ماهنامه فناوری فوتونیک و مواد پیشرفته

سال دوم. شماره ۱۵. دی ۱۴۰۰

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

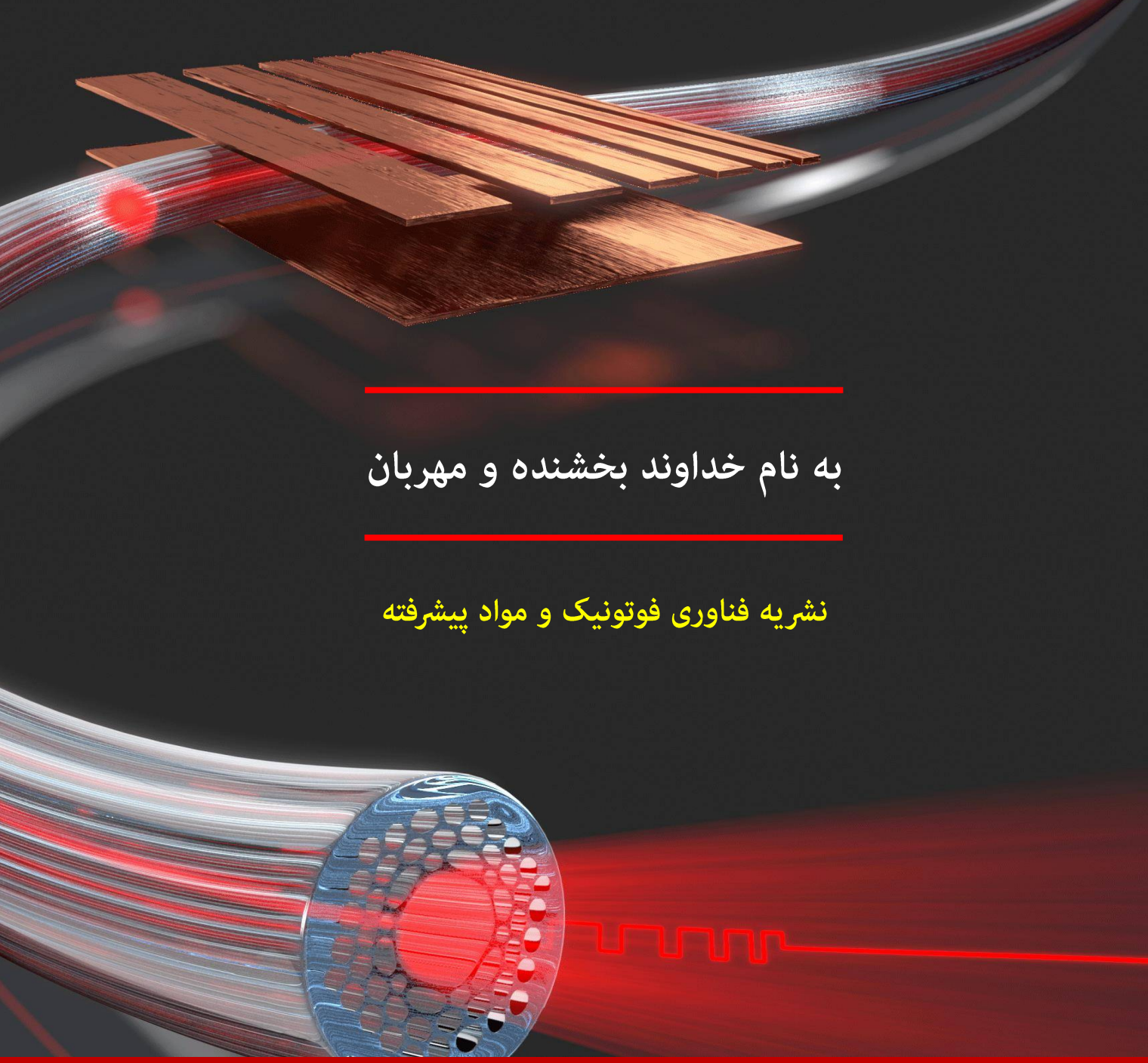
ساخت حسگر pH مبتنی بر تلفن‌همراه در دانشگاه بهشتی

تصویربرداری فراطیفی و کاربرد آن در تحلیل ریزپلاستیک‌ها

ساخت سیستم ماشین‌کاری دقیق با حمایت ستاد

دوربینی به اندازه یک دانه نمک

Z
X



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
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

همواره یکی از چالش‌های توسعه فناوری، دستیابی به دقت بالاتر در اندازه‌گیری کمیت‌های فیزیکی بوده است. برای ساخت ابزارهای مورد استفاده بشر ابتدا لازم است که شناخت کاملی از مواد و ساختارهای مورد استفاده حاصل شود و همچنین این مواد و ساختارها با دقت زیادی در کنار هم قرار گیرند تا ابزار مورد نظر ساخته شود. طبیعتا هرچه دقت ساخت بالاتر باشد، کیفیت محصول نهایی بیشتر خواهد بود. در واقع منظور از دقت ساخت، توانایی اندازه‌گیری هرچه دقیق‌تر پارامترهای فیزیکی دخیل در فرآیند ساخت و تولید است. به همین منظور با پیشرفت فناوری، به مرور حوزه‌ای به نام مهندسی کنترل و ابزار دقیق در صنایع مختلف شکل گرفت که وظیفه کنترل فرآیند ساخت و تولید را برعهده داشت. به زبان ساده ابزار دقیق عبارت است از سامانه‌ای متشکل از حسگرهای مختلف که بتواند با دقت زیاد پارامترهای فیزیکی یک فرآیند را اندازه‌گیری نماید. واضح است که وقتی صحبت از حسگر به میان می‌آید علوم الکترونیک مورد استفاده قرار می‌گیرد. در گذشته حسگرهای دقیق مبتنی بر مدارهای الکترونیکی بودند، اما امروزه با پیشرفت فناوری و نیاز به سنجش دقیق‌تر، حسگرهای فوتونیکی به مرور جایگزین حسگرهای الکترونیکی می‌شوند تا پارامترهای فیزیکی یک فرآیند را با دقت بسیار بالاتری اندازه‌گیری نمایند. با توجه به کاربرد حوزه ابزار دقیق در تمام صنایع اگرچه نمی‌توان حجم بازار مالی این حوزه را تخمین زد، اما متناظر با کاربرد گسترده ابزار دقیق در تمام حوزه‌های نیازمند به سنجش، حجم بازار مالی بسیار بزرگی را می‌توان برای این حوزه متصور شد. 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 ابزار دقیق بردارد و ضمن معرفی جدیدترین ابزارها و محصولات فوتونیکی این حوزه، فناوری‌های پیشرفته مورد استفاده برای ارتقاء دقت سنجش، روش‌های افزایش دقت حسگرهای مورد استفاده و همچنین محصولات و مشتقات این صنایع از جمله انواع طیف سنج‌های دقیق، نانولیزرها، سطح سنج و سامانه‌های ماشین‌کاری دقیق جهت تولید ابزار با کیفیت را بررسی نماید و سایر زیرساخت‌ها و امکانات موجود در داخل کشور را با هدف ارتقا کیفیت محصولات 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 ابزار دقیق دست‌یابیم و سهم قابل توجهی از بازار گسترده جهانی این محصولات را به دست آوریم.

فهرست مطالب

اخبار فناوری

اخبار فناوری داخلی----------۱۰
ساخت دستگاه روبش خودکار لام پاتولوژی در ایران
ساخت حسگر pH مبتنی بر تلفن همراه در دانشگاه شهید بهشتی
سطح‌سنج لیزری ایران ساخت با دقت اندازه‌گیری ۱ میکرومتر
اخبار فناوری خارجی----------۱۳
افزایش بهره‌وری در صنعت نیم‌رسانا با ساخت سامانه بازرسی سریع پرتوالکترونی
اولین اسیلوسکوپ نوری جهان، در آستانه ساخت
اخبار علمی----------۱۷
ردیابی قطبش موج ناپایدار در طیف‌سنجی بخار اتمی
توسعه ژیروسکوپ مبتنی بر اسپین هسته اتم نیتروژن در ساختار الماس
تازه‌ها----------۱۹
سوئیچ نانولیزرهای پلاسمونیکی با اعمال میدان مغناطیسی
تولید ایزوتوپی ناپایدار از منیزیم برای کشف اسرار اتمی

دورنما

تصویربرداری فراطیفی و کاربرد آن در تحلیل ریزپلاستیک‌ها----------۲۴
تفاوت‌های کلیدی تصویربرداری فراطیفی با طیف‌سنجی FTIR
بازار تصویربرداری فراطیفی

آموزش کاربردی

نسل جدید ابزارهای سنجش دقیق بر مبنای تداخل‌سنجی----------۳۴
مفهوم فیزیکی تداخل
حسگرهای اندازه‌گیری تداخلی

گفتگو

گفتگوی اختصاصی با دکتر آتوسا سادات عربانیان مدیر شرکت نور آبی لیزر----------۴۲
ساخت سیستم ماشین‌کاری دقیق با حمایت ستاد فوتونیک

از علم تا ثروت

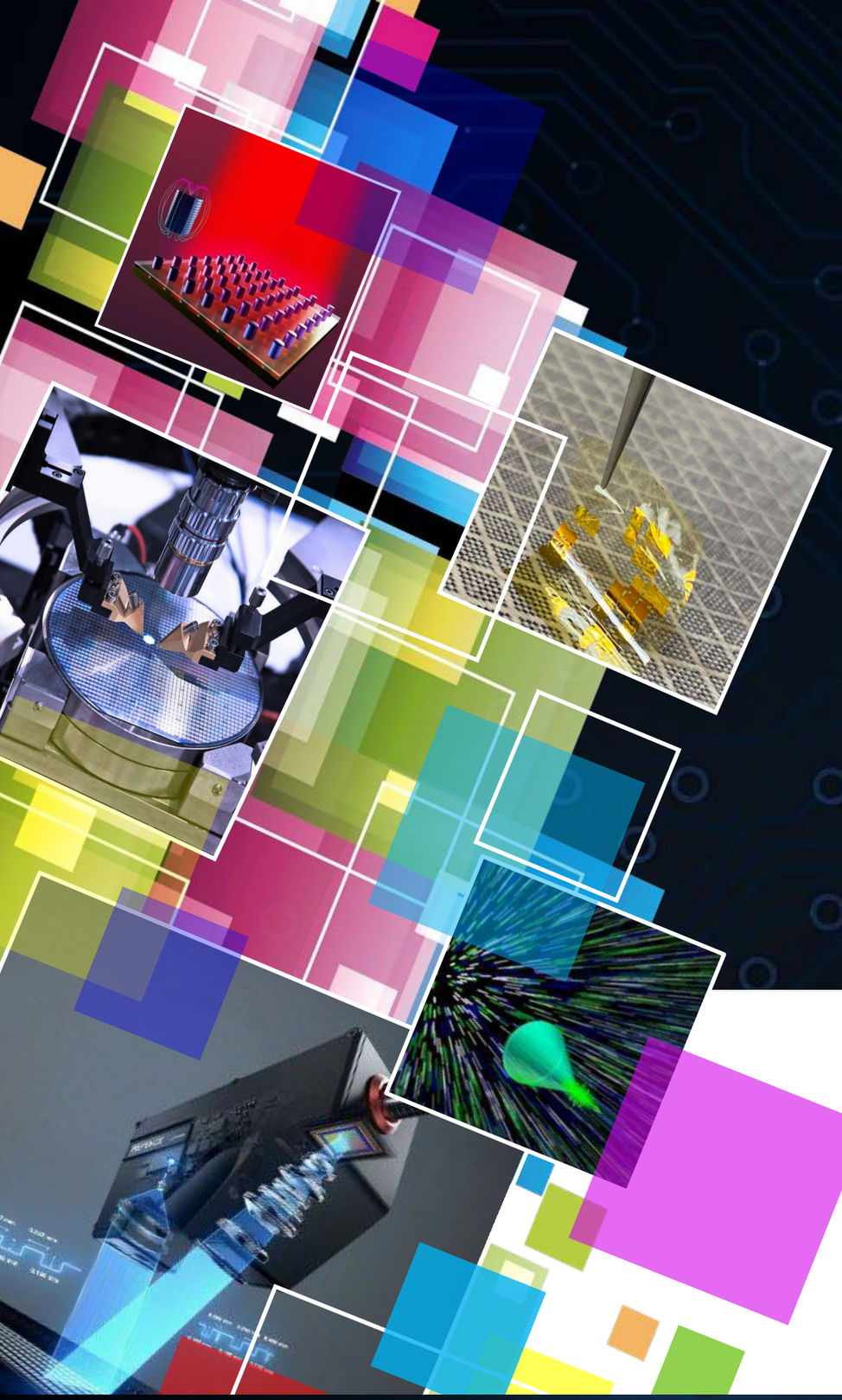
کلید پیشرفت صنایع در دستان فناوری سنجش و ابزار دقیق نوری!----------۴۸
معرفی شرکت دانش‌بنیان طیف‌پردازان سپهر تولیدکننده تجهیزات اندازه‌گیری دقیق لیزری
ضخامت سنج لیزری
آشکارساز شعله و فلزات داغ

نوآورانه

روش‌های نوین سنجش بینایی و بینایی سنجی دیجیتال ----------۵۸
اندازه‌گیری فشار و کشش
تعیین شماره عینک
افتالموسکوپ

دروازه‌های علم

دوربینی به اندازه یک دانه نمک ----------۶۶
تصویربرداری محاسباتی برای حذف و تصحیح ابیراهی‌ها توسط نرم‌افزارهای پس پردازش
مغناطیس‌سنجی دقیق با نور فشرده ----------۷۰
آیا نور فشرده می‌تواند حساسیت مغناطیس‌سنج را ارتقا دهد یا خیر؟



اخبار فناوری

تازه‌ها

اخبار داخلی

اخبار خارجی

اخبار علمی

سطح سنج لیزری ایران ساخت با دقت میکرومتری

اولین اسپلوسکوپ نوری جهان، در آستانه ساخت

ژیروسکوپ مبتنی بر اسپین هسته اتم نیتروژن در ساختار الماس

سونیچ نانولیزرهای پلاسمونیک با اعمال میدان مغناطیسی

اخبار داخلی

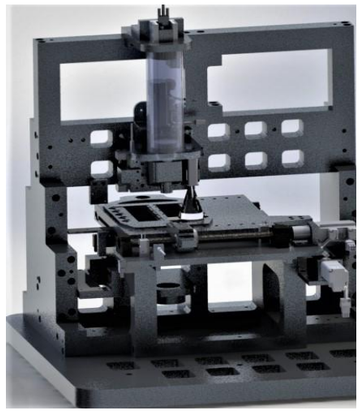
به قلم علی کاظم پور
kazempoorali.a@gmail.com

ساخت دستگاه روبش خودکار لام پاتولوژی در ایران

با توجه به مزایای پرشمار فناوری پزشکی از راه دور، امروزه استفاده از این فناوری به یک ضرورت در حوزه سلامت تبدیل شده است. در همین راستا طرح ملی «سامانه یکپارچه پویشگر هوشمند دوبعدی و سه‌بعدی پاتولوژی مبتنی بر فناوری ابری»، با حمایت ستاد فوتونیک و مواد پیشرفته در شرکت تحقیقات و فناوری «ویرا ابن‌سینا» اجرا و به بهره‌داری رسیده است.

فناوری ابری، نوعی از برون‌سپاری برنامه‌هایی است که از طریق رایانه انجام می‌شوند. از طریق این فناوری کاربران می‌توانند از هر مکان و در هر زمان به اطلاعات ذخیره شده دسترسی داشته باشند.

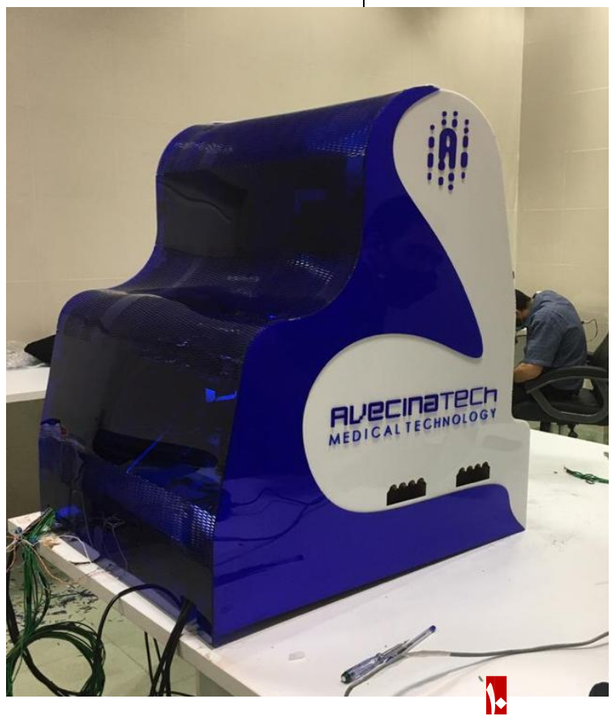
سامانه ساخته شده توسط فناوران کشورمان، شامل دستگاه خودکار آماده‌سازی نمونه‌های پاتولوژی و قرار دادن آن‌ها روی لام و همچنین پویش لام‌ها توسط پویشگر دیجیتال است.



این سامانه، ذخیره‌سازی و ارسال تصاویر را در بستر فناوری ابری به طور خودکار انجام می‌دهد. سامانه هوشمند نرم‌افزاری جهت بهبود تصاویر، سامانه توصیه‌گر پزشکی مبتنی بر هوش مصنوعی و الگوریتم‌های یادگیری ماشینی نیز از دیگر ویژگی‌های این دستگاه است.

در روند سنتی، هنگامی که بیمار به پاتولوژیست ارجاع داده می‌شود، دنباله‌ای از اقدامات شامل نمونه‌برداری از بیمار و استخراج بافت، آماده‌سازی نمونه و در نهایت بررسی نمونه توسط پاتولوژیست با استفاده از میکروسکوپ سنتی صورت می‌گیرد. از آنجا که تحویل سالم نمونه از اهمیت شایانی در صحت تشخیص برخوردار است، بسته‌بندی و انتقال آن بسیار هزینه‌بر خواهد بود. ضمن اینکه کل این فرایند ممکن است چند روز طول بکشد.

پویشگر دیجیتالی لام پاتولوژی، بسیاری از مشکلات اشاره شده و خطاهای انسانی در تشخیص را برطرف می‌نماید. راه‌اندازی چنین سامانه‌هایی موجب توسعه عدالت درمانی در کشور شده و مراجعات بیماران به مراکز استان‌ها و تهران را به شدت کاهش می‌دهد. همچنین آرشیوی یکپارچه با قابلیت تشکیل پرونده سلامت و پیگیری روند درمان بیماران، به کمک مرکز ذخیره‌سازی داده این دستگاه ممکن خواهد بود.

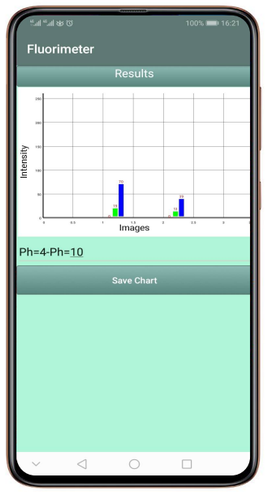


ساخت حسگر pH مبتنی بر تلفن همراه در دانشگاه شهید بهشتی

اندازه‌گیری میزان اسیدی بودن مایعات در بسیاری از صنایع همانند صنایع غذایی، دارویی، صنایع کشاورزی و دامپروری، تصفیه‌خانه‌ها، آزمایشگاه‌های صنعتی و پزشکی حائز اهمیت است. از این رو، روش‌های زیادی برای اندازه‌گیری pH محلول‌ها وجود دارد، اما این روش‌ها محدودیت‌های زیادی دارند. بنابراین، نیاز به یک حسگر pH سبک، ارزان، قابل حمل و قابل استفاده در هر زمان با دقت مناسب، بسیار مفید خواهد بود.

محققان دانشگاه شهید بهشتی، با حمایت ستاد فوتونیک و مواد پیشرفته، موفق شدند اولین حسگر pH مبتنی بر گوشی تلفن همراه در کشور را تولید کنند. حسگر ساخته‌شده، از خاصیت فلورسانس نانوذرات کربنی برای سنجش pH استفاده می‌کند. برای سنجش pH، مقداری از نمونه مورد نظر در محلول نانوذرات کربنی موجود در دستگاه ریخته شده و در آن قرار داده می‌شود. این نانوذرات کربنی هنگام روشن شدن منبع نور فرابنفش موجود در دستگاه، نور آبی رنگ از خود ساطع می‌کنند.

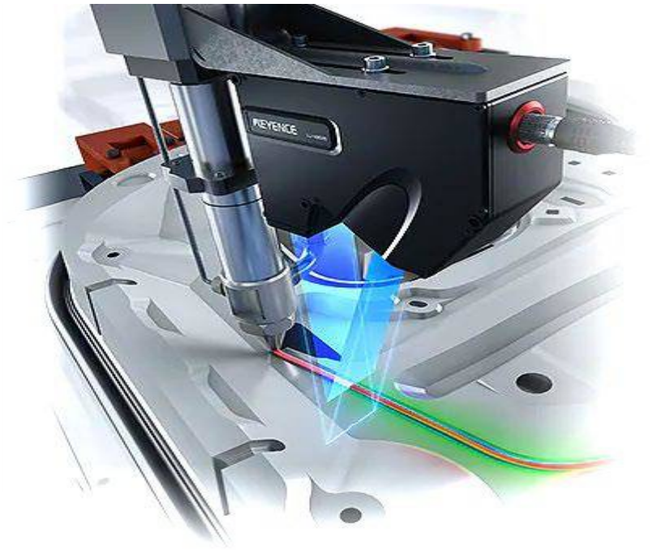
عملکرد این دستگاه بسیار آسان و سریع است. کاربر باید نرم‌افزار طراحی شده دستگاه با نام «Fluorimeter» را اجرا کرده و از نمونه‌های داخل دستگاه با دوربین گوشی هوشمند خود تصویربرداری کند. نرم‌افزار تصاویر را تحلیل کرده و شدت نور نمونه‌ها را نسبت به یکدیگر می‌سنجد. شدت نور ساطع شده از نانوذرات کربنی متناسب با میزان pH محلول خواهد بود.



دکتر حمیده احتسابی، مجری این طرح در گفت‌وگو با تحریریه اخبار ماهنامه فوتونیک و مواد پیشرفته گفت: «با در نظر گرفتن موارد ذکر شده و با توجه به این موضوع که تغییر شدت نور را می‌توان با استفاده از نرم‌افزارهایی در گوشی‌های هوشمند دنبال کرد، استفاده از نانوذرات کربنی به عنوان حسگر pH، نویدبخش توسعه دستگاهی قابل حمل، کم‌هزینه و بدون نیاز به نیروی ماهر انسانی برای آشکارسازی و اندازه‌گیری pH در نمونه‌های مختلف است که در بسیاری از صنایع کاربرد دارد».

توانایی اندازه‌گیری زبری، شکاف و یا عیوب ساختاری هر سطحی، به مهندسان مکانیک امکان ایجاد مدل‌های شبیه‌سازی دقیق را می‌دهد. توانایی تعیین تنش اصطکاکی ایجاد شده بین دو سطح، این امکان را می‌دهد که چرخه حیات یک قطعه را به طور دقیق پیش‌بینی کنیم. یکی از کاربردهای مهم سطح‌سنج لیزری، در سامانه‌های ترمزی است که برای اندازه‌گیری دقیق زبری سطح و به حداکثر رساندن ایمنی، نیاز به سنجش دقیق سطح قطعات دارد.

سطح‌سنج لیزری ایران‌ساخت با دقت اندازه‌گیری ۱ میکرومتر



به تازگی دستگاه سطح‌سنج یا رویه‌نگار لیزری، در شرکت فناوری کهربا و با حمایت‌های ستاد فوتونیک و مواد پیشرفته تولید شد. این محصول ایران‌ساخت با دقت ۱ میکرومتر، توانایی سنجش زبری سطوح مختلف را دارد و در صنایع مختلفی از جمله ساخت قطعات فلزی حساس می‌تواند مورد استفاده قرار گیرد.

دستگاه سطح‌سنج لیزری، با استفاده از فناوری لیزر مثلثی به بررسی سطوح اجسام می‌پردازد. این سامانه متشکل از منبع لیزر، ادوات اپتیکی مختلف و حسگر تصویربرداری است. نمونه مورد بررسی بر روی صفحه در یک راستا حرکت می‌کند و حسگر نیز بر روی صفحه دیگر به صورت عمود بر نمونه حرکت می‌کند. این نوع حرکت صفحه‌ها باعث افزایش دقت روبش سطح می‌شود.

تنظیم فاصله حسگر از سطح و همچنین تعداد گام‌های برداشت داده از سطح بسیار مهم است. اطلاعات گرفته شده از سطح، به کمک نرم‌افزار تحلیل می‌شوند و یک گراف از پستی و بلندی‌های سطح مورد نظر به دست می‌آید.

به گزارش ایسنا، علی صالح‌نژاد، مدیرعامل شرکت فناوری کهربا، با بیان اینکه امکان واردات سطح‌سنج لیزری از کشورهای خارجی وجود ندارد، نیاز به تولید این محصول به شدت احساس می‌شد و پس از طی مراحل مختلف تولید، این دستگاه با قیمت بسیار کمتر از نمونه‌های خارجی در دسترس قرار گرفته است.

از مزایای بسیار مهم سطح‌سنج لیزری با دقت بالا می‌توان به غیرمخرب بودن آن برای سطوح حساس اشاره کرد. روش‌های مکانیکی اغلب دقت کمی دارند و سطح نمونه را نیز مخدوش می‌کنند. یکی از چالش‌های تولید این محصول که دقت آن را محدود می‌کند، مربوط به طراحی مکانیکی دستگاه و حرکت صفحه‌ها جهت روبش توسط لیزر است. با ایجاد سامانه مکانیکی دقیق‌تر، می‌توان دقت این دستگاه را به زیر ۱ میکرومتر نیز افزایش داد.

اخبار خارجی

افزایش بهره‌وری در صنعت نیم‌رسانا با ساخت سامانه بازرسی سریع پرتوالکترونی

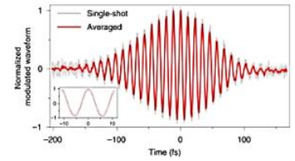
شرکت فناوری پیشرفته هیتاچی، در ۱۳ دسامبر ۲۰۲۱ از سامانه توسعه‌یافته بازرسی ناحیه پرتو الکترونی GS1000 خود رونمایی کرد. این ابزار پیشرفته جدید، بازرسی دقیق و سریع پرتو الکترونی را در سطح وسیعی انجام می‌دهد.

تقاضا برای تولید انبوه قطعات و تراشه‌های نیم‌رسانا پیشرفته به شدت در حال افزایش است که باعث پیدایش فناوری لیتوگرافی فرابنفش (EUV)، جهت ساخت و طراحی تراشه‌های میکرونی نیم‌رسانا شده است.

سامانه‌هایی که می‌توانند الگوهای کوچک و پیچیده را به طور قابل اعتماد، دقیق و به روشی قابل تکرار بررسی و اندازه‌گیری کنند، برای مدیریت خطوط تولید و افزایش بازده ضروری هستند. به ویژه، تضمین کیفیت ماسک‌های پیشرفته EUV برای کاهش تغییرات در ابعاد مدارهای الکترونیکی میکرونی و رفع عیوب تصادفی میکروسکوپی در آن‌ها از اهمیت بالایی در تولید انبوه برخوردار است.

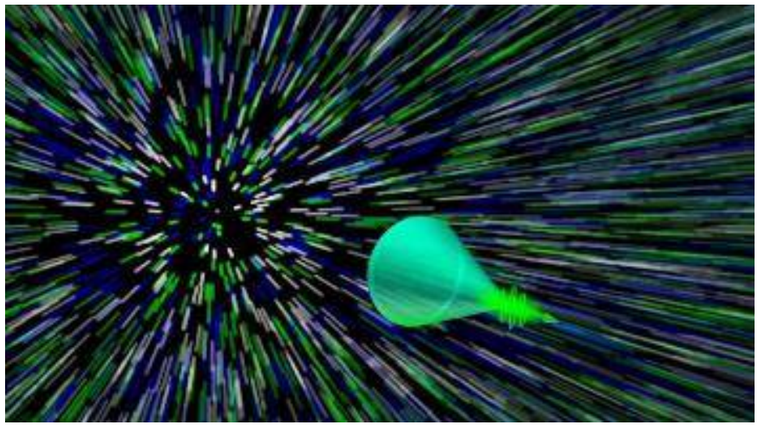
دستاورد جدید فناوران ژاپنی در شرکت هیتاچی، سامانه بازرسی سریع پرتو الکترونی است که به افزایش بهره‌وری در صنعت نیم‌رسانا نوین کمک می‌کند تا اندازه‌شناسی دقیق در ابعاد نانومتر را در یک ناحیه بازرسی گسترده، تسهیل کند. GS1000، یک سامانه پیشرفته تلفیقی نوری و الکترونی با کارایی بالا است. همچنین بخش پردازش داده این سامانه از سرعت و ظرفیت بالایی برخوردار است که چالش‌های تولید انبوه قطعات نیم‌رسانا با استفاده از لیتوگرافی EUV را برطرف می‌کند.

در سامانه GS1000، با استفاده از تصحیح‌کننده‌های انحراف نوری (که از طریق طراحی‌های پیشرفته نوری و الکترونی ایجاد شده‌اند)، در محدوده وسیعی از حرکت پرتو الکترونی می‌توان بدون کاهش وضوح، از سطح ویفرها در ابعاد نانومتری تصویربرداری کرد. این تصاویر، امکان بازرسی و اندازه‌گیری با دقت بالا را حدود ۱۰۰ برابر سریع‌تر از دستگاه‌های CDSEM، در یک ناحیه وسیع فراهم می‌کند. پردازش تصویر پرسرعت اختصاصی این سامانه، تصویربرداری در زمان واقعی و انتقال فوق سریع داده‌ها را فراهم می‌کند که توان عملیاتی بالایی را در خطوط تولید تراشه‌های میکرونی پیشرفته ایجاد می‌کند.



ابزارهای کنونی برای اندازه‌گیری میدان‌های نوری می‌توانند تنها با «پالس» نور را شناسایی کنند و از مشاهده و اندازه‌گیری دقیق قله‌ها و دره‌های درون یک پوش موج نوری عاجزند. اندازه‌گیری این قله‌ها و دره‌ها در یک پالس بسیار مهم است زیرا در آن فضا است که می‌توان اطلاعات را دسته‌بندی و ارسال نمود. با موفقیت محققان دانشگاه فلوریدا در آینده نزدیک، شاهد اسیلوسکوپ‌های نوری پیشرفته خواهیم بود.

