده قرار می‌گیرد، مورد بررسی قرار دهیم. بدیهی است که روش‌های ساخت بسته به ماده مورد استفاده متفاوت خواهد بود.

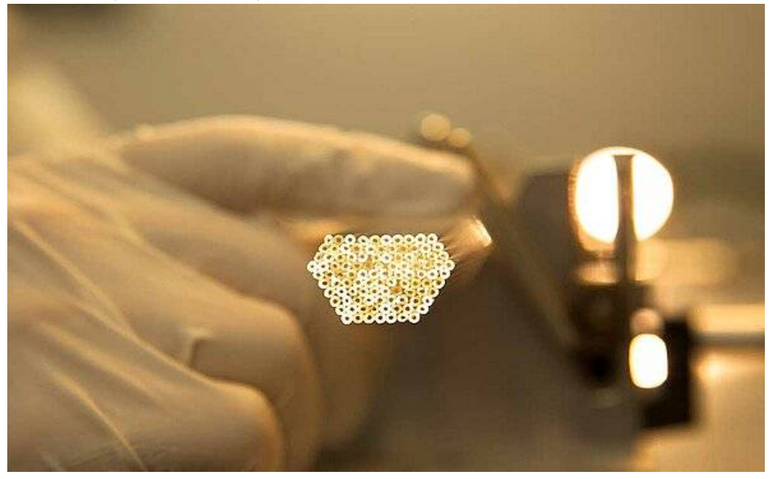
مواد مورد استفاده در ساخت گونه‌های مختلف فیبرهای نوری

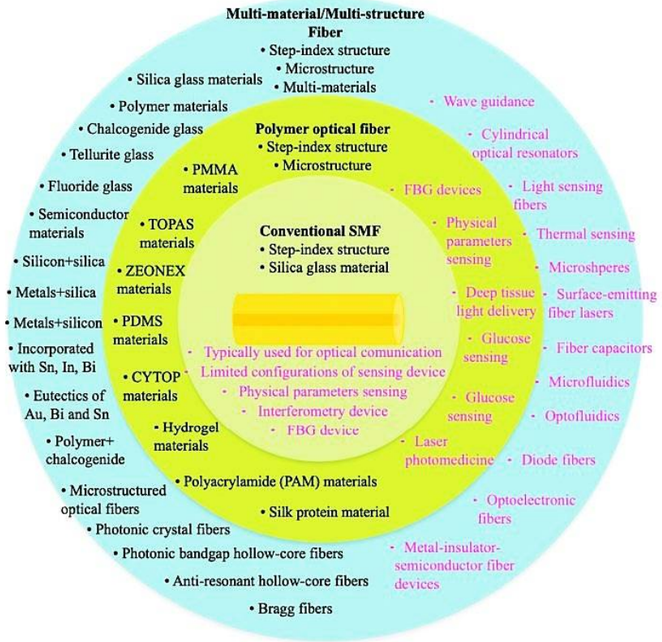
همانطور که پیش‌تر هم اشاره شد، ماده اصلی که در ساخت فیبرهای نوری مورد استفاده قرار می‌گیرد، شیشه‌هایی از جنس سیلیکای خالص است.

هرچند گستره موادی که تاکنون برای ساخت انواع فیبرهای تک مد و چند مد و همچنین انواع فیبرهای پلیمری مورد استفاده قرار گرفته است، بسیار وسیع است. در اینفوگرام صفحه بعد می‌توانید به طور خلاصه گستره و کاربردهای فیبرهای نوری متشکل از مواد مذکور را مشاهده نمایید.

تاکنون علاوه بر شیشه سیلیکا، مواد متعدد دیگری نیز برای ساخت فیبرهای نوری پیشنهاد شده‌اند که تحت حرارت قابلیت کششی دارند و بر اساس تحقیقات این فیبرها می‌توانند با عملکردهای چندگانه مورد بهره‌برداری قرار گیرند. از جمله مهمترین این مواد پلیمری می‌توان به پلی متیل متاکریلات (PMMA)، کوپلیمر اولفین حلقوی ترموپلاستیک (TOPASfi)، ZEONEX، PDMS و هیدروژل‌ها اشاره کرد.

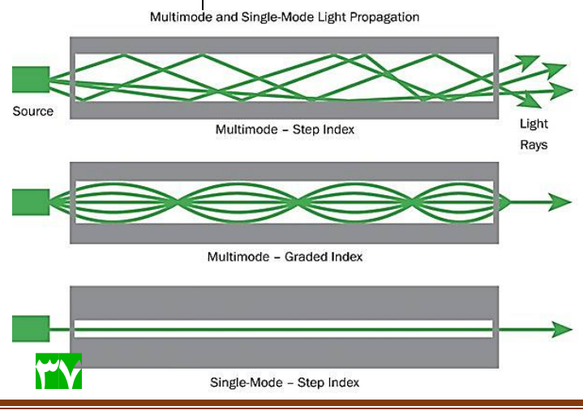
همچنین برای هدایت موثر نور، هسته فیبرهای نوری را اغلب با مواد و میکروساختارهای دیگری می‌آلایند، به نحوی که ضریب شکست آن افزایش یابد. فیبرهایی که از پلیمرها ساخته می‌شوند اغلب انعطاف‌پذیر و زیست‌سازگار هستند و برای کاربردهای پزشکی انتخاب مناسب‌تری هستند. البته امروزه از گونه دیگری از مواد موسوم به کلکوژنایدها هم برای ساخت





فیبرهای نوری استفاده می‌شود که آنها را شیشه‌های نرم هم می‌نامند. شیشه‌های کلکوژناید و تلورایدی گروه بزرگی متشکل از چندین ماده هستند که در مقایسه با شیشه‌های سیلیکایی معمولی، دمای کششی پایین‌تری دارند. به طور معمول، فیبر شیشه نرم در دمای صدها درجه سانتی‌گراد کشیده می‌شود که این دما به اجزای تشکیل‌دهنده آن بستگی دارد. در حالی که فیبر شیشه سیلیکا با توجه به ساختارها یا حجم‌های مختلف در دمای ~۱۹۰۰-۲۱۰۰ درجه سانتی‌گراد کشیده می‌شود.

به دلیل انعطاف‌پذیری این مواد، می‌توان فیبرها را با ساختار ضریب شکست پله‌ای (step-index structure) یا گرادیانی (Graded-step)و حتی میکروساختارهای دیگر ساخت. در اینجا منظور از ساختار ضریب شکست پله‌ای، حالتی است که در آن ضریب شکست هسته یکنواخت است و در فصل مشترک بین هسته و روکش، اختلاف ضریب شکست بالایی وجود دارد و ضریب شکست روکش به مراتب کمتر است. اما در فیبر نوری با ضریب گرادیانی، ضریب شکست هسته با افزایش فاصله شعاعی از محور نوری فیبر کاهش‌می یابد. از آنجایی که بخش‌هایی از هسته نزدیک‌تر به محور فیبر دارای ضریب شکست بالاتری نسبت به قسمت‌های نزدیک روکش هستند، پرتوهای نور مسیرهای سینوسی را به سمت پایین و بالای فیبر دنبال می‌کنند.



فیبرهای با ساختار پله‌ای یا گرادیانی اغلب در زمینه‌هایی همچون تولید نور ابرپیوسته، تحویل لیزری (Laser delivery)، دستگاه‌های الکتریکی، میکروفلوئیدها، خازن‌های فیبری و حسگرها کاربرد گسترده دارند.

ساخت فیبرهای نوری بر پایه شیشه‌های سیلیکا

با دسترسی به چنین موادی عملکرد فیبرهای نوری پیشرفته امروزی بسیار فراتر از فیبرهای نوری معمول است. اما با توجه به اینکه فیبرهای نوری شیشه سیلیکا در میدان رقابت بین فیبرها پیشتاز هستند، در گام اول به بررسی روش‌هایی که برای ساخت این دسته از ادوات نوری استفاده می‌شود، می‌پردازیم.

در حال حاضر، برای تولید فیبرهای نوری از دو روش مرسوم استفاده می‌شود:

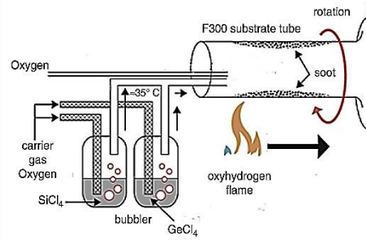
روش اول، روشی دو مرحله‌ای است که در آن ابتدا یک پیش فرم آماده شده، سپس در حالت مذاب تحت کشش قرار می‌گیرد تا رشته‌های نوری مد نظر آماده شوند.

اما روش دوم، روشی تک مرحله‌ای است که فیبر نوری به صورت مستقیم از شیشه مذاب به دست می‌آید، مانند روش دو بوته‌ای.

البته در ادامه خواهید دید که معایب و کاستی‌های این روش‌ها منجر به ظهور رویکردهای نوین دیگری نیز شده است. امروزه نسل جدیدی از فیبرهای هوشمند با کارایی خاص و منحصر به فرد خود زمینه را برای شکوفایی فناوری‌های فوق پیشرفته فوتونیکی فراهم آورده است.

فناوری‌های نوظهور امروزی که می‌تواند ساختارهایی در ابعاد نانو را ایجاد کند و نیز ابداع نانوساختارهای ترکیبی بیش از پیش با ارائه خواص متفاوتی از مواد، کاربردهای فیبر نوری را نیز دستخوش تحولی عظیم کرده است.

اما آنچه در این مجال خواهید خواند روش‌هایی است با قدمتی چندین ساله که هم‌اکنون نیز به صورت تجاری مورد استفاده قرار می‌گیرد. امروزه در اغلب موارد برای ساخت فیبرهای نوری تک مد و چند مد از فرآیند کشش پیش‌فرم (preform) استفاده می‌شود.



شکل بالا طرحواره‌ای از روش لایه‌نشانی بخارشیمیایی اصلاح شده را نشان می‌دهد که برای ساخت پیش فرم مورد استفاده قرار می‌گیرد. در MCVD، اکسیژن به صورت حباب وارد محلول‌های کلرید سیلیکان ($SiCl_4$)، کلرید ژرمانیوم ($GeCl_4$) و/یا سایر مواد شیمیایی می‌شود. با تعیین دقیق مشخصه‌های لایه‌نشانی، خواص فیزیکی و نوری مختلف (ضریب شکست، ضریب انبساط، نقطه ذوب و غیره) قابل دستیابی است.

به این ترتیب که در ابتدا، یک پیش فرم با استفاده از فناوری لایه‌نشانی بخار شیمیایی اصلاح شده (MCVD) تولید می‌شود که طی این فرآیند، تمرکز بر روی لایه‌نشانی مواد هسته (موادی مانند سیلیکای آلائیده با ژرمانیوم، اربیوم، بیسموت، ایتربیوم و غیره) معطوف است. هر کدام از آلاینده‌ها که برای آلایش هسته مورد استفاده قرار می‌گیرند، کاربردهای منحصر به فردی دارند. بعنوان مثال ایتربیوم منجر به گسیل تحت پمپاژ نوری می‌شود که می‌تواند در ساخت لیزرهای فیبری و حتی تقویت‌کننده‌ها مورد استفاده قرار گیرد.

مراحل تشکیل پیش فرم

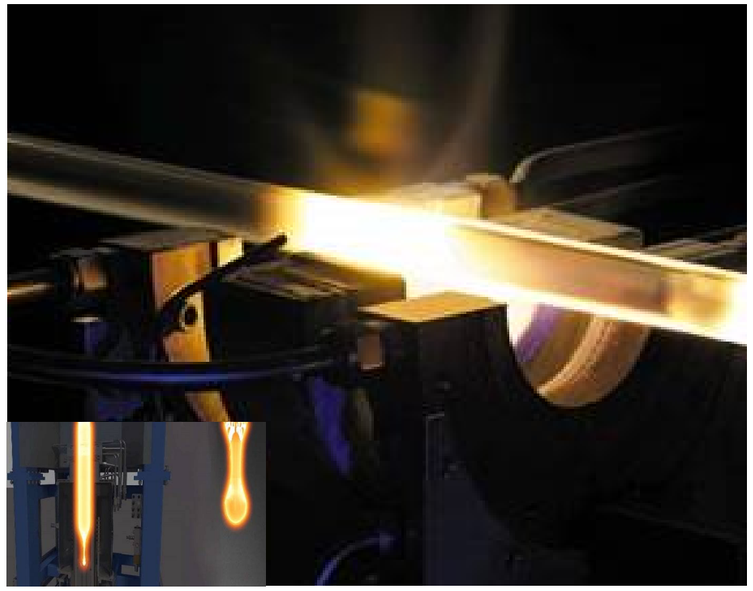
در MCVD، اکسیژن به صورت حباب وارد محلول‌های کلرید سیلیکان ($SiCl_4$)، کلرید ژرمانیوم ($GeCl_4$) و/یا سایر مواد شیمیایی می‌شود. با تعیین دقیق مشخصه‌های لایه‌نشانی، خواص فیزیکی و نوری مختلف (ضریب شکست، ضریب انبساط، نقطه ذوب و غیره) برای هسته قابل دستیابی است.

سپس بخار گازها به داخل یک لوله سیلیس مصنوعی یا کوارتز در یک دستگاه مخصوص (lathe)، هدایت می‌شود. همزمان با چرخش این دستگاه یک مشعل در قسمت بیرونی لوله به سمت بالا و پایین حرکت می‌کند.

گرمای بالای مشعل منجر به برهم کنش سیلیکان و ژرمانیوم با اکسیژن و تشکیل دی‌اکسید سیلیکان و دی‌اکسید ژرمانیوم می‌شود. در نتیجه دی‌اکسید سیلیکان و دی‌اکسید ژرمانیوم بر روی دیواره داخلی لوله لایه‌نشانی شده و با هم ترکیب می‌شوند تا شیشه را تشکیل دهند.

دستگاه به صورت پیوسته می‌چرخد تا یک پوشش یکنواخت و یک لایه خالی ایجاد کند.

خلوص شیشه با استفاده از پلاستیک مقاوم در برابر خوردگی در سامانه انتقال گاز (بلوک شیرها، لوله‌ها، مهر و موم) و کنترل دقیق شار و اجزای تشکیل‌دهنده مخلوط حفظ می‌شود.

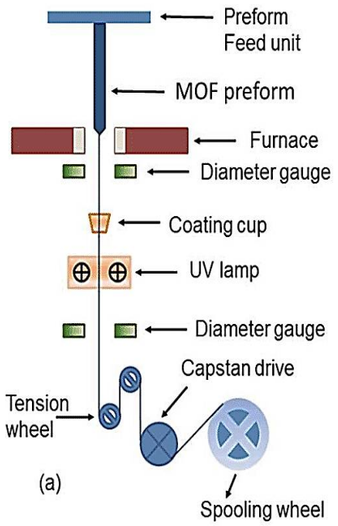


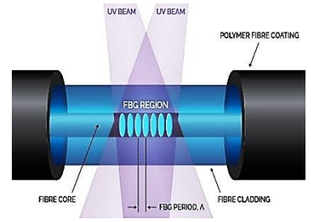
مراحل کشش و تشکیل فیبرهای نوری

فرآیند ساخت پیش‌فرم خالی اغلب خودکار است و چندین ساعت طول می‌کشد. پس از سرد شدن پیش فرم ابتدا ضریب شکست آن طی فرآیند کنترل کیفی مورد آزمایش قرار می‌گیرد. پس از آزمایش و تایید کیفیت پیش فرم، آن را درون برج کشش فیبر بارگذاری می‌کنند. در گام اول، پیش فرم تو خالی وارد یک کوره گرافیتی با دمایی در محدوده ۱۹۰۰ تا ۲۲۰۰ درجه سانتی‌گراد می‌شود و نوک آن ذوب می‌شود. این روند ادامه دارد تا زمانی که یک کره مذاب بر اثر گرانش به سمت پایین بیفتد و در این مسیر سرد شده و یک نخ تشکیل می‌شود.

تراکتور به آرامی فیبر را از پیش فرم داغ شده بیرون می‌کشد. قطر فیبر با استفاده از یک میکرومتر لیزری دقیق کنترل می‌شود و اطلاعات به تراکتور ارجاع داده می‌شود. در شکل روبرو طرحواره‌ای از چیدمان برج کشش فیبرهای نوری قابل مشاهده است. دمای کششی شیشه‌های سیلیکای مرسوم حدود ۲۰۰۰ درجه سانتی‌گراد است. دمای نرم شدن شیشه هم حدود۱۶۰۰درجه است.

با افزایش دما، مواد شیشه شروع به ذوب شدن می‌کنند تا جایی که بتوان آنها را به کمک نیروی خارجی کشید. سپس اپراتور رشته را از میان مجموعه‌ای از کاپ‌های پوششی و کوره پخت فرابنفش عبور می‌دهد تا زمانی که بر روی یک قرقره که توسط تراکتور کنترل می‌شود، قرار گیرد. از یک کپستان برای کشیدن فیبر با میزان مشخصی کشش استفاده می‌شود که بسته به دما و سرعت کشیدن، مولفه‌هایش تعیین می‌شود. یکی از عوامل کلیدی که باید حتما کنترل شود، ویسکوزیته یا گرانروی شیشه سیلیکا است. بخاطر حفره‌هایی که در فیبرهای میکروساختاری (MOF)ها وجود دارد، دمای کشش آن از فیبرهای شیشه سیلیکایی تمام جامد، کمتر است. این گونه فیبرها به دمای گرم کردن نسبتا پایین‌تری حدود ۱۹۰۰ درجه سانتی‌گراد نیاز دارند. جدای از آلایش یون‌های فعال درون هسته فیبر، برای توسعه لیزرهای توان بالا، فیبرهای نوری میکروساختاری (MOF) گونه دیگری از انواع فیبر هستند که می‌توانند تنها با یک ماده مانند شیشه سیلیکا ساخته شوند.



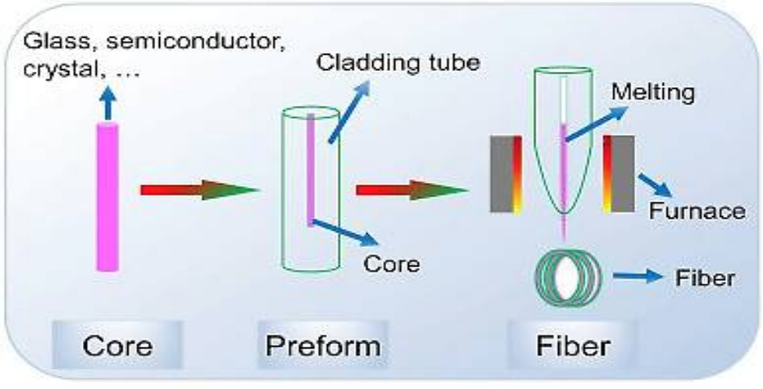


استفاده از آلاینده ژرمانیوم در ساخت فیبرهای نوری بسیار مرسوم است چرا که ضریب شکست ناحیه هسته را به خوبی افزایش می‌دهد. با توجه به حضور ژرمانیوم، فیبر به نور فرابنفش حساس شده و می‌توان توری‌های براگ را بر روی آن حکاکی کرد.

عملکرد این نوع از فیبرها بیشتر از آن که به ماده مصرفی متکی باشد، بر روی میکروساختارهای آن مبتنی است. فیبرهای کریستال فوتونیکی (PCF) یکی از مشهورترین انواع MOFها هستند که در آنها فیبر با حفره‌های مویی به صورت شبکه‌های مربعی یا شش وجهی آرائیده شده است. این نوع فیبرها، از دو ساز و کار جدید برای هدایت نور بهره می‌برند: بازتاب کلی داخلی اصلاح شده (M-TIR) و گاف انرژی فوتونیکی. ضمن آن که اغلب برای ساخت آنها از روش قرار دادن میله در لوله (Rod in tube)بهره گرفته می‌شود که شکل زیر طرحواره آن را نشان می‌دهد. تاکنون روش مذکور، به دلیل انعطاف‌پذیری، سهولت کار و نیاز به تجهیزات کم، متداول‌ترین روش تولید فیبرهای نوری بوده است. با این حال، کاستی‌های متعددی دارد. از آنجایی که در این روش لازم است پیش فرم از قبل آماده شود، فرآیند بسیار زمان‌بر است. بعلاوه، میزان فیبر بالایی در سطح مشترک هسته از بین می‌رود. کریستالیزاسیون بالقوه و خطرات جداسازی فاز ناشی از فرآیند گرم کردن مجدد و طول محدود فیبرها نیز از جمله چالش‌های موجود در این روش است. علاوه بر این، زمانی که محدوده دمای کشش فیبرهای

روش تک مرحله‌ای ساخت فیبرهای نوری

از این رو، روش دو بوته‌ای به طرز ماهرانه‌ای از مشکلات ناشی از روش اول جلوگیری می‌کند. این روش، از یک رویکرد تک مرحله‌ای برای ذوب هسته و روکش به طور همزمان در دو بوته متحدالمرکز به هم متصل استفاده می‌کند و سپس ترکیب شیشه‌ای مذاب را برای تشکیل فیبر با ساختار هسته/روکش می‌کشد. قطر فیبر و نسبت هسته/روکش را می‌توان با تنظیم نرخ کشش، دمای کوره و فشار گاز به طور مستقل کنترل کرد. در مقایسه با فناوری پیش فرم، روش بوته دوگانه نیاز به استفاده از فرآیند مته‌کاری (drilling) را برطرف می‌کند و همین امر منجر به کاهش اتلاف فیبرها طی فرآیند مته‌کاری یا همان میله در لوله می‌شود. بنابراین، این روش برای ساخت یک فیبر پیوسته با نسبت قطر هسته به روکش متغیر با تلفات کم مناسب است و حتی می‌توان از آن برای تهیه بسته‌های فیبر با تغییر هندسه دستگاه استفاده کرد. روش دو بوته‌ای سال‌هاست که پیشنهاد شده و برای ساخت فیبرهای شیشه‌ای نرم با خلوص بالا مانند فیبرهای فلورایدی و کلکوژنایدی مورد استفاده قرار می‌گیرد.



شکل زیر طرحواره‌ای از روش‌های تک و دو مرحله‌ای را به تصویر کشیده است. شکل (a) روش دو مرحله‌ای که به روش میله در لوله انجام می‌شود، را نشان می‌دهد. قسمت (b) روش دوبوته‌ای و قسمت (c) روش پرکردن مویرگی را نشان می‌دهد که در ادامه بدان می‌پردازیم.

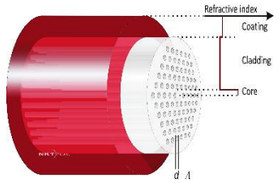
با وجود این، هنوز مشکلات زیادی وجود دارد که مانع از توسعه روش دو بوته‌ای شده است. به عنوان مثال، بوته‌ها به عنوان اجزای اصلی در دستگاه ذوب، باید با دقت بالایی تنظیم شوند و همین پیچیدگی‌ها منجر به بروز مشکلات قابل توجهی در طول فرآیند کشش فیبرها خواهد شد. علاوه بر این، از بین بردن آلودگی‌هایی از قبیل Fe^{+2} و Cu^{+2} از بوته در طی ذوب طولانی مدت دشوار است. ضمن آن که تهیه فیبر با ابعاد یا مواد خاص مانند فیبرهای چند ماده‌ای نیز از این روش دشوار است. با چنین محدودیت‌هایی بدیهی است که دانشمندان از رویکردهای جایگزین دیگری بهره گرفتند.

روش پرکردن برای ساخت فیبرهای نوری

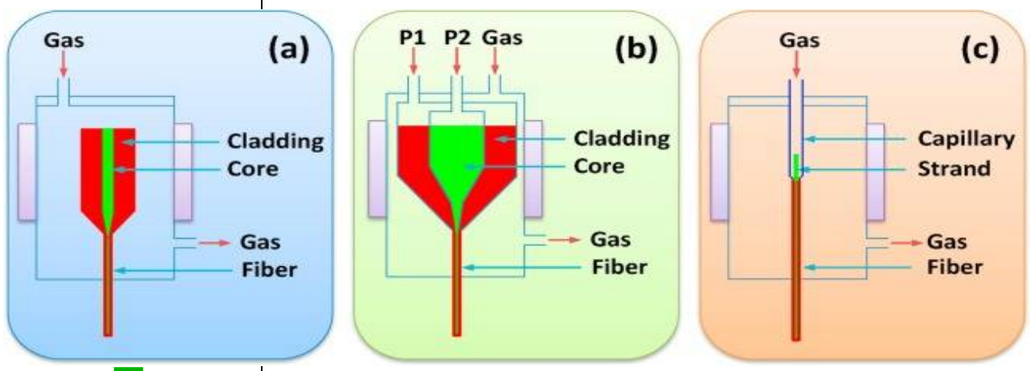
رویکرد پر کردن (Filling)، یک روش آماده‌سازی جایگزین است که به تازگی توسعه یافته و برای ساخت الیاف هیبریدی استفاده می شود. یکی از مهم‌ترین رویکردها، پر کردن شیشه مذاب به کمک فشار (PAMF) است که برای دستیابی به فیبرهای شیشه‌ای هیبریدی مورد استفاده قرار گرفته است. بدین صورت که مجاری شیشه‌های تمام سیلیس یا PCF با شیشه‌های دمای پایین مانند شیشه‌های کلکوژناید، تلورواید و متافسفات پر می‌شود که امکان انجام آن در روش‌های سنتی میله در لوله یا دو بوته‌ای وجود ندارد. بر خلاف کشش حرارتی، روش PAMF مزایای متعددی دارد و انعطاف‌پذیرتر است. به عنوان مثال، معیارهای سازگاری خاصی ندارد، تلفات پایینی دارد و بسیار کارآمد و کم مصرف است. در نتیجه، ورود مواد مختلف به مجاری فیبر را امکان‌پذیر می‌سازد.

فیبرهای نوری متشکل از شیشه‌های نرم

شیشه‌های نرم گروهی از مواد هستند که دمای ذوب کمتری نسبت به شیشه سیلیکایی معمولی دارند. به طور معمول، دمای کشش شیشه نرم از ۲۰۰ تا ۱۰۰۰ درجه سانتی‌گراد متغیر است که به مواد تشکیل‌دهنده آن (مانند As_2S_3 و As_2Se_3) بستگی دارد. این مواد به راحتی با مواد دیگر مانند Ge، Sn، Te و سایر مواد نیم‌رسانا ترکیب می‌شوند. بزرگترین مزیت استفاده از مواد شیشه‌ای کلکوژنایدی، توانایی انتقال نور در ناحیه mid-IR است که محدوده‌ی بین ۲ تا ۱۴ میکرومتر را پوشش می‌دهد. در رژیم IR، این نوع فیبر می‌تواند بستر مناسبی برای کاربردهای زیست پزشکی و صنعتی باشد.



شکل بالا نمونه‌ای از فیبرهای نوری کریستال فوتونیکی که در آنها فیبر با حفره‌های مویی به صورت شبکه‌های شش وجهی آرائیده شده است، را به تصویر کشیده است.

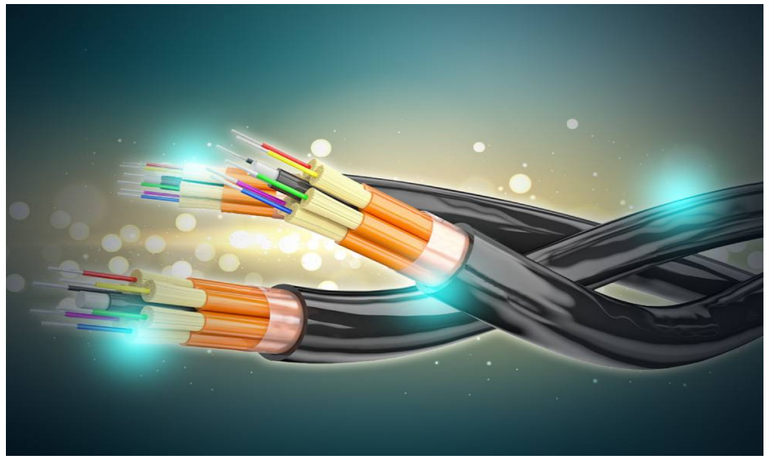


از آلاینده‌ای مثل تالیوم برای افزایش توان یک لیزر فیبر و نیز طول موج لیزینگ مورد استفاده قرار می‌گیرد. وقتی که غلظت آلاینده‌ها افزایش می‌یابد، مولکول‌ها به تشکیل خوشه متمایل می‌شوند که همین امر بازده جذب نور پمپ در لیزر فیبرها را تحت تاثیر قرار می‌دهد. برای کاهش تشکیل خوشه‌ها، از فسفر و آلومینیوم استفاده می‌شود.

به دلیل خاصیت غیرخطی بالای شیشه کلکوژناید، این نوع فیبرها به طور گسترده برای تولید یک نورابرپیوسته مورد استفاده قرار می‌گیرند.

در گزارشی که به تازگی منتشر شده است، برای فیبری با ساختار ضریب شکست پله‌ای که در آن ضریب شکست هسته و روکش کمی متفاوت است، گستره نور پهن باند تولید شده، در محدوده ۱/۵ تا ۱۴ میکرومتر متغییر است. برای ساختن پیش فرم این نوع از فیبرها از روش اکستروژن استفاده می‌شود، زیرا این مواد دمای ذوب کمتری دارند.

از آنجایی که شیشه نرم نسبت به شیشه سیلیکا انعطاف‌پذیرتر است و مدول یانگ ۱۰ تا ۲۰ گیگا پاسکالی دارد، می‌توان از آن برای کاربردهای سنجش زیست پزشکی نیز استفاده کرد. تجزیه و تحلیل بیوشیمیایی هم یکی دیگر از جذاب‌ترین کاربردهای فیبرهای نوری کلکوژنایدی است. چرا که بیشینه جذب مولکول‌های زیست پزشکی به طور معمول در رژیم Mid-IR ظاهر می‌شود. فیبرهای کلکوژنایدی می‌توانند این گستره طول موجی را با میرایی بسیار کم پشتیبانی کنند. فیبرهای نوری توری براگ، از جنس فیبرهای کلکوژنایدی در توسعه دستگاه‌های مبتنی بر



توری پراش، به ویژه در کاربردهای حسگری، به وفور مورد استفاده قرار می‌گیرند.

بر خلاف FBGهای حک شده بر روی فیبرهای شیشه سیلیکا- که با استفاده از حساسیت هسته به نور ایجاد می‌شوند، هسته و روکش فیبرهای کلکوژنایدی هر دو به نور لیزر ۶۳۳ نانومتری حساس هستند. در این حالت شکل توری نیز متفاوت است، به این معنی که مدولاسیون ضریب شکست هم در هسته و هم در روکش صورت می‌گیرد.

علاوه بر فیبرهای کلکوژنایدی تمام جامد، فیبرهای نوری میکروساختاری از جمله فیبرهای کریستال فوتونیکی را نیز می‌توان ساخت. برای وارد کردن ریزساختارها به فیبر، معمولاً از روش مته‌کاری استفاده می‌شود. این ساده‌ترین روش ممکن برای دستیابی به ساختار مورد نظر است.

با این حال، در طول فرآیند کشیدن برای تولید فیبرهای کریستال فوتونیکی کلکوژنایدی، دما باید با دقت بیشتری نسبت به شیشه‌های سیلیکایی کنترل شود، زیرا ویسکوزیته مواد کلکوژنایدی به سرعت تغییر می‌کند. حتی اگر دما در حدود ۲۰ تا ۳۰ درجه سانتی‌گراد نوسان داشته باشد.

تا اینجا به بررسی روش‌های ساخت فیبرهای مبتنی بر شیشه‌های سیلیکا و شیشه‌های نرم پرداختیم. همانطور که پیش‌تر هم اشاره شد، با توجه به گستردگی مواد تشکیل‌دهنده فیبرها، امکان بررسی همه روش‌های ساخت میسر نیست.

چه بسا امروزه از روش‌های مختلفی برای ایجاد نانوساختارهای موثر درون هسته فیبرهای نوری هوشمند بهره گرفته می‌شود که به صورت روزافزون در حال توسعه و گسترش است.

در ادامه به صورت خلاصه روش ساخت فیبر نوری خانگی را شرح خواهیم داد. البته این روش بسیار ساده ولی جالب است که می‌تواند برای آموزش به کودکان بسیار مفید و سرگرم‌کننده باشد.

آزمایشی ساده برای آموزش عملکرد فیبر به کودکان

در این آزمایش شما یک دستگاه فیبر نوری ساده با قابلیت خم کردن نور خواهید ساخت. آنچه شما بدان نیاز خواهید داشت:

- یک سینی
- مقداری وازلین
- مقداری آب
- سرنگ یا قطره چکان
- یک گلوله پنبه‌ای یا پشم پنبه
- یک مشعل کوچک یا یک لیزر دستی

برای این منظور، ابتدا باید سینی را با یک لایه نازک از وازلین بپوشانید.

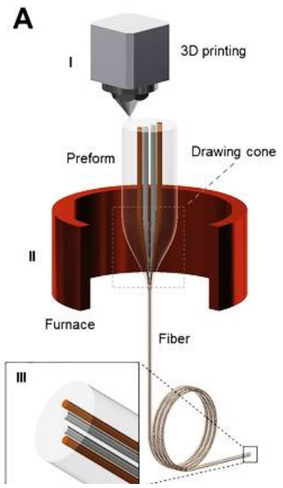
سپس با استفاده از یک تکه پنبه، با پاک کردن وازلین، روی سینی طرحی بکشید. طرح شما باید در امتداد یک خط پیوسته باشد. مطمئن شوید که طرح دارای زوایای تیز نیست، بلکه فقط داری خطوطی منحنی با شیب کم است.

با استفاده از سرنگ یا قطره چکان آب را در طول این طرح به سینی اضافه کنید.

وازلین باید از خروج آب به خارج از خطوط کشیده شده توسط پنبه جلوگیری کند.

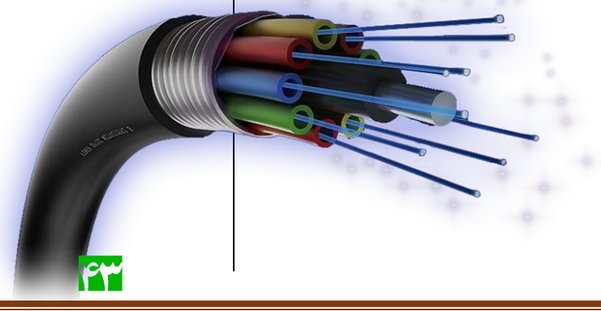
چراغ ها را خاموش کنید و چراغ یا نور لیزر را در انتهای خط آب قرار دهید.

نور باید از طریق انعکاس کلی درونی در امتداد خط آب حرکت کند، همانطور که در امتداد فیبر نوری شیشه‌ای حرکت می‌کند.



امروزه روش‌های نوین دیگری همچون چاپ سه بعدی نیز برای طراحی و ساخت انواع پیشرفته فیبرهای نوری مورد استفاده قرار می‌گیرد.

https://www.morgen-/filament.de



گفتگو

گفتگوی اختصاصی با جناب آقای

دکتر محمدجواد حکمت

موسس شرکت نوران صنعت مصباح

تولید کننده لیزر فیبر

گفتگوی اختصاصی با جناب آقای دکتر محمدجواد حکمت

موسس و مدیر شرکت دانش‌بنیان نوران صنعت مصباح تولیدکننده لیزرهای فیبری

با سلام، به منظور آشنایی مخاطبان نشریه با حضرتعالی لطفا ضمن معرفی خود قدری درباره زندگینامه شخصی و علمی‌تان بفرمایید و زمینه تخصصی کاری خود را تشریح نمایید.

اینجانب محمدجواد حکمت دانش‌آموخته دکتری رشته مهندسی برق و الکترونیک از دانشگاه صنعتی اصفهان هستم. رساله دکتری بنده با موضوع طراحی و ساخت لیزرهای فمتوثانیه فیبری پرتوان است. شروع آشنایی اینجانب با لیزر فیبری از دوره کارشناسی‌ارشد و رشته فوتونیک از دانشگاه شهید بهشتی در سال ۱۳۸۸ بود که در آن زمان لیزر آزمایشگاهی پیوسته ۲۲۰ وات به عنوان پایان‌نامه ارشد تحت هدایت و راهنمایی جناب آقای دکتر مسعودی انجام شد و از آن تاریخ تا کنون به مدت حدود ۱۲ سال فقط در این زمینه تحقیق داشته‌ام. در سال ۱۳۹۸ شرکت دانش‌بنیان ما در شهرک علمی و تحقیقاتی اصفهان پذیرش شد که در زمینه تولید لیزرهای فیبری صنعتی مشغول به کار است.

لطفا در ارتباط با حوزه فعالیت شرکت خود توضیح دهید.

حوزه اصلی فعالیت شرکت تولید لیزرهای فیبری پیوسته و پالسی است و محصولات متداول شرکت لیزرهای پیوسته ۱، ۲ و ۳ کیلو وات و همچنین لیزر نانوثانیه MOPA، ۳۰ وات است. البته شرکت در حوزه‌های ساخت دستگاه و لیزرهای خاص نیز فعالیت می‌کند.

این گروه دانش‌بنیان با چه هدفی شکل گرفته و در آینده چه برنامه‌هایی را دنبال خواهد کرد؟

هدف اصلی این مجموعه طراحی و تولید لیزرهای با کاربرد صنعتی و تولید بومی بر اساس نیازهای مشتری در داخل کشور است.