اولین اسیلوسکوپ نوری جهان، در آستانه ساخت

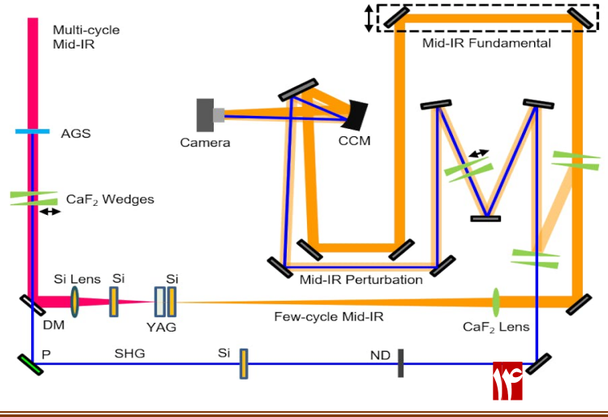


اندازه‌گیری میدان‌های نوری گذرا برای درک سازوکارهای دینامیکی پدیده‌های فیزیکی و شیمیایی فوق‌سریع بسیار مهم است و کلید تحقق سرعت‌های بالاتر در فناوری الکترونیک و مخابرات نوری نهفته است. با این حال، توصیف کامل شکل‌های موج نوری، به یک «اسیلوسکوپ نوری» نیاز دارد که بتواند نوسانات میدان الکتریکی را با وضوح زیر فمتوثانیه و با عملکرد تک‌شات نمایش دهد.

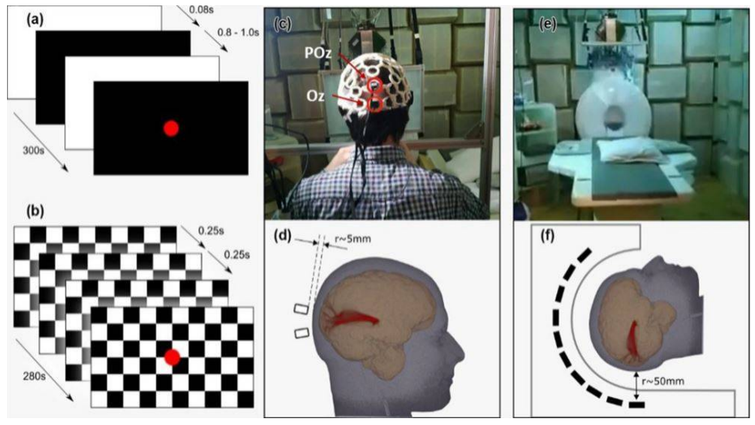
محققان دانشگاه فلوریدا (UCF) در آخرین روزهای سال ۲۰۲۱، گام بزرگی جهت ساخت اولین اسیلوسکوپ نوری جهان برداشتند. آن‌ها در آزمایش‌های خود که نتایج آن در ماه دسامبر در مجله Nature Photonics منتشر شده است، نشان دادند تحریک غیرخطی میدان نوری در یک تراشه حسگر تصویر مبتنی بر سیلیکان، می‌تواند ابزار نوری لازم برای مشخص کردن شکل امواج نوری با فاز پایدار (در ناحیه مادون قرمز میانی) را فراهم کند.

در عمل با ایجاد تأخیر زمانی بین یک تحریک شدید و یک پالس ضعیف بر روی مختصات عرضی حسگر تصویر، امکان اندازه‌گیری تک‌شات شکل موج‌های چندچرخه‌ای توسط محققان دانشگاه فلوریدا محقق شده است. این نوآوری می‌تواند دنیای فناوری‌های ارتباط نوری را دگرگون سازد. تا کنون، مشاهده و اندازه‌گیری میدان الکتریکی نور به دلیل سرعت بالای فوتون‌ها یک چالش بزرگ بوده است. امواج نور با سرعت‌های بسیار بالاتری در نوسان هستند و امکان انتقال اطلاعات با حجم و سرعت بالاتر را فراهم می‌کنند.

مایکل چینی، دانشیار فیزیک در UCF، می‌گوید: «استفاده از نور در ارتباطات فیبر نوری، همه چیز را سریع‌تر کرده است، اما ما هنوز از نظر عملکرد توسط سرعت اسیلوسکوپ محدود هستیم. اسیلوسکوپ نوری ما ممکن است بتواند این سرعت را تا حدود ۱۰۰۰۰ برابر افزایش دهد». اگر این ابداع وارد دنیای فناوری‌های مبتنی بر نور شود، همه چیز دگرگون خواهد شد.



مغناطیس‌نگاری مغزی مبتنی بر نور لیزر با استفاده از حسگرهای کوانتومی

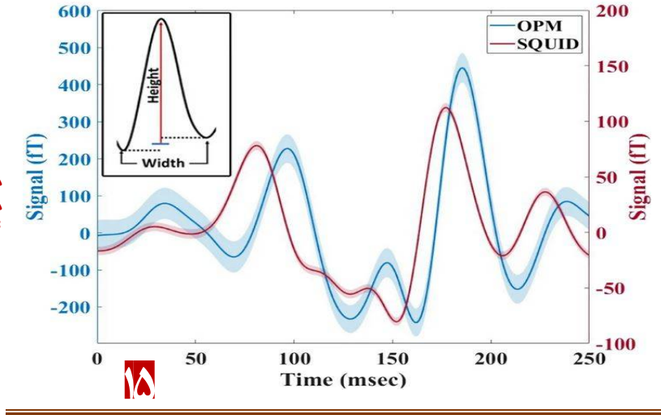


بر اساس نتایج مطالعه‌ای که توسط محققان دانشگاه ساسکس انگلستان در ۲ دسامبر ۲۰۲۱ انجام شد، می‌توان از حسگرهای کوانتومی برای نشان دادن علائم زیستی اولیه بیماری‌های مغزی در فضا و زمان استفاده کرد. محققان نشان دادند زمانی که از حسگرهای کوانتومی در مغناطیس‌نگاری مغزی (MEG) استفاده شود، می‌توان تغییراتی مانند کاهش سرعت فعالیت مغز را از نظر فضایی و زمانی ردیابی کرد.

بنا به گفته پروفسور پیتر کروگر، سرپرست آزمایشگاه سامانه‌ها و دستگاه‌های کوانتومی در دانشگاه ساسکس، حسگرهای کوانتومی استفاده شده حاوی گازی از اتم‌های روبیدیم هستند که تحت تأثیر میدان مغناطیسی، نور لیزر تابیده شده به آن‌ها به طور متفاوتی پراکنده و ساطع می‌شود. نوسانات نور ساطع شده تغییراتی را در فعالیت مغناطیسی مغز نشان می‌دهد.

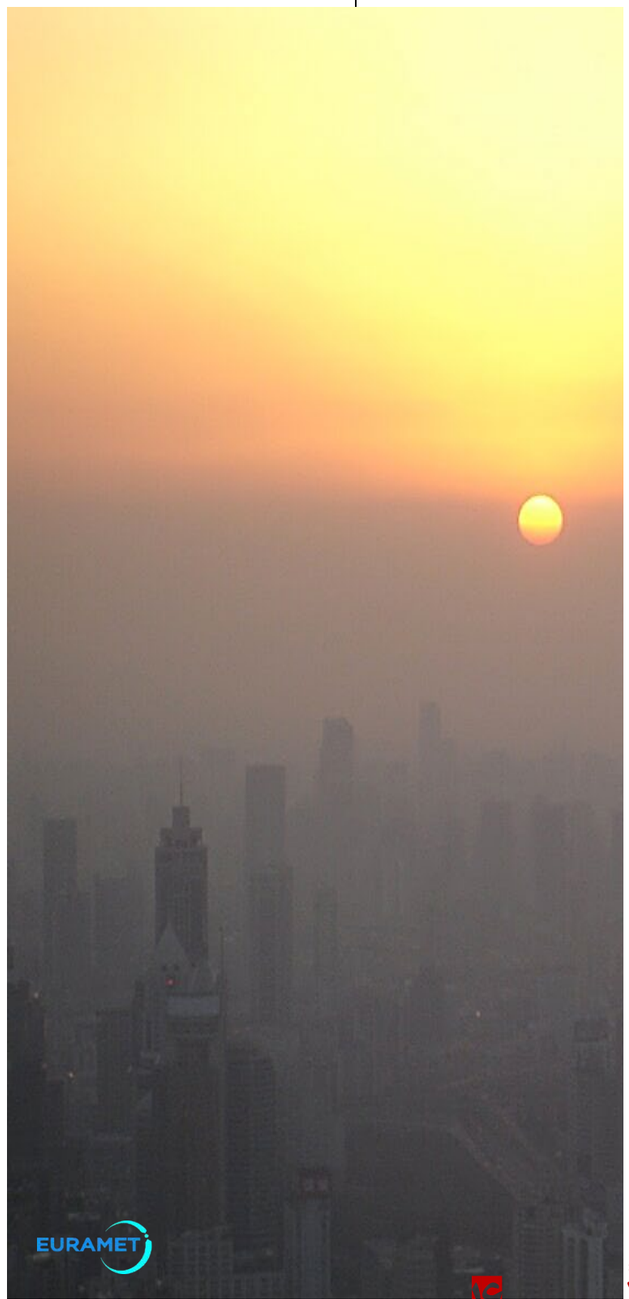
محققان در این آزمایش از مغناطیس‌سنج‌های پمپ‌شده نوری (OPM) و حسگرهای تداخل کوانتومی ابررسانا (SQUID) برای اندازه‌گیری پاسخ مغز به روش MEG استفاده کردند. در حالی که هر دو حسگر در آزمایش‌ها عملکرد خوبی داشتند، اما محققان دریافتند که حسگر OPM در ردیابی سیگنال‌های مغز در فضا و زمان بهتر از حسگر SQUID است. آن‌ها معتقدند که دلیل اصلی این مزیت این است که حسگرهای OPM را می‌توان نزدیکتر از SQUIDها به ناحیه مغزی قرار داد. نتایج، وضوح زمانی حسگرهای OPM در مقایسه با SQUIDها بهبودی ۲ برابری را نشان داد.

آزمایش‌های انجام شده نشان می‌دهد حسگرهای OPM می‌توانند سیگنال‌های عصبی فیزیولوژیکی با منشأ مشترک را در مکان‌ها و زمان‌های مختلف ثبت کنند. این اولین باری است که حسگرهای کوانتومی برای سنجش سیگنال‌های مغزی استفاده می‌شوند. به عنوان یک ابزار تحقیقاتی غیرتهاجمی، حسگر کوانتومی OPM-MEG می‌تواند اطلاعاتی در مورد سیگنال‌های انتشار، سرعت عصبی و مدارهای مغزی ارائه دهد.



با کشف این عملکرد پیشرفته اسکنرهای مغزی کوانتومی، دری به روی پیشرفت‌های بیشتر باز شده است که می‌تواند انقلاب کوانتومی در علوم اعصاب ایجاد کند. اگرچه این فناوری در مراحل ابتدایی است، اما پیامدهایی برای پیشرفت‌های آینده دارد که می‌تواند منجر به تشخیص زودهنگام بیماری‌های مغزی همچون آلزایمر و MS شود. نتایج این تحقیقات در مجله Scientific Reports منتشر شده است.

سامانه جدید جهت تعیین غلظت، اندازه و ترکیبات ذرات در هوای آلوده



ذرات معلق در هوا با قطر کمتر از ۲ میکرومتر، سالانه موجب ۴۳۰۰۰۰ مرگ زودرس در دنیا می‌شود. اندازه‌گیری‌های مورد استفاده برای ارزیابی سمیت این ذرات در حال حاضر فقط بر اساس اندازه و غلظت هستند. اگرچه این موارد بسیار مهم و کاربردی هستند، اما این معیارها برای توصیف اثرات مضر بالقوه و مختلف گزارش‌شده برای سلامتی انسان کافی نیستند.

اطلاعاتی که توسط چنین اندازه‌گیری‌هایی قابل دست‌یابی نیستند، مربوط به ترکیب و ناهمگنی شیمیایی ذرات معلق در هوا است. اندازه و ترکیب متفاوت ذرات می‌تواند اثرات متفاوتی بر سلامت انسان داشته باشد. به منظور ارزیابی این اثرات، ذرات معلق در یک هوای مرجع باید شناسایی شوند. هوای مرجع در واقع یک شبیه‌سازی واقعی از هوای آلوده شهری است که توسط انجمن اروپایی مؤسسات ملی مترولوژی کلید خورده است. این پروژه برای کاهش اثرات نامطلوب ناشی از ذرات آلاینده اتمسفر بر سلامتی انسان طراحی شده است که در سال ۲۰۲۲ به اتمام خواهد رسید. در این پروژه بین‌المللی، محققان یک رأکتور اکسیداسیون قابل حمل جدید را توسعه داده‌اند که به عنوان «واحد پوشش آلی» شناخته می‌شود.

این دستگاه را می‌توان به مولدهای مختلف دوده متصل کرد تا طیف وسیعی از آئروسل‌ها با ترکیبات دقیق و مشخصی را به خوبی تولید کند. در واقع این یک دستگاه همه‌کاره است که یک مرطوب‌کننده آئروسل، یک سامانه دوز خودکار پیش‌ساز و یک رأکتور اکسیداسیون را در یک واحد ترکیب می‌کند. این دستگاه مجهز به یک رابط کاربری گرافیکی (GUI) است که روی یک میکروررایانه و یک صفحه نمایش لمسی ۷ اینچی اجرا می‌شود. تمامی ویژگی‌های مربوط به اندازه‌گیری‌ها نظیر غلظت و اندازه ذرات و ترکیبات شیمیایی آن‌ها به‌طور مداوم شناسایی، کنترل و ثبت می‌شوند.

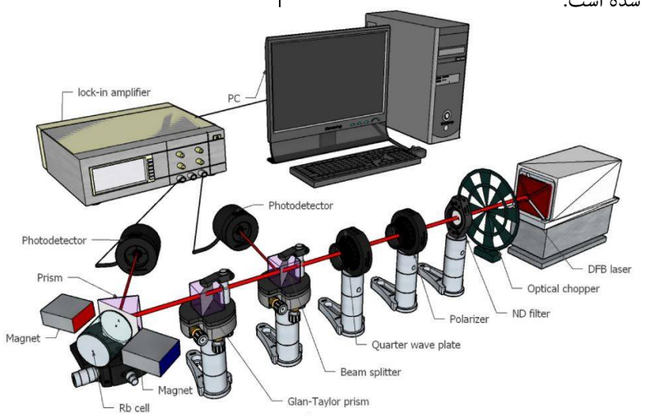
ردیابی قطبش موج ناپایدار در طیف‌سنجی بخار اتمی

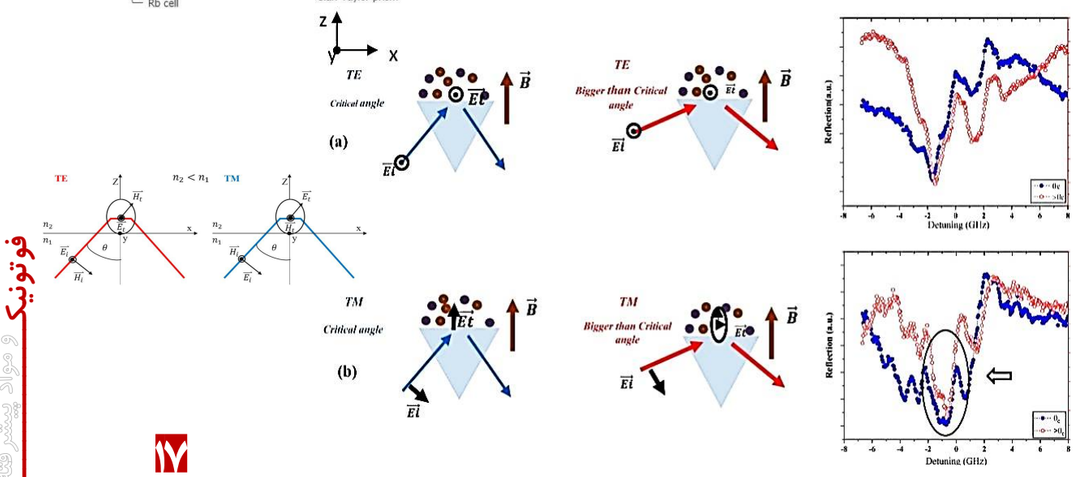
برهم‌کنش اتم‌های فلزات قلیایی با نور، زیربنای کاربردهای ارزشمندی مانند مغناطیس‌سنج‌های اتمی، ساعت‌های اتمی و حسگرهای کوچک اتمی است. این حسگرهای کوچک اتمی می‌توانند وضوح فضایی را از طریق تغییر میدان نوری در ابعاد کوچک افزایش دهند. حالت‌های میدان نزدیک می‌توانند از طریق روش‌های متعددی مانند بازتاب داخلی کامل در منشورها، توری‌های نانوساختار و موجبرها ایجاد شوند.

محققان پژوهشکده لیزر و پلاسمای دانشگاه شهید بهشتی به تازگی در تحقیقات خود، حساسیت طیف‌سنجی اتمی به تغییرات در قطبش را بررسی کرده‌اند. آن‌ها با استفاده از ناهمسانگردی بخار اتمی فلز روبیدیم در طیف‌سنجی قطبش موج فزاینده و ردیابی هرگونه تغییر در قطبش امواج از طریق ردیابی سیگنال انتقال اتمی انتخاب شده، تغییرات قابل‌توجهی در طیف جذب مشاهده کردند.

محققان دانشگاه شهید بهشتی طیف‌های اندازه‌گیری‌شده یک میدان ناپایدار قطبی‌شده ناشناخته را با طیف‌های شبیه‌سازی‌شده قطبش‌های مشخص مقایسه کردند و حساسیت طیف‌سنجی اتمی را نسبت به تغییرات در قطبش به دست آوردند.

در این پژوهش، بازتاب داخلی پرتو لیزر اصلی از رابط بخار روبیدیم، توسط یک آشکارساز نوری ثبت شد. علاوه بر این، یک میدان مغناطیسی خارجی در پیکربندی هندسه‌های مختلف به نمونه اعمال شد. در نهایت، داده‌های به دست آمده توسط رایانه ثبت و تحلیل شدند. نتایج به دست آمده، پیکربندی نوری مغناطیسی را به عنوان ابزاری برای تعیین تغییرات در قطبش امواج فزاینده در حالت‌های موجی پیچیده‌تر در محیط‌های ناهمسانگرد، تأیید می‌کند. نتایج این پژوهش در ۲۶ اکتبر ۲۰۲۱ در مجله Scientific Reports منتشر شده است.





توسعه ژیروسکوپ مبتنی بر اسپین هسته اتم نیتروژن در ساختار الماس

حسگرهای چرخش یا ژیروسکوپ‌ها به طور گسترده در صنایع نظامی، حمل و نقل هوشمند، رباتیک و مشابه آن استفاده می‌شوند. انواع مختلف حسگرهای چرخش شامل ژیروسکوپ‌های مکانیکی، ژیروسکوپ‌های نوری اثر ساگناک و ژیروسکوپ‌های میکروالکترومکانیکی هستند. از جمله فناوری‌های نوظهور می‌توان به ژیروسکوپ‌های تشدید مغناطیسی هسته‌ای (NMR) اشاره کرد. این حسگرها با توجه به خواص مغناطیسی هسته اتم گازهای نجیب قطبیده‌شده در سلول‌های بخار، ساخته می‌شوند.

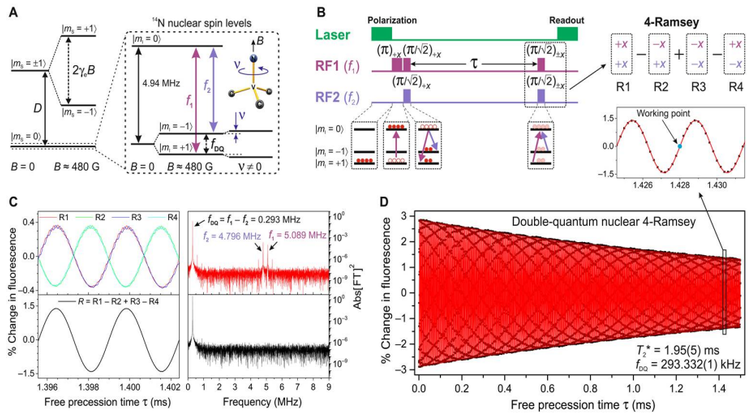
ژیروسکوپ‌های اسپین هسته‌ای که به تازگی بر اساس تهی‌جاهای رنگی نیتروژن در شبکه الماس مطرح شده‌اند، مشابه دستگاه‌های NMR مبتنی بر بخار هستند که یک ساختار حالت جامد مقیاس‌پذیر را تشکیل می‌دهند. این حسگرها قادر به کار در طیف وسیعی از شرایط محیطی هستند.

یک ویژگی جذاب آن‌ها قابلیت «چندحسگری» است. در واقع این حسگرها را می‌توان به عنوان یک «چندحسگر» پیکربندی کرد که قابلیت سنجش میدان مغناطیسی، دما و کرنش را دارا هستند. در عین حال به عنوان مرجع فرکانس نیز مورد استفاده قرار می‌گیرند.

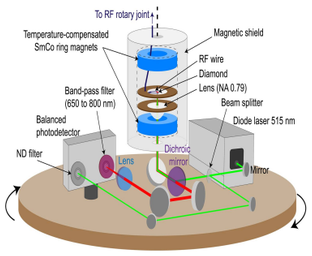
این قابلیت چندحسی برای عملیات در محیط‌های چالش‌برانگیز بسیار مهم است. محققان فیزیک دانشگاه کالیفرنیا در پژوهش اخیر خود، یک ژیروسکوپ NMR مبتنی بر الماس را با استفاده از ویژگی‌های اسپین هسته اتم‌های نیتروژن در نقص‌های شبکه الماس تحت تابش لیزر، توسعه دادند.

عملکرد این ژیروسکوپ به وسیله قطبش نوری مستقیم هسته‌ها توسط نور لیزر، به صورت بازخوانی اسپین‌های هسته نیتروژن، فرکانس رادیویی تعدیل‌کننده اسپین هسته و یک پروتکل پالس کوانتومی دوتایی (DQ) است. این روش اندازه‌گیری، در برابر تغییرات ناشی از دما مصون است و خطای اندازه‌گیری را کاهش می‌دهد.

در این روش یک پالس لیزر با طول موج نور سبز، ترازهای انرژی اسپینی هسته‌های نیتروژن را قطبیده می‌کند. پس از آن، یک پالس RF برای انتقال جمعیت به تراز $m_I=0$ اعمال می‌شود. در مرحله بعد، برای القای انسجام DQ بین ترازهای $m_I=+1$ و $m_I=-1$ ، انتقال‌های f_1 و f_2 به طور هم‌زمان با یک پالس RF صورت می‌گیرد. پس از یک بازه فرکانس تقدیمی آزاد τ، فاز بین دو حالت اسپین هسته‌ای $m_I=\pm1$ در یک تفاوت جمعیت قابل اندازه‌گیری، که به صورت نوری خوانده می‌شود، مشخص می‌گردد.



محققان دانشگاه کالیفرنیا برخلاف ژیروسکوپ‌های NMR رایج، بدون استفاده از پالس‌های میکروموج تشدیدکننده انتقال اسپین الکترون، موفق شدند تأثیرات نامطلوب محیطی بر اندازه‌گیری را تا حد زیادی حذف کنند. در این حالت اطلاعات حالت‌های اسپین هسته بدون نیاز به دانش دقیق فرکانس‌های انتقال اسپین الکترون (که از شرایط محیطی تأثیرپذیر هستند) قابل دست‌یابی است. نتایج این پژوهش در دسامبر ۲۰۲۱ در مجله Science Advances منتشر شده است.

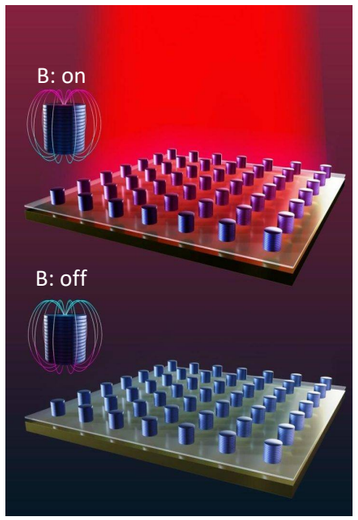


سوئیچ نانولیزرهای پلاسمونیکی با اعمال میدان مغناطیسی

ماه گذشته محققان دانشگاه آلتو نشان دادند که می‌توان از میدان مغناطیسی، برای روشن و خاموش کردن نانولیزرها و کنترل نور لیزر استفاده کرد. این نوآوری، بهبود سیگنال‌های نوری که توسط عوامل خارجی دچار اختلال می‌شوند را به همراه دارد. تاکنون روشن و خاموش کردن نانولیزرها به صورت مکانیکی، گرمایی و یا نوری بوده است.

محققان در ابداع جدید خود، کنترل نانولیزرها را با تغییر میدان مغناطیسی اطراف نانو ساختارهای تشکیل‌دهنده آن، ممکن ساختند. آن‌ها با استفاده از نانونقاط مغناطیسی کبالت و پلاتین که بر روی لایه‌ای پیوسته از طلا و دی‌اکسید سیلیکان عایق قرار می‌گیرد، موفق شدند سیگنال‌های لیزری قوی و قابل کنترل تولید کنند. در واقع روشن و خاموش کردن نانولیزر پلاسمونیکی به کمک میدان مغناطیسی خارجی، یک حفاظت توپولوژیکی از نور لیزر در برابر اختلال محیط است.

به دلیل محافظت توپولوژیکی از نور، در صورت وجود نقص دستگاه یا ناهمواری مواد، نور بدون هیچگونه اختلالی توانایی عبور از ساختار را دارد. تحقیقات جدید نشان می‌دهد که اثرات مغناطیسی به وسیله آرایه‌های نانوذره‌ای با یک تقارن خاص، تقویت می‌شوند. مواد مغناطیسی توانایی تغییر بسیار جزئی در جذب و قطبش نور را دارند. این نتایج پتانسیل زیادی برای تحقق ساختارهای فوتونیک توپولوژیکی دارند که در آن اثرات مغناطیسی با انتخاب مناسب هندسه آرایه نانوذرات، تقویت می‌شود.



این تحقیقات نتیجه همکاری بین گروه نانومغناطیس و اسپینترونیک به رهبری پروفسور ون دایکن و گروه دینامیک کوانتومی به رهبری پروفسور تورما، در گروه فیزیک کاربردی دانشگاه آلتو صورت گرفته است. نتایج این پژوهش، ۲۳ دسامبر ۲۰۲۱ در مجله Nature Photonics منتشر شده است.

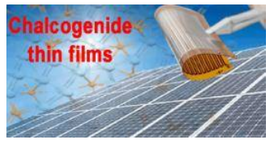
ساخت صفحات خورشیدی فوق نازک با استفاده از کلکوژنایدها

دانشمندان استنفورد مواد فتوولتائیک جدیدی را ساخته‌اند که برای صفحات خورشیدی فوق نازک و سبک کاربرد دارند. این مواد در ساخت تلفن همراه، دستگاه‌های پوشیدنی، حسگرهای خودکار، هواپیماهای سبک‌وزن و وسایل نقلیه الکتریکی نیز می‌تواند مورد استفاده قرار گیرد.

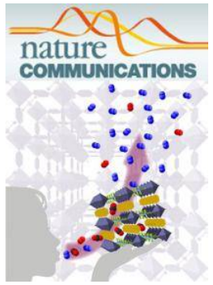
این مواد بر پایه دی‌کلکوژنایدهای فلزات واسطه (TMD) ساخته شده‌اند که در مقایسه با سایر مواد خورشیدی، علاوه بر وزن کم و انعطاف‌پذیری بالا، درصد بالایی از نور خورشید را جذب می‌کنند. پهپاد خودرانی را تصور کنید که با یک آرایه خورشیدی ۱۵ برابر نازکتر از یک تکه کاغذ، در بالای بال خود حرکت کند و انرژی مورد نیاز خود را از نور خورشید تأمین کند.

جستجو برای مواد جدید ضروری است، زیرا پادشاه حاکم بر مواد خورشیدی یعنی سیلیکان، بسیار سنگین، حجیم و شکننده است. سیلیکان بخش اعظم بازار خورشیدی امروز را تشکیل می‌دهد، اما هنوز کامل نیست.

تازه‌ها



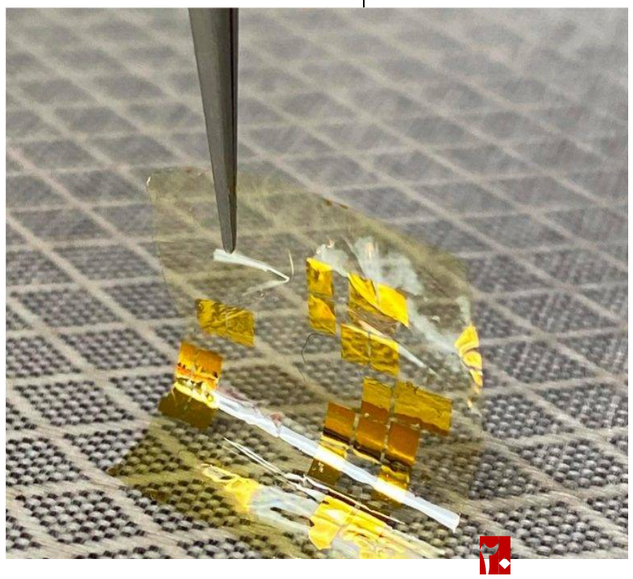
دی‌کلکوژنیدهای فلزی دارای فرمول ME_2 هستند که در آن، M یک فلز واسطه و E شامل عناصری مانند Te، Se و S است. مهم‌ترین ترکیبات این دسته، سولفیدها هستند که خاصیت نیم‌رسانا دارند. از این رو جهت استفاده در باتری‌ها، حسگرها و سلول‌های خورشیدی مناسب هستند.



نتایج مطالعات و آزمایشات محققان استنفورد در ساخت سلول خورشیدی مبتنی دی‌کلکوژنایدها، در ۹ دسامبر ۲۰۲۱، در مجله Nature Communications منتشر شده است.