شرکت شما چه محصولاتی را تولید می‌کند و این محصولات در کدام زمینه‌های تخصصی کاربرد دارد؟

محصولاتی که شرکت ما تولید می‌کند بیشتر در حوزه برش فلزات، پردازش مواد به صورت لیزری مانند سخت کاری و پوشش دهی لیزری مورد استفاده است. البته به صورت بالقوه امکان استفاده در حوزه‌های دیگر تکنولوژی و پزشکی را نیز دارد.

با توجه به موضوع این شماره نشریه فناوری فوتونیک و مواد پیشرفته مرتبط با نقش این فناوری‌ها در حوزه صنایع فیبر نوری، در این مجال قدری در مورد اهمیت و کاربرد محصولات خود به ویژه لیزر فیبری صحبت فرمایید.

کاربردهای لیزر فیبری در صنعت بسیار گسترده است و ارزش افزوده اصلی در کاربرد این نوع لیزرها در صنایع مختلف است. کاربردهای این نوع لیزرها به دو دسته کاربردهای حال حاضر و کاربردهای بالقوه تقسیم می‌شود. در نوع اول کاربردها، مشتری به طور کامل با نحوه استفاده آشنایی دارد و تقاضا از سوی مشتری‌ها وجود دارد. در مورد کاربردهای بالقوه لیزر، یک نیاز از سوی مشتری وجود دارد اما مشتری آشنایی کامل برای حل این موضوع ندارد؛ نیازهایی مانند تکنولوژی تمیزکاری لیزر، سوراخ کاری لیزری، SLM. نقش شرکت دانش‌بنیان تولید کننده لیزر و سیستم‌های لیزری در اینجا مشخص می‌شود، به گونه‌ای که با هدایت درست مشتری، طراحی و بهینه‌سازی لیزر، امکان برآورده سازی نیاز مشتری به طور کامل میسر می‌شود. کاربردهای لیزر فیبری در حوزه پزشکی و تکنولوژی هنوز در داخل کشور به کار گرفته نشده است زیرا عمده نیازها در حوزه صنعتی برش لیزری است.

به نظر شما این فناوری در کشور ما تا چه حد توسعه یافته و پیش‌بینی می‌شود در سال‌های آتی چه پیشرفت‌هایی در این زمینه حاصل شود؟

در حوزه نیازهای روزمره صنایع به خصوص برش و جوش لیزری، نیاز مشتری به یک بلوغ دست‌یافته است. این نیاز به صورت فرآیندی رو به افزایش است، به گونه‌ای که برای برآورده سازی نیاز کشور، همکاری چند شرکت در این حوزه مورد نیاز است. اما در زمینه تولید لیزرهای فیبری تنها شرکتی که به مقاومت خود در برابر واردات ادامه داده است، شرکت نوران صنعت مصباح است، زیرا تمام شرکت‌های دیگر از لیزرهای فیبری خارجی در سیستم‌های لیزری خود استفاده می‌کنند. در حوزه نیازهای بالقوه، کشور به تدریج به این سمت حرکت می‌کند و نیازمند همکاری‌های بیشتر در این حوزه بین شرکت‌های دانش بنیان لیزری است.

آیا مواد و تجهیزات مورد نیاز این حوزه در داخل کشور تولید می‌شود؟ این تجهیزات از چه قابلیت‌هایی برخوردار هستند و آیا امکان رقابت با محصولات خارجی را دارند؟

بزرگترین مشکل توسعه و کاهش قیمت سیستم‌های لیزر فیبری در کشور، واردات بخش عمده مواد اپتیکی از خارج کشور است. واردات قسمت‌هایی مانند فیبرهای نوری و لیزر دیود، اگرچه در سال‌های اخیر تلاش‌های موفقی برای ساخت قطعات فیبری مانند QBH Connector و Fiber Combiner و سایر قطعات از این دست انجام شده است، اما این تلاش به خاطر هزینه بر بودن، صرفا در مقیاس محدود انجام شده است. از نظر کیفیت، کیفیت کاواک‌های لیزر فیبری تولید شده در ایران در حد یا بالاتر از نمونه‌های خارجی است. در حوزه کاربرد این نوع لیزرهای فیبری با توجه به داخلی‌سازی منابع لیزر فیبری، اعتماد بیشتری برای استفاده از آن در صنایع وجود دارد. گرچه ناباوری در زمینه تولید این محصول با تکنولوژی بالا هنوز در کشور وجود دارد، در حال حاضر کلیه قطعات مکانیکی لیزرهای فیبری، درایورهای لیزر دیود، بورد کنترل دما و مونتاژ کامل اپتیکی این محصول در شرکت نوران صنعتت مصباح (نورسام) انجام می‌شود و مهمتر از این موارد، نیروی انسانی متخصص است که در این زمینه تربیت شده‌اند.

با توجه به این که یکی از مهمترین اهداف شرکت‌های دانش‌بنیان اشتغال‌زایی و بومی‌سازی دانش‌فنی به منظور جلوگیری از ارزبری است، میزان اشتغال‌زایی و ارزآوری مجموعه خود را چگونه ارزیابی می‌کنید؟ و بفرمایید که تاکنون تا چه حدی به اهداف پیش‌بینی شده خود در این زمینه دست یافته‌اید؟

در یک سال گذشته تا کنون بیش از ۱۰ نفر از دانش‌آموختگان دانشگاهی در حوزه‌های مرتبطت با زمینه تولید لیزرهای فیبری به طور مستقیم به کار گرفته شده‌اند. به طور متوسط در ماه حدود ۵ لیزر فیبری پرتوان تولید می‌شوند که نیاز کشور در این زمینه ۴۰ دستگاه در ماه است. در صورت سرمایه‌گذاری در این حوزه ظرفیت بسیار مناسبی برای دانش‌آموختگان رشته‌های مکانیک، الکترونیک و به خصوص فیزیک در این زمینه وجود دارد. در حال حاضر تنها به ۱۰% اهداف پیش بینی شده دست یافته‌ایم. در این زمینه نیازمند همکاری مراکز حمایتی و سرمایه‌گذاران خطرپذیر در جهت توسعه تجهیزات سرمایه‌ای و در نتیجه افزایش تولید در این حوزه هستیم.

با توجه به پیشرفت‌های علمی اخیر، جایگاه کشورمان را در این عرصه در مقایسه با کشورهای برخوردار از این فناوری در چه سطحی برآورد می‌فرمایید؟

جایگاه کشور در سال‌های مختلف در زمینه فناوری تولید لیزرهای فیبری متفاوت بوده است. به طور مثال در بین سال‌های ۲۰۱۱ تا ۲۰۱۳ از نظر تکنولوژی لیزرهای فیبری در جایگاه بالاتر از کشورهای دیگر به خصوص چین قرار داشتیم. اما به دلیل برنامه‌ریزی غیر صحیح و منسجم در حال حاضر از نظر تکنولوژی در سطح بالایی قرار داریم اما از نظر حجم تولید سهم بسیار ناچیزی را در اختیار داریم و رقبای خارجی به خاطر حجم نقدینگی بسیار بالایی که دارند به صورت نمایی رشد کرده‌اند. به منظور رسیدن به جایگاه مناسب علاوه بر سرمایه گذاری‌های بیشتر در این حوزه نیازمند توقف واردات بی‌رویه در این حوزه به داخل کشور هستیم.

لطفا در مورد موانع و چالش‌هایی که بر سر راه تولید محصولات خود با آن روبرو بوده‌اید و راهکارهایی که برای برون رفت از آن‌ها به کار گرفتید، بفرمایید.

چالش‌های پیش رو در این زمینه به دو دسته فنی و غیر فنی تقسیم می‌شود. در مورد چالش‌های فنی در این حوزه با همکاری سایر متخصصان در این حوزه بر اکثر این موارد فائق آمده‌ایم، اما در حوزه موارد غیر فنی با چالش‌های زیر روبرو هستیم:

۱) عدم وجود سرمایه‌گذار ریسک پذیر در حوزه تجهیزات مورد نیاز سبب شده تا علاوه بر تیراژ کم تولید، هزینه‌ها در این زمینه همچنان بالا باشد و از نظر قیمت تمام شده رقابت پذیری کمتری با رقبای خارجی داشته باشیم. تا زمانی که نتوانیم نیاز داخلی را بطورکامل مرتفع کنیم، امکان ورود به بازارهای جهانی نیز وجود ندارد.

۲) عدم وجود سرمایه در گردش برای تولید محصولات و سپس عرضه به بازار که به این دلیل حجم بسیاری از مشتریان را از دست داده‌ایم.

۳) واردات بی‌رویه محصولات خارجی به داخل کشور

با توجه به سرعت رشد بسیار بالای فناوری در حوزه لیزرهای فیبری نیازمند کمک‌های مالی و حمایتی در حوزه حل مشکلات غیرفنی هستیم.

با توجه به شرایط اقتصادی و تحریم‌ها، ضرورت و امکان تولید و عرضه محصولات شما در داخل و احیانا خارج از کشور به چه صورت است؟

به خاطر وجود تحریم‌ها، اکثر شرکت‌های خارجی تنها لیزرهای فیبری کم کیفیت را به طور غیرمستقیم به ایران می‌فروشند و طبعا هیچگونه خدمات پس از فروشی را هم به عهده نمی‌گیرند. واردات در حوزه‌های خاص لیزر فیبری نیز همچنان ناممکن است. مانند حوزه‌های خاص صنعتی و فناوری به خصوص در زمینه لیزرهای پیکوثانیه و فمتوثانیه. در حال حاضر نیاز کشور بسیار بیشتر از توان تولید ما است. ظرفیت تولید ماهانه ما تنها ۵ الی ۶ عدد است، در صورتیکه نیاز ماهانه تنها در بخش لیزرهای پیوسته ۴۰ عدد در ماه و در بخش لیزرهای پالسی بیش از ۱۰۰ عدد در ماه است.

عدم سرمایه‌گذاری مناسب چه در حوزه خرید تجهیزات تولید و مونتاژ و چه در حوزه سرمایه در گردش موجب می‌شود تا به تنهایی امکان تولید بیشتر میسر نباشد.

حجم نیاز در بازار خاورمیانه بسیار بیشتر است به طوری که نیاز حداقل ۲۰۰ عددی لیزرهای پر توان تنها یکی از نیازهای بازار خارج از کشور است. بدون افزایش حجم تولید امکان دسترسی به بازارهای خارجی وجود ندارد. از نظر کیفی به این نیاز دست یافته‌ایم اما از نظر حجم تولید بسیار ضعیف هستیم. حتی در سال گذشته صادرات به خاورمیانه هم انجام شده است که به دلیل حجم تولید، این صادرات ابتر مانده است.

آیا زیرساخت لازم جهت تولید تجهیزات مورد نیاز این حوزه در داخل کشور فراهم است؟

زیر ساخت‌ها به طور کامل وجود دارد گرچه تولید تمام تجهیزات به دلیل زمان بر بودن و سرعت رشد بازار جهانی شاید از نظر زمانی توجیه نداشته باشد و نیاز است تا برخی از تجهیزات از خارج خریداری شوند.

در صورت امکان، مختصری در مورد نقشه راه مجموعه خود در سال‌های پیش رو و اهداف بلند مدت آن توضیح دهید.

تبدیل شدن به قطب تولید لیزرهای فیبری صنعتی در کشور و منطقه از اهداف شرکت نوران صنعت مصباح است. تولید لیزرهای فیبری و فناوری‌های وابسته در حوزه‌های مختلف پزشکی و صنعتی مورد هدف است. بازار هدف در حال حاضر خاورمیانه و بازار هند است، البته با در نظر داشتن مواردی که پیش‌تر در زمینه افزایش تولید بیان شد.

بازار کار این حوزه را چگونه ارزیابی می‌کنید و چه توصیه‌ای برای علاقمندان به فعالیت در این حوزه تخصصی دارید؟ آیا شرکت شما ظرفیتی برای جذب علاقمندان به این حوزه را دارد و چگونه می‌توان از این ظرفیت مطلع شد؟

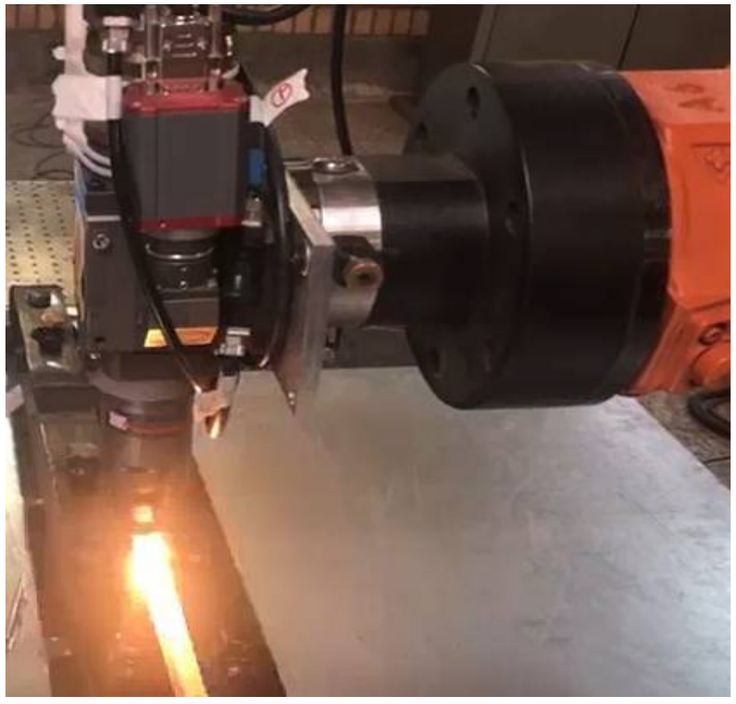
بازار کار این حوزه بسیار رو به رشد است. شرکت نوران صنعت مصباح آمادگی دارد تا در حوزه حمایت از پایان نامه‌های دانشجویی در مقاطع ارشد و دکتری و جذب نیروی کار از دانشجویان و دانش‌آموختگان رشته‌های فوتونیک، فیزیک، مهندسی مواد، مهندسی مکانیک و مهندسی برق دعوت به همکاری نماید.

از نگاه یک موسس یا مدیر یک شرکت دانش‌بنیان بفرمایید که سهم محصولات دانش‌بنیان در توسعه اقتصاد کشور چگونه است و چه راهکارهایی را بر موفقیت گروه‌های نوپا پیشنهاد می‌فرمایید؟

درک نیاز بازار و برنامه‌ریزی فنی و لجستیکی برای رسیدن به محصول مورد نظر رمز اصلی موفقیت در کسب و کارهای نوپا است.

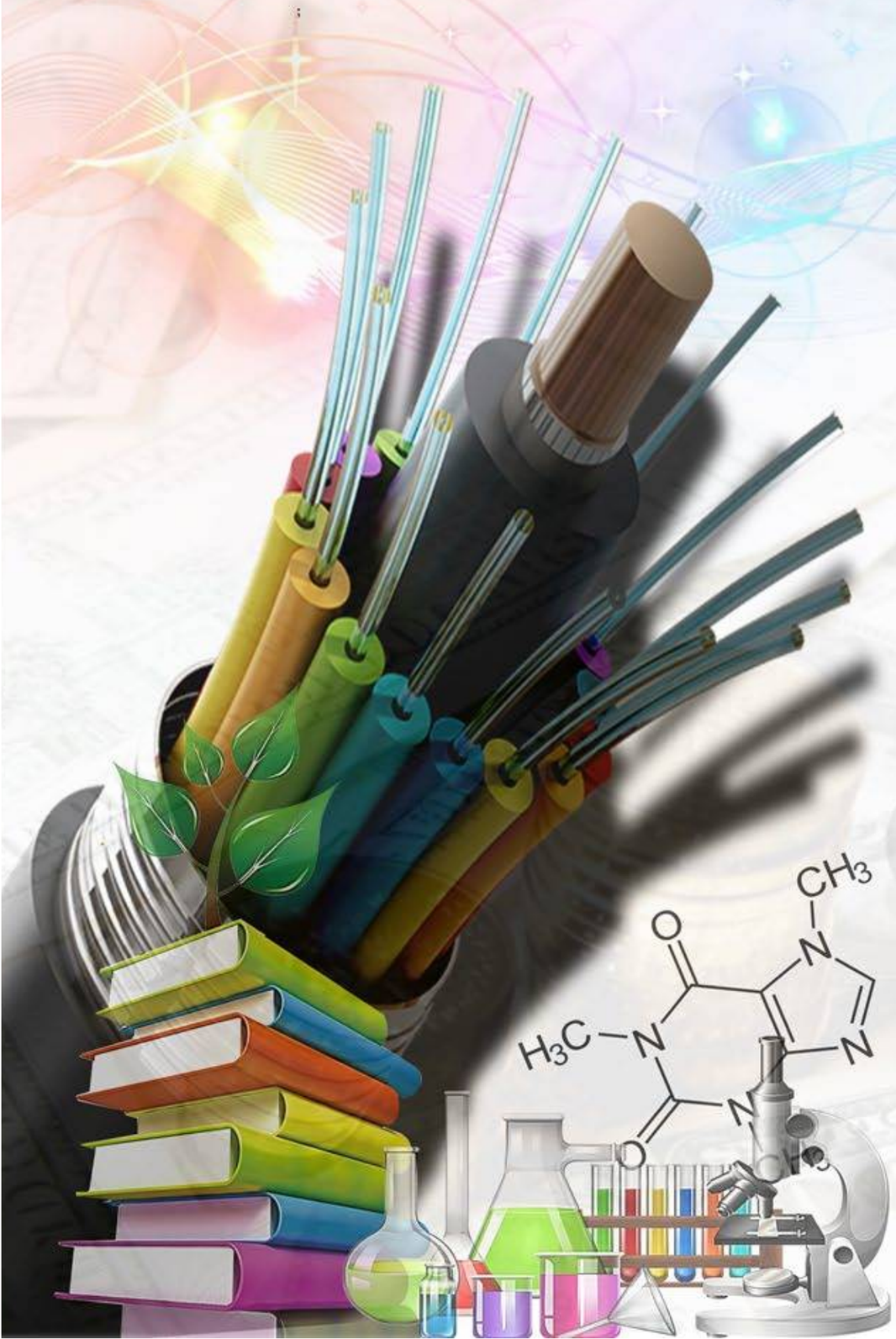
بعنوان سخن آخر بفرمایید که ستاد توسعه فناوری فوتونیک، لیزر، مواد پیشرفته و ساخت از کدام طرح شما و به چه شکل حمایت نمود؟ شما به عنوان یک فناور برای بهبود شیوه حمایت‌های ستاد یا سایر نهادهای دولتی چه پیشنهادی دارید؟

قطعا تاسیس و رشد شرکت با حمایت کامل ستاد فوتونیک و مواد پیشرفته به خصوص شخص دکتر لطیفی و دکتر ستاری شکل گرفت. دکتر لطیفی به عنوان استاد بنده حمایت بی‌دریغی از ما داشته‌اند تا این شرکت نوپا تاسیس شود و شکل بگیرد.