نمونه اولیه سلول خورشیدی دی‌کلکوژنایدی محققان استنفورد، بازده کمی دارد، اما آن‌ها پیش‌بینی می‌کنند که با بهینه‌سازی نوری و الکتریکی، می‌توانند به بازدهی ۲۷ درصدی برسند. اما اگر همین میزان بازده را نسبت به میزان وزن این مواد بسنجیم، حدود ۱۰۰ برابر سلول‌های خورشیدی امروزی است. این بزرگترین مزیت مواد جدید است. نازکی قابل توجه آن‌ها، استفاده از مواد و هزینه‌ها را به حداقل ممکن می‌رساند. آرایه فعال تولید شده در دانشگاه استنفورد، تنها چند صد نانومتر ضخامت دارد.

در حالی که نازکی، سبکی و انعطاف‌پذیری، اهداف بسیار مطلوبی هستند، TMDها مزایای مهندسی دیگری نیز دارند. آنها در درازمدت پایدار و قابل اعتماد هستند و برخلاف دیگر رقبای خود، فاقد مواد شیمیایی سمی هستند. آن‌ها همچنین زیست‌سازگار هستند و می‌توانند در کاربردهای پوشیدنی که نیاز به تماس مستقیم با پوست یا بافت بدن انسان دارند، استفاده شوند.



تولید نانوسیم‌های کلکوژنایدی با پاسخی در ناحیه فرابنفش

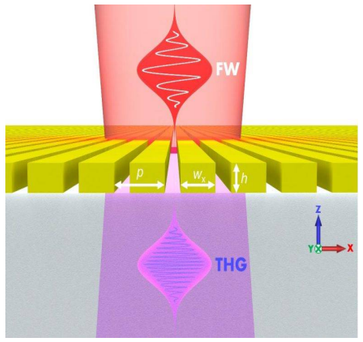
به تازگی مهندسان برق در دانشگاه دوک، کشف کرده‌اند که تغییر شکل فیزیکی دسته‌ای از مواد که اغلب در الکترونیک و فوتونیک مادون قرمز نزدیک و میانی استفاده می‌شوند، می‌تواند کاربرد آن‌ها را به بخش‌های مرئی و فرابنفش طیف الکترومغناطیسی گسترش دهد. مواد کلکوژنایدی که پیش‌تر به صورت تجاری در آشکارسازها، عدسی‌ها و فیبرهای نوری استفاده می‌شدند، اکنون می‌توانند در کاربردهایی مانند ارتباطات زیر آب، نظارت بر محیط زیست و تصویربرداری زیستی جایگاه مناسبی پیدا کنند.

شیشه‌های کلکوژناید حاوی یک یا چند عنصر کالکوژن هستند. عناصر شیمیایی مانند گوگرد، سلنیوم و تلوریم از این دسته به شمار می‌روند. این مواد به شدت طول موج‌های نور را در بخش‌های مرئی و فرابنفش طیف الکترومغناطیسی جذب می‌کنند. شیشه‌های کلکوژناید، مدت‌ها به کاربردهایشان در محدوده مادون قرمز نزدیک و میانی محدود شده بودند. اما تحقیقات اخیر در مورد چگونگی تأثیر نانوساختارها بر نحوه واکنش این مواد به نور، نشان داد که ممکن است راهی برای دور زدن این محدودیت‌ها وجود داشته باشد.

محققان در آزمایشگاه تحقیقات دریایی آمریکا، یک لایه نازک ۳۰۰ نانومتری از تری‌سولفیدآرسنیک را بر روی یک بستر شیشه‌ای قرار دادند که در مرحله بعدی با استفاده از لیتوگرافی پرتو الکترونی، نانوسیم‌های تری‌سولفیدآرسنیک را تولید کردند.

محققان دریافتند که نانوسیم‌های تولید شده، سیگنال‌های کوچکی را در فرکانس ۸۴۶ تراهرتز ارسال می‌کنند که در طیف فرابنفش قرار دارد. این نتیجه به دلیل انتقال فرکانس هماهنگ سوم غیرخطی و قفل شدن فاز آن با فرکانس

نتایج و مشاهدات این پژوهش در ۲۲ دسامبر ۲۰۲۱ در مجله Physical Review Letters منتشر شده است.



اصلی است. پالس اولیه، فرکانس هماهنگ سوم را به دام می‌اندازد و به نوعی مواد را فریب می‌دهد تا هر دو بدون هیچ جذبی عبور کنند.

محققان در تلاشند تا شکل‌های مختلفی از کلکوژنایدها را مهندسی کنند که بتوانند سیگنال‌های هارمونیک را حتی بهتر از نانونوارهای اولیه حمل کنند. این رویکرد می‌تواند طیف وسیعی از کاربردهای مرئی و فرابنفش را برای مواد الکترونیکی رایج و مواد فوتونیکی مادون قرمز میانی که مدت‌ها در فرکانس‌های بالاتر محدود بودند، باز کند. نتایج این تحقیقات تجربی، اواخر ماه دسامبر ۲۰۲۱ در مجله Nature Communications منتشر شده است.

تولید ایزوتوپی ناپایدار از منیزیم برای کشف اسرار اتمی

زمین مملو از منیزیم طبیعی و پایدار است که مدت‌ها پیش در ستارگان ساخته شده است و از آن زمان به یکی از اجزای اصلی رژیم غذایی ما در پوسته سیاره تبدیل شده است. اما این عناصر چگونه و از کجا به وجود می‌آیند؟! این سؤالی است که دانشمندان در دنیای ایزوتوپ‌ها به دنبال جواب آن هستند.

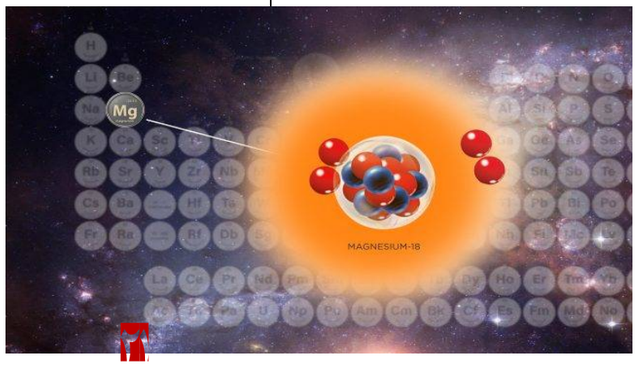
به تازگی محققان دانشگاه ایالتی میشیگان با همکاری یک گروه بین‌المللی، در آزمایشگاه ملی سیکلوترون ابررسانا در MSU، ایزوتوپ جدید منیزیم-۱۸ را در مقیاس آزمایشگاهی تولید کردند.

این ایزوتوپ آنقدر ناپایدار است که قبل از اینکه دانشمندان بتوانند به طور مستقیم آن را اندازه‌گیری کنند، از هم می‌پاشد.

با این حال، این ایزوتوپ می‌تواند به محققان کمک کند تا درک بهتری از اتم‌هایی که وجود جهان پیرامون ما را تعریف می‌کنند، به دست آوریم. ایزوتوپ جدید می‌تواند به اصلاح نظریه‌ها و مدل‌هایی که دانشمندان برای توضیح چنین اسراری ایجاد می‌کنند، کمک کند.

پیش از این، سبک‌ترین منیزیم دارای ۷ نوترون بود که در مجموع ۱۹ پروتون و نوترون به آن اطلاق می‌شد. از این رو به منیزیم-۱۹ نام‌گذاری شده بود.

برای ساخت منیزیم-۱۸، که یک نوترون سبک‌تر است، گروه تحقیقاتی با یک نسخه پایدار از منیزیم شروع کردند. سیکلوترون در NSCL، پرتویی از هسته‌های منیزیم-۲۴ را تا حدود نصف سرعت نور شتاب داد و آن پرتو را به سمت هدف فرستاد، که یک فویل فلزی ساخته شده از عنصر بریلیم است. زمان تجزیه ایزوتوپ‌های به وجود آمده بسیار کوتاه است. منیزیم-۱۸ هرگز از هدف بریلیوم خارج نمی‌شود و در داخل هدف تجزیه می‌شود. این بدان معنا است که دانشمندان نمی‌توانند ایزوتوپ را مستقیم بررسی کنند، اما می‌توانند نشانه‌های آشکاری از فروپاشی آن در داخل هدف را مشخص کنند.

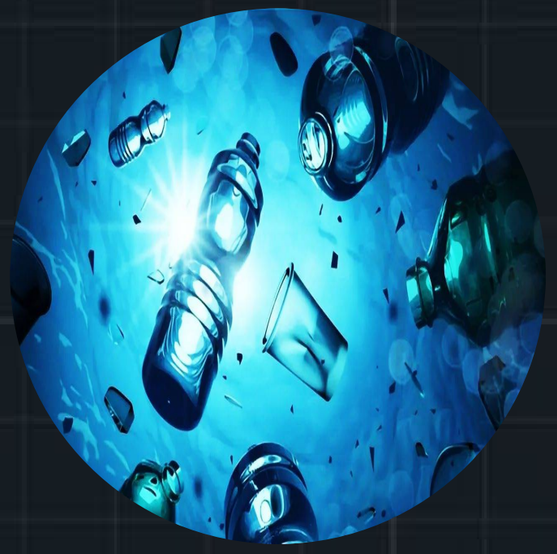


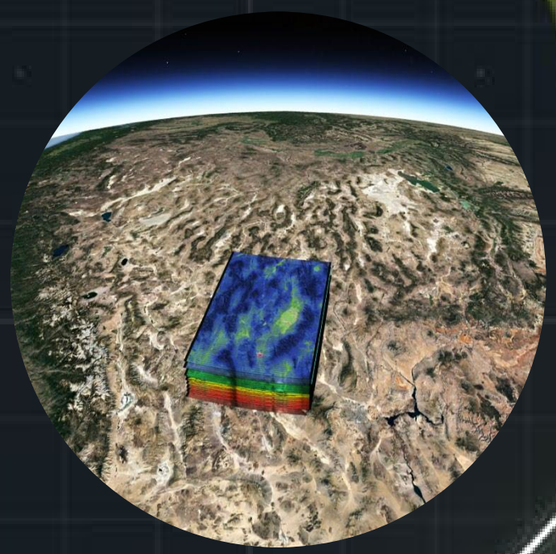
دورنما

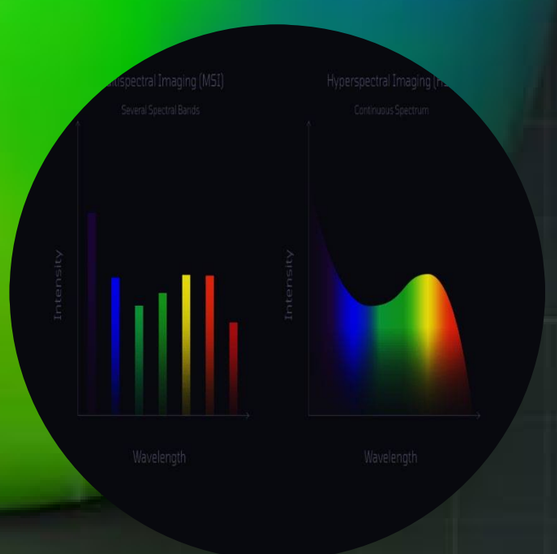
تصویربرداری فراطیفی و کاربرد آن در بررسی ریزپلاستیک‌ها

تصویربردار فراطیفی، مانند هر روش تصویربردار طیفی دیگر به جمع‌آوری و پردازش اطلاعات در بازه‌ای از طیف الکترومغناطیسی می‌پردازد با این تفاوت که در این روش، هر پیکسل حاوی طیف پیوسته‌ای از یک نمونه خواهد بود. بدین ترتیب از این روش می‌توان در یافتن اجسام، شناسایی مواد و آشکارساز فرآیندها استفاده کرد. این روش تصویربردار دارای کاربردهای بسیار در صنایع نظامی، هوا فضا، محیط زیست و ... بوده و بودجه جهانی هنگفتی را به خود اختصاص داده است.

در دورنمای این شماره از ماهنامه فوتونیک و مواد پیشرفته به بررسی کاربردها، چالش‌ها و فرصت‌های تصویربردار فراطیفی در شناسایی ریزپلاستیک‌ها به عنوان یکی از عوامل آلوده‌کننده محیط زیست، خواهیم پرداخت.







تصویربرداری فراطیفی و کاربرد آن در تحلیل ریزپلاستیک‌ها

به قلم سید مرتضی احمدی
seyedmortezaahmadi@gmail.com

امروزه مواد پلاستیکی و پلیمری به جز جدایی‌ناپذیری از زندگی روزمره ما بدل شده‌اند. این مواد در کنار مزایای فراوان خود، یکی از مضرترین آلاینده‌های محیط‌زیست محسوب می‌شوند. برای کنترل و مدیریت زباله‌های پلاستیکی به داده‌های وسیعی در مقیاس جهانی نیاز داریم و به همین علت مطالعات گسترده‌ای با این موضوع در جریان است. زباله‌های پلاستیکی با ابعاد بزرگ را می‌توان به سادگی شناسایی و بازیافت کرد. اما مشکل اصلی زمانی ایجاد می‌شود که ابعاد مواد پلیمری و پلاستیکی به کمتر از ۵ میلی‌متر برسد که در اصطلاح به آن‌ها ریزپلاستیک‌ها گفته می‌شود. بررسی ریزپلاستیک‌ها چالش مهمی است که در سطح جهان مورد بحث قرار گرفته است چرا که دیگر روش‌های بصری نمی‌توانند پاسخگوی آن باشند. روش‌های تحلیل شیمیایی به عنوان جایگزینی برای روش‌های بصری محسوب می‌شوند که می‌توانند پیوندهای شیمیایی موجود در ریزپلاستیک‌ها را با دقت بالایی شناسایی کنند اما اغلب بسیار پرهزینه و زمان‌بر هستند.

برای این که شناسایی ریزپلاستیک‌ها در محیط زیست به صورت بهینه‌تری صورت پذیرد، به روش‌های پرسرعت‌تر و با کیفیت بالاتری نیاز داریم. به تازگی، فناوری تصویربرداری فراطیفی به عنوان روشی کارآمد برای شناسایی ریزپلاستیک‌ها به کار گرفته شده و به نتایج جالب توجهی نیز دست یافته‌است.

تصویربرداری فراطیفی در ابتدا به صورت یک روش سنجش از راه دور برای بررسی سطح کره زمین ابداع شد. اما بعد از آن در گستره وسیعی از کاربردها برای شناسایی مواد نیز کاربرد پیدا کرد. امروزه از تصویربرداری فراطیفی به طور گسترده در صنعت بازیافت برای جداسازی پلاستیک‌ها بر حسب نوع پلیمر به کار رفته در آن‌ها استفاده می‌شود که این موضوع می‌تواند بر توانایی این روش در تحلیل ریزپلاستیک‌ها نیز صحه بگذارد.

ریزپلاستیک‌ها

روند بررسی ریزپلاستیک‌ها طی سه فرآیند مجزا صورت می‌گیرد که شامل جمع‌آوری نمونه، جداسازی ریزپلاستیک‌ها و شناسایی نوع پلیمر نمونه است. به طور معمول دو مرحله ابتدایی این فرآیند توسط نوع نمونه تعیین می‌گردد. فارغ از نوع آنالیز، ماتریس نمونه ممکن است چالش‌زا باشد زیرا ریزپلاستیک‌ها باید از سایر مواد طبیعی مانند بافت‌های گیاهی، چیتین، سیلیکا و سایر مواد معدنی جدا شوند که این فرآیند با توجه به ساختار مواد نیازمند بهره‌گیری از فرآیندهایی مانند جداسازی چگالی، اصلاح آنزیمی و یا اسیدشویی است. در نهایت می‌توان ریزپلاستیک‌های تفکیک شده را مورد شناسایی قرار داد که فرآیند شناسایی هم تا حد زیادی به تجهیزات آزمایشگاهی موجود و موضوع پژوهشی مورد بررسی پژوهشگر مربوط می‌شود. در سال‌های اخیر با توسعه پژوهش بر میکروپلاستیک‌ها، روش‌های مشخصه‌یابی آن‌ها نیز بسیار مورد توجه قرار گرفته است.

مشخصه‌یابی ریزپلاستیک‌ها تا پیش از این به توصیف فیزیکی ذرات محدود می‌شد. بررسی ویژگی‌هایی مانند اندازه، رنگ، شکل و مقاومت در برابر حرارت می‌توانست تا حدی به شناسایی ریزپلاستیک کمک نماید. بدون شک، این روش‌ها با خطاهای فراوانی همراه بوده‌اند و به همین دلیل پژوهشگران به سمت روش‌های کمی‌تر در بررسی ریزپلاستیک‌ها سوق پیدا کردند. در حال حاضر، روش‌های نوینی برای تشخیص نوع پلیمر مطرح شده‌اند که بسیار مورد اقبال قرار گرفته‌اند. یکی از روش‌هایی که از آن برای شناسایی پلیمرهای موجود در محیط‌زیست استفاده می‌شود، کروماتوگرافی گازی جفت شده با طیف‌سنجی جرمی است که از تخریب حرارتی کنترل شده برای تبدیل نمونه‌های جامد به پایرولیزها استفاده می‌کند که توسط کروماتوگرافی گازی از هم تفکیک شده و سپس توسط طیف‌سنجی جرمی شناسایی می‌شوند.

اغلب پلیمرها محصولات پایرولیزی منحصر به فردی را از خود به جا می‌گذارند که امکان بررسی همزمان چندین پلیمر را فراهم می‌کند. در نتیجه، این روش می‌تواند انواع مختلف پلیمر را تشخیص داده و جرم آن‌ها را در نمونه تخمین بزند.

یکی از مزایای اصلی این روش امکان بررسی ریزپلاستیک‌ها حتی در ابعاد نانومتری است. با این حال روش پایرولیز و کروماتوگرافی به دلیل تخریب حرارتی ساختار نمونه منجر به از دست رفتن داده‌های ریخت‌شناسی نمونه می‌شود. روش‌های بهتر شناسایی ساختار پلیمر بدون از دست دادن خواص ریخت‌شناسی، طیف‌نگاری‌های نوری مانند رامان و FTIR است. تاکنون مقالات متعددی شناسایی ریزپلاستیک‌های ۱۰ تا ۲۰ میکرومتری با طیف‌سنجی FTIR و تا ۱ میکرومتری با طیف‌سنجی رامان را گزارش کرده‌اند. در ساده‌ترین حالت، هردوی این روش‌ها از اندازه‌گیری نقطه‌ای برای تحلیل ذرات استفاده می‌کنند و در صورتی که ذرات بزرگ و سهل‌الوصول باشند، به سرعت می‌توانند نوع پلیمر را شناسایی نمایند. با این حال، ممکن است انتخاب دستی ذرات بی طرفانه نباشد و ریزپلاستیک‌ها به صورت نادرست طبقه‌بندی شوند.

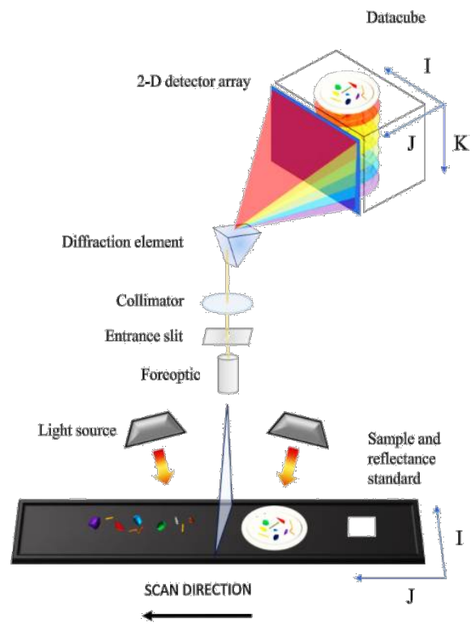
برای ذرات با ابعاد کوچکتر از ۵۰۰ میکرون، جداسازی دستی ریزپلاستیک‌ها به کمک فیلتر صورت می‌پذیرد که اندازه‌گیری نقطه‌ای نوری روی آن انجام می‌شود.

امروزه از تصویربرداری فراطیفی به طور گسترده در صنعت بازیافت برای جداسازی پلاستیک‌ها بر حسب نوع پلیمر به کار رفته در آن‌ها استفاده می‌شود که این موضوع می‌تواند بر توانایی این روش در تحلیل ریزپلاستیک‌ها نیز صحه بگذارد.

برای افزایش بی‌طرفی در انتخاب نمونه‌ها می‌توان از الگوهای بینایی ماشین و پردازش تصویری استفاده کرد که ریزپلاستیک‌ها را شناسایی کرده و توسط طیف‌سنجی رامان یا FTIR مورد بررسی قرار می‌دهند. برای این کار به یک نوار نقاله موتوری نیاز داریم که ذرات روی آن حرکت کرده و تحت بازبینی توسط لیزر (رامان) یا پرتوی فروسرخ (FTIR) قرار گیرند. اگر تعداد ذرات زیاد باشد، این فرآیند بسیار زمان‌بر خواهد بود. روش دیگر برای تحلیل خودکار داده‌ها استفاده از روش‌های تصویربرداری طیفی مبتنی بر FTIR و رامان است. آرایه‌های صفحه کانونی این فناوری‌ها می‌توانند به جای پویش ذره به ذره ریزپلاستیک‌ها، کل سطح فیلتر را جاروب کنند. در تصاویر تهیه شده توسط این روش، هر پیکسل تصویر محتوی طیف رامان یا FTIR از سطح فیلتر است. نقطه ضعف این روش، کوچک بودن ابعاد حسگرهای آرایه‌ای است که باز هم منجر به صرف زمان طولانی در دریافت اطلاعات می‌شود. علاوه بر زمان‌بر بودن، هر دو روش رامان و FTIR پیچیده و گران‌قیمت هستند، به طوری که چنین تجهیزاتی دارای قیمت‌های گزافی بین ۱۰۰ تا ۲۰۰ هزار دلار هستند. همچنین، برخی از این سامانه‌ها به صورت عبوری عمل می‌کنند که به نمونه‌های شفاف نیاز دارند و برای بسیاری از مواد مات یا ضخیم یک نقطه ضعف محسوب می‌شوند. البته روش رامان می‌تواند ذرات مات را نیز مورد مطالعه قرار دهد اما ممکن است به دلیل تابش فلورسانس مواد آلی در تشخیص نوع ماده با مشکل مواجه شود. به تازگی روش‌های فراطیفی برای تحلیل ریزپلاستیک‌ها مورد توجه قرار گرفته‌اند که می‌توانند اطلاعات کمی و کیفی بسیار مطلوبی از این نوع نمونه‌ها در اختیار قرار دهند.

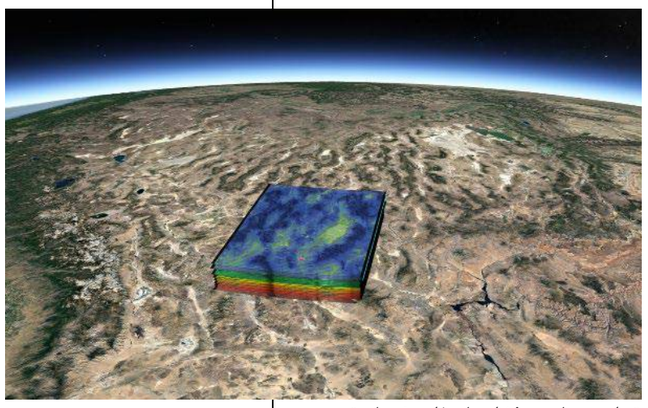
تصویر فراطیفی چیست؟

عبارت "تصویر فراطیفی" برای اولین بار در مقاله‌ای که در سال ۱۹۸۵ توسط الکساندر گوئتز و با موضوع سنجش از دور منتشر شد مورد



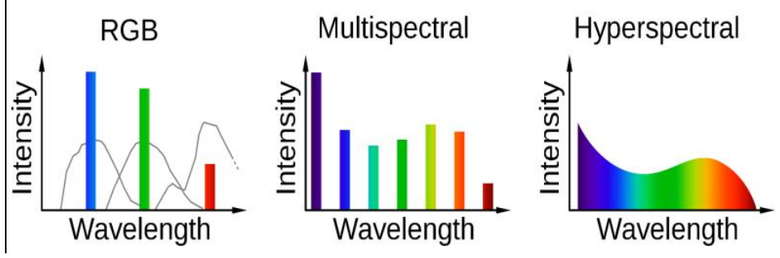
توجه قرار گرفت. تصویربرداری فراطیفی به عنوان یک روش تصویربرداری هوایی یا فضایی برای شناسایی مواد موجود در سطح زمین مطرح شد. این روش، وضوح طیفی قابل مقایسه‌ای با سامانه‌های تصویربرداری چند طیفی مانند Landsat از خود به نمایش می‌گذاشت. چنین وضوحی می‌توانست در شناسایی مواد سطحی و به خصوص مواد معدنی موجود در خاک استفاده شود و دیگر با چالش‌های سنجش از دور، مانند تداخل اتمسفری یا سیگنال‌های چندگانه شایع در روش‌های پیشین روبرو نبودیم. با اینکه روش تصویربرداری فراطیفی در دهه ۱۹۷۰ پایه‌ریزی شده بود، به دلیل نبود امکانات پردازشی و ذخیره‌سازی مناسب در آن زمان، در کاربردهای زیادی به کار گرفته نشد.

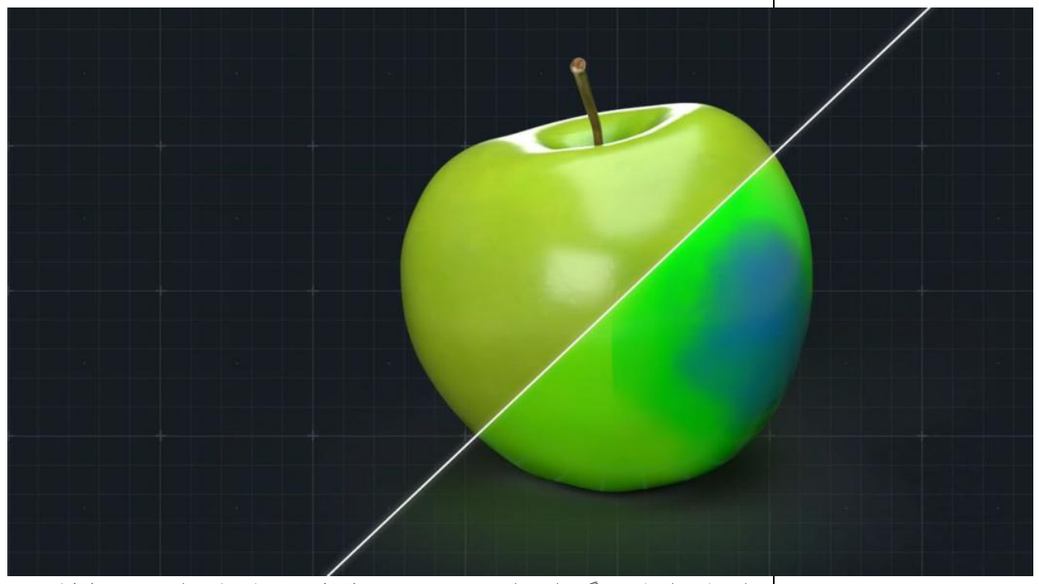
از دهه ۱۹۸۰ میلادی، با بر طرف شدن چالش‌های ذکر شده، از تصویربرداری فراطیفی در کاربردهای گسترده‌ای شامل سنجش از دور فضایی یا زیرآبی استفاده شد. در علوم پزشکی از تصویربرداری فراطیفی در شناسایی بافت‌ها، اعصاب، سلول‌های سرطانی و سوختگی‌ها استفاده می‌شود. صنایع غذایی از این روش برای کنترل کیفیت محصولات استفاده می‌کنند. کارخانه‌های بازیافت، تصویربرداری طیفی را برای طبقه‌بندی و تفکیک زباله به کار می‌برند. جداسازی پلاستیک‌ها بر حسب نوع پلیمر منجر به تولید پلیمرهای بازیافتی با کیفیت بالاتری می‌شود. در شرایط خاص، می‌توان همان اصولی را که برای شناسایی زباله‌ها استفاده می‌شود، در شناسایی ریزپلاستیک‌ها نیز به کار برد. در مقیاس بزرگ، تاکنون از روش سنجش از راه دور برای شناسایی ریزپلاستیک‌های موجود در محیط‌زیست به کمک تصاویر هوایی و فضایی استفاده شده‌است.



یک تصویر فراطیفی از همان اصول تصاویر سنتی قرمز-سبز-آبی (RGB) استفاده می‌کند. هر تصویر را می‌توان با استفاده از یک ماتریس با I سطر و J ستون نشان داد که دارای ابعاد I×J است. این دو بعد فضایی درواقع اندازه تصویر هستند. هر عددی در داخل این ماتریس به عنوان یک پیکسل خوانده می‌شود و که محدوده‌ای با مساحت مشخص را پوشش می‌دهد. هر پیکسل نمایشگر مکانی در فضای واقعی است که نور را جذب یا بازتاب می‌کند. اگر فقط از یک طول موج نمونه‌برداری شود، تصویر حاصل سیاه سفید خواهد بود که در آن سفید به معنی شدت زیاد و سیاه نمایشگر شدت کم است. تصاویر رنگی از سه نوار طول موجی برای تشریح میزان نور بازتابی از اجسام در بازه‌های خاص الکترومغناطیسی استفاده می‌کنند. این نوارهای طول موجی در طیف مرئی نور قرار دارند (۴۰۰ تا ۸۰۰ نانومتر) و متناظر با رنگ‌های قرمز، سبز و آبی هستند.

اگر فقط از یک طول موج نمونه‌برداری شود، تصویر حاصل سیاه سفید خواهد بود که در آن سفید به معنی شدت زیاد و سیاه نمایشگر شدت کم است.





هر پیکسل در تصاویر رنگی به ترکیبی از سه رنگ RGB نسبت داده می‌شود و در این حالت ماتریس تصویر، سه‌بعدی خواهد بود. I و J همانند قبل مختصات فضایی هستند و بعد جدید K بیانگر طیف آن پیکسل خواهد بود. سه مولفه K را می‌توان به عنوان لایه‌هایی با ابعاد I×J که پشت سر هم قرار گرفته‌اند، تجسم کرد.

علت انتخاب این رنگ‌ها، حساسیت چشم انسان به آن‌ها است.

در صورت استفاده از لایه‌های بیشتر، طیف مرئی را می‌توان به صورت دقیق‌تری تجزیه نمود به طوری که شامل چندین نوار باریک‌تر باشد و اطلاعات با جزئیات بیشتری را نتیجه دهد. به چنین تصویری، یک تصویر چند طیفی می‌گویند. در این تصاویر، هم تعداد نوارها و هم عرض آن‌ها می‌تواند متغیر باشد.