فیبرنوری

مبداء تحول فناوری های عصر حاضر



معرفی شرکت نیرا

تولیدکننده انواع کابل

و قطعات جانبی فیبر نوری در ایران

به قلم علی کاظم‌پور
kazempoorali.a@gmail.com

استفاده از نور برای پیام‌رسانی و به نوعی انتقال اطلاعات، از زمانی که بشر حتی هنوز ماهیت نور را نشناخته بود، مرسوم بود. ساده‌ترین مثال‌های آن، انتقال نور از هوا و پردازش آن توسط چشم انسان و دیدن اشیاء پیرامون است. با پیشرفت علم به ویژه ظهور لیزرها، انسان به فکر کنترل نور در یک محیط خاص افتاد تا بتواند اطلاعات خاصی را با سرعت بیشتر، کیفیت بهتر و در فواصل طولانی‌تر انتقال دهد. سرانجام داستان طولانی مخابرات نوری به فیبرهای نوری ختم شده است که همچنان ادامه دارد.

درحال حاضر، بسیاری از شرکت‌ها سامانه‌های نوین مبتنی بر فیبر نوری را جایگزین سامانه‌های قدیمی مبتنی بر سیم مسی کرده‌اند تا سرعت، ظرفیت و وضوح بیشتری در انتقال اطلاعات حاصل شود. زیرساخت‌های مخابراتی از اجزای عمده اقتصاد ملی و جهانی به شمار می‌روند. زیرا علاوه بر سودآوری هنگفت، نقش اساسی و محوری در ارتقای سطح اقتصادی، اجتماعی و فرهنگی ایفا می‌نمایند. به همین دلیل شرکت‌های بسیاری تمایل به سرمایه‌گذاری در بخش‌های مختلف شبکه مخابرات دارند. این سرمایه‌گذاری‌ها، گردش مالی مطلوب، ارائه خدمات متنوع و گسترده، تبعات اجتماعی مانند ایجاد اشتغال، بهبود وضع بهداشت و درمان، ارتقای سطح دانش عمومی و تخصصی، امنیت و صرفه‌جویی در وقت و انرژی را در پی دارند.

با توجه به اینکه شبکه یکپارچه نوری ایران واسط میان شبکه‌های محلی، شهری و منطقه‌ای است، بخش مهمی از خدمات قابل ارائه از طریق شبکه نوری ایران مستلزم پیش‌بینی و عرضه سرویس‌هایی نظیر اینترنت پرسرعت، بانکداری الکترونیکی، آموزش از راه دور، خدمات پزشکی از راه دور و مشابه آن، در LANها و شبکه‌های شهری متصل به شبکه یکپارچه نوری ایران است.

اکنون شرکت‌های تلویزیونی کابلی و شرکت‌های چندملیتی، جهت انتقال داده‌ها و اطلاعات مالی در سراسر جهان از فیبر نوری استفاده می‌کنند.

در ایران نیز با توجه به افزایش روزافزون کاربران اینترنت، استفاده‌کنندگان از تلفن ثابت و تلفن همراه و همچنین قرارگیری ایران در مسیر شاه‌راه اطلاعاتی بین اروپا و چین، ضرورت استفاده از شبکه فیبر نوری، بیش از پیش احساس می‌شود و بهره‌برداری هرچه بیشتر از آن یک نیاز اساسی است.

البته باید توجه داشت استفاده از فیبر نوری به موازات استفاده از سایر سامانه‌های انتقال اطلاعات صورت می‌گیرد. لذا تولید فیبر نوری و بومی‌سازی فناوری‌های جدید و همچنین ارتقای کیفی محصولات این حوزه، هم در سطح داخلی و هم فرامنطقه‌ای بازار وسیعی را برپا خواهد کرد.

فیبر نوری با توجه به پهنای باند وسیع و افت توان کم، بهترین گزینه جهت توسعه سامانه‌های مخابراتی به شمار می‌رود.

در حال حاضر شرکت‌های دانش‌بنیان بسیاری در حوزه کاربرد فیبرهای نوری در حال فعالیت هستند، اما رد پای این شرکت‌ها در فناوری تولید این محصول حیاتی کمتر دیده شده است.

با توجه به تحولات سریع دنیای ارتباطات در جهت گذر انتقال اطلاعات از شبکه‌های مسی به سمت سامانه‌های مبتنی بر فیبر نوری و همچنین کاربردهای فراوان آن در صنایع مختلف کشور مانند برق، نفت و گاز و پزشکی، بومی‌سازی فناوری تولید فیبر نوری، گامی بزرگ در تحول صنایع مختلف و عاملی برای جلوگیری از خروج میلیون‌ها دلار ارز از کشور خواهد بود.

در همین راستا، ستاد توسعه فناوری‌های فوتونیک، لیزر، مواد پیشرفته و ساخت، حمایت‌های خود را از طرح‌های دانش‌بنیان در این زمینه اعلام داشته است. ارتباط میان تولیدکنندگان بزرگ فیبرهای نوری در کشور با شرکت‌های نوپا و فناور یکی از راه‌های پیشرفت در این حوزه و شناسایی چالش‌ها و فرصت‌ها خواهد بود.

یکی از شرکت‌های تولیدکننده فیبر نوری که در دهه اخیر شروع به فعالیت نموده است، شرکت «نیرا» است که با استفاده از تجهیزات پیشرفته و به کارگیری متخصصان حوزه اپتیک و پلیمر توانسته است بخشی از نیاز کشور به فیبرهای نوری را برطرف سازد. در ادامه با این شرکت و محصولات آن بیشتر آشنا خواهیم شد.

مخابرات مبتنی بر فیبر نوری، در سال‌های اخیر اهمیت خود را به عنوان فناوری برتر در ارتباطات میان‌قاره‌ای و درون‌شهری به اثبات رسانده است. هرکجا که صحبت از سامانه‌های جدید مخابراتی و اینترنت باشد، فیبر نوری اساس و پایه آن است.

شرکت نیـــــــــرا

نیرا

تولیدکننده انواع کابل
و قطعات جانبی فیبر نوری در ایران

مجتمع تولید فیبر نوری «نیرا» در سال ۱۳۹۸ با همت و توانایی بخش خصوصی در مساحتی بالغ بر ۱۴۰۰۰ متر مربع در منطقه ویژه اقتصادی سلفچگان استان قم، به منظور تولید انواع کابل‌های فیبر نوری و قطعات جانبی آن افتتاح شد. ظرفیت خط تولید این شرکت در ابتدا بیش از ۴۰۰۰۰۰ متر فیبر نوری به وزن ۸ تن بوده است که با افتتاح فاز دوم، این ظرفیت دو برابر خواهد شد.

شرکت نیرا دارای یکی از مجهزترین کارخانه‌های تولید فیبر نوری در منطقه است. یکی از ویژگی‌های بارز این شرکت، گردآوری تمامی امکانات مورد نیاز تولید در فضای مجتمع است. از آزمون کیفیت مواد اولیه گرفته تا خطوط تولید و آزمون‌های نهایی محصول، همگی در شرکت نیرا انجام می‌شود.

به همین منظور مدیران شرکت نیرا علاوه بر راه‌اندازی خط تولید، آزمایشگاه‌های پیشرفته پلیمر و اپتیک فیبر نوری را نیز تأسیس کرده‌اند. شرکت نیرا با عضویت در شبکه آزمایشگاهی فناوری‌های راهبردی، علاوه بر آزمون‌های استاندارد محصولات خود، خدمات پیشرفته آزمایشگاهی را نیز به دانشگاه‌ها و مراکز پژوهشی و شرکت‌های فعال در این حوزه ارائه می‌کند.

آزمایشگاه کنترل کیفیت پلیمر نیرا با هدف پیاده‌سازی الزامات تضمین کیفیت و ارائه خدمات آزمایشگاهی در سال ۱۳۹۷ راه‌اندازی شد. این آزمایشگاه با تکیه بر توانمندی‌های کارشناسان، امکانات، دستگاه‌های مجهز و به‌روز و زیرساخت‌های منطبق بر استانداردهای ملی و بین‌المللی، قادر به ارائه خدمات آزمایشگاهی، فنی و مهندسی در زمینه‌های مختلف از قبیل

مواد پلاستیکی، الاستومری، کامپوزیتی و فوم است. با توجه به تنوع، اهمیت و حجم بالای مصرف انواع مواد پلیمری در صنایع مختلف از جمله صنعت کابل‌سازی و همچنین با توجه به نیاز طرح‌های تحقیقاتی مربوطه، آزمایشگاه پلیمر نیرا یکی از مهم‌ترین بخش‌های این مجتمع است.

این آزمایشگاه، قابلیت انجام آزمون‌های مکانیکی مانند آزمون استحکام کششی، سنجش میزان خمیدگی، ازدیاد طول، میزان سختی و آزمون‌های حرارتی را دارد. همچنین آزمون‌های شناسایی مانند تعیین درصد دوده، میزان گازهای اسیدی، میزان توزیع دوده و پراکنش آن، آزمون‌های رئولوژی و چگالی نیز در آزمایشگاه پلیمر این مجتمع انجام می‌شود.

آزمایشگاه اپتیک نیرا برای سنجش عملکرد فیبر نوری، ادوات و قطعات وابسته و همچنین تعیین پارامترهای موثر بر آن، احداث شده است. در آزمایشگاه اپتیک نیرا، تعیین مشخصات نوری فیبر، آزمون‌های اندازه‌گیری میزان تضعیف فیبر نوری، تعیین توان خروجی فیبر نوری و تعیین نقطه آسیب در کابل‌های فیبر نوری توسط متخصصان و کارشناسان این حوزه با استفاده از تجهیزات پیشرفته انجام می‌شود.

کلیه مواد اولیه موثر بر کیفیت محصولات در شرکت نیرا تحت نظارت کیفی کارشناسان این شرکت قرار دارد. مشخصات فنی برای هر کدام از مواد اولیه طبق استانداردهای مربوطه بین المللی و ملی نظیر ASTM و ISIRI تعیین می‌شود. مواد اولیه ورودی پس از بازرسی و انجام آزمایشات لازم در آزمایشگاه‌های مجهز، به تایید واحد کنترل کیفیت می‌رسند.

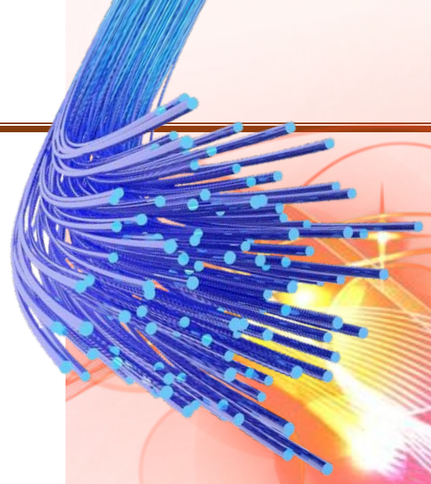
اهمیت و انواع کابل‌های فیبر نوری

تولید فیبر نوری در سه مرحله کلی انجام می‌شود. اولین مرحله تهیه ماده اولیه خالص و ساخت یک استوانه شیشه‌ای یا پیش فرم است. سپس این استوانه شیشه‌ای با دستگاه مخصوص، آنقدر کشیده می‌شود تا به طول و ضخامت مورد نظر برسد. در مرحله پایانی، فیبر نوری تولید شده از استوانه شیشه‌ای، انواع آزمایش‌های نوری و فیزیکی را پشت سر گذاشته تا کیفیت آن سنجیده شود و مشخصه‌های نوری آن تعیین گردد.

همانطور که پیشتر هم اشاره شد، علاوه بر پهنای باند وسیع و سرعت بالای انتقال اطلاعات در کابل‌های فیبر نوری، یک مزیت مهم دیگر نیز می‌توان به این کابل‌ها نسبت داد. کابل‌های فیبر نوری نسبت به کابل‌های مسی، تداخل الکترونیکی کمتری دارند و تاثیر امواج الکترومغناطیسی در آن‌ها بسیار کم است. به همین علت در مسافت‌های طولانی سرعت انتقال داده و همچنین اطمینان از حفظ صحت داده‌ها در فیبرهای نوری بسیار بیشتر است.

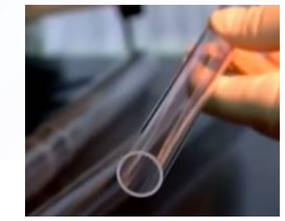
کابل‌های شیشه‌ای فیبر نوری بسیار نازک‌تر، سبک‌تر و در عین حال محکم‌تر هستند که باعث مقاومت آن‌ها در برابر عوامل محیطی می‌شود. این کابل‌ها در رطوبت هوا آسیبی نمی‌بینند و خللی در انتقال اطلاعات ایجاد نمی‌شود.

کابل‌های فیبر نوری را در دو نوع تک‌مد و چندمد می‌توان دسته‌بندی کرد. فیبر نوری تک حالته یا تک مد، از نظر نامگذاری معنای عملکرد حرکتی نور را در خود داراست. یعنی این نوع فیبر تنها امکان انتقال یک حالت نور را در طول مسیر خود فراهم می نماید. در حالی که فیبر نوری چند مد امکان انتقال حالت‌های مختلفی از نور را تسهیل می‌نماید. تفاوت بین نوع حرکت تک حالته و چند حالته نور عمدتا به دلیل تفاوت در قطر هسته این فیبرها شکل می‌گیرد که هنگام توسعه شبکه



انتقال نور هر یک امکانات خاصی را در اختیار کاربران قرار می‌دهد. کابل‌های تک‌مد پهنای باند بالاتری دارند و برای انتقال نور، به یک منبع نوری با عرض طیفی باریک نیاز دارند. این کابل‌ها دارای سرعت بالایی هستند و از طرفی مسافت ۵۰ برابر بیشتر از سایر کابل‌ها را طی می‌کنند. هسته داخلی کابل‌های تک‌مد کوچک‌تر از هسته کابل‌های چندمد است. کابل‌های تک‌مد بخش مهمی از پهنای باند شبکه را تشکیل می‌دهند. از لحاظ تئوری پهنای باند کابل‌های تک مد نامحدود است. پهنای باند بر اساس ظرفیت اطلاعات عبوری تعیین می گردد و ظرفیت شبکه فیبر نوری بر اساس پهنای باند تعیین می گردد. از این رو، با توجه به پهنای باند نامحدود فیبرهای تک مد، ظرفیت قابل انتقال اطلاعات در این فیبرها نیز نامحدود است. به طور معمول قطر فیبر نوری تک مد اغلب بین ۷/۶ تا ۱۰/۵میکرومتر متغیر است.

کابل‌های فیبر نوری چندمد دارای قطر بزرگ‌تری هستند. قطر هسته فیبر این کابل‌ها به طور معمول ۵۰-۱۰۰ میکرون است. در فواصل متوسط، کابل‌های چندمد پهنای باند بالاتر و سرعت بالاتری را ارائه می‌دهند. این نوع کابل‌ها، اغلب به عنوان فیبر خانگی در نظر گرفته می‌شوند. به عنوان نمونه، می‌توان از آن‌ها در FTTH استفاده کرد. منبع نوری این کابل‌ها LEDها هستند و نور را در پرتوهای متعدد با طول موج‌های مختلفی منتشر می‌کنند. این پرتوها بسته به نوع کابل، شکل انتشارهای مختلفی در طول کابل ایجاد می‌کنند.

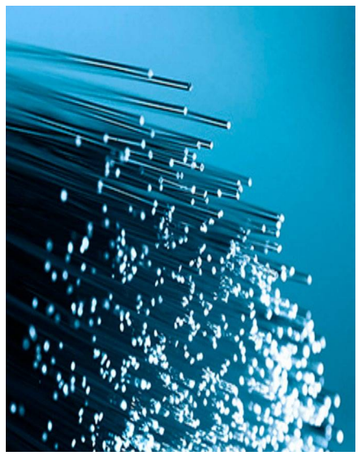


در تولید فیبرهای نوری از مواد اولیه بر پایه سیلیکون استفاده می‌شود. به طور مثال کلریدسیلیکون دمای ذوب بالایی دارد و در دمای بالا با تشکیل گاز دی‌اکسیدسیلیکون، فرایند خالص‌سازی این گاز صورت می‌گیرد. فیبرها با سرعت ۳۳ تا ۶۶ فوت بر ثانیه (۱۰ تا ۲۰ متر بر ثانیه) از استوانه داغ، کشیده می‌شوند و محصول نهایی روی قرقره پیچیده می‌شود. معمولا در نهایت بیش از ۱/۴ مایل (۲/۲ کیلومتر) فیبر نوری روی قرقره جمع نمی‌شود.

محصولات شرکت نیـــــــرا

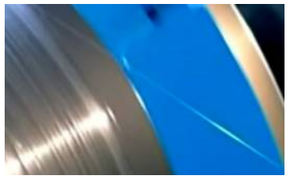
کریمپ حرارتی

کریمپ حرارتی یا شرینک حرارتی از تجهیزات پسیو مهم شبکه‌های فیبر نوری هستند. برای ایجاد ایمنی و محافظت از جوش فیبر نوری از کریمپ حرارتی استفاده می‌شود. کریمپ حرارتی لوله شفافی دارد که وظیفه این لوله ضمن حفاظت از جوش فیبر در مقابل فشار، رطوبت و آلودگی، سهولت در مشاهده نقطه جوش و قابل تشخیص شدن خرابی جوش است. کریمپ‌های حرارتی نیرا به علت حیاتی بودن این محصول در اتصالات فیبر نوری بسیار پرکاربرد بوده و در ابعاد مختلفی تولید می‌شود.



اسپلیتر فیبر نوری

اسپلیتر فیبر نوری که به اسپلیتر نوری نیز معروف است، یک دستگاه توزیع توان نوری است. این دستگاه با تقسیم یک موج نوری به تعداد زیادی مشترک، نقش بسیار مهمی در شبکه نوری پسیو ایفا می‌کند. برای دستیابی به این هدف، یک پرتو نور به دو یا چند پرتو با توان کمتر تقسیم می‌شود و پرتوهای نور با توزیع شاخه‌ای برای به حداکثر رساندن عملکرد مدارهای شبکه، به فیبر نوری متصل می‌شوند. اسپلیترهای نوری نیرا با قابلیت اطمینان بالا، تلفات کم و طول موج گسترده تولید می‌شوند. این محصول در انواع مختلف تولید می‌شود. ضمن آن که امکان تولید به صورت سفارشی نیز وجود دارد.