از آن‌جایی که چشم انسان تنها قادر به تفکیک سه نوار رنگی است، اضافه نمودن چندین نوار طول موجی تاثیری بر کیفیت بینایی او ندارد بلکه صرفا برای بررسی دقیق‌تر نحوه انعکاس نور توسط اجسام و دستیابی به ترکیبات شیمیایی آن‌ها انجام می‌شود.

در این نوع تصاویر، می‌توان بازه‌های خارج از طیف مرئی مانند طیف فروسرخ را نیز گنجاند که نواحی جذبی پیوندهای شیمیایی خاصی را به نمایش گذارند. داده‌های حاصل از این نوع تصویربرداری، شکل یک مکعب سه‌بعدی را به خود می‌گیرد که مبتنی بر میدان دید بیننده (I×J) و تعداد نوارهای موجی (K) است. هنگامی که تعداد نوارهای طیفی از ۱۰۰ بزرگتر باشد، مکعب داده حاصل را فراطیفی می‌نامیم. در مقاله بدوی آقای گوئتز، تصویر فراطیفی به صورت "دریافت صدها تصویر از نوارهای طیفی به هم پیوسته و مشخص به نحوی که هر پیکسل بیانگر یک طیف تابشی خاص باشد" تعریف شد. این تعریف، تصاویر چند طیفی را در بر نمی‌گیرد زیرا در این نوع از تصاویر، لزوما نوارهای طیفی به هم پیوسته نیستند. نتیجه نمونه‌برداری به کمک طیف به هم پیوسته به صورت طیفی دیده می‌شود که شامل جزئیات بسیار زیادی از طول‌موج‌های مختلف بازتابی از یک جسم است و به این ترتیب طبقه‌بندی تصاویر بر حسب ترکیب شیمیایی و نه صرفا بر اساس رنگ انجام می‌شود.

تجهیزات فراطیفی

اجزای اصلی یک تصویربردار فراطیفی شامل لنزهای شیئی، یک طیف‌نگار دارای شکاف و یک آشکارساز دوبعدی است که به طور معمول از یک نیم‌رسانای فوتوولتائیک مانند CCD ساخته می‌شوند.

منبع نوری نیز جز اجزای کلیدی این سامانه است که اغلب به صورت مجزا استفاده می‌شود و از جنس لامپ هالوژن تنگستن است که می‌تواند هم نور مرئی و هم نور فروسرخ را با شدت بالایی ساطع کند. کیفیت تصویر فراطیفی شامل وضوح فضایی و طیفی، پهنای باند، عمق تصویر و نسبت سیگنال به نویز تا حد زیادی به مشخصات اجزای مورد استفاده وابسته هستند.

سه روش متداول برای تصویربرداری فراطیفی وجود دارد که شامل روبش نقطه‌ای، خطی و منطقه‌ای می‌شود.

از میان این سه روش، حسگر روبش خطی یا جارویی با اقبال بسیار بیشتری مواجه شده است. در این روش، از حرکت جسم مورد تصویربرداری یا خود تصویربردار برای پوشش یک منطقه استفاده می‌شود. در هر اندازه‌گیری، یک خط از ابعاد شی مورد بررسی قرار می‌گیرد.

منبع نوری در بالای نمونه و رو به پایین قرار داده می‌شود. از آن‌جایی که هیچ منبع نوری، شدت برابری از نور را برای همه طول موج‌ها ساطع نمی‌کند، از یک باتابنده استاندارد لامبرتی برای تصحیح طیف استفاده می‌شود که تمام طول‌موج‌ها را به یک اندازه بازتاب می‌دهد.

نور گسیل شده از منبع نوری پس از برخورد به اجسام به سمت بالا بازتاب شده و از لنز شیئی و شکاف سامانه عبور می‌کند.

سپس این پرتو از یک موازی‌ساز نوری و یک المان پاشنده گذرانده می‌شود. این پاشنده، طول‌موج‌های مختلف را به صورت فضایی جداسازی کرده و روی یک آرایه آشکارساز دوبعدی متمرکز می‌کند. در این حالت، یک بعد طیفی و فضایی به صورت همزمان نمونه‌برداری می‌شوند.

با حرکت سامانه، منطقه مجاور نمونه‌برداری شده و مختصات بعدی دریافت می‌شوند. روبش خطی، عمود بر جهت حرکت خواهد بود. در این سامانه، اندازه شکاف ثابت است اما با دور یا نزدیک کردن آن به نمونه می‌توان ارتفاع روبش خطی را تغییر داد.

تفاوت‌های کلیدی تصویربرداری فراطیفی با طیف‌سنجی FTIR

طیف‌نگاری‌های رامان و FTIR تفاوت‌های بنیادین متعددی با هم دارند اما هردوی FTIR و تصویربرداری فراطیفی را می‌توان به صورت بازتابی یا عبوری در طول‌موج‌های فروسرخ به کار گرفت.

تفاوت اصلی این دو روش در ابزار مورد استفاده برای جمع‌آوری داده‌ها و محدودیت‌های زمانی، منطقه پوشش‌دهی و بازه طیفی آن‌ها است. تجهیزات FTIR اغلب از یک تداخل‌سنج برای دریافت طیف استفاده می‌کنند که در آن یک آینه متحرک به خلق تداخل‌های سازنده و مخرب در طول زمان می‌پردازد.

برای نمونه‌برداری از تمام طول‌موج‌های یک محدوده مشخص، آینه باید به اندازه معینی جابجا شود. این روبش تکی، تکرار شده و طیف نهایی خروجی از تجمع چند روبش حاصل می‌شود. هر اندازه‌گیری، برای هر نقطه، یک طیف ایجاد می‌کند.

بازه طیفی FTIR و تصاویر فراطیفی نیز متفاوت هستند. تجهیزات FTIR اغلب بازه طیفی ۴۰۰ تا ۴۰۰۰ بر سانتی‌متر را که معادل طول موجی ۲۴۰۰ تا ۲۵۰۰۰ نانومتر است، پوشش می‌دهند. این بازه طیفی وسیع، اطلاعات بسیاری را از پیوندهای شیمیایی قطبش‌پذیر شامل گروه‌های عاملی متنوع و پیوندهای هیدروژنی در اختیار ما می‌گذارد.

در مقابل، تصاویر فراطیفی دارای بازه‌های طول موجی کوچکتری هستند که شامل طیف مرئی (۴۰۰ تا ۷۰۰ نانومتر) و ناحیه فروسرخ نزدیک (۷۰۰ تا ۲۵۰۰ نانومتر) می‌شود. این موضوع، میزان اطلاعات قابل دریافت در یک طیف را کاهش می‌دهد. با این حال، ناحیه فروسرخ ۱۷۰۰ تا ۱۸۰۰ نانومتر، برای شناسایی پیوند C-H و در نتیجه مولکول‌های آلی بسیار مفید است.

در روش تصویربرداری فراطیفی، به جای استفاده از الگوهای تداخلی برای تفکیک طول‌موج‌ها، از المان‌های پاشنده و حسگرهای آرایه‌ای استفاده می‌شود و بنابراین قابلیت پوشش مساحت‌های بیشتری را در زمان کمتر نسبت به FTIR دارد. تصویربرداری فراطیفی و FTIR در نهایت اطلاعات مشابهی را تولید می‌کنند با این تفاوت که بر حسب نوع تجهیزات مورد استفاده در دو فناوری، زمان آنالیز و جزئیات این طیف‌ها بسیار متفاوت خواهد بود.

FTIR طی یک فرآیند زمان‌بر، اطلاعات با جزئیات بیشتری را در اختیار می‌دهد. در حالی که تصویربرداری فراطیفی می‌تواند اطلاعات مورد نیاز را با سرعت بسیار زیاد به دست دهد و به این ترتیب برای بررسی مساحت‌های وسیع در زمان کوتاه مناسب‌تر است!

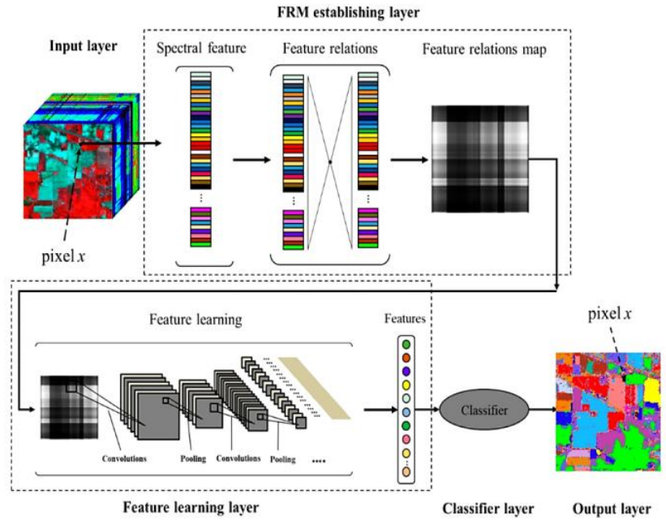
هزینه و زمان آنالیز

قیمت دستگاه تصویربرداری فراطیفی به نوع سامانه آن وابسته است. به عنوان مثال، یک دوربین فراطیفی فروسرخ قیمتی در حدود ۵۰ هزار دلار دارد (Resonon Pika-NIR-320) در شرایطی که یک سامانه رومیزی دارای صفحه متحرک قیمت را تا ۷۰ هزار دلار افزایش می‌دهد. قیمت سامانه‌های میکروسکوپی فراطیفی از این مقدار نیز بالاتر می‌رود. با این حال، قیمت چنین دستگاه‌هایی در مقایسه با دستگاه‌های تصویربرداری رامان و FTIR که استاندارد شناسایی ریزپلاستیک‌ها محسوب می‌شوند، در محدوده ۲۰۰ تا ۲۵۰ هزار دلار و بسیار ناچیز است. در کنار هزینه مادی، باید هزینه زمانی آنالیز به وسیله این دستگاه‌ها را نیز در نظر بگیریم. برای مثال، بررسی یک سطح ۲۴۰ میلی‌متر مربعی با استفاده از یک دوربین فراطیفی معمول، تنها در حدود یک ثانیه زمان می‌طلبد در صورتی که بررسی همین نمونه با استفاده از یک FTIR آرایه‌ای صفحه کانونی با نرخ روبش ۴/۹ میلی‌متر مربع بر ساعت در حدود ۴۹ ساعت زمان خواهد برد!

چالش‌ها و فرصت‌های پیش رو

سامانه‌های تصویربرداری فراطیفی هنوز قادر به تشخیص ریزپلاستیک‌های با ابعاد کوچکتر از ۱۰۰ میکرومتر نیستند. این موضوع به دلیل ساخته شدن دوربین‌های فراطیفی موجود برای شناسایی اجسام بزرگتر است. برای اینکه تصویربرداری فراطیفی در رقابت با سایر روش‌های مورد استفاده باقی بماند، می‌بایست وضوح طیفی آن افزایش پیدا کند که این موضوع به عنوان یک فرصت برای سرمایه‌گذاری محسوب می‌شود. یکی از راه‌های انجام این کار، ایجاد تغییرات در تجهیزات فعلی به نحوی است که وضوح فضایی بیشتر شود. توسعه دوربین‌های فراطیفی به منظور تحلیل ریزپلاستیک‌ها، قابلیت متناسب‌سازی آن با نیازهای متنوع را افزایش می‌دهد.

از سوی دیگر، می‌توان وضوح طیفی این تجهیزات را بدون کاهش کیفیت بهبود بخشید. برای مثال، می‌توان طراحی این سامانه‌ها را برای طول موج‌های خاصی که پلیمرهای سینتتیک به خصوصی را آشکار می‌کنند، انجام داد. کاهش اطلاعات طیفی منجر به کاهش نیاز محاسباتی شده و آنالیز را ساده‌تر می‌کند. مثال‌های



متنوعی وجود دارد که در آن نشان داده شده‌است می‌توان با رویکردهای چند طیفی به شناسایی پلاستیک‌ها پرداخت. مفهوم دیگری که می‌توانیم از آن برای سنجش از راه دور پلاستیک‌ها و ریزپلاستیک‌ها استفاده کنیم، بهره‌گیری از پلاستیک‌های معین و تهیه طیف‌های مرجع از آن‌ها است. پلاستیک‌های جمع‌آوری شده از محیط‌های آبی دارای درجات متفاوتی از تخریب‌های پلیمری هستند. به همین ترتیب پلاستیک‌های جمع شده از طبیعت، منابع متنوع و افزودنی‌های شیمیایی مختلفی را شامل می‌شوند. استفاده از طیف‌های مرجع از پیش تهیه شده به ما این امکان را می‌دهد که هر گونه ریزپلاستیک موجود در محیط زیست را شناسایی کنیم. فرصت دیگری که برای بهبود تصویربرداری فراطیفی در شناسایی ریزپلاستیک‌ها وجود دارد، ایجاد توانایی شناسایی ویژگی‌های ریخت‌شناسی ریزپلاستیک‌ها است.

هیچ کدام از روش‌های کنونی قادر به طبقه‌بندی ذرات بر اساس داده‌های فضایی نیستند. با این حال، در تصاویر فراطیفی این امکان وجود دارد که شکل، تعداد و اندازه ریزپلاستیک‌ها شناسایی شده و بر این اساس طبقه‌بندی صورت گیرد. این روش با ترکیب اطلاعات مربوط به ریخت‌شناسی ذره و داده‌های طیفی آن، مدلی را در اختیار ما قرار می‌دهد که حتی در تشخیص ریزپلاستیک‌های تخریب شده هم کارآمد است.

بازار تصویربرداری فراطیفی

در سال ۲۰۲۰، کاربردهای متنوع تصویربرداری فراطیفی در صنایع نظامی، هوا فضا، نظارت بر محیط‌زیست، کشاورزی، اکتشافات نفت و گاز، منابع انرژی، نظارت بر شهرها و ... در مجموع بودجه‌ای بالغ بر ۱۲/۳ میلیارد دلار را به خود اختصاص داده‌اند. پیش‌بینی می‌شود میزان بودجه صرف شده توسط کشورهای جهان برای فناوری تصویربرداری فراطیفی با نرخ خیره‌کننده ۱۷/۲ درصدی رشد کرده و در سال ۲۰۲۸ به مجموع ۴۳/۷ میلیارد دلار برسد! این نرخ بالای سوددهی و افزایش سرمایه‌گذاری جهان بر این موضوع، بیانگر پتانسیل بالا و قابلیت‌های تصویربرداری فراطیفی است. پژوهش در این حوزه با توجه به اهمیت و گستردگی کاربردهای آن در صنایع مختلف، ظرفیت‌های بالقوه علمی و اقتصادی بالایی را در اختیار علاقمندان آن قرار می‌دهد.

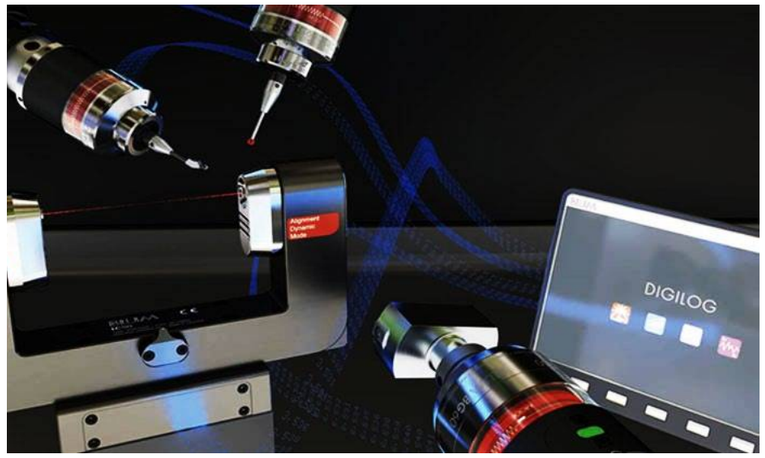
آموزش کاربردی

نسل جدید ابزارهای سنجش دقیق

بر مبنای تداخل سنجی

تداخل و تداخل‌سنجی

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



باید پذیرفت که نور منشا دانایی است! در گذشته نور خورشید، ماه و ستارگان راهگشای انسان نخستین بود. بعدها با کشف آتش، بشر تاریکی شب را با نور مشعل به سیطره خود درآورد. حال امروز پس از گذشت قرن‌ها، انسان با مهار نور قدم در دنیاهای بسیار کوچک ریز اتمی و بسیار بزرگ کهکشانی گذارده است.

امروزه محققان از نور برای سنجش و رویت دقیق‌ترین جزئیات بهره می‌گیرند. جالب است بدانید که سوژه مورد بررسی چندان اهمیتی ندارد، خواه رصد یک پدیده نجومی مد نظر باشد، خواه شناسایی یک ساختار مولکولی و یا حتی کنترل کیفیت قطعات صنعتی، همه با نور ممکن است.

یکی از نوین‌ترین روش‌های سنجش دقیق که در آن از نور و به طور کلی امواج بهره گرفته می‌شود، روش تداخل‌سنجی است. این روش بسیار کارآمد، دقیق و قابل تطبیق است. از این رو، در این مجال قصد داریم اساس کار و نحوه عملکرد این روش دقیق سنجش اپتیکی را مورد بررسی قرار دهیم.

برای شروع لازم است به این سوال بنیادی پاسخ دهیم که تداخل چیست و تداخل‌سنجی در چه زمینه‌هایی مورد استفاده قرار می‌گیرد؟

مفهوم فیزیکی تداخل

در فیزیک هنگامی که دو یا چند موج به صورت همزمان از یک نقطه عبور می‌کنند، بین امواج عبوری تداخل صورت می‌گیرد. در واقع اولین بار، توماس یانگ نشان داد که یک الگوی تداخلی زمانی ایجاد می‌شود که نور از دو منبع در حین حرکت از یک محیط به هم می‌رسند. قله یک موج به طور سازنده با قله موج دوم همپوشانی می‌کند و شدت موج را افزایش می‌دهد.

بر اساس اصل برهم‌نهی امواج، وقتی که دو یا چند موج در حال انتشار از یک نوع در یک نقطه با هم برخورد می‌کنند، دامنه حاصل در آن نقطه با مجموع برداری دامنه‌های تک تک این امواج برابرست. دانشمندان امروزه با بررسی نحوه تداخل امواج (که تداخل‌سنجی نامیده می‌شود)، اطلاعات متعددی را استخراج می‌کنند. حال باید دید یک تداخل‌سنج چگونه عمل می‌کند.

نحوه عملکرد یک تداخل سنج

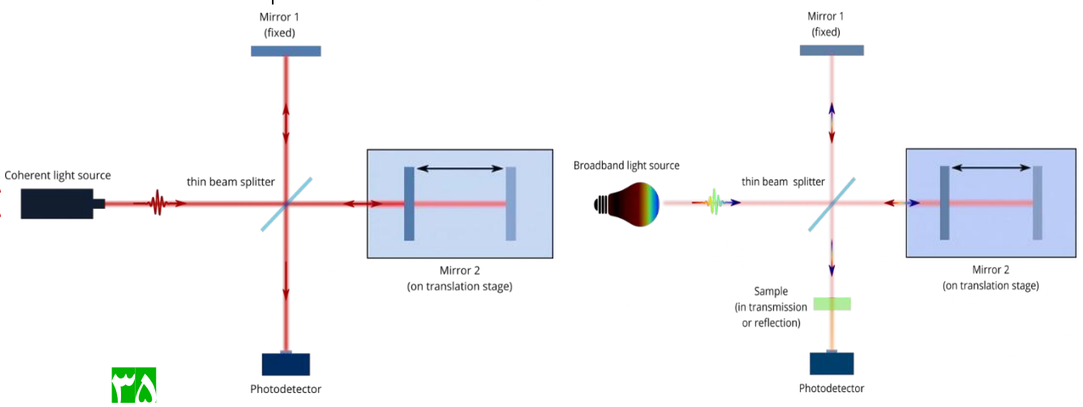
در اغلب تداخل‌سنج‌ها، نور خروجی از یک منبع نوری توسط یک تقسیم‌کننده نوری (Beam splitter) به دو باریکه تقسیم می‌شود که هریک از این باریکه‌ها مسیرهای نوری متفاوتی را طی می‌کنند اما در نهایت به ترتیبی خاص در یک مسیر قرار گرفته و با هم ترکیب می‌شوند. ترکیب این دو باریکه منجر به تداخل می‌شود که می‌تواند فاز و دامنه که اصلی‌ترین مشخصه‌های یک موج هستند را تغییر دهد. نتیجه حاصل از این تداخل شکل‌گیری نوارهای تاریک و روشنی است که فریزهای تداخلی نامیده می‌شوند.

جالب است بدانید که اولین استفاده عملی از اصول تداخلی به عنوان ابزار اندازه‌گیری، توسط آلبرت مایکلسون در سال ۱۸۸۰ صورت گرفت و ساخت اولین تداخل‌سنج به نام وی در تاریخ ثبت شد. اگرچه این فناوری و دقت اندازه‌گیری‌هایش طی سال‌ها توسعه یافته است، اما اساس تداخل‌سنج مایکلسون همچنان به عنوان هسته دانش تداخل‌سنجی حفظ شده است.

در یک تداخل‌سنج مایکلسون تقسیم‌کننده نور (آینه نیمه اندود شده با نقره) و دو آینه فریزهای تداخلی را شکل می‌دهند. وقتی که نور از میان آینه نیمه نقره‌ای یا حتی یک شکاف می‌گذرد، به دو پرتو با مسیرهای نوری متفاوت تقسیم می‌شود که یکی به سمت آینه اول و دیگری به سمت آینه دوم می‌رود. پس از انعکاس از آینه‌ها، این پرتوها قبل از ورود به آشکارساز دوباره در تقسیم‌کننده نور با هم برخورد کرده و ترکیب می‌شوند. اختلاف مسیر طی شده توسط این دو پرتو باعث ایجاد اختلاف فاز می‌شود.

اگر اختلاف فاز دو پرتوی نور صفر باشد، دو پرتو تداخل سازنده‌ای خواهند داشت، بدین معنی که سیگنالی با شدت بالا در آشکارساز نوری اندازه‌گیری می‌شود.در مقابل، اگر اختلاف فاز نصف طول‌موج نور باشد، دو پرتو اثر همدیگر را خنثی کرده و شدت سیگنال در آشکارساز به صفر می‌رسد. در این حالت تداخل را ویرانگر می‌خوانند. از آنجایی که اختلاف فاز دو پرتو نور به تفاوت مسیر پرتو نوری آنها بستگی دارد، کوچکترین تغییر در فاصله بین یکی از آینه‌ها (بازوهای تداخل‌سنج) و تقسیم‌کننده پرتو منجر به مدولاسیون‌های شدت قوی در آشکارساز نوری می‌شود. در این چیدمان از الگوی تداخلی ظاهر شده در آشکارساز برای ارزیابی ویژگی‌های موج، خواص مواد یا جابجایی یکی از آینه‌ها استفاده می‌شود. پردازش سیگنال نوری در آشکارساز امکان مشاهده تداخل دو پرتو را فراهم می‌کند. جابجایی بازوی اندازه‌گیری باعث تغییر در فاز نسبی دو پرتو می‌شود. این حلقه‌های تداخلی مخرب و سازنده باعث می‌شود که شدت نور نوترکیب دچار تغییرات تکراری شود. هر بار که بازوی اندازه‌گیری/بازتابنده به اندازه نیمی از طول موج لیزر جابجا شود، حلقه‌ای تشکیل می‌شود که در آن شدت نور از تاریک به روشن تغییر می‌کند. چرا که این جابجایی باعث می‌شود مسیر نوری به اندازه طول موج لیزر تغییر کند.

تصاویر پایین صفحه طرحواره‌ای از چیدمان تداخل‌سنج ساده مایکلسون با یک منبع نور همدوس مانند لیزر و یک منبع نور با گستره طیفی وسیع را نشان می‌دهند. در حالی که تصویر بالا چیدمانی واقعی از یک تداخل‌سنج را نشان می‌دهد که در آن اجزای اپتیکی ساده درابعاد کوچکی کنار هم قرار گرفته‌اند.



.

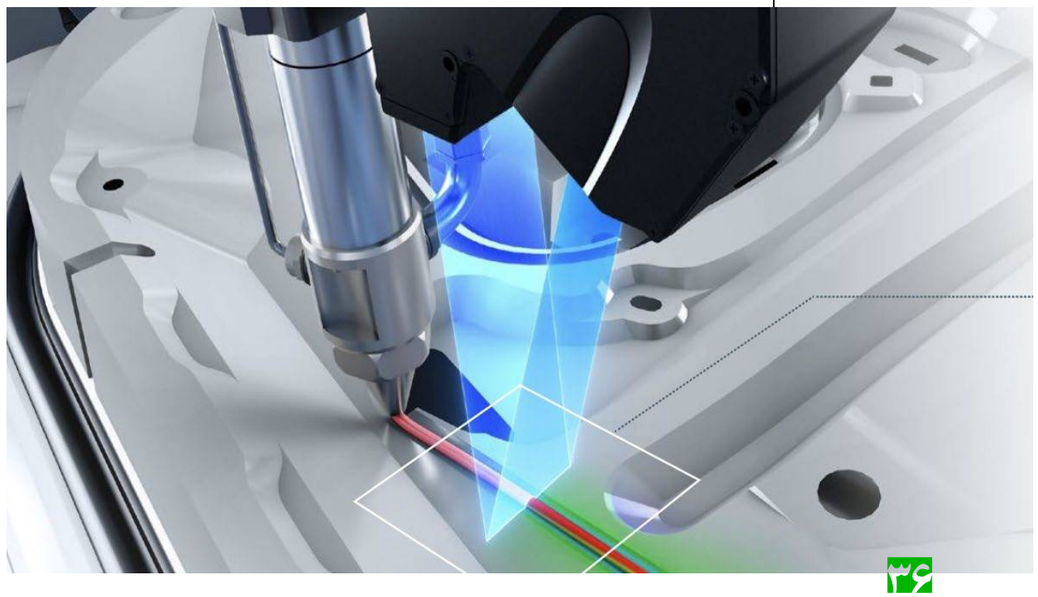
از مهمترین کاربردهای تداخل‌سنجی در نجوم، می‌توان به رصدخانه موج گرانشی با تداخل‌سنج لیزری که به اختصار لایگو (LIGO) نیز نامیده می‌شود، اشاره کرد. در واقع ، لایگو یک آزمایشگاه بزرگ فیزیکی با هدف آشکارسازی مستقیم امواج گرانشی است. البته در LIGO از چندین تداخل‌سنج برای اهداف مختلف استفاده می‌شود که هریک در نوع خود جالب توجه است.

در تداخل‌سنجی اغلب از امواج الکترومغناطیسی استفاده می‌شود و یک روش سنجش دقیق و پیشرفته در زمینه‌های نجوم، مترولوژی مهندسی، مترولوژی نوری، اقیانوس‌شناسی، زلزله‌شناسی، طیف‌سنجی (و کاربردهای آن در شیمی)، مکانیک کوانتومی، فیزیک هسته‌ای و ذرات، پلاسما، سنجش از راه دور، پروفایل سطح، میکروسیالات، اندازه‌گیری تنش و کرنش مکانیکی، سرعت‌سنجی و بینایی‌سنجی محسوب می‌شود. حتی از تداخل برای ساخت هولوگرام نیز بهره‌گیری می‌شود. با توجه به این حجم از کاربری، بدیهی است که سرمایه‌گذاری علمی و مالی می‌تواند دستاوردهای شگرفی را به همراه داشته باشد.

در علم تحلیل، از تداخل‌سنج‌ها برای اندازه‌گیری طول و بررسی شکل اجزای نوری با دقت نانومتری استفاده می‌شود. آنها دقیق‌ترین ابزارهای اندازه‌گیری طول موجود هستند.

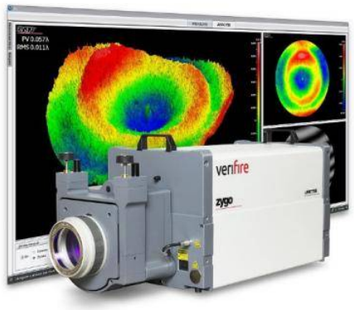
در طیف‌سنجی تبدیل فوریه هم برای تجزیه و تحلیل نور حاوی ویژگی‌های جذب یا انتشار مرتبط با یک ماده یا مخلوط، از این روش استفاده می‌شود. در مورد نور مرئی، چون طول موج این نور بسیار کوتاه است، کوچکترین تغییر در مسیر نوری (فواصلی که نور طی می‌کند) بین دوباریکه، قابل تشخیص است چرا که این اختلاف می‌تواند منجر به تغییرات قابل توجهی در الگوی تداخلی شود.

بازار جهانی تداخل‌سنجی در بازه زمانی بین سالهای ۲۰۲۱-۲۰۲۷ با نرخ رشد مرکب سالانه ۳/۳۶% در حال رشد است. شرکت‌های قدری همچون Keysight Technologies، Renishaw، Zygo، TOSEI Eng، Haag-Streit group، 4D Technology، OptoTech، Palomar Technologies و... جزو بزرگترین رقبای این بازار هستند. جالب است بدانید که بیشترین تقاضا در زمینه‌های فیزیک و نجوم، مهندسی و علوم کاربردی، بیولوژی و پزشکی است. در این بخش قصد داریم به صورت اجمالی برخی از تجهیزاتی که بر اساس تداخل امواج کار می‌کنند را معرفی و بررسی کنیم. پس تا پایان این بخش با ما همراه باشید.



کالیبراسیون و بهینه‌سازی دستگاه

تشخیص و اندازه‌گیری عملکرد یک دستگاه برای دستیابی به یک سطح مشخص و قابل تکرار از قابلیت عملکرد، ضروری است. سامانه‌های اندازه‌گیری تداخل‌سنج لیزری، عملکرد استاتیکی و دینامیکی ماشین‌ابزارها، ماشین‌های اندازه‌گیری هم‌پایه (CMM) و سایر سامانه‌های حرکتی را ارزیابی و پایش کرده و بهبود می‌بخشند. بنابراین، چنین تجهیزاتی باید به عنوان اولین گام در بهبود فرآیند در نظر گرفته شوند و مکمل سامانه‌های کاوشگر روی ماشین و خارج از ماشین هستند.



مترولوژی سطح

تا پیش از این، برای دستیابی به اندازه‌گیری‌های مطمئن، اثرات محیطی باید به دقت کنترل می‌شد. امروزه، فناوری‌هایی روانه بازار شده‌اند که حتی می‌توانند در محیط‌های خشن که ارتعاش و تلاطم هوا در آنها زیاد است و اندازه‌گیری به روش‌های نوری سنتی دشوار یا غیرممکن است، به دقت سطح مد نظر را مورد بررسی قرار دهند. در واقع، یک سامانه تداخل‌سنجی می‌تواند با سرعت و قابلیت اعتماد بالایی، ایرادهای سطح و جبهه موج ارسال شده از اجزا، سامانه‌ها و مجموعه‌های اپتیکی را اندازه‌گیری کند.