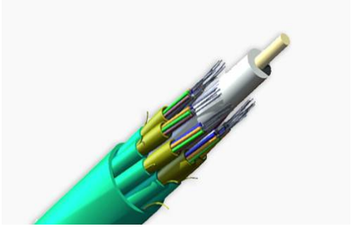


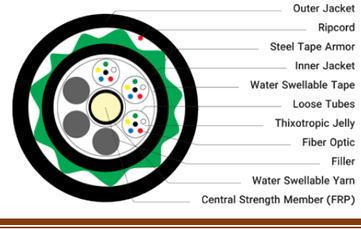
علاوه بر تولید فیبر نوری، تولید ملزومات و قطعات جانبی مهم جهت راه‌اندازی شبکه‌های فیبر نوری بسیار ضروری است. یک شبکه فیبر نوری بدون ملزوماتی چون کریمپ حرارتی و یا اسپیلتر عملا کاربردی نخواهد بود. شرکت نیرا با توجه به این موضوع انواع این ملزومات را در داخل کشور تولید می‌کند.

انواع کابل فیبر نوری

کابل‌های فیبر نوری تولید شده در شرکت نیرا دارای استانداردهای بین‌المللی است و برای کاربردهای مختلف داخل ساختمان و یا در محیط بیرون تولید شده است. این کابل‌ها دارای تارهای فیبر نوری رنگی به منظور شناسایی آسان هستند که در انواع مختلف از ۲ هسته فیبر تا ۱۴۴ هسته فیبر ساخته می‌شوند. از ویژگی‌های عمومی این کابل‌ها می‌توان به امکان نصب مستقیم کانکتور، شعاع خمش مطلوب و نیروی کششی بالا، روکش LSZH برای جلوگیری از گسترش شعله و ایجاد گاز سمی پس از شعله‌ور شدن، نگهدارنده و مقاوم‌ساز از جنس فولاد، روکش جاذب رطوبت و مقاومت حرارتی از چندین درجه سانتی‌گراد زیر ۰ تا ۷۰ درجه بالای صفر اشاره کرد. این کابل‌ها همگی تک‌مد و دارای تضعیف بسیار پایینی هستند.

کابل‌های تولید شده در این شرکت برای مصارف مختلف استفاده می‌شود که با توجه به کاربرد آن‌ها در انواع مختلف تولید می‌شوند. کابل فیبر نوری Outdoor که عمدتا برای کاربردهای بیرون ساختمان مانند شبکه‌های FTTX و مصارف عمومی مخابراتی استفاده می‌شوند یک دسته از محصولات شرکت نیرا هستند.





این کابل‌ها قابلیت نصب هوایی و یا دفن کردن زیر خاک را دارند و از مقاومت حرارتی و مکانیکی بالاتری برخوردار هستند.

دسته دیگر کابل‌های نیرا، کابل‌های Indoor هستند که قابلیت استفاده در داخل ساختمان را دارند. این کابل‌ها جهت توسعه شبکه‌های FTTH و به عنوان اتصال‌دهنده جعبه توزیع به دستگاه‌های متصل به شبکه، کاربرد دارند.

شرکت نیرا همچنین تولیدکننده انواع کابل‌های پچ‌کورد و پیگتیل فیبر نوری در دو نوع تک‌مد و چندمد است. پچ‌کوردهای نیرا دارای کانکتورهای LC، FC و SC در رنگ‌های مختلف هستند. پچ‌کوردهای فیبر نوری تولید شده معمولاً از ۱ تا ۴۸ هسته فیبر تشکیل شده‌اند و در متراژهای مختلف عرضه می‌شوند. علاوه بر این، امکان سفارشی‌سازی تعداد فیبر، طول کابل، نوع و تعداد کانکتور مطابق با درخواست مشتری برای کاربردهای مختلف نیز وجود دارد.

کابل پچ‌کورد ضد آب نیرا برای مصارف outdoor تولید شده است و دارای لایه بیرونی فلزی است که موجب افزایش استحکام این محصول گردیده است. روکش‌های مختلف به کار رفته در تولید این کابل می‌تواند از ورود گرد و غبار و نفوذ آب به داخل هسته فیبر نوری جلوگیری کند. از این کابل در زیرساخت‌های فیبر نوری به خصوص در مناطق آب و هوایی خاص که رطوبت هوا و خاک بالا است، بسیار استفاده می‌شود.

پیگتیل‌های فیبر نوری نیز از یک سر دارای کانکتور هستند و انتهای دیگر آن‌ها جهت انجام جوش فیبر مورد استفاده قرار می‌گیرد. پیگتیل فیبر نوری شرکت نیرا به صورت تک‌مد تولید می‌شوند و دارای کانکتورهای FC، LC و SC بوده و در رنگ‌های مختلف تولید می‌شوند. گفتنی است که تلفات عبوری در پیگتیل‌های نیرا کم و نرخ بازگشتی در آن‌ها بالا است. همچنین این محصول قابلیت ساخت سفارشی نیز دارد.

انواع آداپتور فیبر نوری

آداپتورهای فیبر نوری نیرا در دو دسته کلی تولید می‌شوند که شامل آداپتورهای فیبر نوری هیبریدی و mating sleeve هستند. آداپتورهای هیبریدی برای اتصال دو کانکتور متفاوت و آداپتورهای mating sleeve برای اتصال دو کانکتور مشابه یکدیگر به کار برده می‌شوند. هر دو نوع آداپتور به صورت simplex و duplex تولید شده و قادر هستند اتصالات فیبر نوری را با کمترین میزان افت برقرار کنند.

انواع مفصل فیبر نوری

مفصل‌های فیبر نوری یکی از ابزارهای دسته‌بندی کابل‌های فیبر نوری هستند که به صورت خاکی و هوایی در لایه‌های مختلف شبکه‌های رایانه‌ای مورد استفاده قرار می‌گیرند.

شرکت نیرا در جهت رفع نیازهای داخلی کشور تولید انواع مفصل‌های فیبر نوری را آغاز کرده و آماده همکاری با فروشندگان عمده این محصول و شرکت‌های IT در زمینه زیرساخت شبکه‌های مبتنی بر فیبر نوری است.

نوآورانه

ساختار فیبر نوری

ورود نانو مواد در بهبود عملکرد فیبر نوری

ورود فیبرنوری در پزشکی

حسگرهای فیبر نوری

حسگرهای فیبر توری براگ در پزشکی

فیبرنوری

به قلم علی کاویان‌فر
kavianfar.optonics@yahoo.com

امروزه نور سهمی حدود ۷۵۰۰ میلیارد دلار در اقتصاد جهان دارد و این رقم تقریبا با نیمی از تولید ناخالص داخلی (GPD) ایالات متحده برابر است. نکته جالب اینجاست که ارزش اقتصادی نور همچنان در حال رشد است. سه بخش بزرگ بازار جهانی متکی بر نور، آنهایی هستند که با ارتباطات، حمل و نقل و زیست‌فناوری مرتبط هستند. بنابراین با توجه به سهم ارزشمند نور در دنیای اطراف ما، این حجم از توجه به ابزارهای انتقال نور یا همان فیبرهای نوری قابل توجیه است.

تلگراف نوری-۱۷۹۰

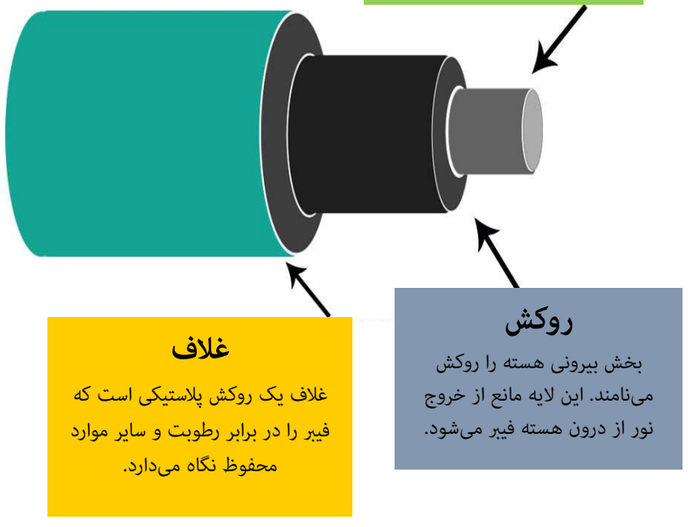
در طول تاریخ همواره دانشمندان به دنبال راه‌حل‌هایی برای انتقال اطلاعات توسط امواج نوری بوده‌اند. در سال ۱۷۹۰ میلادی دو برادر فرانسوی به نام برادران چاپه (Choppe) نوعی از فناوری به نام "تلگراف نوری" را معرفی کردند. تلگراف نوری یک سامانه متشکل از تعداد زیادی چراغ نصب شده بر روی برج‌های متناوب بود. با کمک این چراغ‌ها و نحوه نمایش آن‌ها اپراتورها می‌توانستند پیام‌ها را از یک برج به برج دیگر منتقل کنند. در سال ۱۸۵۵ فیزیکدان انگلیسی به نام جان تیندال (John Tyndall) ثابت کرد که نور می‌تواند با قرار گرفتن در مسیر جریان آب خم شود و این یعنی یک سیگنال نوری می‌تواند در اثر عبور از آب شکسته شود. حدود بیست و پنج سال بعد، گراهام بل پس از اختراع تلفن، سامانه‌ای تحت عنوان تلفن نوری (Photophone) را نیز معرفی نمود که این دستگاه می‌توانست صدا را به شکل پرتوهای نوری منتقل کند. از معایب این روش این بود که حداکثر برد مفید انتقال اصوات تا ۲۰۰ متر بود و بنابراین اختراع او رشد تجاری مناسبی نداشت. در سال ۱۹۵۰ دو دانشمند به نام‌های ناریندر کاپانی (Singh Kapany و Narinder) و هارولد هاپکینز با استفاده از یک لوله نوری اقدام به ارسال یک عکس ساده کردند. به دلیل انجام تحقیقات زیاد در این زمینه کاپانی را پدر فیبر نوری نامیدند. در سال ۱۹۵۷ محققان در ایالات متحده در دانشگاه میشیگان موفق شدند با بکارگیری فیبر نوری از درون معده انسان تصویربرداری کنند. سرانجام پس از اختراع لیزر در سال ۱۹۶۰ یک محقق اهل ایالات متحده به نام چارلز کاوو از فیبر نوری با آلیاژ شیشه‌ای بسیار خالص برای انتقال سیگنال‌های تلفن استفاده کرد. در سال ۱۹۷۳ میلادی، آزمایشگاه گراهام بل در یک فرآیند، رسوب بخار شیمیایی را ایجاد کرد که با گرم کردن بخارات شیمیایی و اکسیژن، شیشه‌ای شفاف تشکیل می‌شد که در ساخت فیبرهای نوری مورد استفاده قرار می‌گرفت. در حال حاضر نیز چنین فرآیندی برای ساخت شیشه‌های مورد استفاده در فیبرها به کار می‌رود. در سال ۱۹۸۰ بود که شرکت‌های مخابرات شروع به استفاده گسترده از این فیبرها در بازسازی زیرساخت‌های ارتباطی خود کردند.

قدم بزرگ دیگری در این مسیر در سال ۱۹۹۱ توسط دسوروایر (Desurvire) و پین (Payne) انجام شد. آن‌ها موفق شدند یک تقویت‌کننده نوری را در داخل فیبر نوری تعبیه کنند. این تقویت‌کننده سرعت انتقال اطلاعات را تا صد برابر افزایش می‌داد. همچنین در این سال فیبرهای کریستال فوتونیکی هم معرفی شدند. این نوع فیبرها، نور را با استفاده از شکست متوالی عبور می‌دادند. بنابراین اولین فیبری که به طور کامل از فناوری نوری بهره می‌برد، در سال ۱۹۹۶ در اقیانوس آرام نصب شد که TPC-5 نام داشت. در سال ۱۹۹۷ شبکه فیبر نوری تحت عنوان FLAG در اقیانوس اطلس کشیده شد که به عنوان طولانی‌ترین شبکه فیبر نوری در جهان معرفی شد.

و کاربرد آن در زمینه اینترنت بود. همانطور که گفته شد کاربردهای اولیه این فیبرها برای انتقال اطلاعات در ایستگاه‌های مخابراتی بود. اما امروزه، این ساخته بشری در زمینه‌های مختلفی همچون صنایع نظامی، ذخیره‌سازی اطلاعات، مانند دما و فشار در مناطقی که امکان دسترسی انسان نیست، پزشکی و غیره مورد بهره‌برداری قرار می‌گیرد. برای آشنایی و درک بهتر این کاربردها ابتدا به سراغ ساختار این فیبرها می‌رویم.

ساختار فیبرنوری

فیبر نوری وسیله‌ای است که از رشته‌های بسیار نازک تشکیل شده است، به طوریکه قطر هر یک از این رشته‌ها نزدیک به قطر تار موی انسان است. وظیفه فیبر نوری انتقال نور از یک محل به محل دیگر است. هر فیبرنوری از سه لایه تشکیل شده است:



اگر در یک سالن بزرگ چراغ قوه‌ای را روشن کنیم و با فرض اینکه هیچ پیچ و خمی در سالن وجود نداشته باشد، فضای مورد نظر روشن می‌شود ولی اگر همین سالن دارای پیچ و خم باشد، در این حالت برای اینکه انعکاس نور در سالن منتشر شود، بایستی در پیچ‌ها از آینه استفاده شود و حتی در صورت وجود پیچ‌های بسیار زیاد به آینه‌های بیشتری نیاز است. با این روش، نور اولیه از نقطه‌ای به نقطه دیگر جابجا شده و طول مسیر سالن را روشن خواهد کرد. این مثال دقیقا شبیه به اتفاقی است که در فیبر نوری می‌افتد. در فیبرهای نوری، نور درون هسته و در مسیرهای رفت و برگشتی متوالی حرکت می‌کند.

موادی که در گذشته در ساخت فیبرهای نوری استفاده می‌شد، شامل مواد شفافی بود که اطلاعات می‌توانست از آن عبور کند. امروزه محققان گام را فراتر گذاشته و در ساخت فیبرهای نوری از مواد فوق پیشرفته استفاده می‌کنند. همزمان با پیشرفت در فناوری لیزر، محققان دریافتند که یک فیبر دی‌الکتریک می‌تواند حاملی کارآمد برای انتقال انرژی باشد.

جستجو برای انتخاب ماده‌ای مناسب، منجر به تمرکز بر روی سیلیس شد. به منظور رسیدن به ساختار مناسب‌تر برای هدایت امواج، انواع مواد افزودنی ترکیبی به سیلیس نیز مورد مطالعه قرار گرفتند. شیشه‌های سیلیکات، بورات، فسفات، ژرمنات، فلوراید، و کالکوژنید همگی انواع شیشه‌هایی هستند که با افزودن مواد دیگر در ساخت فیبر نوری پیشنهاد شده‌اند. به عنوان مثال، آلومینوسیلیکات، بوروسیلیکات‌ها، سیلیکات‌های سرب، سیلیکات‌های قلیایی، قلیایی-خاکی و غیره از جمله پرکاربردترین‌ها انواع شیشه در این زمینه بودند. با این حال، فیبرهای نوری استاندارد با کارایی بالا امروزه تنها به SiO_2 به اضافه یک یا چند ماده ناخالص ساده از جمله: GeO_2، Al_2O_3، P_2O_5، B_2O_3 و F متکی هستند. سیلیس از نظر شفافیت، استحکام، پایداری و در دسترس بودن، یک ماده فوق‌العاده است. با این حال، این ماده در دمای بالا با برخی محدودیت‌های شیمیایی مواجه است. به طور خاص، بسیاری از ترکیبات معمولی‌تر اصلاح‌کننده شیشه مانند آلومینا، منجر به جداسازی فاز می‌شود.

در سال ۱۹۹۲ نسل جدیدی از فیبرهای کریستال فوتونیکی معرفی شدند که کاربردهای شگفت‌انگیزی داشتند. این فیبرها تحت عنوان فیبرهای حفره‌دار نیز شناخته می‌شوند که ریزساختارهای موجود در کریستال، انتشار نور را کنترل می‌کنند. تکرار ضرایب شکست در سرتاسر سطح مقطع فیبر، مولفه عرضی میدان الکترومغناطیسی را وادار به تداخل می‌کند.

در حال حاضر تنها چند گروه معدود در سراسر جهان با برخورداری از امکانات پیشرفته خود قادر به تولید پیچیده‌ترین ساختارهای بلوری فوتونیکی هستند و محصولات تجاری بسیار محدودی وجود دارد که از چنین الیافی استفاده می‌کنند.

بنابراین، اگرچه این پیچیدگی‌ها برای پیش بردن مرزهای علمی عالی است، اما رقابت‌های تجاری را محدود کرده است! در ادامه خواهیم دید که ورود نانومواد به این عرصه به دلیل خاصیت و مشخصه‌های بی‌نظیرشان، می‌تواند منجر به تولید فیبرهایی کارآمد شود. این فیبرها در عرصه تجاری نیز جایگزین مناسب و قابل توجهی برای فیبرها با ساختارهای بلوری فوتونیکی هستند.

ورود نانومواد در بهبود عملکرد فیبرهای نوری

طی چند سال اخیر، محققان از نانومواد مختلف برای لایه‌نشانی هسته فیبرهای نوری استفاده کرده‌اند که این کار امکان کنترل ضخامت لایه در مقیاس نانومتری را فراهم کرده و بسیار قابل اطمینان است، زیرا این نوع لایه‌نشانی هدایت نوری را تسهیل می‌کند. توسعه فناوری نانو و روش‌های لایه‌نشانی و تولید لایه‌های نازک (مانند CVD و ALD) دریچه‌ای جدیدی را برای ساخت فیبرهای نوری گشوده است. فناوری نانو امکان استفاده از لایه‌های دی‌الکتریک نازک (تا قطر ده نانومتر، مانند ZnO و TiO_2) و همچنین لایه‌های فلزی نازک و شفاف ساخته شده از نقره، آلومینیوم یا طلا را فراهم کرده است. لایه‌نشانی بخار شیمیایی یکی از رایج‌ترین روش‌های بکار رفته در لایه‌نشانی نانومواد در ساختار فیبرهای نوری است. این روش می‌تواند تحت خلا و یا فشارهای پایین انجام شود. اغلب در این روش جوانه‌زنی فاز گازی کاهش می‌یابد و به همین دلیل برای ساخت لایه جامد روی زیرلایه مناسب است. اخیرا با استفاده از پیش‌ماده‌های آلی- فلزی، دمای رشد کاهش یافته و به این ترتیب می‌توان لایه‌های نازک با کیفیت بهتری تهیه کرد.

بنابراین، استفاده از نانومواد در فیبرهای نوری نه تنها باعث می‌شود که سرعت انتقال نور درون فیبر بیشتر شود، بلکه کاربردهای فیبر نوری در زمینه‌های مختلف اعم از پزشکی، صنعت و ارتباطات را نیز گسترش داده است. از جمله کاربردهای دیگر این روش می‌توان به ساخت سامانه‌هایی اشاره کرد که با کمک نانومواد ساخته شده‌اند و چشم‌انداز هیجان‌انگیزی را در عرصه ساخت حسگرها به تصویر می‌کشند.

این لایه‌ها ممکن است به گونه‌ای مهندسی شوند که خواص نوری خود را در پاسخ به یک محرک خارجی تغییر دهند. استفاده از نانومواد در فیبرها تنها محدود به هسته آنها نمی‌شود. در سال ۲۰۲۰، عده‌ای از محققان اروپایی از نانومواد الماس برای لایه‌نشانی سر فیبر استفاده کردند. این کار به منظور جلوگیری از آسیب فیزیکی و شیمیایی به سر فیبر صورت گرفت. با توجه به نتایج تحقیقات نظری و تجربی این محققان، این لایه‌نشانی باعث بهبود عملکرد سر فیبر نوری شد. بررسی‌های این دانشمندان نشان داد که این کار بر عملکرد فیبر تاثیری ندارد. پیشنهاد این محققان این بود که از این فیبرها که سر مجهز به نانومواد الماس دارند، به عنوان حسگر در صنعت پزشکی و معادن استفاده شود. به طور کلی می‌توان گفت که انتخاب جنس مناسب لایه درونی فیبر نوری، تعیین‌کننده میزان عبور نور و اطلاعات در این فیبرها است.

همانطور که گفته شد، فیبرهای نوری کاربردهای فراوانی در بسیاری از حوزه‌ها دارند و بدون شک همه این حوزه‌ها از اهمیت بسیار زیای برخوردار هستند. یکی از این حوزه‌ها زمینه پزشکی است. امروزه استفاده از فیبرهای نوری در بیمارستان‌ها مرسوم است. در ادامه درمی‌یابیم که چگونه این ادوات شگفت‌انگیز و پیشرفته با علم پزشکی همراه می‌شوند.

ورود فیبر نوری در پزشکی

محققان فناوری جدیدی را معرفی کرده‌اند که در آن فیبرنوری قابلیت ترمیم زخم‌ها و تومورها را دارد. این فناوری "پیوند فتوشیمیایی بافت" نام دارد. اکنون محققان روشی جدید را ابداع کرده‌اند که به نور اجازه می‌دهد در بافت انسان به طور عمیق نفوذ کند. این فناوری می‌تواند یک روش درمانی موثر برای سرطان باشد. همچنین از این فناوری می‌توان در تصویربرداری پزشکی نیز استفاده کرد.

بقراط، پدر علم پزشکی، استفاده از نمونه اولیه آندوسکوپ برای بررسی هموروئید را در ۴۰۰ سال قبل از میلاد به تفصیل شرح داده است. کشف یک آینه سه‌وجهی متعلق به ۷۰ سال پس از میلاد که شبیه به نمونه‌ای است که امروزه استفاده می‌شود، گواه بهره‌گیری از آندوسکوپی در علم پزشکی قدیم است.

محدودیت غالب در تلاش‌های محققان در علم آندوسکوپی، به دلیل نبود منبع نور کافی برای روشن کردن ناحیه‌ای بود که در انتهای ابزارهای آن‌ها قرار گرفته بود.

بنابراین بررسی‌های دانشمندان ۱۵ قرن بدون پیشرفت در این زمینه گذشت تا سال ۱۵۸۵، زمانی که محققان متوجه شدند که می‌توانند نور خورشید را به کمک یک ظرف پر از آب بر روی حفره‌های بینی متمرکز کنند و با این کار اندکی از درون بدن اسرارآمیز انسان را مشاهده کنند. در سال ۱۸۰۶ میلادی، فیلیپ بوزینی (Philip Bozzini) اولین سامانه آندوسکوپ را با منبع نور تولید کرد.

پیشرفت انقلابی او شامل مجموعه‌ای از آینه‌ها بود که نور را از یک شمع در حال سوختن در داخل یک دستگاه آلومینیومی تا نقطه کانونی منعکس می‌کرد. این سامانه به عنوان اولین آندوسکوپ واقعی در نظر گرفته می‌شود. متاسفانه، استقبال جامعه پزشکی از این سامانه به طرز غم‌انگیزی نامطلوب بود. در آن زمان ظرفیت این سامانه درک نشد و عامه مردم هم آن را به عنوان یک فانوس جادویی می‌دیدند. پس از بررسی توسط دانشکده پزشکی دانشگاه در وین، فیلیپ بوزینی به خاطر این طرح مبدعانه مجازات شد!

با این حال، کمک‌های او زمینه را برای دیگران فراهم کرد تا در زمینه آندوسکوپی پیشرفت بسیار زیادی صورت گیرد.

تقریبا ۲۰۰ سال پس از مرگ او، مفهوم تشکیل تصویر بر روی صفحه نمایش با کمک بازتاب نور در جراحی‌های کم تهاجمی راه خود را باز کرد. یک جراح فرانسوی به نام آنتونی جین دسورماکس (Antoine Jean Desormeaux)

فناوری بکار رفته در سامانه طراحی شده توسط فیلیپ بوزنی را برای عمل‌های جراحی اورولوژی اصلاح کرد و به همین دلیل برخی او را پدر آندوسکوپی می‌دانند.

بزرگترین پیشرفت در این زمینه در اواسط قرن بیستم، کشف فناوری فیبر نوری بود. یک فیزیکدان انگلیسی، اولین نمونه فیبر نوری کاربردی را در سال ۱۹۵٤ تولید کرد.

گام بعدی توسط لارنس کرتیس (Curtiss Lawrence)، یک دانشجوی کارشناسی در دانشگاه میشیگان انجام شد. او محفظه‌ای شیشه‌ای موسوم به گاستروسکوپ ساخت و اولین عمل بالینی خود را در سال ۱۹۵۷ در ایالات متحده انجام داد.

بعدها که فناوری به اندازه‌ای پیشرفت کرده بود که امکان تجسم واضح حفره‌های بدن را فراهم کند، فرصت بعدی پیشرفت در دستان جراحان قرار گرفت.

در سال ۱۹۸۲ یک دوربین فیلمبرداری با وضوح بالا ساخته شد که می‌توانست به دستگاه آندوسکوپ متصل شود و تصویر نوری دریافتی را به تکانه‌های الکتریکی تبدیل کند، سپس آن را به نمایشگر، دستگاه ضبط یا جاهای دیگر ارسال کند. این پیشرفت باعث شد یک تصویر بزرگ‌نمایی شده واضح از کل قسمت مدنظر از بدن روی یک نمایشگر نشان داده شود.

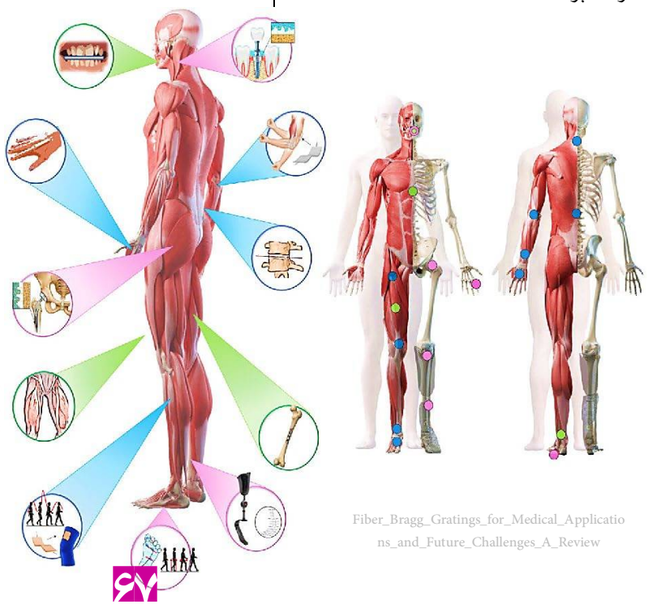
در سال ۱۹۸٤ آزمایشگاه کامینو در ایالات متحده برای اولین بار حسگرهایی را به بازار معرفی کرد که مبتنی بر فیبر نوری بود. پس از آن در سایر آزمایشگاه‌ها مثلا در کانادا و سوئد نیز موارد مشابه تولید شد.

این حسگرها بسیار ایمن، قابل اطمینان و سازگار با بدن بودند و از نظر زیستی مشکلی ایجاد نمی‌کردند. آنها در تشخیص فشار درون جمجمه (ICP) مورد استفاده قرار گرفتند و از آن زمان به رایج‌ترین سامانه‌های نظارت بر ICP در جهان تبدیل شدند. حسگرهای پیشرو دیگری در زمینه اندازه‌گیری دمای فلوراپتیک، تشخیص سطح اکسیژن، فشار خون و یا تصویربرداری عروق کرونر و ... نیز در سال‌های اخیر معرفی شده‌اند و هم‌اکنون نیز مورد استفاده قرار می‌گیرند. در ادامه این بخش به صورت مفصل به حسگرهای فیبرنوری خواهیم پرداخت.

حسگرهای فیبرنوری

حسگرهای فیبر نوری از جمله تجهیزاتی هستند که نور دریافتی را به سیگنال‌های قابل اندازه‌گیری تبدیل می‌کنند و در واقع پرتوهای ورودی را از طریق یک فیبر نوری به یک پردازشگر ارسال می‌کنند.

این اتفاق زمانی می‌افتد که عوامل محیطی خارجی مانند دما، میدان‌های الکتریکی و مغناطیسی تغییر کنند. بنابراین اگر تغییر میدان مغناطیسی در فیبر نوری قابل محاسبه باشد، تغییر مقادیر فیزیکی دیگر نیز قابل اندازه‌گیری خواهد بود.



Fiber_Bragg_Gratings_for_Medical_Applications_and_Future_Challenges_A_Review

دانشمندان دانشگاه کرنل موفق شدند حسگرهای منعطفی بسازند که شباهت بسیاری به پوست انسان دارد. تغییر شکل در این حسگرها با اندازه‌گیری تغییر مسیر فیبر نوری بدست می‌آید. کاربرد اصلی این نوآوری در اندازه‌گیری نیروهای وارده به اعضای بدن در هنگام درمان و یا ورزش است.

فیبر نوری مشخصه‌هایی عالی از قبیل مقاومت در مقابل تابش الکترومغناطیس و یا تابش اتمی دارد. مزیت حسگر فیبر نوری این است که در مقایسه با سایر حسگرها از نور به عنوان حامل اطلاعات مهم و از فیبر نوری به عنوان محیطی برای انتقال اطلاعات مهم استفاده می‌کند. ویژگی‌های حسگرهای فیبر نوری عبارتند از حساسیت بالا و ساختار هندسی سازگاری که می‌تواند در محیط‌های دارای نوفه (نویز) الکتریکی و دمای بالا و یا محیط های حساس به کار گرفته شوند. لازم به ذکر است که در پزشکی فقط از فیبرهای نوری ساخته شده از شیشه کوارتز با فرکانس بالا استفاده می شود، زیرا استحکام مکانیکی بالا و خاصیت نوری تنظیم شده در آن‌ها باعث جلوگیری از اتلاف نور در فیبر نوری می‌شود.

دسته‌بندی حسگرهای فیبر نوری

حسگرهای فیبر نوری متناسب با نقش فیبر نوری در حسگر، می‌توانند به دو دسته تقسیم شوند:

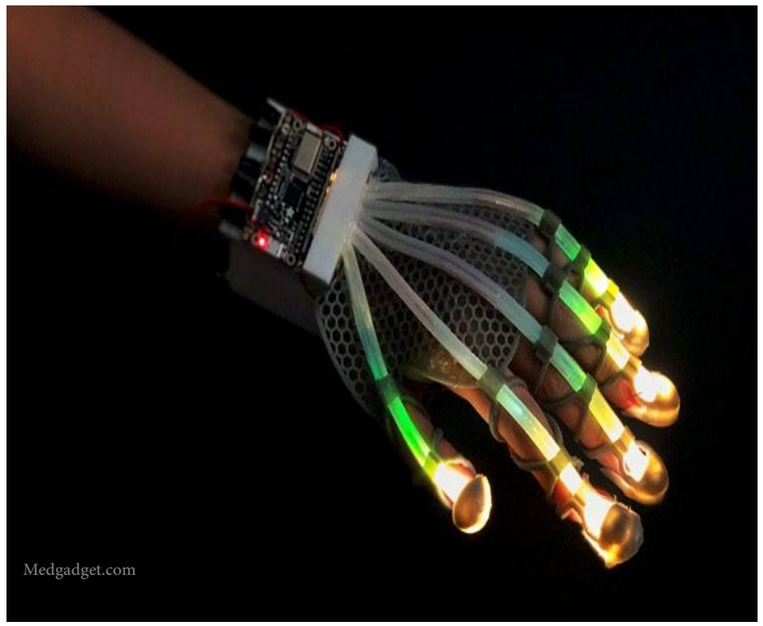
۱. حسگر فیبر نوری درونی

۲. حسگر فیبر نوری بیرونی

حسگرهای فیبر نوری بیرونی یا از راه دور، از فیبر جهت انتقال نور به یک دستگاه مستقل دیگر استفاده می‌کنند که در آن دستگاه نسبت به نور پاسخ می‌دهد.

در حالی که حسگرهای فیبر نوری درونی یا محض، به تغییرات ناشی از محیط به هنگام عبور آن از داخل فیبر نوری وابسته‌اند.

در دهه‌های گذشته، این حسگرها برای اندازه‌گیری تنش و کرنش در بیومکانیک استفاده شده‌اند، چرا که حسگرهای معمولی از نظر فنی این کاربرد را نداشتند. در مقالات، بیشتر کاربردهای مبتنی بر حسگرهای فیبر مربوط به اندازه‌گیری فشار و نیروی رباط‌ها و تاندون‌ها در حیوانات اشاره شده است. در ادامه نوع جدیدی از این حسگرهای فیبر نوری و کاربردهایش در علم پزشکی را معرفی خواهیم کرد.



حسگرهای فیبر نوری براگ در پزشکی

حسگر فیبر توری براگ شامل یک تشدیدکننده نوری است که در هسته یک فیبر نوری قرار دارد. اساس کار آن بدین صورت است که با استفاده از یک لیزر خارجی و یک تداخل‌سنج یا یک عنصر پراش، یک اغتشاش متناوب در ضریب شکست یک فیبرنوری تک مد ایجاد می‌شود.

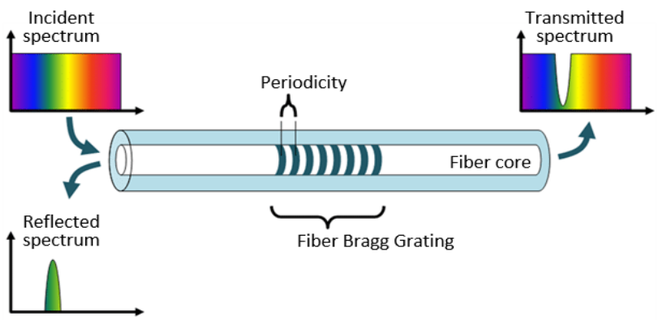
یعنی ایجاد یک تغییر متناوب در ضریب شکست هسته فیبر، باعث ایجاد تداخل بین امواج منتشر شده می‌شود. برای اینکه توری‌ها نسبت به تغییرات ضریب شکست حساس باشند تا بتوان آن‌ها را در زمینه پزشکی بکار برد، دو نوع پیکربندی پیشنهاد شده است: اولی استفاده از توری مورب است بطوریکه صفحه مدوله دارای زاویه کمتر از ۱۰ درجه نسبت به محور فیبر باشد.

دومی، حکاکی شیمیایی بر روی روکش فیبر در امتداد توری است. در این روش حتی نورهای ضعیف نیز باعث ایجاد تغییر در ضریب شکست می‌شود که البته این به ضخامت فیبر بستگی دارد.

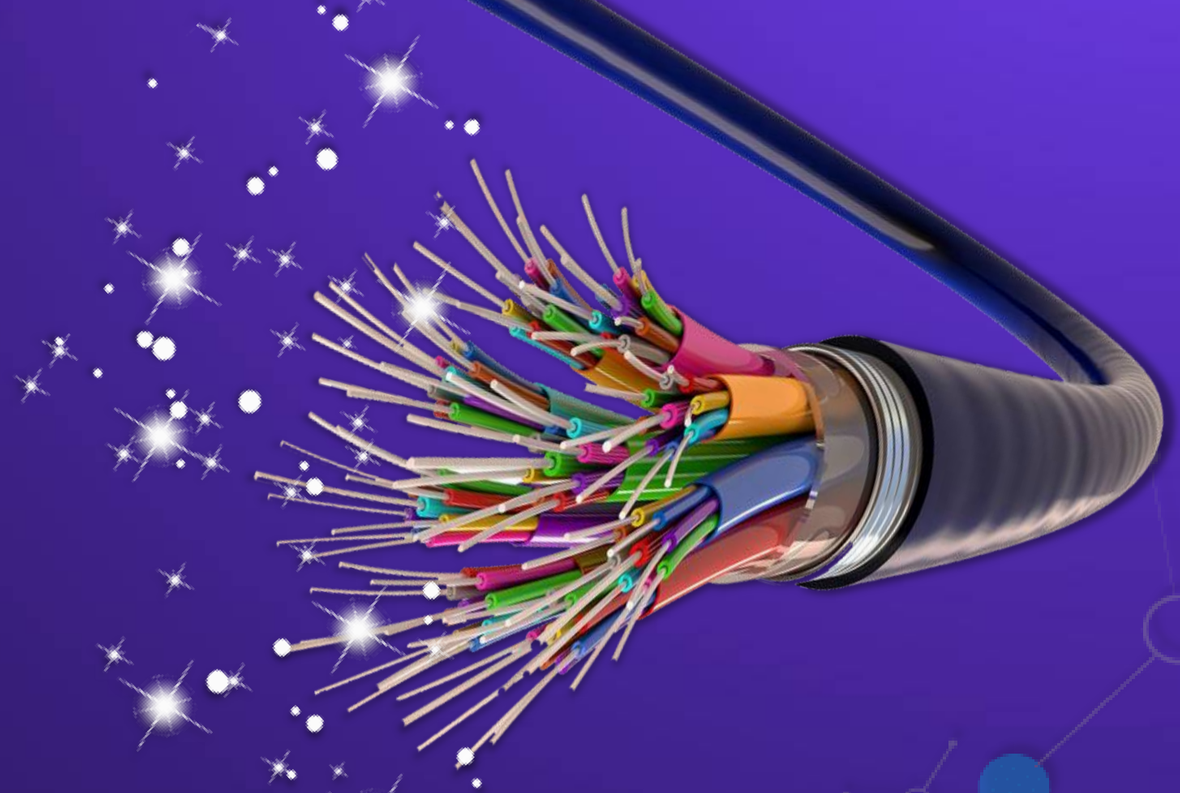
این حسگرها نسبت به حسگرهای معمولی از مزایای مختلفی همچون حساسیت بالا، دامنه دینامیکی وسیع، فشردگی، وزن کمتر، زیست‌سازگاری و بی‌اثری شیمیایی، برخوردارند. علاوه بر این، ایمنی الکترومغناطیسی آنها این افزاره نوری را برای استفاده در محیط‌های الکترومغناطیسی به عنوان مثال، در داخل اسکنر MRI مطلوب ساخته است. همه این ویژگی‌ها امکان بهره‌گیری از حسگرها را برای اهداف مختلف پزشکی میسر می‌کند. به عنوان مثال، اندازه کوچک و زیست‌سازگاری ذاتی آن‌ها از جمله امکانات اساسی این ادوات نوری است. اخیرا از این فناوری در ساخت ابزارهای مورد استفاده در عمل‌های جراحی، وسایل کمک پزشکی، پوشیدنی‌ها، اندازه‌گیری تنش و کرنش در زیست مکانیک بافت بدن، سامانه اسکلتی-عضلانی، نظارت روانشناختی بر بیمار، اندازه‌گیری دمای بدن، فشار و ضربان قلب، بهره گرفته شده است. توجه محققان به این حسگرها در مقالات علمی و علاقه رو به رشد بازار در مورد کاربردهای آن‌ها در پزشکی، بر اهمیت روزافزون آن‌ها دلالت دارد. پیش‌بینی می‌شود که برای پر کردن شکاف بین تحقیق و عملکرد بالینی، نسل بعدی دستگاه‌های پزشکی، به حسگرهای فیبر نوری به صورت سامانه‌های قابل‌حمل مجهز خواهند شد. امروز ما فراتر از همیشه و در نقطه‌ای ایستاده‌ایم که جراحی به طور غیرقابل برگشتی وارد عصر غیرتهاجمی شده است و این مهم به لطف فناوری فیبر نوری شدنی است.