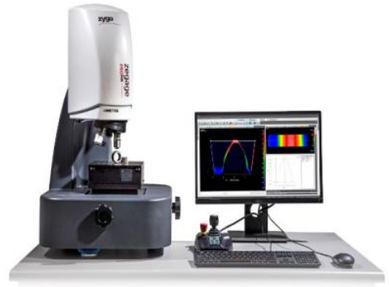
بررسی شکل سطح، اندازه‌گیری صافی اجزای نوری و جبهه‌های موج سامانه‌های نوری و دیگر ادوات مانند پنجره‌ها، آینه‌ها، عدسی‌ها، منشورها و حتی سطوح فلزی و سرامیکی ماشین‌کاری شده، همه توسط این تجهیزات قابل بررسی است. بعلاوه، تجهیزات نوری با شکل کروی مزایای قابل توجهی را در طراحی و پیاده‌سازی سامانه‌های تصویربرداری، حسگرها و لیزرهای مورد استفاده در صنایع از جمله سامانه‌های دفاعی و هوافضا، نوردهی و بازرسی ادوات نیم‌رسانا و سامانه‌های تصویربرداری پزشکی ارائه می‌دهند. تولید کره‌هایی که از این کاربردها پشتیبانی می‌کنند، به مترولوژی دقیق وابسته است. از این گذشته، وقتی نوبت به اپتیک کروی می‌رسد، نمی‌توانید چیزی را بسازید که نمی‌توانید اندازه‌گیری کنید. در حال حاضر برخی از شرکت‌های فعال در این حوزه، پلتفرم‌های مترولوژی انعطاف‌پذیری را طراحی کرده‌اند که قادرند تجهیزات با شکل کروی را مورد مطالعه قرار دهند.

با بهره‌گیری از گونه‌های نوینی از چنین دستگاه‌هایی می‌توان اندازه‌گیری‌های نوری تداخل‌سنجی را حتی در محیط‌های پویا (با ارتعاش شدید) هم انجام داد. همانطور که اشاره شد، به طور سنتی، این ابزارها باید در محیط‌های آزمایشگاهی نصب می‌شدند، جایی که شرایط به دقت کنترل می‌شد تا اطمینان حاصل شود که اندازه‌گیری‌ها با دقت بالا انجام می‌شود.

با این حال، امروزه مترولوژی با کیفیت در تعداد فزاینده‌ای از کاربردها مورد نیاز است و لازم است که راه‌حل‌های آسان و مقرون به صرفه‌ای ارائه شود که بتوان از تداخل‌سنجی در محیط‌هایی که قبل از این دستیابی به مترولوژی دقیق در آن محیط‌ها غیرممکن بود، بهره گرفت. امروزه با امکاناتی که فناوری‌های پردازش اطلاعات و تجهیزات پیشرفته مورد نیاز برای طراحی تداخل‌سنج‌ها در اختیار فناوران قرار می‌دهند، ساخت چنین دستگاه‌های دقیقی ممکن شده است.

سطوح چندگانه، الگوهای تداخلی پیچیده‌ای ایجاد می‌کنند. افزاره‌های تداخل‌سنج سطوح چندگانه از تغییرات طول موج برای به دست آوردن داده‌های فازی حاصل از سطوح چندگانه به طور همزمان استفاده می‌کنند. معیارهای کلیدی سطوح مجزای پنجره‌های موازی، جبهه‌های موج ارسالی و همچنین اطلاعات دقیق سطح به سطح مانند تغییرات کل ضخامت (TTV) و حتی ناهمگنی مواد را گزارش می‌کند. چنین دستگاه‌هایی برای سنجش دقیق تغییرات سطح و ضخامت قطعات در کاربردهایی مانند شیشه صفحه نمایش دستگاه‌های تلفن همراه، دیسک‌های ذخیره اطلاعات و ویفرهای نیم‌رسانا بسیار کارآمد عمل می‌کنند.

با بهره‌گیری از گونه‌ای از حسگرهای جابجایی تداخل طیفی، اندازه‌گیری فاصله مطلق با وضوح نانومتری امکان‌پذیر است. از این حسگرهای پیشرفته که تداخل‌سنج طیفی نامیده می‌شوند برای اندازه‌گیری دقیق فاصله، موقعیت و ضخامت در صنایع مختلف استفاده می‌شود.



میکروسکوپ‌های تداخلی

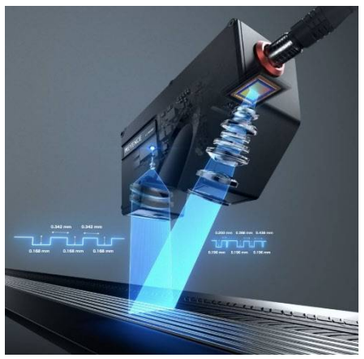
اگرچه همه میکروسکوپ‌های نوری به معنای دقیق، تصاویر را از طریق پراش ایجاد می‌کنند، میکروسکوپ تداخلی با استفاده از تفاوت بین یک پرتو تداخلی که از نمونه عبور می‌کند و یک پرتوی مشابه که آن را روشن می‌کند، تولید تصویر می‌کند. در این نوع میکروسکوپ‌ها هم یک تقسیم‌کننده پرتو نور را به دو مسیر تقسیم می کند که یکی از آنها از نمونه عبور می‌کند و دیگری آن را دور می‌زند. هنگامی که دو پرتو با هم ترکیب می شوند، تداخل حاصل بین آنها ساختار نمونه را آشکار می‌کند. البته این مدل اولین سامانه موفقی است که توسط فرانسیس اسمیت و فیزیکدان فرانسوی موریس فرانسون در سال ۱۹۴۷ اختراع شد. بعدها رویکردهای دیگری همچون کنتراست تداخل دیفرانسیلی (DIC) هم مورد مطالعه قرار گرفت که در چیدمان آن از یک منشور بهره گرفته می‌شد. پیشرفت‌های اخیر شامل کنتراست نور نامتقارن و کنتراست مدولاسیون است که در آنها از نور آفست یا مایل استفاده می‌کند.

پروفایلرهای نوری

پروفایلرهای نوری گونه‌ای از میکروسکوپ‌های تداخلی هستند که برای اندازه‌گیری تغییرات ارتفاع - مانند زبری سطح - روی سطوح، با دقت زیاد، با استفاده از طول موج نور به عنوان خط‌کش استفاده می‌شوند.

یک پروفایلر نوری از مشخصه‌های موج نوری برای مقایسه تفاوت مسیر نوری بین سطح آزمایش و سطح مرجع استفاده می‌کند. در داخل یک پروفایلر تداخل نوری، یک پرتو نور تقسیم می‌شود که نیمی از پرتو از نمونه‌ای که در صفحه کانونی عدسی شی میکروسکوپ قرار گرفته عبور کرده و منعکس می‌شود و نیم دیگر پرتو تقسیم شده از آینه مرجع منعکس می‌شود.

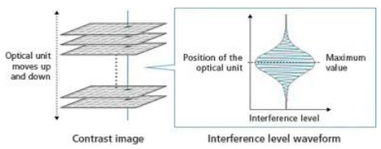
امروزه پروفایلرهای نوری سه‌بعدی هم روانه بازارهای مصرف شده‌اند که در عین عدم تماس با سطح، مشخصه‌سازی ویژگی‌های سطح در مقیاس میکرو و نانو را با اندازه‌گیری دقیق کمی ویژگی‌های سطح امکان‌پذیر می‌کنند و تا دو میلیون نقطه داده را تنها در چند ثانیه ثبت می‌کنند. این ابزارها نه تنها توپوگرافی سطح را نشان می‌دهند، بلکه موج‌دار بودن، زبری و مشخصه ریزساختارهای روی نمونه را با دقت بالایی به تصویر می‌کشند. به طوری که از سطوح نوری فوق‌العاده صاف با زبری سطح زیر آنگستروم گرفته تا سطوح چاپی سه‌بعدی بسیار ناهموار و پراکنده را مشخصه‌یابی می‌کنند.



حسگرهای اندازه‌گیری تداخلی

مشابه دیگر ابزارهای تداخلی در این حسگرها هم نور ساطع شده از منبع نور توسط تقسیم‌کننده پرتو به دو قسمت تقسیم می‌شود. یک پرتو از هدف و دیگری از آینه مرجع منعکس می‌شود. سپس هر دو پرتو به عنوان امواج نوری تداخلی به عنصر دریافت‌کننده نور برخورد می‌کنند. این امواج نوری تداخلی بالاترین سطح تداخل را زمانی که طول مسیرهای نوری آنها با هم منطبق باشد، ایجاد می‌کنند.

واحد نوری که تمام اجزای نوری را در خود جای داده است، برای به دست آوردن تصاویر به سمت بالا و پایین حرکت می‌کند. برای هر نقطه اندازه‌گیری در این تصاویر، دستگاه موقعیت واحد نوری را در بالاترین سطح تداخل ثبت می‌کند. سپس از این اطلاعات برای تعیین فاصله تا هدف استفاده می‌شود.



در حسگرهای اندازه‌گیری جابجایی، پرتو لیزری که به صورت یک خط منبسط شده است به طور پراکنده از سطح هدف منعکس می‌شود. این نمایه بازتابی اغلب بر روی حسگر تصویر شناسایی شده و با تشخیص تغییرات موقعیتی و شکل نور انعکاسی، امکان اندازه‌گیری موقعیت نقاط مختلف در امتداد سطح هدف را فراهم می‌کند. حسگرهای جابجایی لیزری، بدون هر گونه تماسی ارتفاع، موقعیت یا فاصله هدف را اندازه‌گیری می‌کنند. با ترکیب چندین حسگر، اندازه‌گیری‌هایی مانند ضخامت و عرض نیز قابل انجام است. حسگرهای جابجایی با دقت بالا را می توان به دو دسته تقسیم کرد: هم کانونی و مثلث لیزری. هر دو رویکردهای دقیق و قابل اعتمادی را برای اندازه‌گیری بدون تماس ارائه می‌دهند، اما بسته به کاربرد ممکن است یک نوع مزیت نسبت به دیگری ارائه دهد.

ثبت تصاویر با استفاده از تداخل‌سنجی نور سفید سه‌بعدی، امکان اندازه‌گیری سه بعدی تقریبا آنی را فراهم می‌کند که برای استفاده در تولید یا بازرسی آفلاین عالی است. این رویکرد، ثبت تصاویر هم محور از مناطق مرده (جایی که امکان دریافت نور وجود ندارد) را حذف می‌کند و بهترین روش را برای جمع‌آوری تصاویر سه بعدی از سطوح شفاف یا آینه‌ای ارائه می‌دهد.

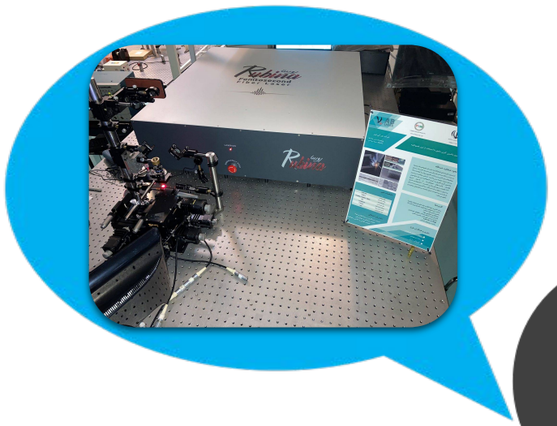
تداخل سنج‌های مادون قرمز

امروزه کاربردهای تصویربرداری‌های نوری بسیار گسترده و متنوع هستند. آزمایش در طول موج طراحی یک سامانه برای توسعه، تراز نهایی و بهبود کیفی آن بسیار حائز اهمیت است.

سامانه‌های دید در شب، IR و تصویربرداری حرارتی در صنایع هوافضا و دفاع، زیرسامانه‌های لیتوگرافی، تلسکوپ‌های سنجش از راه دور و کنترل کیفی مواد همه از مزایای سنجش با سامانه تداخل سنج فروسرخ سود می‌برند. در این سامانه‌ها از طول موج‌های مختلفی مانند NIR، SWIR، MWIR و LWIR متناسب با هدف کاربری بهره گرفته می‌شود.

بنابر آنچه در این مجال شرح رفت، بهره‌گیری از یک چیدمان ساده اپتیکی متشکل از چند عنصر نوری ساده و ترکیب آن با علوم نوین می‌تواند مزایای متعددی را در اختیار فناوران قرار دهد که به واسطه آن چالش‌های پیش روی فعالان در حوزه صنعت و فناوری برطرف می‌شود. امید است این مقاله بتواند جرقه‌ای باشد در ذهن پرمایه علاقمندان به ابداع و نوآوری‌های فناورانه!

گفتگو



گفتگوی اختصاصی با سرکار خانم

دکتر آتوسا سادات عربانیان

عضو هیئت علمی پژوهشکده لیزر و

پلاسما دانشگاه شهید بهشتی

گفتگوی اختصاصی با سرکار خانم دکتر آتوسا سادات عربانیان

عضو هیئت علمی پژوهشکده لیزر و پلاسما دانشگاه شهید بهشتی
و
مدیرعامل شرکت دانش‌بنیان نور آبی لیزر
تولیدکننده انواع لیزرهای فیبری فمتوثانیه و تجهیزات پیشرفته الکترونیکی فمتوثانیه

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 آتوسا سادات عربانیان عضو هیئت علمی پژوهشکده لیزر و پلاسما دانشگاه شهید بهشتی هستم. بنده در رشته فوتونیک (اپتیک و فناوری و کاربردهای لیزر)، مقطع کارشناسی‌ارشد خود را در پژوهشکده لیزر و پلاسما دانشگاه شهید بهشتی سپری کردم و پایان‌نامه خود را با موضوع "طراحی و ساخت نوسانگر پارامتریک نوری (OPO) نانوثانیه‌ای کوک‌پذیر درگستره طول موج مرئی با دمش هارمونیک سوم لیزر نئودیمیم یاگ" در سال ۱۳۸۵ به پایان رساندم، پس از آن در مقطع دکتری، رساله خود را با موضوع "مطالعه برهمکنش پالس‌های لیزری فمتوثانیه با شیشه سیلیکا و کریستال لیتیم نیوبات مورد استفاده در ساخت قطعات مجتمع نوری" در سال ۱۳۹۲ به پایان رساندم و سپس به عضویت هیئت علمی پژوهشکده لیزر و پلاسما دانشگاه شهید بهشتی درآمدم. در طول سال‌ها فعالیت پژوهشی خود، راهنمایی ۸ پایان‌نامه کارشناسی‌ارشد فوتونیک و مشاوره ۱۲ پایان‌نامه کارشناسی‌ارشد و ۲ رساله دکتری را بر عهده داشتم که مجموع این فعالیت‌ها منجر به انتشار ۲۴ مقاله ISI و علمی پژوهشی و همچنین ۳۴ مقاله کنفرانس ملی اپتیک و فوتونیک ایران، شده است. همچنین مجری و همکار ۶ طرح برون سازمانی و دو طرح درون سازمانی دانشگاه هستم. یکی از این طرح‌ها که اخیرا به پایان رسید، ساخت سیستم ماشین‌کاری دقیق با لیزر فمتوثانیه بود که به منظور انواع خدمات و کاربردهای صنعتی، نظامی و پزشکی در کشور انجام شده است. همچنین بنده در اواخر سال ۱۳۹۳ با همکاری دیگر اعضاء هیئت علمی، شرکت دانش‌بنیان نور آبی لیزر را تاسیس کردم.

لطفا در ارتباط با حوزه فعالیت شرکت خود توضیح دهید و بفرمایید که شرکت شما چه محصولاتی را تولید می‌کند و این محصولات در کدام زمینه‌های تخصصی کاربرد دارد؟

این شرکت سازنده محصولاتی همچون انواع لیزرهای فیبری فمتوثانیه و تجهیزات پیشرفته الکترونیکی نظیر مولد تاخیرساز پالس، درایور لیزر دیود ۱۴ پایه‌ای و درایور لیزرهای دیودی پرتوان و انواع آشکارسازهای نوری در ناحیه مرئی و مادون قرمز و آشکارسازهای جدید تک فوتون است.

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

شرکت نور آبی لیزر به منظور تولید سیستم‌های پیشرفته لیزری و انواع تجهیزات پیشرفته الکترونیکی مرتبط با حوزه فوتونیک بر اساس آخرین تکنولوژی روز دنیا شکل گرفته است و به دنبال بومی‌سازی انواع تجهیزات پیشرفته مرتبط با حوزه فوتونیک است.

با توجه به موضوع این شماره نشریه فناوری فوتونیک و مواد پیشرفته مرتبط با نقش این فناوری‌ها در حوزه صنایع ابزار دقیق، ضمن تعریف ماشین‌کاری دقیق با بیان خود، در این مجال قدری در مورد اهمیت و کاربرد محصولات خود به ویژه سیستم ماشین‌کاری دقیق صحبت فرمایید.

امروزه لیزرهای فمتوثانیه بدلیل خصوصیات ویژه ناشی از شدت بالا همراه با طول پالس بسیار کوتاه، برای میکروماشین‌کاری و پردازش دقیق مواد با کیفیت بالا، بسیار مورد توجه قرار گرفته‌اند.

میکروماشین‌کاری با لیزرهای فمتوثانیه دارای کاربردهای گسترده‌ای در صنایع هواپیمایی (هوا فضا)، صنایع نظامی و دفاعی، صنایع پزشکی و دارویی و... است. خصوصاً ماشین‌کاری مستقیم بدون نیاز به ماسک و تجهیزات مربوطه گران قیمت، با استفاده از لیزرهای فمتوثانیه امکان پذیر است. همچنین این سیستم امکان ماشین‌کاری مستقیم داخل حجم ماده شفاف و مواد چندلایه را فراهم می‌سازد که توسط هیچ روش ماشین‌کاری متداول دیگری امکان پذیر نیست. همچنین دقت ماشین‌کاری از مرتبه یک میکرون توسط این روش ممکن است. از میان کاربردهای میکروماشین‌کاری توسط لیزرهای فمتوثانیه می‌توان به سوراخکاری و برشکاری فوق دقیق فلزات، سوراخکاری نازل‌های تزریق دیزلی، ماشین‌کاری حفره‌های خنک‌ساز پره‌های توربین نیروگاهی و هواپیما، ساخت ژیروسکوپ‌های مجتمع نوری (IOG) با دقت مورد نیاز برای کاربردهای ناوبری، ماشین‌کاری مواد منفجره، برش و جداسازی چیپ‌های سیلیکونی، جوشکاری میکرونی مواد، ساخت دستگاه‌های میکرونی بیوپزشکی نظیر ساخت استنت‌های قلبی پلیمری، Lab on chips، بیوسنسورها و دستگاه‌های میکروفلوئیدیک برای انواع کاربردهای پزشکی و بیولوژیکی، ساخت میکروساختارها روی سطوح برای افزایش جذب مواد سلیکونی و افزایش بازده آشکارسازها و سلول‌های خورشیدی، ساختارسازی میکرونی روی سطح فلزات برای کاهش بازتاب و تبدیل آن‌ها به مواد جاذب و نیز افزایش اصطکاک سطوح، سوراخکاری و میکروماشین‌کاری انواع میکروپمپ‌ها، میکروسنسورها و میکروراکتورهای شیمیایی جهت افزایش بازده و عملکردشان، ساخت سوزنهای جراحی، جراحی ریز سلولی، جراحی چشم و ... اشاره کرد. بنابراین میکروماشین‌کاری با استفاده از لیزرهای فمتوثانیه کاربردهای گسترده‌ای را در صنعت نشان داده است و مراکز بسیاری در دنیا از این تکنیک برای کاربردهای فوق استفاده می‌کنند. امروزه تکنیک میکروماشین‌کاری با استفاده از لیزرهای فمتوثانیه جایگزین مناسبی برای تکنیکهای رایج بر پایه لیزرهای با پالس‌های طویل شده‌اند چرا که تکنیک‌های رایج نظیر لیتوگرافی نیاز به تجهیزات پیشرفته برای تولید ماسک، امکانات اتاق تمیز و تجهیزات و دستگاههای بسیار گران قیمت مربوط به لیتوگرافی نظیر تراز کننده ماسک، سیستم زدایش پلاسمایی و ... داشته و مراحل زیادی برای میکروماشین‌کاری دارند. بعلاوه تکنیک‌های لیتوگرافی محدودیت‌های بسیاری برای هندسه‌های سه‌بعدی و مواد مختلف دارند. در حالیکه سیستم‌های میکروماشین‌کاری با لیزرهای فمتوثانیه بدون هیچ محدودیتی روی هندسه و بدون نیاز به تولید ماسک و تجهیزات مربوطه، بطور مستقیم و طی فرآیند یک مرحله‌ای می‌توانند برای میکروماشین‌کاری با هندسه دلخواه مورد استفاده قرار گیرند. از مزیت دیگر آن‌ها ایجاد ساختارهای سه‌بعدی داخل حجم مواد شفاف است که امکان ساخت دستگاه‌های پیچیده‌تر و متنوع‌تر را می‌دهد. از آنجا که تغییرات ضریب شکست با استفاده از لیزرهای فمتوثانیه می‌تواند در هر نقطه‌ای داخل مواد زیر لایه با عمق مشخص (۱۰۰ میکرون تا ۱ میلیمتر) از سطح انجام شود، این تکنیک می‌تواند ساختارهای کوپلر، مدولاتور و شکافنده سه‌بعدی با ابعاد موجبری کمتر از ۱۰ میکرون را ایجاد کند. این در حالیست که در روش‌های ساخت موجبری متداول تنها امکان ساخت کانال‌های سطحی دوبعدی توسط فرآیندهای چند مرحله‌ای بسیار پیچیده‌تر و با کاربردهای محدودتر وجود دارد. با توجه به اهمیت و کاربردهای گسترده بیان شده برای این تکنولوژی جدید، کسب دانش فنی و ورود این تکنولوژی به صنعت کشور و بومی‌سازی تکنولوژی ساخت آن بدلیل هزینه‌های بالا و عدم امکان واردات آن به کشور بدلیل مسائل تحریمی و ... ضروری است.

گفتگو

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؟

با وجود رشد روز افزون این تکنولوژی در صنعت کشورهای خارجی به ویژه در دهه اخیر، و توجه بسیاری از صنعتگران دنیا به این سیستم و قابلیت‌های گسترده آن، در ایران تاکنون چنین تکنولوژی به صنعت کشور ورود پیدا نکرده است و طبق دانش ما سیستم میکروماشین‌کاری با لیزر فمتوثانیه ساخته شده توسط مجری طرح، اولین نمونه محصول تجاری ساخت ایران است. پیش بینی می‌شود با ساخت نمونه اولیه این محصول و نمایان شدن کاربردهای آن در صنایع مختلف، تقاضا برای این محصول در سال‌های آتی به شدت افزایش یابد.

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؟

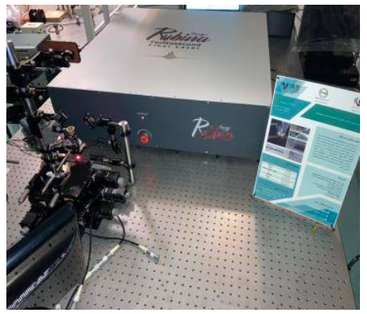
برخی از مواد اولیه اپتیکی مورد نیاز برای ساخت این سیستم از خارج از کشور تهیه شده‌اند اما کلیه تجهیزات الکترونیکی مورد نیاز برای سیستم کاملا بومی شده است. قابلیت تجهیزات الکترونیکی ساخته شده برای این سیستم کاملا قابل رقابت با نمونه مشابه خارجی است.

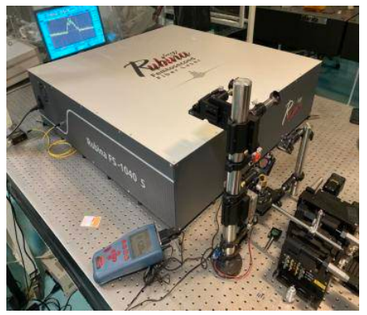
آیا زیرساخت لازم جهت تولید تجهیزات مورد نیاز این حوزه در داخل کشور فراهم است؟

متاسفانه برای تولید برخی از تجهیزات مورد نیاز (به ویژه بخش اپتیکی آن) زیرساخت لازم در کشور مهیا نیست.

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؟

حمایت ستاد از طرح "سیستم ماشین‌کاری دقیق با لیزر فمتوثانیه" بوده است. قبل از شروع طرح طی ۶ سال گذشته اغلب بخش‌های مختلف سیستم لیزر فمتوثانیه بجز بخش آخر آن (کوتاه ساز پالس) بصورت نمونه آزمایشگاهی ساخته و تست شده بود ولی برای منابع تغذیه مورد نیاز برای درایو لیزرهای دیودی پمپ در مراحل مختلف اسیلاتور و تقویت کننده، از منابع تجاری آمریکایی استفاده شده بود که برای تجاری سازی سیستم و پک کردن آن و بومی‌سازی سیستم تا حد ممکن، طی این طرح تمامی منابع تغذیه و الکترونیک سیستم طراحی و ساخته شد. بنابراین در این پروژه علاوه بر طراحی و ساخت بخش آخر سیستم لیزر فمتوثانیه یعنی کوتاه ساز پالس، کل الکترونیک مربوط به منابع تغذیه لیزرهای دیودی، الکترونیک کنترلی سیستم و الکترونیک مربوط به تنظیم دمای دیودها بصورت یکپارچه ساخته شد. در نهایت با طراحی صنعتی مکانیک سیستم، سیستم لیزری فمتوثانیه مورد نیاز برای ماشین کاری دقیق تجاری سازی شد. سپس در قالب این طرح چیدمان ماشین‌کاری متشکل از سیستم حرکتی xyz با گام‌های با دقت ۰٫۱ میکرون و میکروسکوپ دقیق طراحی و ساخته شد و در نهایت سیستم ماشین کاری کامل با کنترل الکترونیکی و نرم افزاری مناسب برای عرضه به صنعت و انجام کاربردهای صنعتی میکروماشین کاری با لیزرهای فمتوثانیه ارائه گردید.





معاونت علمی و فناوری
ریاست جمهوری

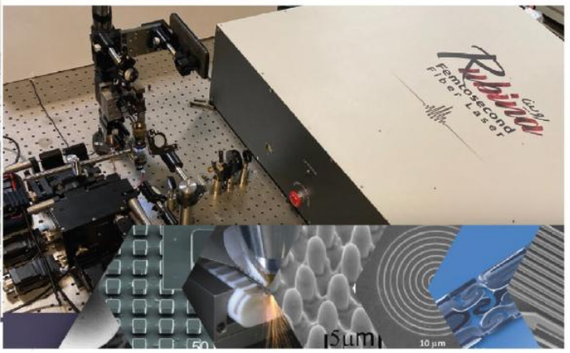
ستاد توسعه فناوری‌های فوتونیک، لیزر، مواد پیشرفته و ساخت

AB LASER

شرکت نور آبی لیزر

پژوهشکده لیزر پلاسما
دانشگاه شهید بهشتی

سیستم ماشین کاری دقیق با استفاده از لیزر فمتوثانیه



نحوه عملکرد دستگاه

امروزه لیزرهای فمتوثانیه بدلیل خصوصیات ویژه شدت بالا با طول پالس بسیار کوتاه، برای میکروماشین کاری و پردازش دقیق مواد با کیفیت بالا، بسیار مورد توجه می باشند. اساس عملکرد سیستم ماشین کاری دقیق با لیزر فمتوثانیه، بر پایه فوکوس قطار پالسهای فمتوثانیه در طول موج ۱۰۴۰ نانومتر و پهنای زمانی کمتر از ۴۰۰ فمتوثانیه داخل یا روی سطح ماده شفاف یا فلزی وسپس اسکن باریکه و یا نمونه برای ایجاد ساختارهای میکرونی دقیق می باشد.