با توجه به اصول مستدل جراحی که از پیشینیان ما به دست آمده است، نقش ما اکنون این است که محدودیت‌هایی که عمل جراحی برای بیماران و خانواده های آنها ایجاد می کند را به چالش بکشیم و هر یک به نوبه خود سهمی در حفظ میراث بشری داشته باشیم.

به قول جان تیندال (John Tyndall) فیزیکدان قرن نوزدهم میلادی، «ما واقعا وارثان همه اعصار هستیم. اما، به عنوان مردان واقعی، بر ما واجب است که میراث خود را بیاموزیم. و به عنوان مردمان شجاع ناله نکنیم.»



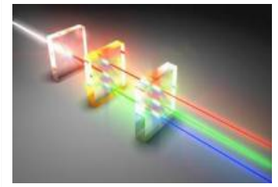
دروازه‌های علم



کاربردهای پیشرفته فیبر نوری در

تصویربرداری پزشکی و شیمی

به قلم سیده ثریا موسوی
s.soraya.mosavy@gmail.com



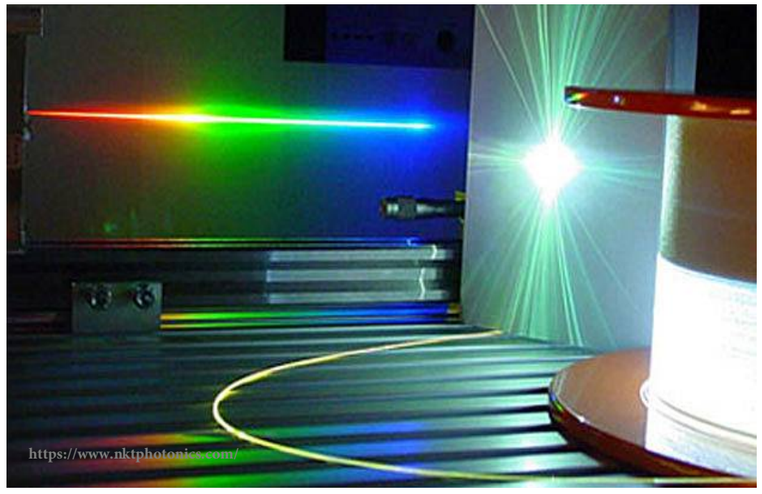
تولید طیف ابرپیوسته توسط قطعه‌ای میلی‌متری

نور لیزر با باریکه‌های همدوس و پرتوانش، مزایای متعددی را برای زندگی امروزی ما به ارمغان آورده است. حال تصور کنید چشمه‌ای داشته باشیم که نوری پیوسته و پرتوان مانند لیزر تولید کند اما پهنای نورش گسترده باشد. به نظر شما نوری با این ویژگی‌ها هم می‌تواند کاربردهای جالب توجهی داشته باشد و اینکه اصلا دستیابی به چنین نوری چگونه ممکن است؟ در این بخش قصد داریم به بررسی یکی از کاربردهای جالب این نور که آن را ابرپیوسته می‌نامند، بپردازیم. پس با ما تا پایان این مقاله همراه باشید. در اپتیک، وقتی که مجموعه‌ای از فرآیندهای غیرخطی به طور همزمان بر روی باریکه ورودی اثر کند، پهن‌شدگی طیفی نهایی آن را تبدیل به یک موج ابر پیوسته (Supercontinuum) می‌کند. در چنین فرآیندهایی، نور همدوس یک پالس قوی لیزر به نوری با پهنای باند وسیع (یعنی همدوسی زمانی کم) و یک طیف پیوسته فوق گسترده تبدیل می‌شود. در واقع، در حالی که همدوسی مکانی نور همچنان بالا باقی می‌ماند، همدوسی زمانیش کاهش می‌یابد.

این انبساط طیفی اغلب با انتشار پالس‌های نور از طریق یک دستگاه غیر خطی صورت می‌گیرد. برای مثال، ممکن است بتوان یک پالس فوق کوتاه شدید (تقویت شده) را از طریق یک تکه شیشه حجیم ارسال کرد.

اما برای پالس‌هایی با انرژی پالس بسیار پایین‌تر می‌توان از فیبر نوری که دارای ساختار موجبری است، بهره گرفت. در این صورت امکان انتشار در مسیری طولانی با مساحت مد موثر کوچک نیز توسط فیبر فراهم می‌شود. فیبرهای کریستال فوتونیکی، اغلب به دلیل ویژگی‌های پراکندگی رنگی غیرمعمولشان بسیار مورد توجه قرار می‌گیرند. زیرا آنها می‌توانند امکان یک برهمکنش غیرخطی قوی را در طول قابل توجهی از فیبر میسر کنند. به این ترتیب، حتی با توان‌های ورودی متوسط، می‌توان به طیف‌های بسیار گسترده‌ای دست یافت. این امر منجر به ظهور پدیده‌ای به نام "رنگین کمان لیزری" می‌شود.

طی دهه گذشته، توسعه چشمه‌های ابرپیوسته در قالب یک زمینه تحقیقاتی گسترده مورد توجه قرار گرفته است. این امر در نتیجه پیشرفت فناوری‌های نوینی رخ داده است که امکان کنترل و دسترسی تولید موج‌های ابرپیوسته را فراهم می‌کنند.



امروزه این چشمه‌های نوین نوری در حوزه‌های تصویربرداری پزشکی (مقطع‌نگاری همدوسی اپتیکی optical coherence tomography) ((OCT)، اندازه‌گیری فرکانس (Frequency metrology)، تصویربرداری طول عمر فلورسانس، ارتباطات نوری، حسگر گازی و ... کاربردهای گسترده‌ای یافته است.

چشمه‌های تولیدکننده یک موج ابرپیوسته برای محققانی که در زمینه تصویربرداری (OCT) فعالیت می‌کنند، از اهمیت بسزایی برخوردار است. چرا که این چشمه‌ها می‌توانند با ایجاد پهنای باند وسیع، حساسیت و قدرت تفکیک تصویربرداری‌های بافتی را به طور چشمگیری افزایش دهند.

محققان در سامانه‌های تجاری ابرپیوسته که با فیبر نوری کار می‌کنند، برای تولید پهنای باند وسیع از منبع تغذیه‌های توان بالا و برای تنظیم طیف در گستره موردنظر از فیلترهای نوری استفاده می‌کنند.

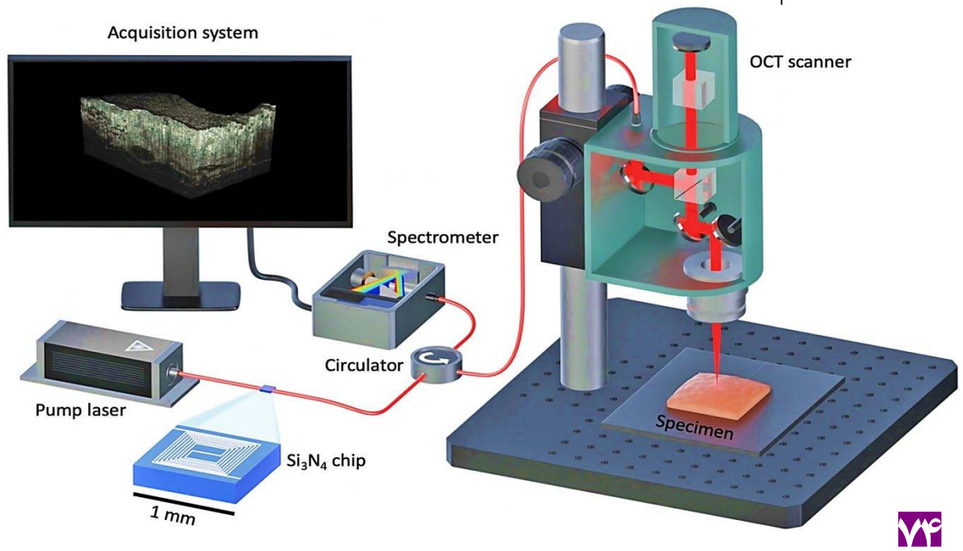
درگزارشی که به تازگی در نشریه Science Advances منتشر شده است، یک تیم تحقیقاتی متشکل از مهندسان الکترونیک، زیست‌پزشکی و فیزیک کاربردی در دانشگاه کلمبیا، پلتفرم ابرپیوسته‌ای را معرفی کرده‌اند که بر مبنای تراشه‌ای از جنس نیتریدسیلیکان و به ابعاد ۱ میلی‌مترمربع ساخته شده است و در تصویربرداری‌های (OCT) به خوبی عمل می‌کند. این محققان موفق شدند به صورت موثر و مستقیم یک موج ابرپیوسته را در طول موج ۱۳۰۰ نانومتر تولید کنند و از آن در چیدمان تصویربرداری از بافت‌های بیولوژیکی بهره ببرند. آنها با انجام آزمایش‌های متعدد، قابلیت بالای عملکرد این سامانه را مورد بررسی قرار دادند.

این تراشه نوین می‌تواند امکان ساخت OCT قابل حمل را در حین بررسی‌های تصویربرداری تسهیل کند. پیش از بررسی نتایج این تحقیق، می‌خواهیم شما را با اصطلاحات و مبانی این پژوهش آشنا کنیم.

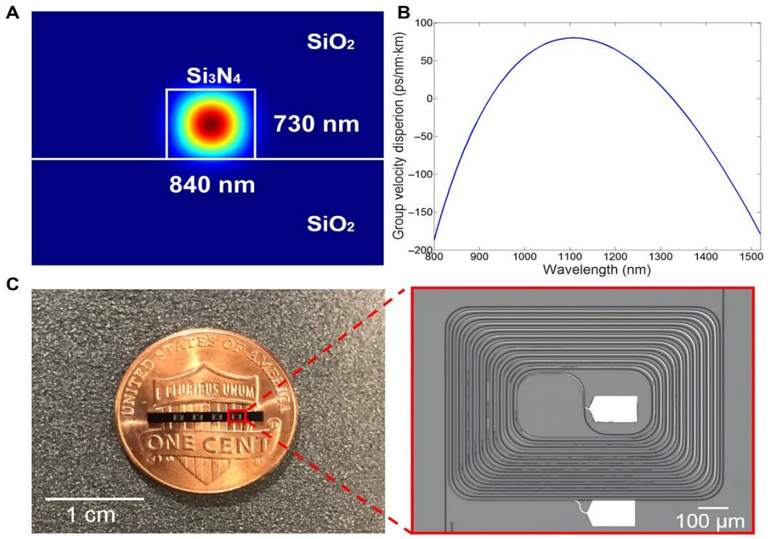
در ابتدا قدری به فناوری مقطع‌نگاری همدوسی اپتیکی می‌پردازیم. در واقع این فناوری یک روش تصویربرداری نوری سه بعدی بدون نیاز به برچسب‌گذاری و با وضوح بسیار بالاست. پلتفرم تصویربرداری OCT، یک استاندارد شناخته شده در مراقبت‌های پزشکی از جمله چشم‌پزشکی، پوست، گوارش و تصویربرداری سرطان سینه است.

تصویر بالا نمونه‌ای از دستگاه‌های OCT ساخته شده توسط شرکت Zeiss را نشان می‌دهد که امروزه به صورت موثر در کلینیک‌های بینایی برای تصویربرداری پریمتری و فوندوس (Fundus) مورد استفاده قرار می‌گیرد. با بهره‌گیری از این دستگاه، گستره وسیعی از پاتولوژی‌ها قابل انجام است. جالب است بدانید که اولین نسخه تجاری دستگاه‌های OCT این شرکت در سال ۱۹۹۶ روانه بازار شد و امروزه بیش از نیمی از سامانه‌های OCT مورد استفاده در بخش‌های پاتولوژیکی و مراقبت از بینایی در سرتاسر دنیا ساخت این شرکت است.

در حالی که چشمه‌های نوری ابرپیوسته به کار رفته در OCT پهنای باند وسیعی را ارائه می‌دهند، برای دستیابی به پهنای باند گسترده‌تر و عملکرد قوی نسبت به محدوده حساسیت مورد نیاز، استفاده از منابعی با توان بسیار بالا امری اجتناب‌ناپذیر است. چشمه‌های تولیدکننده نور ابرپیوسته تجاری اغلب بسیار حجیم هستند و بازده تولید پایینی دارند. برای غلبه بر این محدودیت‌ها، گروه تحقیقاتی مذکور، چشمه نوری ابرپیوسته‌ای را برای سامانه‌های OCT پیشنهاد کرده است که در ساخت آن از تراشه فوتونیکی متشکل از نیترید سیلیکان فشرده (Si_3N_4) استفاده شده است. نیترید سیلیکان با ضریب شکست بالا (یعنی مولفه غیرخطی بالا)، گستره شفافیت وسیع و قابلیت تولید در مقیاس صنعتی، بسیار جالب توجه است. در نتیجه مولفه غیرخطی نیترید سیلیکان به دلیل محدودیت نوری بالا و خاصیت غیرخطی ذاتی حدود ۱۰۰ برابر بزرگتر از مولفه‌های غیرخطی فیبرهای نوری است که در سامانه‌های ابرپیوسته تجاری مورد استفاده قرار می‌گیرند. مساحت موجبرهای ساخته شده در این پژوهش $1\ mm^2$ است. از سوی دیگر با توجه به ویژگی‌های طیف خروجی برای تصویربرداری، دیگر نیازی به بهره‌گیری از فیلتر نوری برای دستیابی به طیف مورد نظر نیست. این گروه تحقیقاتی، تراشه نیترید سیلیکان را با فیبر جفت شده با سامانه OCT با طول موجی به مرکزیت ۱۳۰۰ نانومتر تجمیع کردند. Ji و همکارانش، نور خروجی تراشه نیترید سیلیکان را به صورت مستقیم از طریق یک انتشاردهنده(circulator) به تداخل‌سنج OCT فرستادند و عملکرد سامانه OCT-نیترید سیلیکان را مورد ارزیابی قرار دادند و موفق به ثبت حساسیت ۱۰۵ دسی‌بل در توان ۳۰۰ میکروواط شدند. برای درک بهتر از دستاورد حاصل، لازم است بدانید که نمونه‌های تجاری کنونی با توان ۴ میلی وات، حساسیتی در حدود ۹۵ دسی بل را از خود نشان می‌دهند! دانشمندان می‌توانند با استفاده از موجبرهای یکپارچه متشکل از بسترهای مواد مختلف، طیف‌های ابرپیوسته تولید کنند. اما نیترید سیلیکان به خاطر برخورداری از مزایای یک نیم‌رسانا-اکسید-فلز مکمل (CMOS) یعنی



شکل زیر، طرحواره‌ای از سامانه OCT مجتمع با تراشه فوتونیک نیترید سیلیکان را نشان می‌دهد که با فیبر نوری جفت شده است.



سازگاری فرآیند، قابلیت تولید در مقیاس صنعتی با هزینه اندک بسیار جذاب است. همچنین این ماده با ویژگی‌هایی همچون اتلاف بسیار پایین، اختلاف ضریب شکست بالا بین موجبر و روکش، گستره شفافیت بالا که می‌تواندگستره طول موجی تصویربرداری OCT را برای کاربردهای مختلف پوشش دهد، توجه دانشمندان را به خود جلب کرده است. در واقع، تمام این ویژگی‌ها نیترید سیلیکان را به انتخاب بسیار مناسبی برای کاربرد در تصویربرداری‌های OCT تبدیل کرده است.

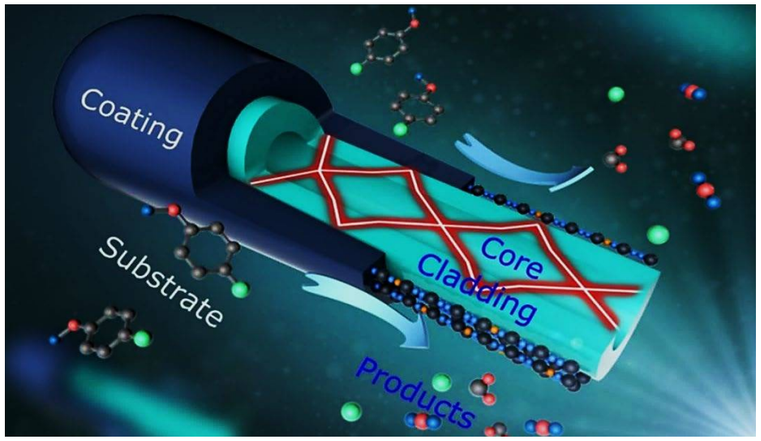
در این تحقیق، Ji و همکارانش همچنین به طور تجربی نشان دادند که چگونه دستگاه فوتونیکی نیترید سیلیکان، پلتفرم یکپارچه امیدوارکننده‌ای را برای تصویربرداری OCT تشکیل می‌دهد و این پیشرفت نویدبخش توسعه پلتفرم‌های فوتونی اضافی یکپارچه برای تصویربرداری‌های زیست پزشکی در آینده‌ای نزدیک خواهد بود. حساسیتی که در این چیدمان اندازه‌گیری شد، بسیار به پیش‌بینی‌های تئوری محدوده نوفه ضربه‌ای (Shot noise) نزدیک بود.