کاربردها

برش کاری و سوراخکاری تیغه های توربینهای هواپیما
ساخت سیستمهای ژیروسکوپ مجتمع نوری دقت بالا
ماشین کاری مواد منفجره
جوشکاری میکرونی مواد
افزایش بازده آشکارسازها و سلولهای خورشیدی
ساخت استنت های قلبی پلیمری و فلزی
Lab On a Chip
ساخت سوزنهای جراحی

مشخصات فنی

عنوان	مشخصه فنی
طول موج لیزر	1040 nm
پهنای زمانی لیزر	<500 fs
نرخ تکرار لیزر	Tunable (100kHz- 1MHz)
توان متوسط لیزر	5W
سرعت حرکت نمونه	1-4000μm/s
گستره اسکن نمونه	5*5mm²
دقت میکروماشین	1 μm

مجری و همکاران طرح

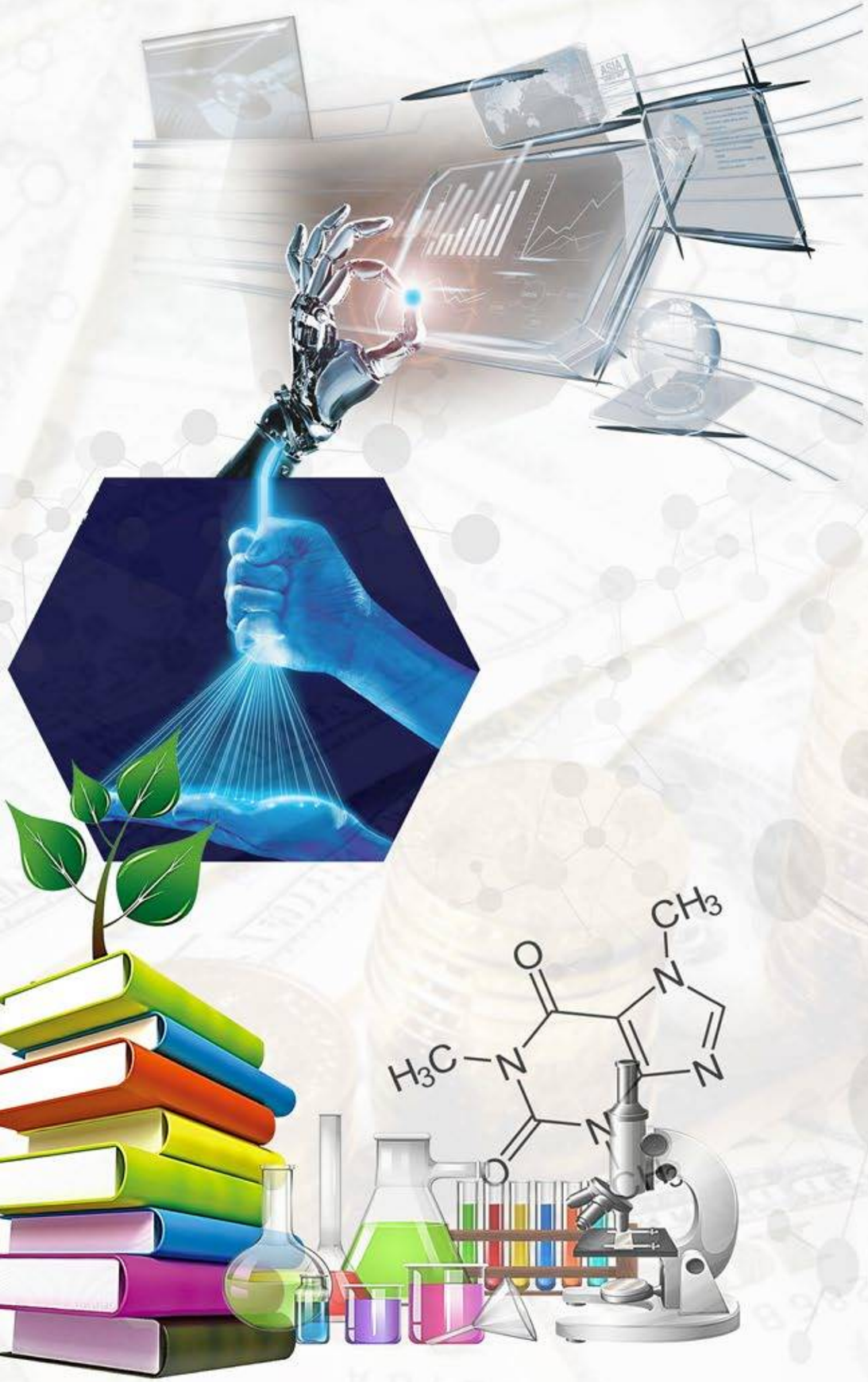
- آتوسا سادات عربانیان
- رضا مسعودی
- کوروش زارع

مشتریان احتمالی

صنعت برشکاری و سوراخکاری مواد
صنعت پزشکی و بیولوژیکی
صنعت نظامی و دفاعی و هوافضا

کلید پیشرفت صنایع

در دستان فناوری سنجش و ابزار دقیق نوری



معرفی شرکت دانش بنیان

طیف پردازان سپهر

تولیدکننده تجهیزات اندازه‌گیری دقیق

مادون قرمز و لیزری

کلید پیشرفت صنایع

در دستان فناوری سنجش و ابزار دقیق نوری

به قلم علی کاظم‌پور
kazempoorali.a@gmail.com

سنجش و اندازه‌گیری، از دیرباز به بهبود زندگی انسان کمک کرده است. با پیشرفت فناوری و صنعتی شدن دنیا، سنجش و اندازه‌گیری کمیت‌های مختلف در فرآیندهای تولید انواع کالا، بازرسی و حفظ امنیت انسان، اهمیت ویژه‌ای پیدا کرده است. در حال حاضر بدون دانستن میزان کمیت‌های مختلف با دقت کافی، دنیای بدون حد و مرز فناوری و صنعت، رو به نابودی خواهد رفت. در واقع علاوه بر اینکه ابزارهای سنجش دقیق، حیات فناوری و صنعت را تضمین می‌کنند، نیاز ضروری برای پیشرفت آن نیز به شمار می‌روند.

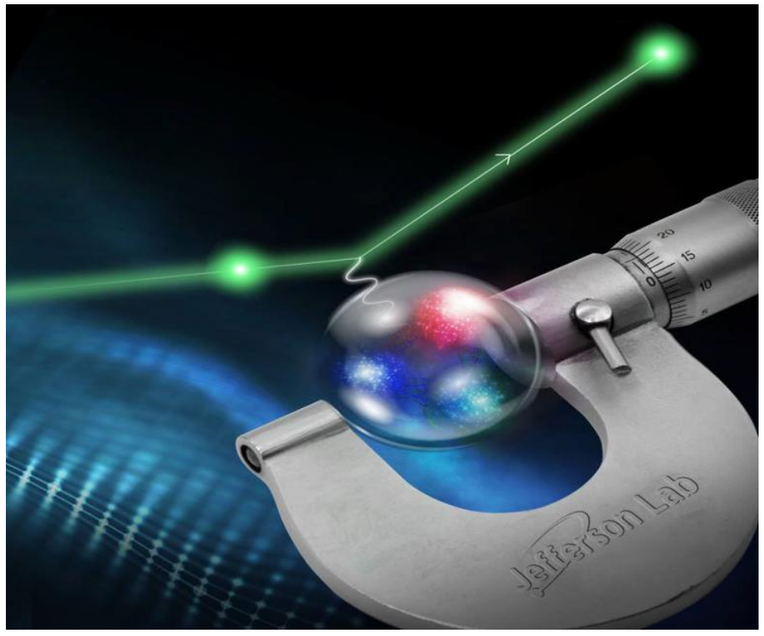
امروزه صنایع مختلف قدم در مسیری گذاشته‌اند که در فرآیند تولید کالا، بازرسی، حفظ امنیت و خدمات‌رسانی در حوزه‌های مختلف، حضور فیزیکی نیروی انسانی در حال کاهش و یا حتی حذف شدن است و جهان شاهد زمزمه‌های وقوع انقلاب صنعتی چهارم است. رکن اصلی این انقلاب را می‌توان افزایش دانش و پیشرفت فناوری‌های سنجش و ابزار دقیق دانست که از دنیای درون اتم‌ها گرفته تا قطعات و سازه‌های غول‌پیکر توسط آنها مورد مطالعه قرار می‌گیرند. در دهه گذشته، رشد چشم‌انداز صنعتی جهانی شاهد جهش خیره‌کننده‌ای بوده است که منجر به افزایش تقاضا برای تولید ابزارهای اندازه‌گیری دقیق و با کیفیت به منظور کاهش زمان و هزینه‌ها شده است. تولید کیفیت‌محور به عنوان یک کلید رقابتی، راهگشای سرمایه‌گذاری در بازار ابزارهای اندازه‌گیری دقیق است.

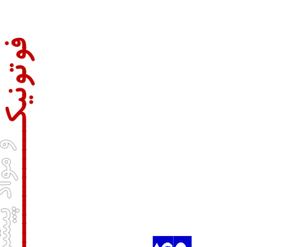
در حالی که صنایع تولیدی، همچنان در خط مقدم تقاضا برای ابزارهای اندازه‌گیری دقیق قرار دارد، روش‌های اندازه‌گیری مبتنی بر نور، گوی سبقت را از سایر روش‌ها ربوده‌اند. نور بهترین سازگاری، دقت و سرعت را در کاربردهای سنجش دقیق دارد که به صورت غیرتماسی، امکان اندازه‌گیری کوچکترین مقدار کمیت‌ها در دنیای اتمی و دنیای فراتر از ابعاد کهکشانی را فراهم کرده است.

فناوران همواره به دنبال راه‌حل‌های اندازه‌گیری دقیق با بالاترین استانداردهای صنعتی بوده‌اند. به موازات تقاضاهای در حال تحول، سازندگان ابزارهای اندازه‌گیری دقیق در تلاش هستند تا نیز قابلیت اطمینان محصولات ارائه شده خود را بهبود ببخشند.

به علاوه، فناوران این حوزه بر سرعت بخشیدن به زمان پاسخ ابزارهای اندازه‌گیری دقیق و از بین بردن خطرات ناشی از عدم عکس‌العمل به موقع، تمرکز کرده‌اند. طبیعی است که دقت و سرعت بیشتر در اندازه‌گیری کمیت‌های مورد نظر، بازار این فناوری را بیش از پیش رونق خواهد بخشید. ابزارهای مبتنی بر نور بهترین گزینه انتخابی هستند که فناوران، ظرفیت بالای آن را به خوبی درک کرده‌اند و استفاده از ابزارهای سنجش نوری تحول شگرفی در دنیای اندازه‌گیری ایجاد کرده است.

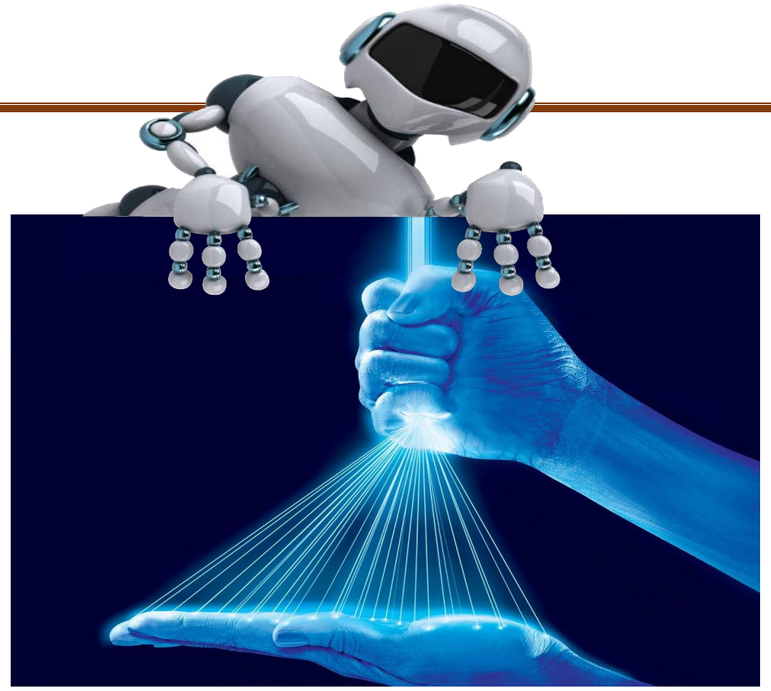
کاربران ابزارهای سنجش دقیق، علاقه زیادی به ابزارهای اندازه‌گیری غیرتماسی نشان داده‌اند. این ابزارها حداکثر میزان بهره‌وری و قابلیت ردیابی مطمئنی را ارائه می‌دهند. این ابزارها نیاز اساسی فناوری‌ها و صنایع جدید هستند که در مسیر هوشمندسازی و حذف نیروی انسانی گام برداشته‌اند.





اگرچه بیش از نیمی از ابزارهای سنجش دقیق جهت کنترل کیفیت تولید محصول به کار می‌روند، اما ابزارهای دقیق نوین و روش‌های نگهداری و تعمیرات مربوط به آن‌ها، حفظ امنیت و تعمیرات پیشگیرانه را برای فرآیندهای تولید بسیار آسان می‌سازد. با حذف وقفه‌های فرآیندی ناشی از خطای ابزار دقیق، با اجتناب از فعالیت‌های نگهداری و تعمیرات غیر ضروری، در زمان و هزینه صرفه‌جویی چشمگیری ایجاد می‌شود.

یک مجتمع شیمیایی در Gendorf آلمان، بیش از ۴۰۰۰ ابزار سنجش دقیق دارد که کمیت‌هایی نظیر سطح، جریان، دما و فشار را در لحظه اندازه می‌گیرند. بدون شک این حجم عظیم از ابزار سنجش دقیق باید ویژگی شبکه شدن و قابل حمل بودن نیز داشته باشند. داده‌های ابزار دقیق از نرم‌افزارهای مدیریت دارایی، نظیر پورتال W@M می‌تواند از ایستگاه‌های کاری رایانه‌ای یا تجهیزات دستی حمل‌شدنی قابل دست‌یابی و تحلیل باشند.



انواع حسگرهای نوری و روبشگرهای لیزری غیرتماسی، به دلیل توانایی سنجش کمیت‌های مختلف با دقت و سرعت بالا، نسبت به ابزارهای اندازه‌گیری دقیق معمولی برتری دارند. امروزه با توجه به پیشرفته بودن صنایع و فناوری‌های گوناگون، دقت و سرعت بالا نمی‌تواند تنها ویژگی‌های یک ابزار سنجش مطلوب باشد.

بسیاری از صنایع مختلف گستردگی وسیعی دارند که برای پایش لحظه‌ای فرآیندهای در حال انجام، نیازمند یک شبکه بزرگ از ابزارهای سنجش هستند. علاوه بر آن، جمع‌آوری و تحلیل به موقع حجم عظیمی از اطلاعات اندازه‌گیری شده نیازمند طراحی نرم‌افزارهای ویژه‌ای خواهد بود. ابزارهای سنجش دقیق هوشمند که قابلیت رفع نقص‌های ایجاد شده در سامانه سنجش را دارند نیز بسیار مورد توجه قرار گرفته‌اند. هوشمندسازی ابزارهای سنجش دقیق می‌تواند زمان و هزینه‌های بالایی که صرف تعمیرات می‌شود را کاهش دهد. همچنین خطرات احتمالی جانی و مالی در صنایع حساس را کاهش می‌دهد. ربات‌ها نقش ویژه‌ای در این زمینه ایفا می‌کنند و در آینده به کمک آن‌ها بسیاری از مجموعه‌های صنعتی بزرگ و کوچک کنترل و پایش خواهند شد.

در ایران با توجه به اینکه هنوز بسیاری از صنایع به شیوه‌های سنتی اداره می‌شوند، نیاز به ابزارهای سنجش دقیق پیشرفته به خوبی حس نشده است. با این حال بسیاری از ابزارهای سنجش دقیق نوین را می‌توان در صنایع سنتی نیز به کار برد. بدون شک یکی از مشکلات بزرگی که می‌تواند سرعت پیشرفت سایر فناوری‌ها و صنایع را کاهش دهد، عقب ماندن از دنیای رو به رشد ابزارهای سنجش دقیق است. به همین علت بسیاری از تولیدکنندگان ابزارهای سنجش دقیق در دنیا، به سمت سفارشی‌سازی محصولات خود حرکت کرده‌اند.

صنایع نیروگاهی، نفت و گاز، پالایش و پتروشیمی، فولاد، معدن، حمل و نقل، پزشکی و نظامی، همگی از جمله صنایع مهم و کلیدی کشور هستند که بدون ابزارهای سنجش دقیق پیشرفته قادر به ادامه حیات خود نخواهند بود. شرکت‌های دانش‌بنیان در حوزه ابزارهای سنجش دقیق، تلاش‌های بسیاری را انجام داده‌اند و بخشی از نیاز صنایع را برطرف کرده‌اند. در ادامه با یکی از این شرکت‌ها آشنا خواهیم شد.

شرکت دانش‌بنیان

طیف پردازان سپهر

شرکت «طیف پردازان سپهر» با اتکا به نیروی انسانی متخصص و کارآمد، با برخورداری از دانش فنی روز و در اختیار داشتن تجهیزات پیشرفته و همچنین بهره‌مندی از تجارب ارزشمند حاصل از اجرای پروژه‌های متعدد، توانسته است ابزارهای سنجش دقیق متنوعی را به بازار عرضه کند. این شرکت به عنوان یک شرکت دانش‌بنیان توسط جمعی از دانش‌آموختگان دانشگاه‌های صنعتی امیرکبیر و شهید بهشتی در سال ۱۳۸۲ فعالیت خود را آغاز نمود.

محصولات این شرکت در زمینه صنایع فولاد، سیمان، نفت و گاز، پتروشیمی، صنایع نیروگاهی، ریخته‌گری، شیشه، سرامیک و دیگر صنایع کاربرد دارد. برخورداری از مجموعه مدیران و نیروی انسانی کارآمد و متخصص و اجرای چندین پروژه صنعتی موجب گردید تا این شرکت در مدت کوتاهی توانایی و ظرفیت‌های اجرایی خود را توسعه دهد. نتیجه سال‌ها تلاش فناوران شرکت طیف پردازان سپهر، تولید انبوه تجهیزات ابزار دقیق نوری است که برای اولین‌بار در کشور توسط فناوران این شرکت تولید شدند.

به تدریج با فعالیت مستمر و حضور فزاینده در طراحی، ساخت، نصب، بازسازی، تعمیر و نگهداری تجهیزات اندازه‌گیری مادون قرمز و لیزری مبتنی بر دانش فنی روز، رشد کمی و کیفی خدمات شرکت سرعت گرفت. این شرکت همواره در تلاش بوده تا زمینه فعالیت خود را در سطح وسیع‌تر و بالاتری ارتقاء بخشد و با تقویت بیش از پیش توان و تجربه مهندسی فناوران خود، شرایط لازم برای گسترش سطح مشارکت در مدیریت (مهندسی، تدارکات و اجرا) را فراهم کند. سرانجام در تیرماه سال ۱۳۸۴ بر مبنای اندیشه و تفکر جدید و ماهیت نوین شرکت، به شرکتی کاملا صنعتی تغییر یافت.

شرکت طیف پردازان سپهر برخی محصولات خود را به صورت کاملا سفارشی مطابق نیاز مشتری تولید می‌کند. پروفایلومتر لیزری یکی از این محصولات است که ابعادی از قبیل قطر، طول و ارتفاع سطوح نسبت به یکدیگر را اندازه‌گیری می‌کند. این دستگاه متشکل از چند لیزر، یک CCD دارای Micro Pixcel و همچنین یک دستگاه رایانه شامل سخت‌افزار و نرم‌افزار پردازشگر داده است.

شرکت طیف پردازان سپهر با انجام تحول بنیادی صنعتی شدن، موفق شد نقش خود را در صنایع مختلف کشور به خوبی ایفا نماید که حاصل این تلاش‌ها تاکنون اجرای بیش از ۷۰ پروژه صنعتی در سطح خرد و کلان است.

شرکت طیف‌پردازان سپهر با توجه به اینکه پیشرفت شایانی در دو دهه اخیر داشته است، در چشم‌انداز خود به دنبال استفاده از فناوری‌های نوین و گسترش فعالیت‌های مطالعاتی و پژوهشی است. در این راستا، شرکت طیف پردازان سپهر با برقراری ارتباطات مؤثر و مستمر با مراکز دانشگاهی و پژوهشی و مشارکت فعال در نهادهای صنفی مربوطه، قصد دارد جایگاه خود به عنوان بزرگترین تولیدکننده تجهیزات اندازه‌گیری دقیق مادون قرمز و لیزری در ایران را حفظ نماید.

مهم‌ترین هدف آینده بلندمدت شرکت، ارتقاء آن به سطح اول شرکت‌های تأمین‌کننده تجهیزات اندازه‌گیری مادون قرمز و لیزری در ایران، منطقه خاورمیانه و آسیای مرکزی است.

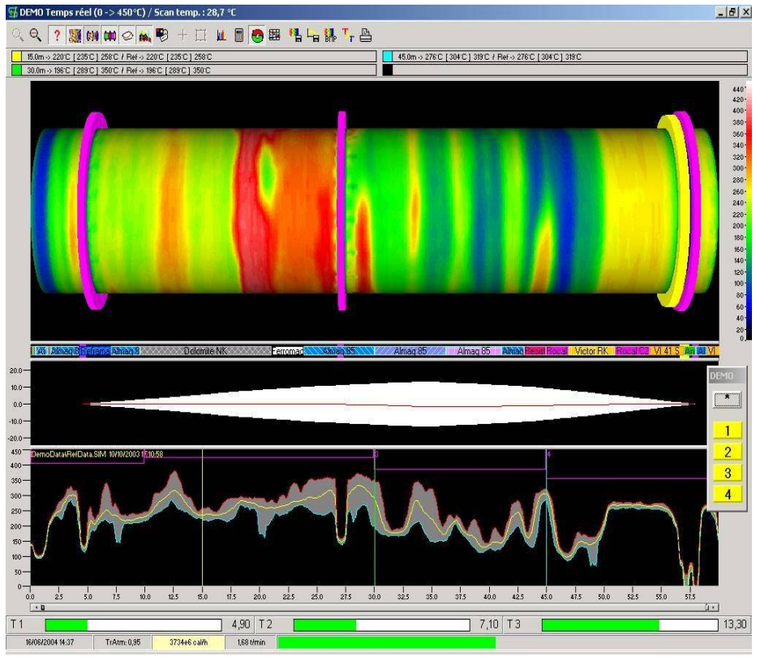
در ادامه چند مورد از محصولات مهم این شرکت را معرفی خواهیم کرد. برای آشنایی با سایر محصولات این شرکت نظیر سطح‌سنج لیزری، فیبروسکوپ کوره و پروفایلومتر می‌توانید به تارنمای شرکت به آدرس teyfpardazan.com مراجعه نمایید.

محصولات شرکت طیف پردازان سپهر

روبشگر خطی مادون قرمز

حرارت بدنه کوره سیمان، کمیت مهمی در بهره‌برداری از کوره سیمان است. این کمیت پیش‌تر توسط پیرومترهای دستی یا متحرک سنجیده می‌شد که از اشکالات عمده این دستگاه‌ها می‌توان به زمان پاسخ‌دهی بسیار طولانی و چرخش آهسته اشاره کرد. در سامانه تولیدشده در شرکت طیف پردازان سپهر، از روبشگر خطی مادون قرمز استفاده شده است که از سرعت بالایی برخوردار بوده و حرارت تمام سطح بدنه کوره را در هر لحظه نمایش می‌دهد.

سیگنال خروجی از آشکارساز مادون قرمز (InGaAs) به قسمت الکترونیکی دستگاه فرستاده می‌شود و پس از پردازش هوشمند اطلاعات، به اتاق فرمان ارسال شده و توسط نرم‌افزار CSG به گراف‌های رنگی مختلفی که نشان دهنده حرارت بدنه کوره و ضخامت آجر نسوز است، تبدیل می‌شود. برای بهینه‌سازی مصرف انرژی، کاهش هزینه تولید، کاهش دفعات توقف کوره و در نتیجه افزایش تولید، مشاهده نقاط داغ و بحرانی کوره، بررسی وضعیت آجر نسوز و افزایش عمر آجر نسوز، نیاز به روبشگر خطی مادون قرمز بسیار ضروری است.



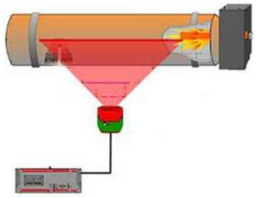
جهت مقابله با جذب سیگنال مادون قرمز توسط عوامل جوی (مه، برف، باران)، از یک یا چند محفظه با رنگ سیاه استفاده می‌شود. دمای این محفظه‌ها که در نقاط مختلف سطح کوره نصب می‌شوند با ترموستات‌های بسیار دقیق کنترل می‌شود. دمای دریافتی از روبشگر مادون قرمز با دمای اندازه‌گیری شده از ترموستات توسط نرم افزار مقایسه شده و با فرمان ارسالی، روبشگر خطی مادون قرمز به طور خودکار با توجه به شرایط جوی تنظیم می‌شود.

با توجه به سرعت بالای روبش کوره توسط روبشگر، نمایش لحظه به لحظه دمای بدنه کوره باعث می‌شود تا کاربر هر گونه تغییر ناگهانی در کوره از جمله ریزش آجر را به سرعت متوجه شده و اقدامات لازم را به موقع انجام دهد. در هر بار روبش سطح کوره، ۳۲۰۰ نقطه دمایی متفاوت اندازه‌گیری می‌شود که تعداد نقاط و همچنین سرعت روبش قابل تنظیم است.

همچنین دستگاه دارای زنگ خطر حرارتی در نقاط حساس بوده و بیشترین و کمترین دما را نیز گزارش می‌دهد. از این روبشگر در صنعت فولادسازی جهت نورد گرم ورقه‌های فولادی نیز استفاده می‌شود.

حرارت‌سنج (pirometer)

حرارت‌سنج مادون قرمز دستگاهی است که دمای اجسام مختلف را در حالت‌های غیرگازی (جامد و مایع) بدون تماس، از فاصله مجاز اندازه‌گیری می‌کند. حرارت‌سنج‌های شرکت طیف پردازان سپهر در دو نوع ثابت و قابل حمل تولید می‌شوند که در هر دو نوع به کمک سامانه لیزری، نقطه مورد نظر قابل هدف‌گیری است. این دستگاه در صنایع متالوژی، نفت و گاز، پتروشیمی، نیروگاه‌ها و صنایع تولیدی مشابه کاربرد دارد. حرارت‌سنج ثابت طیف پردازان سپهر قابلیت اندازه‌گیری دما را از فاصله ۱۰ متری و در بازه دمایی ۰ تا ۵۰۰ درجه سانتی‌گراد، دارد.



روبشگر خطی مادون قرمز شرکت طیف پردازان سپهر قابلیت نمایش سه‌بعدی حرارت بدنه کوره با امکان بزرگنمایی و محاسبه و نمایش گرمترین نقطه کوره را در هر لحظه دارد. همچنین محاسبه و نمایش سرعت چرخش کوره و میزان لغزش رینگ‌ها در هر دور چرخش نیز از دیگر ویژگی‌های این دستگاه است.

حرارت‌سنج غیرتماسی قابل حمل طیف پردازان سپهر، قابلیت اندازه‌گیری دما در بازه ۵۰ تا ۱۰۵۰ درجه سانتی‌گراد با وضوح ۰/۱ درجه را دارد. این حرارت‌سنج طیف مادون قرمز را در بازه ۸ تا ۱۲ میکرومتر آشکارسازی می‌کند. این دستگاه سبک و استفاده از آن بسیار آسان است و به کمک آن می‌توان دما را بر حسب سانتی‌گراد یا فارنهایت در حالت‌های بیشترین دما و کمترین دما و همچنین اختلاف دما در دو نقطه اندازه‌گیری کرد.

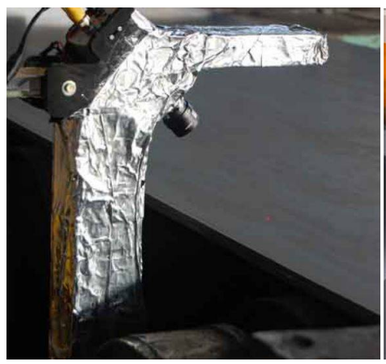
خطای حرارت‌سنج ثابت طیف پردازان سپهر حدود ۱% است. این دستگاه قابل استفاده برای انواع فلزات، نافلزات، ترکیبات و آلیاژهای مختلف صنعتی است که ضریب گسیل تشعشعات مادون قرمز را در زمان ۵۰ میلی‌ثانیه از مقدار ۰/۱ تا ۱ می‌تواند اندازه‌گیری کند. همچنین قابلیت نصب سامانه آب‌گرد و هواگرد برای خنک‌سازی و غبارزدایی حسگر مادون قرمز، این دستگاه را جهت استفاده در محیط‌های با رطوبت و دمای بالا و یا آلوده به دود و گرد و غبار، ممکن می‌سازد.

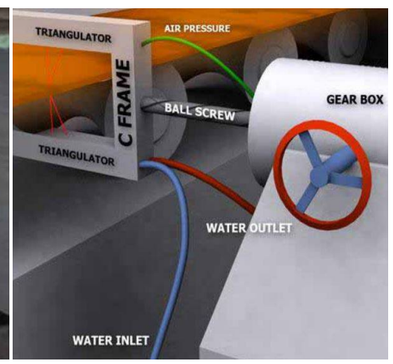
ضخامت‌سنج لیزری

ضخامت‌سنج لیزری دستگاهی است که به صورت «C Frame» بر روی قطعه یا دور آن قرار گرفته و به کمک اشعه لیزر در بازه طول موجی ۶۷۰ نانومتر تا ۹۵۰ نانومتر و حسگرهای نوری، ضخامت انواع لوله، شمش یا ورق را اندازه‌گیری می‌نماید. این دستگاه می‌تواند به صورت تک‌کاناله و چندکاناله در خط تولید نصب شود و ضخامت یک یا چند نقطه از قطعه را به صورت برخط اندازه‌گیری کند.

ضخامت‌سنج لیزری طیف پردازان سپهر قابلیت اتصال به رایانه را دارد و با پردازش اطلاعات ورودی، گراف‌های مختلفی ازجمله تغییر ضخامت را ترسیم می‌کند. دستگاه این قابلیت را دارد که برای اندازه‌گیری ضخامت سطوح داخلی غیرقابل دسترس و گوشت لوله‌های بیشتر از ۵ اینچ، به صورت بیسیم به داخل لوله رفته و اطلاعات را ثبت یا ارسال نماید. بازه طولی قابل اندازه‌گیری این ضخامت‌سنج از ۱ میلی‌متر تا ۲۵۰۰ میلی‌متر است و دقت اندازه‌گیری آن ۱ میکرومتر گزارش شده است. این دستگاه در بازه دمایی محیطی ۱۰- تا ۹۵۰+ درجه سانتی‌گراد کارایی دارد.

ضخامت‌سنج‌های لیزری طیف پردازان سپهر در انواع مختلف شامل ضخامت‌سنج لیزری میل‌گرد، ضخامت‌سنج برخط ورق، ضخامت‌سنج لیزری X-ray لوله و ضخامت‌سنج لیزری چندبعدی قطعه، تولید و به بازار عرضه می‌شوند. از این دستگاه در صنایع فولاد و ساخت قطعات مختلف فلزی و غیرفلزی در صنایع مختلف می‌توان استفاده کرد.





آشکارساز شعله و فلزات داغ

آشکارسازی حرارت متصاعد شده از احتراق گازها در مشعل‌ها، در بسیاری از کارخانه‌ها و صنایع نفت و گاز امری خطیر و حیاتی است. اندازه‌گیری حرارت در این مجموعه‌ها با روش‌های تماسی، فرآیندی زمان‌بر و پرهزینه بوده و اغلب با خطاهای جبران‌ناپذیر همراه است.

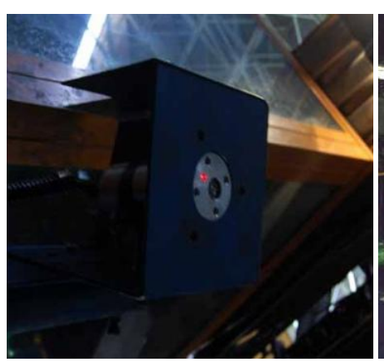
آشکارساز شعله تولید شده در شرکت طیف پردازان سپهر، یک آشکارساز غیرتماسی است که شامل حسگر مادون قرمز، لیزر و بخش الکترونیکی داخلی است. این سامانه باید در فاصله خاصی از محل مورد نظر نصب شود تا با جذب تشعشع شعله و پردازش نوری و الکترونیکی آن، سیگنال بدست آمده را به یک PLC (کنترل‌گر منطقی برنامه‌ریز) ارسال کند. حجم شعله به صورت یک گراف خطی توسط PLC قابل دریافت خواهد بود.

گروه مهندسی طیف پردازان سپهر بنا به نیاز این دستگاه در صنایع مختلف، اقدام به طراحی و ساخت آشکارساز شعله با نام «Pyrodetector» نموده است که قابلیت نصب در فواصل نزدیک و دور از شعله را دارا است.

دستگاه Pyrodetector با استفاده ازروش Thermopile sensing هر گونه شعله را با اشعه لیزر هدف گرفته و آشکارسازی می‌کند و دمای آن را نمایش می‌دهد.

حسگرهای Thermopile برای اندازه‌گیری دمای بالاتر از ۲۰۰ درجه سانتی‌گراد از فاصله دور طراحی شده‌اند که قابلیت تشخیص انرژی مادون قرمز را دارند. حسگر ترموپیل که از ترموکوپل‌های کوچک روی یک تراشه سیلیکانی تشکیل شده است، انرژی را جذب کرده و یک سیگنال خروجی تولید می‌کند.

از دیگر ویژگی‌های این آشکارساز می‌توان به آشکارسازی شعله‌های دارای گاز متان و انواع شعله‌های بی‌رنگ و رنگی در ناحیه فرابنفش، مرئی و مادون قرمز اشاره کرد. همچنین این دستگاه قابلیت حذف نور زمینه خورشید را دارد. علاوه بر کاربردهای ذکر شده از این دستگاه می‌توان جهت آشکارسازی حرارت فلزات با دمای بالا نیز استفاده نمود که در مدل‌های مختلف قابل سفارشی‌سازی است.



آشکارسازهای فلزات داغ (HMD) ساخت شرکت طیف پردازان سپهر، قابلیت تعیین ضریب گسیل جهت آشکارسازی دقیق آلیاژهای مختلف را دارند. این دستگاه در شرایط محیطی نامناسب مانند دمای بالا یا آلودگی هوای محیط، با اتصال فیبر نوری به بخش اپتیکی دستگاه قابل استفاده خواهد بود.

نوآورانه

روش های نوین سنجش بینایی

و

بینایی سنجی دیجیتال

Friscoeyekids.com

به قلم علی کاویان‌فر
kavianfar.optonics@yahoo.com

زندگی در دنیای مدرن با دسترسی به فناوری‌ها بسیار لذت‌بخش‌تر از پیش است. این فناوری‌ها در زمینه‌های مختلفی از زندگی ما ظهور کرده‌اند و به خصوص در چند دهه اخیر در شاخه پزشکی نسبت به سده‌های قبل پیشرفت‌های چشمگیری صورت گرفته که به دلیل اهمیت آن در سلامت نسل بشر جالب توجه هستند. چشم یکی از مهم‌ترین اندام‌های حسی بدن است، چرا که بدون توانایی دیدن، دنیا بسیار متفاوت خواهد بود. در سنین مختلف و متناسب با سبک زندگی، ممکن است چشم‌ها درگیر بیماری‌های مختلفی شوند که از آن جمله می‌توان به آب مروارید، تاری دید، مشکل دید در شب، تغییر مکرر شماره عینک طبی، کوررنگی و بسیاری از موارد دیگر اشاره کرد. طبق تعریف سازمان بهداشت جهانی، بینایی‌سنجی علم مراقبت‌های بینایی است. این تعریف به این معنا است که هر زمان شخصی دچار اختلال در بینایی شود، بایستی توسط یک متخصص بینایی‌سنجی تحت معاینه قرار بگیرد تا ایرادات مربوط به اجزای چشم بررسی و مشخص گردند و در صورت نیاز درمان شوند. در مراحل بعد اگر با درمان‌های اولیه، مشکل رفع نشد به جراح چشم ارجاع داده شوند.

با توجه به ضرورت تشخیص این بیماری‌ها می‌بایست رویکرد مناسبی جهت تشخیص به موقع اختلالات چشمی در پیش گرفته شود و چشم تحت درمان قرار گیرد.

بینایی‌سنجی

بینایی‌سنجی تخصصی است که به آسایش و رفاه بشر بسیار کمک کرده است. میراث منحصر به فرد بینایی‌سنجی به مرور زمان به یک حرفه علمی تبدیل شده است و در حال حاضر شاخه‌ای جداگانه از علم محسوب می‌شود. در واقع بینایی‌سنجی بخشی از معاینات چشم است برای پیدا کردن و کشف اختلالات مربوط به بینایی مثل کوررنگی و غیره. همچنین برای مشخص شدن اینکه چه نوع عدسی برای بینایی بهتر چشم مناسب است، از بینایی‌سنجی استفاده می‌شود.

اما آیا تاریخچه بینایی‌سنجی به اندازه کافی مورد مطالعه قرار گرفته است؟ یکی از راه‌های بررسی اینکه آیا به بینایی‌سنجی به خوبی پرداخته شده است، بررسی تعداد مقالات منتشر شده در این زمینه است. بینایی‌سنجی سومین حرفه بزرگ در زمینه مراقبت‌های بهداشتی پس از پزشکی و دندان‌پزشکی است و می‌توان انتظار داشت که پژوهش‌های زیادی در این زمینه انجام شده باشد و تعداد مقالات تاریخچه چشم‌پزشکی و تاریخچه بینایی‌سنجی مشابه باشد، اما تعداد انتشارات تاریخچه چشم‌پزشکی بیش از ۱۱ برابر تعداد انتشارات تاریخچه بینایی‌سنجی است!

ساخت عینک و پیشرفت‌های بینایی‌سنجی به دنبال آن...

در بررسی قدمت بینایی‌سنجی، ابتدا باید به تاریخچه ساخت عینک نگاهی بیندازیم. عینک در اواخر قرن سیزدهم اختراع شد و عده زیادی بر این باورند که اولین عینک حدود سال ۱۲۸۰ در کشور ایتالیا ساخته شده است. از آن زمان و تا اوایل قرن شانزدهم عینک‌ها دارای ساختاری بدوی بودند و از شاخ، استخوان و پوست حیوانات و یا فلزات و به صورت دو قسمتی ساخته می‌شدند و با یک پیچ دست‌ساز این دو قسمت در کنار هم قرار می‌گرفتند.

به مرور زمان مردم یاد گرفتند که اتصال مربوط به دو قسمت عینک را بصورت یکپارچه بسازند، اما مشکلی که همچنان باقی بود، این بود که چگونه عینک را روی بینی نگه دارند؟ پس از آن افراد زیادی سعی کردند که عینک را ارتقاء دهند تا جایی که عینک به شکل امروزی تبدیل شد. در واقع عینک وسیله مهمی جهت تصحیح بینایی در افرادی است که چشم آن‌ها دچار اختلال در مشاهده است و این اختلال به وسیله بینایی‌سنجی قابل شناسایی است. آغاز قرن چهاردهم زمان تقریبی شروع بینایی‌سنجی بود.

در سال ۱۶۰۴، یوهانس کپلر ستاره‌شناس آلمانی برای اولین بار توضیح داد که چگونه نور وارد چشم شده و بر روی شبکیه تشکیل و سپس معکوس می‌شود. کپلر نشان داد که عدسی‌های مقعر نزدیک‌بینی و عدسی‌های محدب دوربینی را اصلاح می‌کنند و این یک موضوع بسیار جذاب در زمینه ساخت عینک‌ها بود. در برخی از کتب قدیمی همچون کتابی که توسط دازا دوالدز (Daza de Valdes) در سال ۱۶۲۳ نوشته شده است، برخی جنبه‌های مربوط به بینایی، عینک‌ها و روش‌های بینایی‌سنجی مورد بحث قرار گرفته است. در سال ۱۷۸۳ اولین فروشگاه مربوط به بینایی‌سنجی در ایالات متحده توسط جان مک آلیستر افتتاح شد که تا اوایل دهه ۱۹۰۰ به تولید عینک برای مشتریان ادامه داد.

در اواخر قرن هجدهم، بنجامین فرانکلین عدسی دو کانونی را اختراع کرد، جان دالتون کوررنگی را تعریف کرد و توماس یانگ با موفقیت میدان بینایی طبیعی انسان را ترسیم نمود. در اواسط قرن نوزدهم، مجموعه‌ای از عدسی‌های آزمایشی برای تعیین مشخصه‌های نوری عدسی ساخته شد و به دنبال آن افتالموسکوپ (ophthalmoscope) در سال ۱۸۵۱ اختراع شد که به متخصصین بینایی‌سنجی اجازه می‌داد تا فضای داخلی چشم را مشاهده کنند. استفاده از عدسی‌های استوانه‌ای هم همزمان با شروع استفاده از بینایی‌سنجی، در حدود سال ۱۸۶۵ آغاز شد. و در نهایت از همان زمان متخصصان بینایی‌سنجی آزمایش عدسی‌های تماسی را آغاز کردند.

در ایالات متحده، اولین کالج بینایی‌سنجی در جهان در سال ۱۸۷۲ در ایالت ایلینویز تاسیس شد. به دنبال آن در سال ۱۸۹۱، یک مدرسه اپتیک و تست بینایی‌سنجی در بریتانیا و در شهر لندن تاسیس شد.

OPTOMETRY

اما چند سال بعد، تحت هدایت انجمن اپتیکال بریتانیا که به تازگی تاسیس شده بود، یک شرکت خصوصی امکانات مورد نیاز معاینات چشم‌پزشکی را برای چشم‌پزشکان فراهم کرد. انجمن نوری بریتانیا توسط گروهی از بینایی‌سنج‌ها در سال ۱۸۹۵ تشکیل شد که اولین معاینات خود را در سال ۱۸۹۶ انجام دادند. بنابراین یک استاندارد ملی برای متخصصان بینایی‌سنجی چشم در بریتانیا تعیین شد. رشد و پیشرفت عینک و عدسی‌ها تنها بخشی از تاریخچه بینایی‌سنجی است. انسان قرن نوزدهم شاهد اکتشافات مهمی بود که منجر به توسعه سریع علم نورشناسی در زمینه مطالعه چشم، آسیب‌ها و بیماری‌های مربوط به آن شد و این‌ها همگی در پایه‌گذاری بینایی‌سنجی به عنوان یک حرفه در اواخر قرن نوزدهم پدیدار شد. همزمان با همین دوره بود که تخصص‌های بینایی‌سنجی و چشم‌شناسی به وجود آمدند. این تخصص‌ها درصدد برآمدند تا پیشرفت‌های انجام شده در زمینه عینک و عدسی‌ها را با اپتیک بینایی و فیزیولوژی چشم ترکیب کنند. این قدم بزرگی در زمینه چشم‌شناسی بود. در سال ۱۹۱۰ دانشگاه کلمبیا در ایالات متحده شروع به برگزاری اولین دوره‌های بینایی‌سنجی کرد. در سال ۱۹۱۱، اندرو جی کراس اولین کتاب را برای معرفی نظریه رتینوسکوپی منتشر کرد.

این کتاب انقلابی در زمینه دقت تشخیص بینایی به حساب می‌آمد.

در طول قرن بیستم، متخصصان بینایی‌سنجی در سرتاسر جهان به دنبال دریافت حق استفاده از داروهای تشخیصی و درمانی بودند. در بریتانیا داروهای تشخیصی از همان روزهای اولیه این حرفه در قرن بیستم استفاده می‌شدند زیرا هیچ منع قانونی برای استفاده از آنها وجود نداشت. مدت طولانی پس از آن، ایالات متحده به حق استفاده از داروهای درمانی در سال ۱۹۷۶ دست یافت. این میزان از علاقه باعث شد که متخصصان بیشتری به جمع متخصصان بینایی‌سنجی اضافه شوند. به عنوان مثال، در سال ۲۰۱۶ در کشور استرالیا حدود ۵۰۰۰ متخصص بینایی‌سنجی در بخش عمومی با نظارت هیئت بینایی‌سنجی استرالیا، مجوز انجام کار گرفتند. به دنبال توسعه روش‌های فوتونیکی، در سال ۱۹۹۸ ایالت متحده اولین بار این قانون را تصویب کرد که به متخصصین بینایی‌سنجی و چشم‌پزشکان اجازه می‌داد از لیزر برای درمان‌های خاص استفاده کنند و راه را برای جراحی لیزیک هموار کرد.

بدیهی است که کیفیت خدمات ارائه شده توسط یک متخصص بینایی‌سنجی تابعی از مهارت‌های بالینی بینایی‌سنج و ارائه تجهیزات و ابزار دقیق است. سرعت توسعه فناوری و علمی امروز بسیار سریعتر از ۵۰ سال گذشته است.

در گذشته، زمانی که یک ایده نوآورانه توسط یک دانشمند یا پزشک پیشنهاد می‌شد، به طور معمول قبل از هر گونه کاربرد مستقیم، یک دوره طولانی در توسعه آن ایده سپری می‌شد. این دوره طولانی امکان بحث گسترده درباره این ایده را قبل از هر گونه کاربرد عملی فراهم می‌کرد، به طوری که هر نتیجه می‌توانست اهمیت ایده را کمرنگ کند. بنابراین امروزه یک متخصص بینایی‌سنجی باید به فناوری‌های پیشرفته‌ای برای تشخیص، ارزیابی و مدیریت هر گونه آسیب‌شناسی چشمی یا رویکردی که نوید بهبود عملکرد بینایی را می‌دهد، مجهز باشد. در اینجا با تعدادی از این دستگاه‌ها و عملکردهای آن‌ها آشنا می‌شویم.

اندازه‌گیری فشار و کشش

یکی از قدیمی‌ترین دستگاه‌ها که برای اندازه‌گیری فشار مایعات داخل کره چشم استفاده می‌شود، تونومتر (Tonometer) نام دارد. اگر فشار چشم به یک نقطه افزایش یابد، ممکن است برای همیشه به عصب بینایی آسیب برساند. تونومتر فشار چشم را با لمس بسیار ملایم قرنیه اندازه‌گیری می‌کند. برای عدم تماس دستگاه با چشم، بسیاری از پزشکان از یک تونومتر دمنده هوا هم استفاده می‌کنند که هوا را روی چشم‌ها می‌دمد تا فشار چشم را اندازه‌گیری کنند.

تعیین شماره عینک!

فوروتر (Phoropter) یکی از ابزارهای اساسی متخصصان بینایی‌سنجی برای اندازه‌گیری عیوب انکساری و تعیین شماره عینک بیمار است. به بیمار دستور داده می‌شود که در فاصله‌ای دورتر مقابل نمودار چشمی بنشیند.

قبل از اینکه بیمار به متخصصان بینایی‌سنج بگوید کدام عدسی به او اجازه می‌دهد بهتر ببیند، از عدسی‌های مختلفی در مقابل چشم او استفاده می‌شود. تجویز صحیح شماره عینک به بازخورد بیمار بستگی دارد که تعیین می‌کند کدام عدسی بهترین دید را ارائه می‌دهد.

دوربین شبکیه

دوربین شبکیه دستگاهی است که برای گرفتن تصویر از سطح داخلی چشم، به طور معمول شبکیه استفاده می‌شود. این دوربین در حقیقت یک میکروسکوپ تخصصی است که یک دوربین به آن متصل است. دوربین شبکیه به چشم پزشک این امکان را می‌دهد که شبکیه بیمار را مورد مطالعه قرار دهد، تغییرات شبکیه را در یک دوره زمانی مشخص ثبت کند و بیماری‌ها را تشخیص دهد. دوربین‌های نوین شبکیه با استفاده از فیلترهای مختلف تعدادی عکس می‌گیرند تا تصاویر واضحی از قسمت‌های مختلف شبکیه به دست آورند و این تصاویر در تشخیص به پزشک کمک می‌کنند. دقت اندازه‌گیری دوربین‌ها و در حقیقت عدسی‌های به کار رفته در آن‌ها در تشخیص پزشک اهمیت بسزایی دارند.

افتالموسکوپ

افتالموسکوپ یکی دیگر از ابزارهایی است که متخصصان بینایی‌سنجی برای بررسی فضای داخلی چشم از آن استفاده می‌کنند. این دستگاه شامل یک منبع نور با آینه‌ها و عدسی‌های داخلی است که به ویژه برای بررسی شبکیه موثر است. چشم‌های بیمار با استفاده از قطره‌های چشمی گشاد می‌شوند تا دید مناسبی از داخل چشم بدست آید. افتالموسکوپ به پزشک کمک می‌کند تا شاخص‌های بیماری‌های احتمالی چشم را بررسی و شناسایی کند. تمام دستگاه‌هایی که در این بخش مورد بررسی قرار گرفت و حتی موارد قدیمی‌تر که در اینجا ذکر نشد، تار و پود اصلی صنعت بینایی‌سنجی و سلامت چشم هستند. در واقع از تمام این تجهیزات فوتونیکی برای شناسایی، درمان و پیشگیری از مشکلات بینایی بهره گرفته می‌شود.

اما این دستگاه‌ها نیز در حال به‌روز شدن هستند و همه روزه مدل‌های دقیق‌تر و جدیدتری از آن‌ها در حال ورود به بازارهای مصرفی است.

بینایی‌سنجی در شرایط امروز

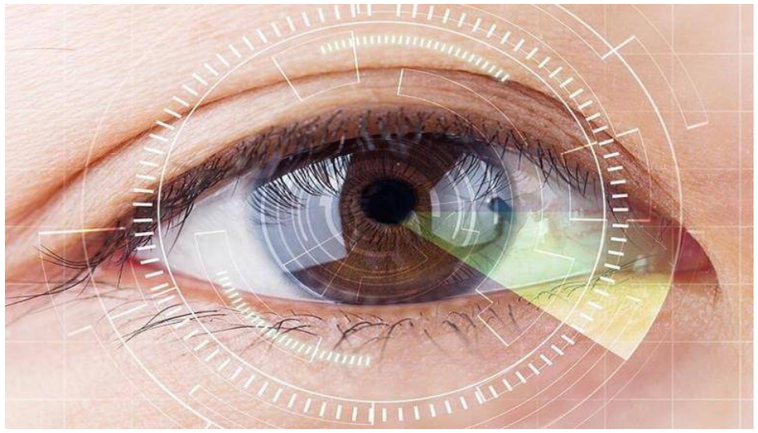
از سال ۱۳۹۸ ویروس همه‌گیر کرونا منجر به افزایش و گسترش مدل‌های جدید کسب و کار دیجیتالی و از راه دور در صنایع مختلف شده است. این در حالی است که انطباق مراقبت‌های بهداشتی با راه‌حل‌های دیجیتالی کندتر صورت گرفت. اکثر اقدامات بالینی چشم‌پزشکی هنوز از طریق مدل‌های سنتی و با استفاده از امکانات بدوی و تعامل چهره به چهره بیمار و پزشک عمل می‌کنند. در حال حاضر امکان انجام همه معاینات مربوط به چشم به صورت از راه دور وجود ندارد، اما می‌توان با معرفی روش‌های جدید، بالاتر بردن دقت دستگاه‌ها و افزایش سرعت انجام بینایی‌سنجی، مدت زمان لازم برای حضور بیمار و تعداد دفعات لازم جهت مراجعه شخص به کلینیک را کاهش داد. به این منظور آشنایی با روش‌های جدید دیجیتال ضروری است.

شیوع کرونا و بینایی‌سنجی دیجیتال

محققان در سال اخیر توانسته‌اند سامانه‌ای را عرضه کنند که امکان بررسی برخط چشم را به صورت زنده بین متخصص بینایی‌سنجی و بیمار فراهم می‌کند. بدین شکل که بیمار و متخصص با استفاده از یک نرم‌افزار در فضای مجازی مانند ویدیو کنفرانس همدیگر را می‌بینند و به این صورت متخصص می‌تواند بررسی‌های لازم را روی سلامت چشم فرد انجام دهد.

یکی از مزیت‌های چنین روشی این است که در شرایط امروزی کرونا، بررسی‌های چشم که توسط متخصص بینایی‌سنجی انجام می‌شود، از راه دور، بدون گرفتن وقت قبلی و در شرایط بسیار آسوده و بطور میانگین کمتر از سی دقیقه قابل انجام است.

روند کار به این شکل است که بیمار ابتدا همه اطلاعات لازم را راجع به تاریخچه معاینات چشم‌پزشکی خودش در سامانه وارد می‌کند و سپس مشخصه‌های بصری چشم بیمار با استفاده از فناوری ویدیو کنفرانس از راه دور توسط



متخصص بینایی‌سنجی بررسی می‌شود. همه اطلاعات مربوط به چشم بیمار بدین شکل وارد سامانه می‌شود و فناوری پیشرفته این نرم‌افزار تصاویر را با قدرت تفکیک بالایی ضبط می‌کند. سپس پردازش تصویر انجام شده و در نهایت اطلاعات کافی در اختیار متخصص بینایی‌سنجی قرار می‌گیرد. این سامانه طیف وسیعی از بیماری‌های چشمی را غربالگری می‌کند و نیازی به گشاد شدن مردمک چشم و ورود ماده‌ای به داخل چشم ندارد . بنابراین خطر ورود ویروس از طریق چشم کاهش می‌یابد. غربالگری بینایی برای شناسایی مشکلات بینایی برای همه گروه‌های سنی از جمله کودکان زیر شش ماه استفاده می‌شود.

در واقع، در این سامانه‌ها به جای اینکه متخصص معاینه کامل چشم را به صورت دستی انجام دهد، سامانه با محاسبه خودکار نتایج، فرآیند را سرعت می‌بخشد. این بدین معناست که دیگر از عدسی و تنظیم با دست استفاده نمی‌شود. در پایان معاینه، چشم‌پزشک تمام تصاویر ضبط شده را تجزیه و تحلیل می‌کند تا سلامت چشم شما را ارزیابی کند.

این سامانه‌های دیجیتال از قابلیت تصویربرداری و تحلیل تصویر بهره‌مند هستند مانند توپوگرافی قرنیه که برای ارزیابی سلامت قرنیه استفاده می‌شود و تصویربرداری دیجیتال از شبکیه که برای تشخیص بیماری‌های جدی چشم مانند مانند گلوکوم، رتینوپاتی دیابتی و دژنراسیون ماکولا استفاده می‌شود. توموگرافی انسجام نوری هم با استفاده از تصاویر رنگی سه‌بعدی، هرگونه علائم دیابت، کلسترول بالا و فشار خون را در چشمان شما شناسایی می‌کند. این روش‌ها چون از نور و سامانه‌های دیجیتال بهره می‌برند، سرعت و دقت بسیار بالایی دارند و بنابراین این نوآوری‌ها در جهت بهتر شدن شرایط بینایی‌سنجی و سرعت بیشتر معاینه به کار می‌روند و می‌توان گفت که اکنون به لطف این تجهیزات دیجیتالی جدید و بهبود یافته، بیماری‌های چشمی زودتر قابل تشخیص خواهند بود.

در دوران قرنطینه مربوط به بیماری کرونا، رسانه‌های زیادی از تله‌مدیسین (یا درمان از راه دور) به‌جای بازدیدهای بالینی حضوری حمایت کردند. با ادامه همه‌گیری این بیماری، رسانه‌های مراقبت از راه دور چشم، رشد باورنکردنی را در این زمینه گزارش دادند که تا ۷۰۰% افزایش بازدیدهای مجازی بین پزشک و متخصص چشم‌پزشک را شامل می‌شود.

بنابراین با توسعه روش‌های نوآورانه می‌توان بسته به شرایط روز تغییرات زیادی را در روش‌های بینایی‌سنجی هم ایجاد کرد. یکی دیگر از فناوری‌های جدید در عرصه بینایی‌سنجی، ورود سامانه‌های پوشیدنی چشم است که با استفاده از آن‌ها می‌توان اختلالات کوررنگی را نیز بهبود بخشید.

قبل از همه‌گیری ویروس کرونا، در ایالات متحده کمتر از ۲۵ درصد از بیماران برای بینایی‌سنجی از تله-مدیسین به عنوان یک گزینه استفاده می‌کردند.

دوربین‌های

دوربینی به اندازه یک دانه نمک!

مغناطیس‌سنجی دقیق با نور فشرده!

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

دوربینی به اندازه یک دانه نمک که می‌تواند هر سطحی را به یک حسگر تبدیل کند!

این روزها پیشرفت فناوری به قدری سریع و چشمگیر است که اگر هم پای آن حرکت نکنیم، طولی نمی‌کشد که ما هم به جرگه اهالی ما قبل تاریخ خواهیم پیوست!

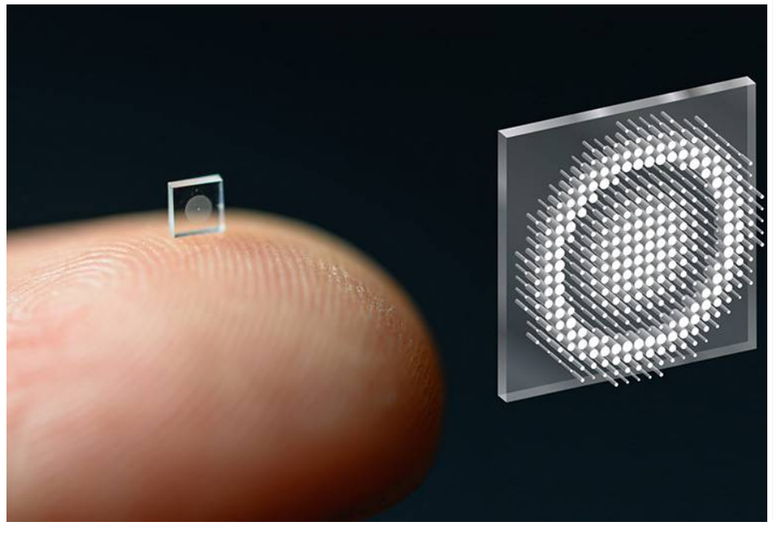
تصور کنید روزی را که رباتی کوچک مجهز به دوربینی فوق پیشرفته برای تصویربرداری از اندام‌های داخلی یا آندوسکوپی وارد بدن شود و بدون کوچکترین احساس درد یا حتی بی حسی، بتواند بدن بیمار را آنالیز کند، طوری که خود بیمار هم بتواند نظاره‌گر تصاویر ارسالی این ربات از بدنش باشد! بدیهی است که این امر مستلزم بهره‌گیری از اجزای کوچک و مینیاتوری است. حال آن که چشم‌های این ربات (دوربین) کلیدی‌ترین جزء این ابزار کاربردی است که باید بسیار کوچک باشند.

جالب است بدانید که به تازگی محققان دانشگاه پرینستون و واشنگتن در پژوهشی مشترک، موفق به ابداع دوربینی شده‌اند که هم‌اندازه یک دانه نمک است و قادر است با کیفیتی مشابه دوربین‌های معمولی با چیدمان لنزی که پانصد هزار برابر بزرگترند، تصویربرداری کند!

این دوربین نانویی فوق‌فشرده و با کیفیت از رویکردهای یادگیری ماشینی بهره گرفته است و به کمک الگوریتم بازسازی تصویر مبتنی بر ویژگی‌های عصبی، امکان تشخیص ساختارهای فیزیکی توسط یک فراسطح (Metasurface) را برای تصویرگر فراهم می‌کند.

کاهش ابعاد حسگرهای شدت در دهه‌های اخیر، بهره‌گیری از دوربین‌های امروزی را در بسیاری از زمینه‌ها مانند تصویربرداری‌های پزشکی، گوشی‌های هوشمند، امنیت، رباتیک و رانندگی خودکار به صورت فراگیر رواج داده است.با این حال، تصویرگرهای کوچکتر در کاربردهای نوینی همچون نانورباتیک، تصویربرداری‌های درون تنی (in vivo)، کاربردهای نظارت بر سلامت و تصویربرداری‌های AR/VR بیشتر مورد استفاده قرار گرفته‌اند.

با این که حسگرهایی با پیکسل‌هایی در ابعاد کوچکتر از میکرون هم وجود دارد، اما کوچک‌سازی بیشتر به خاطر محدودیت‌های ذاتی اپتیک معمولی تا پیش از این ممکن نبود. سامانه‌های تصویربرداری سنتی شامل شماری از اجزای انکساری است که می‌تواند ابیراهی‌ها را



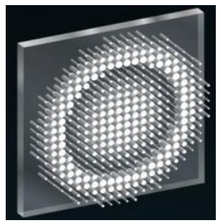
اصلاح کند و همین عدسی‌های حجیم خود محدودیت بزرگی به حساب می‌آیند. مشکل اساسی دیگر، چالش کاهش فاصله کانونی هنگام کاهش ابعاد دوربین است، چرا که همین امر باعث ایجاد انحرافات رنگی بیشتر می‌شود.

محققان برای غلبه بر این چالش‌ها به سمت اپتیک فراسطحی روی آورده‌اند که به صورت محاسباتی طراحی شده است. این رویکرد (فراپتیک Meta-Optic) امکان طراحی دوربین‌های فوق فشرده‌ای را فراهم می‌کند که می‌توانند قابلیت‌های جدیدی را در آندوسکوپی، تصویربرداری از مغز و مطالعه بسیاری از پدیده‌های اپتیکی دقیق، در اختیار دانشمندان قرار دهند.

افزاره‌های فراپتیکی بسیار نازک از نانوآنتن‌های زیر طول‌موجی برای تنظیم نور فرودی بهره می‌گیرند که نسبت به عناصر نوری انکساری مرسوم آزادی طراحی و پهنای باند فضایی بیشتری را ارائه می‌دهد. به علاوه مشخصه‌های کیفیتی غنی پراکنده‌گرهای فرا اپتیکی (همان نانوساختارهای کوچک) می‌توانند بهتر از المان‌های نوری سنتی از قابلیت‌های چندمنظوره (به عنوان مثال پلاریزاسیون، فرکانس، و چندین برابر کردن زاویه) پشتیبانی کنند.

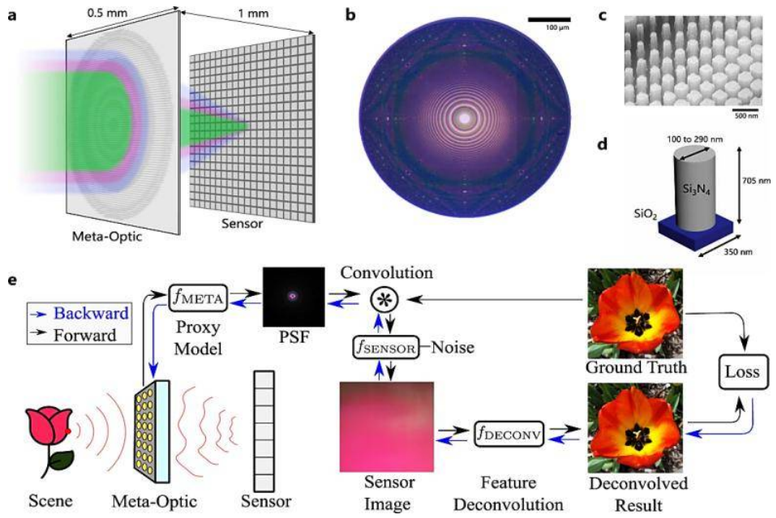
افزاره‌های فرا اپتیک را می‌توان با استفاده از روش‌های رایج ساخت مدارهای مجتمع مانند لیتوگرافی فرابنفش عمیق (DUV)، بدون چندین مرحله سونش، تراشکاری الماس و یا لیتوگرافی خاکستری مانند آنچه که در ساخت عناصر اپتیکی پلیمری استفاده می‌شود، تولید کرد.