با استفاده از سامانه OCT-تراشه نیترید سیلیکان، Ji و همکارانش موفق شدند بافت‌های بیولوژیکی متفاوت را از بافت پستان انسان سالم تشخیص دهند. برای انجام این کار، محققان این گروه از بافت بیماران هنگامی که تحت عمل جراحی ماستکتومی قرار داشتند، نمونه‌برداری کردند. سپس نمونه‌هارا درون فرمالین تثبیت کرده و ۲۴ ساعت پس از جراحی، از آنها به صورت خارج بافتی (Ex vivo) تصویر گرفتند. اسکن حجمی سه‌بعدی بافت سالم پستان، ویژگی‌های ساختاری میکروسکوپی مهمی از جمله مجاری شیر، لوبول‌ها، چربی و بافت همبند را نشان داد. محققان با حذف پس‌زمینه و جبران پراکندگی‌های دیجیتالی، تصاویر OCT را از داده‌های خام پردازش کردند. طول موج مرکزی ۱۳۰۰ نانومتر برای تصویربرداری از نمونه‌های بافتی همانند بافت سینه انسان، بافت‌های قلبی-عروقی و تحقیقات بر روی پوست که به عمق نفوذ عمیق‌تری نیاز دارند، مناسب است. این تیم با مهندسی پراکندگی توانستند محدوده طیفی دیگری را در مقیاس ۱ میکرومتر یا ۸۰۰ نانومتر تولید کنند. آنها منبع نور ابرپیوسته مینیاتوری توسعه یافته در این کار را با یک لیزر پمپ فمتوثانیه خارج از تراشه به کار گرفتند.

با این وجود همچنان تلاش برای کوچک‌سازی و بسته‌بندی اجزای تشکیل‌دهنده یک OCT به کمک فوتونیک سیلیکانی در کنار توسعه کاوشگرهای تصویربرداری ادامه دارد که می‌تواند روند دستیابی به یک سامانه OCT کارآمد، کم هزینه و کوچک را تسهیل کند. علاقمندان به این رویکرد جالب علمی، می‌توانند جزئیات آن را در مرجع زیر مطالعه نمایند.

X. Ji, D. Mojahed, Y. Okawachi, A. L. Gaeta, C. P. Hendon, M. Lipson, Millimeter-scale chip-based supercontinuum generation for optical coherence tomography. *Sci. Adv.* 7, eabg8869 (2021)

فوتوکاتالیست‌های نوین از جنس فیبر نوری



ارتقای عملکرد فیبرهای نوری با بهره‌گیری از مواد دیگر و به کارگیری آنها به همراه دیگر ادوات نوری با هدف خلق ایده‌های نوین و کاربردهای موثر از جمله دغدغه‌های محققان فعال در این حوزه تحقیقاتی است.

جالب است بدانید علاوه بر تمام کارکردهایی که در این نشریه معرفی شده‌اند، این سازه دست انسان هوشمند، امروزه برای ساخت نسل جدیدی از راکتورهای فوتوکاتالیستی مورد استفاده قرار می‌گیرد که عملکرد موثری در بهبود بازده کوانتومی در حین تخریب آلاینده‌های مختلف دارد. در مقاله پیش رو، محققان با اتصال یک منبع نوری مانند LED با فیبرهای نوری که توسط دی‌اکسید تیتانیوم پوشش داده شده‌اند، موفق شدند از این چیدمان نوری به بهترین شکل بهره گرفته و برهم کنش بین دو شکل انرژی نوری یعنی نور پراکنده شده و موج‌های میرا را به صورت کمی اندازه‌گیری کنند.

اگر قدری با مبحث کاتالیست‌های نوری آشنا باشید، حتما می‌دانید که فوتوکاتالیست‌های ناهمگن از قابلیت بالایی برای رفع مشکلات زیست محیطی و کاهش بحران انرژی برخوردارند. این مواد کاربردهای گسترده‌ای در تخریب آلاینده‌ها، غیرفعالسازی باکتری‌ها و ویروس‌ها، تجزیه آب با هدف تولید انرژی، تغییرشکل ساختارهای آلی و غیره دارند. روند کار بدین ترتیب است که به محض جذب نور، فوتوکاتالیست شروع به تولید جفت‌های الکترون حفره می‌کند که در نتیجه آن واکنش‌های کاهشی با مولکول‌های جذب شده بر روی سطوح فوتوکاتالیستی صورت می‌گیرد. با این حال، پیکربندی راکتورهای کنونی عملکرد فرآیندهای فوتوکاتالیستی را با چالش مواجه می‌کند، زیرا هم راکتورهای بستر ثابت و هم راکتورهای محلولی، نور را پراکنده و مسدود می‌کنند که به این ترتیب بازده انرژی کل سامانه کاهش می‌یابد.

اما ارسال نور از LEDهای کم هزینه و کم مصرف به داخل فیبرهای نوری که سطح آن با فوتوکاتالیست پوشانده شده است، ایده نوینی برای طراحی راکتورهای فوتوکاتالیستی است. چنین طراحی‌هایی باعث افزایش بازده کوانتومی فرآیندهای فوتوکاتالیستی می‌شود. با انتشار نور در راستای فیبرهای نوری پوشانده شده توسط یک فوتوکاتالیست (که ازین پس به اختصار آن را P-OFs) می‌نامیم)، کسری از نور هنگام گذر از فیبرهای نوری با ضریب شکست پایین‌تر به لایه‌های فوتوکاتالیستی بر روی سطح آن که ضریب شکست بالاتری دارند، شکسته می‌شود.

در این حالت گونه‌هایی از اکسیژن واکنشی موسوم به ROS تولید می‌شود که آلاینده‌ها را در فصل مشترک بین فوتوکاتالیست و آب دربردارنده آلاینده‌ها کاهش می‌دهد. در چنین پیکربندی جالبی، اتلاف نور (به واسطه پراکندگی و مسدود شدن) به کمترین مقدار خودش رسیده و بازده تخریب آلاینده‌ها در مقایسه با راکتورهای دوغابی با مقادیر یکسان جرم فوتوکاتالیست، دست کم دو برابر می‌شود.

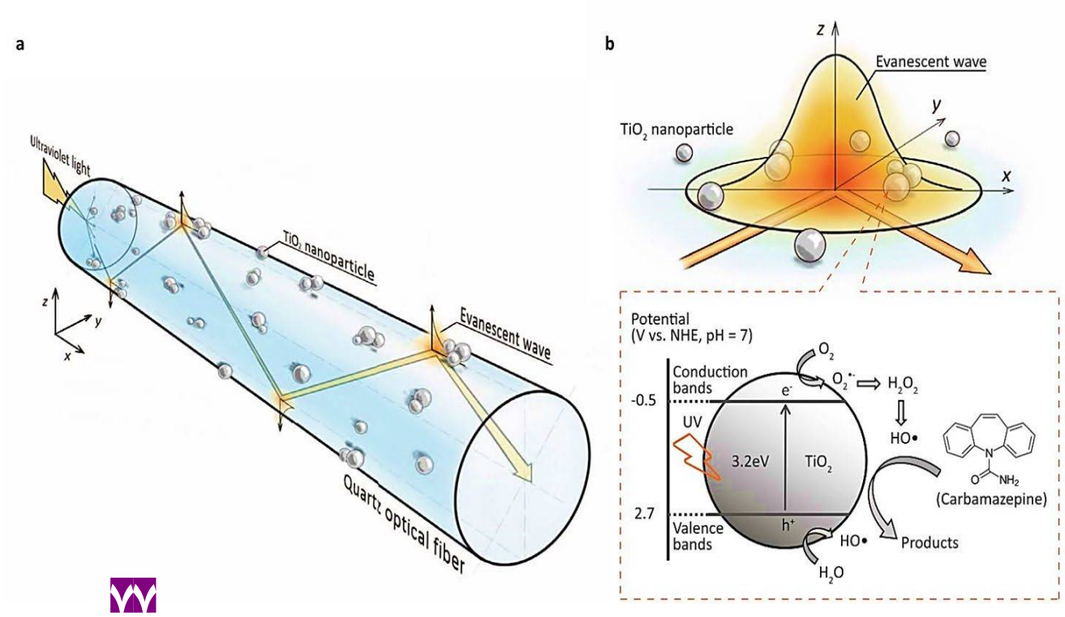
اما تحقیقات نشان داده است که در P-OFهایی که ضخامت لایه‌های فوتوکاتالیستی نهشته شده بر روی فیبر نوری زیاد و متراکم بوده، بیشتر نوری که به P-OF می‌رسد، به خارج از فیبر نزدیک بخش‌های ابتدایی لایه پراکنده می‌شود. در چنین شرایطی بیشتر نور پراکنده می‌شود و بدون آن که فوتوکاتالیست را فعال کند، از P-OFs خارج شده و انرژی آن درون آب به هدر می‌رود.

از این رو، برای بیشینه کردن جذب نور شکسته شده با لایه‌نشانی مقادیر بیشتر فوتوکاتالیست، اگرچه بهره‌وری نور افزایش می‌یابد، اما لایه‌های ضخیم‌تر و متراکم‌تر، انتقال ماده آلاینده از آب به محل‌های تولیدکننده گونه‌های اکسیژن کاهشی را محدود خواهد کرد. در نتیجه بازده کوانتومی حاصل افزایش نمی‌یابد.

در طراحی راکتورهای کارآمد که بتواند به صورت موثر از ظرفیت LEDها بهره برد، لازم است P-OFهایی طراحی شود که بدون آسیب به عملکرد فوتوکاتالیست، بتوانند به میزان هر چه بیشتر از نور بهره گیرند.

تاکنون، تحقیقات بر روی P-OFها به مدیریت نور شکسته شده متمرکز شده بود. هر چند که انرژی نور هنگام انتشار به دو صورت نور شکسته شده و امواج میرا منتقل می‌شود.

از این رو، محققان چینی در پژوهش اخیر خود که در نشریه Nature Communication به چاپ رسیده است، نشان دادند که بیشینه کردن انرژی موج میرایی که در اثر بازتاب کلی تولید می‌شود، می‌تواند به مراتب بهتر از انرژی نور شکسته شده سطح فوتوکاتالیست را فعال کند.



(a) شکل زیر طرحواره‌ای از TiO_2-QOF با "لکه‌هایی" از جنس لایه‌های TiO_2 را نشان می‌دهد. مشاهده می‌کنید که نور در امتداد TiO_2-QOFها منتشر می‌شود و هنگامی که نور به سطوح فیبر بدون پوشش نانوذرات TiO_2 برخورد می‌کند، امواج میرا تولید می‌شود. در قسمت (b) فعالسازی نانوذرات TiO_2 توسط امواج میرای تولید شده و تولید رادیکال‌های هیدروکسیل (HO•) برای تجزیه کاربامازپین را مشاهده می‌کنید.

برخلاف نور شکسته شده که در راستای فیبر نوری منتشر می‌شود و انرژی خود را در آب از دست می‌دهد، امواج میرا بر روی سطوح فیبر نوری منتشر می‌شوند. حتی اگر موج میرا با فوتوکاتالیست برهم‌کنش نکند، به فیبر بازگشته و در طول آن منتشر می‌شود و می‌تواند متعاقبا با فوتوکاتالیستی که در مسیر محوری فیبر نوری قرار گرفته، وارد واکنش شود. بنابراین امواج میرا می‌توانند موثرتر از نورهای شکسته شده، با سطح فوتوکاتالیست لایه‌نشانی شده واکنش دهند.

در این پژوهش، آنها قابلیت فیبرهای نوری از جنس کوارتز را که با TiO_2 (TiO2-QOFs) پوشش داده شده بودند، مورد مطالعه قرار دادند. در واقع این فیبرها دارای "لکه‌های" سطحی قابل تنظیمی از لایه‌های TiO_2 بودند. این لکه‌ها روند تولید موج میرا را افزایش می‌دهند که موجب فعالسازی TiO_2 و تخریب یک آلاینده نسوز (کاربامازپین) می‌شود. در واقع این فرآیند توسط هیدروکسیل تولید شده از فوتوکاتالیست در محلول حجیم و منافذ موجود در لایه‌های TiO_2 صورت می‌گیرد.

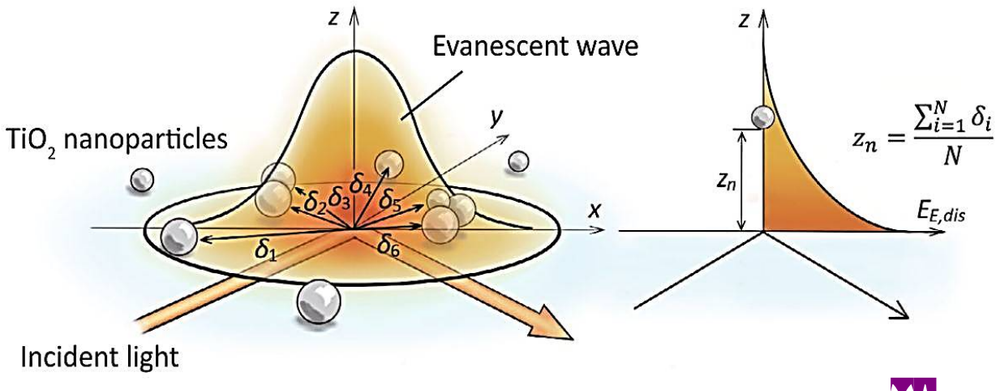
نتایج بررسی‌ها نشان داد که TiO_2-QOFهای ۶/۵ سانتی‌متری حاوی لکه‌های TiO_2 کمتر در مقایسه با TiO_2-QOFهای ۶/۵ سانتی‌متری که توسط لایه‌های ضخیم و متراکم TiO_2 پوشش داده شده بود،۳۲ درصد بازده کوانتومی بالاتری را نتیجه داد.

TiO2-QOFهای پوشش داده شده با لکه‌های TiO_2 به روش لایه‌نشانی غوطه‌وری در محلولی حاوی ٤/٨ میکروگرم بر سانتی‌متر مربع نانوذراتTiO_2 (با نسبت فازی آناتاز/روتایل ۱۵/۸۵ و اندازه ذرات ۲۱ نانومتر) آماده شدند. در واقع این پوشش به دلیل قابلیت بالای آن در انتقال نور UV به روی سطح فیبرهای نوری کوارتز، انتخاب شده است.

با این رویکرد تنها ۳/٤ درصد از سطح فیبر نوری در تماس مستقیم با TiO_2 قرار می‌گیرد و به طور متوسط ۱۱۴/۳ نانومتر بین فاصله بین سطح فیبر و لایه، فاصله ایجاد می‌شود.

این محققان در فاز تجربی آزمایش خود سه لایه با تراکم و ضخامت مختلف از دی اکسید تیتانیوم را بر روی فیبرها لایه‌نشانی کرده و عملکرد آنها را مورد مطالعه قرار دادند.

در مراحل بعدی برای مدلسازی چگونگی انتشار نور درون TiO_2-QOFها، آنها از یک مدل توازن انرژی بهره گرفتند و انتشار نور در راستای TiO_2-QOFها را با استفاده از اپتیک هندسی و با در نظر گرفتن سه مد انتشار نور شبیه‌سازی کردند. در این مدل، باریکه‌های نور از چشمه LED



شکل زیر طرحواره‌ای از نرمال‌سازی فواصل بین سطح فیبر نوری و نانوذرات TiO_2 پوشش داده شده در میدان یک موج میرا را نشان می‌دهد.

با زوایای مختلفی خارج می‌شوند و درون TiO_2-QOFها منتشر می‌شوند. بعد از ورود به درون فیبر، هر باریکه با سطح داخلی TiO_2-QOF تحت زاویه θ که بین π ۰/۳۷۶ و π ۰/۴۹۵است، برخورد می‌کند. در این مدل فرض شده است که هر تابش نور به صورت پیوسته با سطح داخلی فیبر برخورد می‌کند و در فصل مشترک کوارتز/آب/دی‌اکسید تیتانیوم، موج‌های میرا تولید می‌کند. سپس این امواج دی اکسید تیتانیوم را فعال کرده و/یا دوباره به فیبر برمی‌گردد. البته در حالت دیگری فرض شد که TiO_2های متصل از طریق شکست نور در فصل مشترک کوارتز/دی اکسید تیتانیوم فعال شده و بخش کوچکی از نور به طور مجدد به سمت فیبر بازتاب شود.

بر اساس این فرضیه‌ها، اتلاف انرژی تابشی امواج میرا و همچنین نورهای شکسته شده محاسبه گردید که جزئیات آن را می‌توانید در مقاله مذکور مطالعه کنید.

بر اساس اطلاعات مندرج در این مقاله از بین هر ۱۰۰ مقاله‌ای که در زمینه فوتوکاتالیست‌ها منتشر می‌شود، تنها یک مقاله به بررسی موانع موجود در عملکرد موثر راکتورهای فوتوکاتالیستی یعنی مدیریت نور و انرژی می‌پردازد. این در حالی است که اغلب پژوهش‌ها به توسعه و بهبود مواد فوتوکاتالیستی می‌پردازند. از این رو، آنها در این مقاله، به جای بررسی خواص مواد به تنهایی، به جنبه مهم دیگری می‌پردازند که اغلب نادیده گرفته شده است. یعنی تاثیر طراحی راکتور فوتوکاتالیستی را در بهره‌وری از فرآیندهای فوتوکاتالیستی مورد مطالعه قرار داده‌اند.

آنها نشان دادند که چگونه با مدیریت راه رسیدن نور به کاتالیزور، بازده کوانتومی به طور موثری عملکرد مواد کاتالیستی را افزایش می‌دهد. به این ترتیب، علاوه بر در نظر گرفتن شکست نور در راکتور فیبر نوری، آنها فعالسازی فوتوکاتالیست از طریق انرژی موج میرا را نیز مورد بررسی قرار دادند.

در واقع این اولین باری بود که اهمیت هر دو ساز و کار مورد مطالعه قرار می‌گرفت و با رویکردی که این گروه تحقیقاتی در پیش گرفته بود (یعنی پوشاندن ۳/۴ درصد از سطح فیبر با دی‌اکسید تیتانیوم،)، شکست نور کاهش یافت و امواج میرا نه تنها در فصل مشترک TiO_2-QOF ایجاد شد، بلکه حتی انرژی اتلاف شده آن نیز در راستای فیبر منتشر شده و موجب فعالسازی کاتالیست و جلوگیری از اشباع بیش از حد نور ارسالی به فیبر نیز شد. طراحی این راکتور همچنین منجر به کاهش ۷۷ درصدی جرم فوتوکاتالیست مصرفی و افزایش ۹۶ درصدی بازده کوانتومی فرآیند فوتوکاتالیستی شد.

امیدواریم با مطالعه این مقاله ایده‌های جالب و نوینی در ذهن شما تداعی شود. به این ترتیب، شما نیز می‌توانید با ارائه رویکردهایی متفاوت و خلاقانه دستاوردهای نوینی را عرضه کرده و راهگشای بخشی از چالش‌های موجود در زندگی بشر امروزی باشید.