به دلیل مزایایی که ذکر شد، محققان از ظرفیت فراپتیک برای ساخت ادوات اپتیکی مسطح در کاربردهایی مانند تصویربرداری، کنترل قطبش و هولوگرافی بهره گرفتند. با این حال، روش‌های تصویربرداری فراسطح موجود از انحرافات شدید وابسته به طول موج (که ناشی از ناپیوستگی فازی است)، رنج می‌برند. همین امر منجر به بالاتر بودن مرتبه خطای بازسازی تصاویر توسط این عناصر در مقایسه با عدسی‌های ترکیبی مرسوم شده است. هدف مهندسی پراکندگی، کاهش این مشکل با بهره‌برداری از تاخیر گروهی و پراکندگی تاخیر گروهی برای متمرکز کردن نور پهن باند است. با این حال، این روش به دیافراگم‌هایی با طراحی ~ ۱۰ میکرون محدود می‌شود. به این ترتیب، رویکردهای موجود قادر به تنظیم اندازه دیافراگم قابل دستیابی بدون کاهش قابل توجه دیافراگم عددی یا محدوده طول موج پشتیبانی شده نیستند.



این محققان در تلاش هستند تا توانایی‌های محاسباتی بیشتری را به این دوربین‌ها اضافه کنند. در گامی فراتر از بهینه‌سازی کیفیت تصویر، آنها امیدوارند بتوانند قابلیت‌هایی را برای تشخیص اشیا و سایر روش‌های سنجش مربوط به پزشکی و رباتیک اضافه کنند.

قسمت (a) تصویر بالای صفحه، طرحواره‌ای از فراپتیک بسیار نازک ساخته شده توسط این تیم تحقیقاتی را نشان می‌دهد که ۵۰۰ میکرون قطر و ضخامت دارد. در قسمت (b) تصویر میکروسکوپ نوری و (c) حالت بزرگنمایی شده از این قطعه را نمایش می‌دهند. ابعاد نانویی آن را در بخش (d) مشاهده می‌کنید. در قسمت‌های بعد روند و مدل شکل‌گیری تصویر و الگوریتم دکانولوشن به تصویر کشیده شده است.



راه‌حل‌های دیگر هم فقط برای طول‌موج‌های گسسته یا نور با پهنای باند باریک کارآمد است. ضمن آن که این فراسطوح، ابیراهی‌های هندسی پرقدرتی از خود نشان می‌دهند که به کارگیری از آنها را برای تصویربرداری‌های با میدان دید (FOV) گسترده، با محدودیت مواجه می‌کند. رویکردهایی که از FOVهای گسترده پشتیبانی می‌کنند، به طور معمول یا از دیافراگم‌های ورودی کوچک استفاده می‌کنند که مجموع نور را محدود می‌کند یا از فراسطوح چندگانه بهره می‌گیرند که فرآیند ساخت آنها را بسیار پیچیده می‌کند. بعلاوه این فراسطوح چندگانه توسط یک شکاف از هم جدا می‌شوند و به صورت خطی با دیافراگم مقیاس می‌شود. از این رو، با افزایش اندازه دیافراگم، مزیت اندازه فراپتیک‌ها هم از بین می‌رود.

به تازگی، محققان از تصویربرداری محاسباتی برای حذف و تصحیح ابیراهی‌ها توسط نرم‌افزارهای پس پردازش بهره گرفته‌اند. اگرچه این رویکردها، تصویربرداری تمام رنگی توسط فراسطوح را بدون محدودیت‌های دیافراگم دقیق امکان‌پذیر می‌سازند، اما میدان دید آن‌ها به کمتر از بیست درجه محدود می‌شود و وضوح فضایی بازسازی‌شده کمتر از مرتبه بزرگی ادوات اپتیکی انکساری معمولی است.

محققان از مقایسه رویکردهای موجود دریافتند که رویکرد نانواپتیک عصبی، تصاویر بازسازی شده با کیفیت بالا و میدان دید وسیعی را تولید می‌کند که ابیراهی‌های رنگی‌شان هم اصلاح شده است. فراسطوح به کار رفته در این دوربین که تنها یک میلی‌متر وسعت دارد، با ۱/۶ میلیون نانوساختار استوانه‌ای پوشیده شده است. هر نانوساختار، هندسه و عملکرد خاص خودش را دارد که شبیه یک آنتن نوری عمل می‌کند. طراحی هر ساختار متفاوت است به طوری که شکل‌گیری درست جبهه موج نوری را تضمین می‌کند. بر اساس جهت دریافت شده از الگوریتم‌های مبتنی بر یادگیری ماشینی، نانوساختارها با نور برهم‌کنش کرده و تصویر تولید می‌شود.

چالش اصلی در ساخت این دوربین فوق‌پیشرفته، طراحی و چیدمان صحیح همین نانوساختارهای کوچک بود که Tseng یکی از محققان این طرح در این باره گفته است:"برای دستیابی به تصاویر RGB با میدان دید وسیع، تا پیش از این مشخص نبود که چگونه باید میلیون‌ها نانوساختار را به همراه الگوریتم‌های پس پردازش طراحی کرد".

به نظر شما محققان چگونه از پس این چالش برآمدند؟!

پروفسور کولبرن استاد دانشگاه واشنگتن برای حل این چالش، یک شبیه‌ساز محاسباتی را ابداع کرده است که این نانوآنتن‌ها را برای آزمایش‌های مختلف به صورت خودکار تنظیم می‌کند. او همچنین مدلی را توسعه داده است که قابلیت‌های تولید تصویر فراسطوح را با دقت کافی، تقریب می‌زند. این مدل به ساده‌سازی تخمین میزان حافظه و زمان موردنیاز برای شبیه‌سازی کمک می‌کند که اطلاعات متعدد شمار زیادی آنتن و تعاملات آنتن/نور را در برمی‌گیرد.

در واقع، ادغام لایه نوری فراسطحی و الگوریتم‌های پردازش سیگنال، باعث برتری عملکرد این دوربین در شرایط نور طبیعی در مقایسه با دوربین‌های فراسطحی مرسوم (که به شرایط ایده‌آلی برای تولید تصاویر با کیفیت بالا نیاز دارند) شده است.

حتما برای شما هم جالب است بدانید که چنین قطعه کوچکی چگونه ساخته می‌شود؟

در واقع، این قطعه طی چندین مرحله لایه‌نشانی انواع مواد دی الکتریک و فلزی و الگودهی ساخته شده است. روند ساخت بدین ترتیب است که ابتدا لایه‌ای از جنس نیترید سیلیکان از طریق روش لایه‌نشانی بخار شیمیایی پلاسمایی با ضخامتی ۷۰۵ نانومتری بر روی یک ویفر سیلیکایی لایه‌نشانی شد. سپس سطح لایه دی الکتریک توسط فوتورزیست ZEP 520A به کمک لایه نشانی چرخشی پوشش داده شد. در گام بعدی لایه‌ای ۸ نانومتری از جنس طلا و برای پراکندگی بار به روش کند و پاش بر روی لایه‌های پیشین لایه‌نشانی و سپس با انجام فرآیند لیتوگرافی باریکه الکترونی توسط دستگاه پیشرفته JEOL JBX6300FS، نوردهی شد. فرآیندهای ظهور و سونش و برداشت بخش‌های ناخواسته و حذف فوتورزیست هم به کمک محلول‌های شیمیایی و بهره‌گیری از دستگاه سونیکیشن صورت گرفت که جزئیات آن در مقاله آورده شده است. همچنین برای ایجاد ماسک سونش، ابتدا لایه ۵۰ نانومتری آلومینیوم به روش تبخیری لایه‌نشانی شده، سپس به کمک انرژی امواج فراصوت در متیلن کلراید، استون و ایزوپروپیل الکل، بخش‌های ناخواسته لایه برداشته شد. در مرحله بعد برای سونش لایه نیترید سیلیکان از CH_3 و SF_6 به همراه سونش‌گر پلاسمایی القایی استفاده شد. پس از برداشتن لایه ماسک سونش آلومینیومی، سطح تراشه با یک لایه فوتورزیست AZ 1512 پوشانده و الگودهی شد. در نهایت برای ایجاد یک روزنه سخت برای مسدود کردن نور سرگردان، روند تشکیل الگو یعنی لایه نشانی آلومینیوم و برداشت آن به ترتیب انجام شد و به این ترتیب روزنه‌ای سخت شکل گرفت.

پس از ساخت این قطعه فراپتیکی، خطای ساخت با انجام یک مرحله کالیبراسیون PSF محاسبه شد. این کار با استفاده از یک سامانه تقویت نوری برای تصویربرداری از روزنه‌ای که توسط LEDهای کوپل شده با فیبر روشن می‌شود، صورت گرفت. سپس با جایگزین کردن روزنه با یک نمایشگر OLED، آزمایش‌های تصویربرداری انجام شد. در واقع، تصاویری که توسط تصویرگر نانو اپتیک ثبت می‌شد، به کمک این نمایشگر، نمایش داده می‌شد.

محققان قصد دارند از این تصویرسازهای فوق فشرده برای تبدیل سطوح به حسگر استفاده کند.

به گفته هاید:"ما می‌توانیم سطوح جداگانه را به دوربین‌هایی تبدیل کنیم که وضوح بسیار بالایی دارند، بنابراین دیگر به سه دوربین در پشت تلفن خود نیاز نخواهید داشت، اما کل پشت تلفن شما به یک دوربین غول‌پیکر تبدیل می‌شود. ما می‌توانیم به راه‌های متفاوتی برای ساخت دستگاه‌ها در آینده فکر کنیم."

E. Tseng, and.*et al.*, Neural nano-optics for high-quality thin lens imaging. *Nat Commun* **12,** 6493 (2021). https://doi.org/10.1038/s41467-021-26443-0

مغناطیس‌سنجی دقیق که از نور فشرده بهره می‌گیرد!

شاید برای شما که با علم نجوم سر و کاری ندارید جالب باشد اگر بدانید که میدان‌های مغناطیسی و ذرات باردار نقش مهمی در منشاء و تحول سامانه خورشیدی داشته‌اند. در واقع محققان با بررسی دقیق تغییرات مغناطیسی این سامانه خورشیدی به اطلاعات شگرفی در این حوزه دست یافته‌اند. تجزیه و تحلیل داده‌های مغناطیس‌سنج‌های مورد استفاده در اکتشاف فضا، مسیرهای نوینی را پیش روی انسان امروزی قرار داده است.

البته سنجش دقیق میدان‌های مغناطیسی تنها به کاربردهای هوا-فضا محدود نمی‌شود. محققان و پزشکان فعال در زمینه مطالعات مغز و اعصاب هم پیشرفت‌های اخیر خود را مرهون بهره‌گیری از تجهیزات سنجش دقیق میدان مغناطیسی هستند. حتی امروزه برای یافتن کشتی‌های غرق شده نیز از ادواتی استفاده می‌شود که می‌تواند ضعیف‌ترین میدان‌های مغناطیسی را شناسایی کند!

برای شمار زیادی از کاربردهای این چنینی، لازم است از ابزارهای حساس اندازه‌گیری میدان مغناطیسی (مغناطیس‌سنج‌های دقیق) بهره گرفته شود. مغناطیس‌سنج‌هایی که با نور پمپ می‌شوند، از جمله حساس‌ترین تجهیزات سنجشی هستند که از نور لیزر برای کاوش اتم‌های حساس-مغناطیسی استفاده می‌کنند. البته در بسیاری از موارد، حساسیت این ابزارها به خاطر تغییرات تصادفی (نویز) در هنگام استفاده از نور لیزر، محدود می‌شود. در چنین شرایطی، بدیهی است که اگر بتوان نویز را کاهش داد، حساسیت مغناطیس‌سنج بیشتر شده و قادر است تغییرات کوچکتر میدان مغناطیسی را تشخیص دهد.

از این رو، محققان همواره سخت در تلاش بوده‌اند تا لیزرهایی را توسعه دهند که عاری از نویز باشد. اما محدودیت‌ها همیشه مانع شده است!

چرا که هر نوری حتی نور لیزر، از بسته‌های انرژی موسوم به فوتون تشکیل شده است که با ورود تصادفی‌اش، نویز ایجاد می‌کند که این نویز تصادفی را نویز ضربه‌ای یا Shot noise می‌نامند. حتی بهترین و در اصطلاح ساکت‌ترین لیزرها هم هنوز نویز ضربه‌ای دارند و همین امر دقت اندازه‌گیری‌ها را به صورت چشمگیری کاهش می‌دهد.

با این وجود، حد نویز ضربه‌ای مطلق نیست. یعنی اگر بتوان فوتون‌ها را به گونه‌ای سازماندهی کرد که به صورت منظمی جریان یابند، می‌توان جریان نوری در اصطلاح ساکت‌تری را تولید کرد. در نتیجه دقت اندازه‌گیری‌های نوری را افزایش داد. هرچند که این امر چندان ساده نیست اما غیرممکن هم نیست! این ایده که در سال ۱۹۸۱ به عنوان راهی برای بهبود حساسیت آشکارسازهای امواج گرانشی مطرح شد، تحت عنوان "نور فشرده یا Squeezed light" شناخته می‌شود.

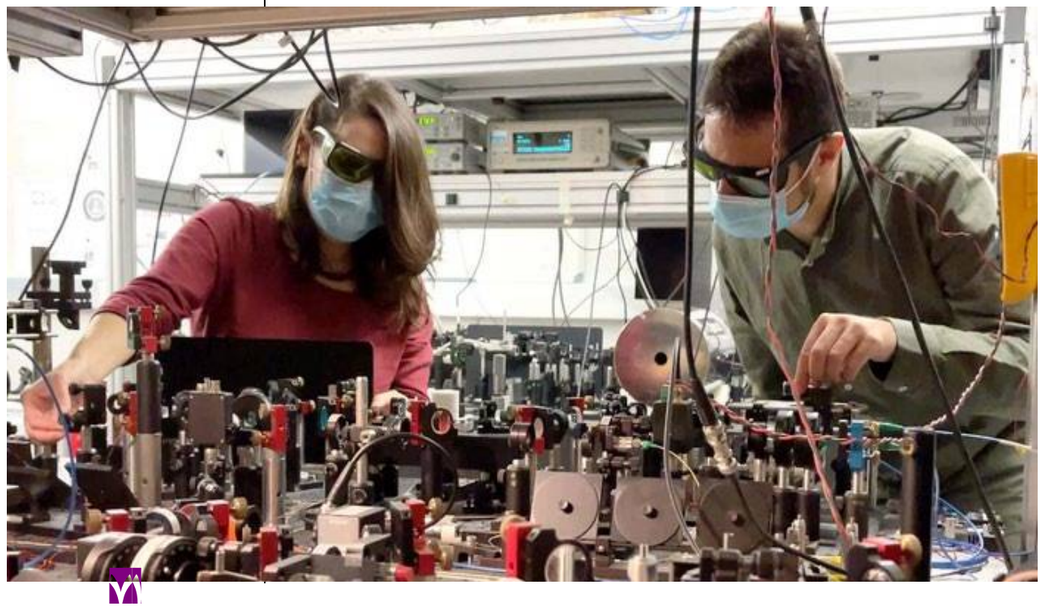
جالب است بدانید که چهار دهه پس از آن، از این نور در ساخت آشکارسازهای امواج گرانشی LIGO و VIRGO برای بهبود حساسیت و درک دقیق‌تر رویدادهای کیهانی مانند برخورد سیاهچاله‌ها بهره گرفته شد.

حال به نظر شما، همین رویکرد می‌تواند عملکرد مغناطیس‌سنج‌ها را هم بهبود بخشد؟

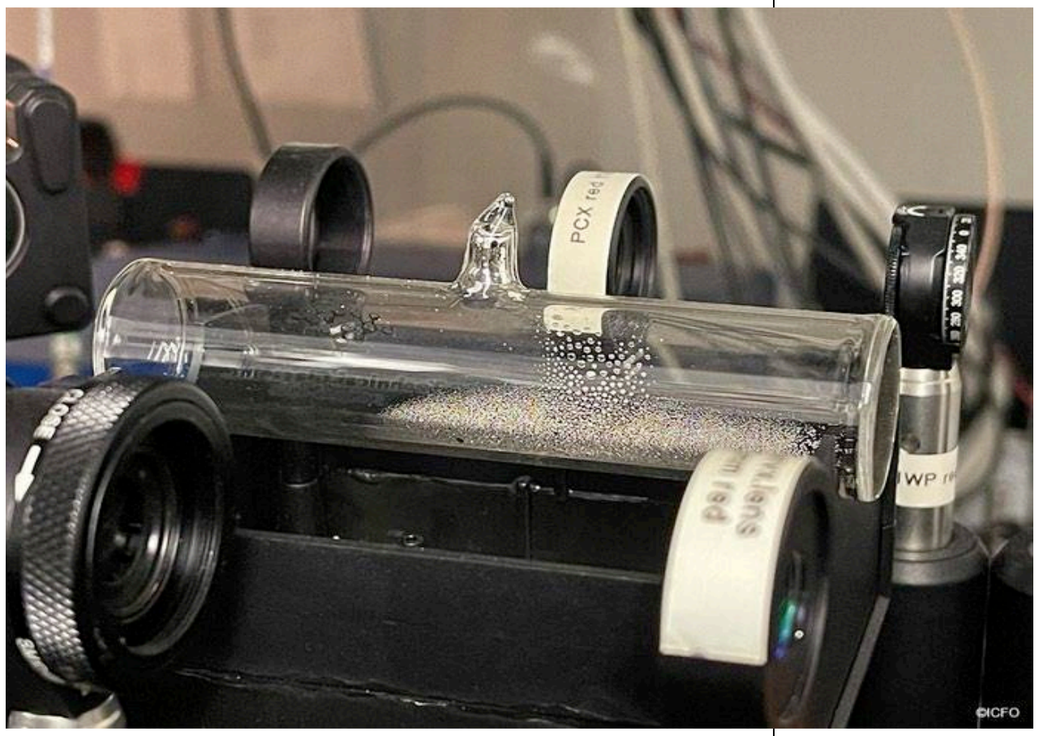
تا پیش از این مقاله، جواب این سوال نامشخص بود. در اولین آزمایشی که در آن نور فشرده در یک مغناطیس‌سنج مورد استفاده قرار گرفت، نتیجه مطلوبی حاصل شد و حساسیت این ابزار را بهبود بخشید. اما در آزمایش بعدی، نتیجه برعکس بود و نتایج نشان داد که نور فشرده هیچ کمکی به افزایش حساسیت دستگاه نکرده است. پس از آن به مدت یک دهه این سوال همچنان مطرح بود که "آیا نور فشرده می‌تواند حساسیت مغناطیس‌سنج را ارتقا دهد یا خیر؟"

در مقاله‌ای که به تازگی محققان دانشگاه مورگان با همکاری محققان چینی در نشریه Physical Review Letters منتشر کرده‌اند، بدین سوال پاسخ داده‌اند. آنها نشان دادند که عامل اصلی در این آزمایش، فرار پس کنش است! اما این اصطلاح به چه معناست؟

یعنی نوری که اتم‌ها را روبش می‌کند، تنها باید به گونه‌ای بر روی آنها اثر بگذارد که پاسخ آنها را به میدان مغناطیسی تغییر ندهد و با در نظر گرفتن این نکته کلیدی دریافتند که نور فشرده می‌تواند حساسیت مغناطیس‌سنج را افزایش دهد!



شکل زیر چیدمان دستگاه مغناطیس‌سنجی را نشان می‌دهد که توسط این محققان طراحی شده است.



شکل بالا، سلول شیشه‌ای حاوی فلز روبیدیم را نشان می‌دهد که با گاز نیتروژن مخلوط شده و تا دمای ۱۰۵ درجه سانتی‌گراد گرم و سپس تبخیر می‌شود و اتم‌های روبیدیم آزاد را تولید می‌کند که در داخل سلول پخش می‌شوند.

در این آزمایش، مغناطیس‌سنجی با پمپ نوری بل بلوم ((Bell-Bloom (BB ساخته شد و از یک نورفشرده قطبی برای مشاهده پاسخ یک ابر داغ و متراکم از اتم‌های روبیدیوم (87Rb) به میدان مغناطیسی بهره گرفته شد.

به گفته Charikleia Troullinou نویسنده این مقاله، "ما از نور پلاریزه خطی برای بررسی خواص مغناطیسی مجموعه‌ای از اتم‌های متراکم داغ استفاده کردیم و یک مغناطیس‌سنج بسیار حساس را که تا پیش از این توسط نویز کوانتومی محدود شده بود، ایجاد کردیم. علاوه بر آن، تولید نور فشرده و استفاده از آن به ما این امکان را می‌دهد که نویز ضربه‌ای فوتون‌ها را در سیگنال کنترل کنیم که این امر به طور مستقیم عملکرد مغناطیس‌سنج را بهبود می‌بخشد و آن را در پاسخ به سیگنال‌های سریع حساس‌تر و بهتر می‌کند.

در این پژوهش دو اصطلاح مهم مطرح شد: اندازه‌گیری کوانتومی پس کنش (Quantum measurement back-action) و فرار پس کنش (Back-action envasion))!

حال باید دید منظور از این دو اصطلاح چیست؟ هنگامی که شما یک سامانه میکروسکوپی مانند یک الکترون یا اتم را مورد اندازه‌گیری قرار می‌دهید، این سامانه بر روی ابزار اندازه‌گیری شما هم اثر می‌گذارد و منجر به تغییراتی می‌شود که قابل تشخیص است. این تاثیر "کنش" سامانه میکروسکوپی بر روی ابزار اندازه‌گیری است. اصل عدم قطعیت هایزنبرگ می‌گوید که این ابزار باید یک "کنش برگشتی اندازه‌گیری کوانتومی" یا به اختصار "کنش برگشتی" در سامانه تحت بررسی اعمال کند.

به عنوان مثال، اگر موقعیت یک الکترون را اندازه‌گیری می‌کنید، کنش برگشتی تکانه آن را تحت تاثیر قرار خواهد داد. در نتیجه اندازه‌گیری‌های پیچیده تحت تاثیر این کنش برگشتی با چالش مواجه می‌شوند.

فرض کنید می‌خواهید سرعت الکترون را با اندازه‌گیری موقعیت کنونی آن بسنجید، اگر مدتی منتظر بمانید و دوباره موقعیت را اندازه‌گیری کنید، نتیجه نادرست شما را ناامید خواهد کرد.

چرا که تعیین موقعیت اول باعث اختلال در حرکت و در نتیجه سرعت می‌شود. "اندازه‌گیری به روش فرار از پس کنش"، رویکردی است که عاری از چنین معضلی است.

در این روش، سامانه میکروسکوپی توسط اندازه‌گیری مختل می‌شود اما به صورتی این اتفاق می‌افتد که روند اندازه‌گیری را تغییر نمی‌دهد.

این محققان دریافتند که در زمینه حسگرهای اتمی، طرح اندازه‌گیری Bell-Bloom به صورت طبیعی از واکنش گریزان است، زیرا نویز پس کنشی بر آن مولفه اسپینی که اندازه‌گیری نمی‌شود، اثر می‌گذارد. در نتیجه نور فشرده می‌تواند به صورت مفید بر کل طیف فرکانسی اثر کند.

نکته مهم و شگفت‌انگیز در مورد این نتیجه آن است که مشخص شد نور فشرده می‌تواند حساسیت یک مغناطیس‌سنج را به خوبی بهبود ببخشد. این بدان معناست که این رویکرد می‌تواند بلافاصله عملی شده و در مغناطیس‌سنج‌های ژئوتکنیکی مورد استفاده قرار گیرد.

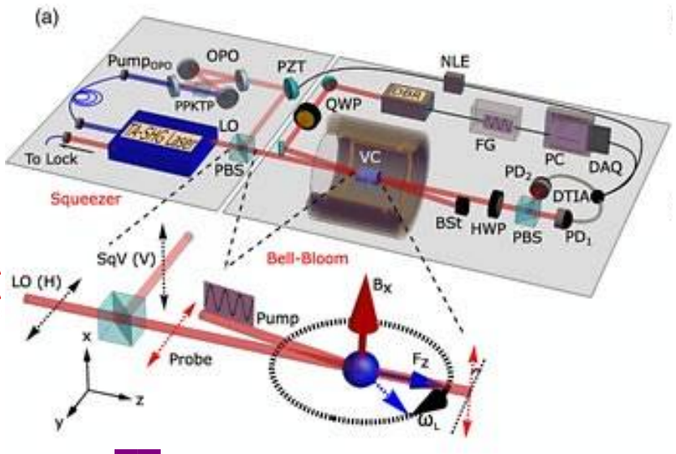
شکل روبرو چیدمان آزمایش انجام شده را به صورت طرحواره به تصویر کشید است و در واقع یک مغناطیس‌سنج با پمپ نوری Bell-Bloom را نشان می‌دهد. اجزای این چیدمان شامل یک مولد هارمونیک دوم تقویت شده مخروطی (TA-SHG)، نوسان‌ساز پارامتری نوری (OPO)، کریستال غیرخطی PPKTP، نوسان‌ساز موضعی (LO)، تقسیم‌کننده پرتوی قطبی (PBS)، صفحه موج یک چهارم (QWP)، سلول بخار، درپوش باریکه (BSt)، صفحه نیم موج (HWP)، فوتودیود، تقویت‌کننده ترانس امپدانس دیفرانسیلی (DTIA)، فانکشن ژنراتور (FG)، قفل نویز الکترونیکی (NLE) و گردآورنده داده‌ها (DAQ) است.

چیدمان Bell-Bloom:

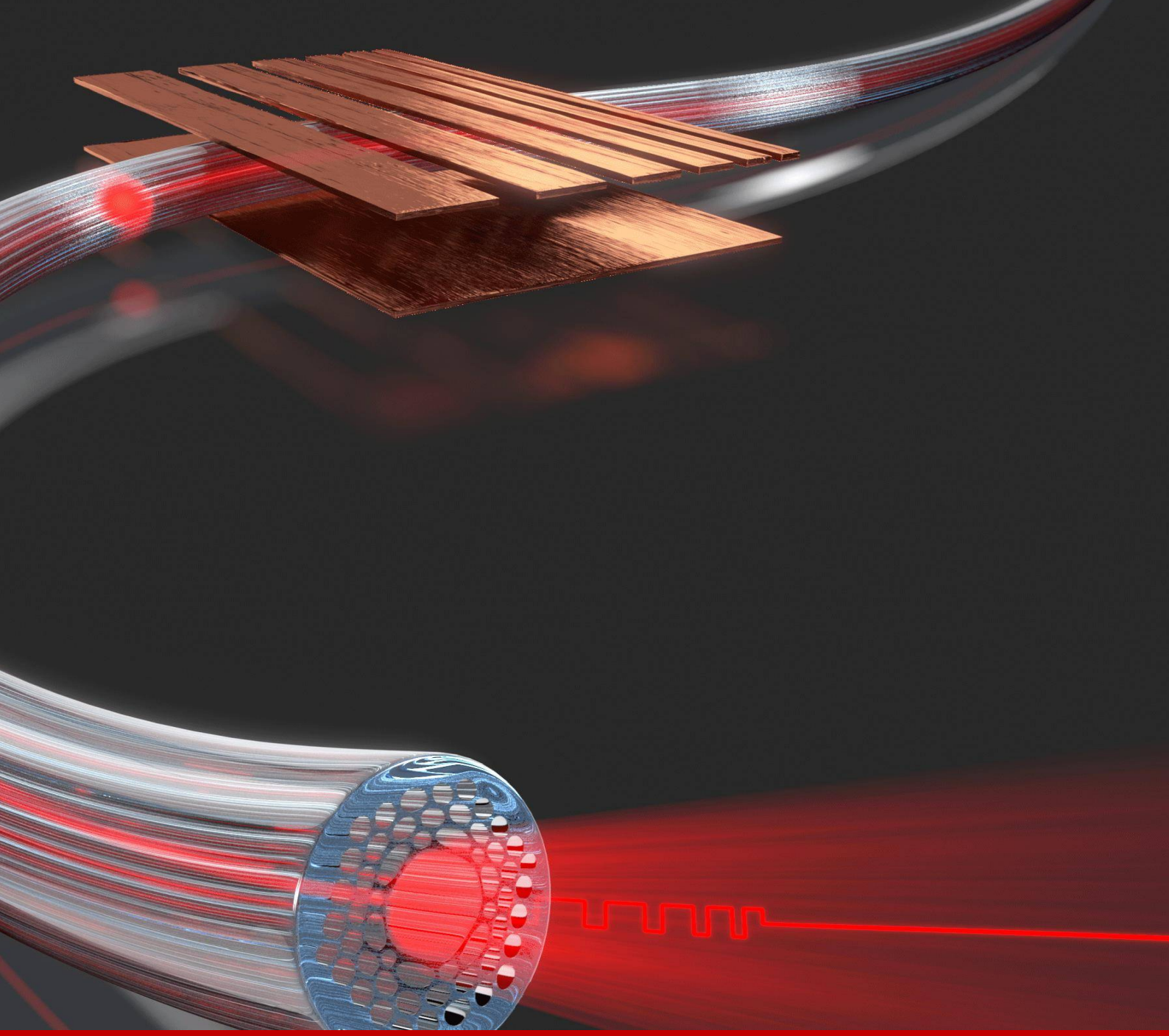
به دلیل میدان مغناطیسی B_x اسپین‌های اتمی در فرکانس لارمور در صفحه عرضی پیش می‌روند. پمپاژ نوری مدوله شده همزمان، قطبش اسپین اتمی را حفظ می‌کند. در این حالت، یک نور پروب پیوسته قطبی تحت چرخش فارادی پارامغناطیسی قرار می‌گیرد.

قسمت فشرده‌ساز Squeezer:

این بخش از یک خلاء فشرده با قطبش عمودی، نوسان‌ساز موضعی LO با قطبش افقی و یک تقسیم‌کننده پرتو پلاریزه تشکیل شده است که می‌تواند یک نور پروب فشرده قطبی ایجاد کند.



C. Troullinou, and et al., lSqueezed-Light Enhancement and Back action Evasion in a High Sensitivity Optically Pumped Magnetometer, Phys. Rev. Lett. **127**, 193601, 2021 https://doi.org/10.1103/PhysRevLett.127.193601



oejournal.org