OPSI| Optics and Photonics Society of Iran Newsletter

Optics and Photonics Society of Iran(OPSI) Newsletter

شناسنامه این نشریه:

سال سوم، شماره یازدهم، بهمن ۱۳۹۶
Vol 3-No 11-February 2018

صاحب امتیاز:

انجمن علمی اپتیک و فوتونیک ایران

مدیر مسئول: سیده مهری حمیدی سنگدهی(عضو هیئت علمی دانشگاه شهید بهشتی)

همکاران این شماره: ساجده سعیدی فرد، حامد مهدی کیا

در این شماره می خوانید:

موجبرهای باکتریایی نوری

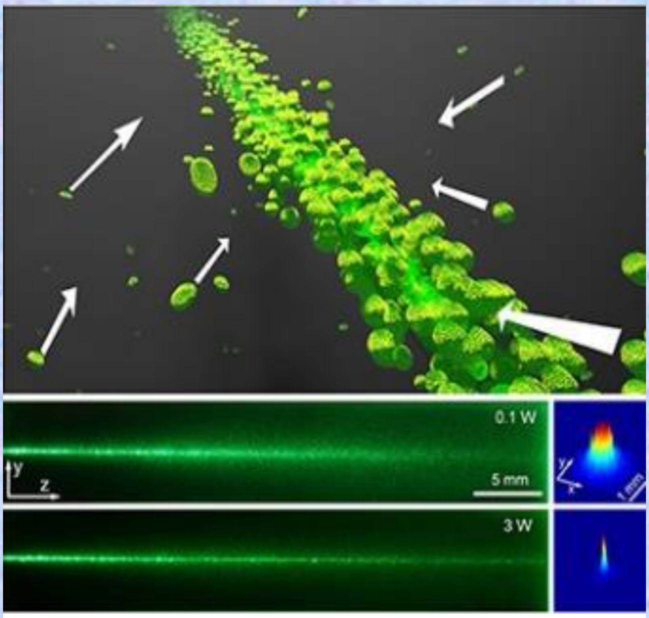
درک تعامل نور با سلول های زنده برای توسعه ی تصویربرداری زیستی، سوخت های زیستی، بیو لیزرها، و میکروتراشه های زیستی-نوری اهمیت حیاتی دارد و درک عمیق از بیوفوتونیک، نیازمند اپتوفلویدیک و فیزیک مواد نرم است. با این وجود، اگرچه خود-اثر غیرخطی نور در واکنش های کلوئیدی نانوذرات معلق نشان داده شده است، اما پاسخ های غیر خطی محیط های بیولوژیکی تاکنون مورد بررسی قرار نگرفته است. در واقع، به طور معمول تصور می شود که نور نمی تواند به دلیل پراکندگی قوی ، جذب زیاد محیط و غیرخطی بودن نوری ضعیف، عمیقا به محیط بیولوژیکی نفوذ کند.

ما اخیرا وجود شگفت انگیز پاسخ غیرخطی قابل توجهی در میکروارگانیسم ها نشان دادیم که شامل تسریع خودکار و افزایش انتقال پرتو نور از طریق توقف بیولوژیکی باکتری های دریایی بوده است. در همان کار، اثرات غیرخطی مشابهی را سوسپانسیون های حاوی انواع دیگر سلول های زنده، از جمله گلبول های قرمز خون انسان مشاهده شده است. با تغییر عمدی محیط میزبان سیانوباکتریایی[1]، ما تغییر قابل توجهی از دینامیک غیرخطی مرتبط با انتشار نور را نشان دادیم. قابل توجه است که میکروارگانیسم ها در طول این فرآیند زیست پذیر باقی می مانند.

برای توضیح رفتار میکروارگانیسم و شکل گیری موجبرهای «بیولوژیکی»، ما یک مدل نظری پراکندگی پیش رو داریم. این مدل نشان داده است که یک غیرخطی غیرموضعی، که به وسیله نیروهای نوری ترکیب شده تعدیل شده است، برای ایجاد موجبرهای زنده ی سلولی سودمند است. ما دریافتیم که به نظر می رسد نیروی پراکندگی ناشی از نور در حال حرکت در جهت رو به جلو نقش مهمی در شکل گیری کانال موجبر بوسیله ی تقویت انتشار نور سوزن مانند، در سرتاسر سوسپانسیون های بیولوژیکی ایفا می کند.

---

[1] cyanobacteria’s host environment



شکل ۱ . بالا: تصویری از باکتری که به وسیله یک پرتو نور به داخل و خارج هدایت می شود، ایجادکننده ی یک موجبر موثر است که به پراکندگی طبیعی پرتو کمک می کند. پایین سمت چپ: نمای جانبی یک پرتو لیزر که در سلول های دریایی سینچوکوکوس[1] معلق در آب دریایی پخش می شود. در توان کم، پرتو پراکندگی / پراش خطی نشان می دهد ؛ درحالیکه در توان بالا، گرفتارشدگی خودبه خودی غیرخطی را تجربه می کند. پایین سمت راست: شکل ۳ بعدی مربوط به پروفایل های پرتو پس از ۴ سانتی متر انتشار است، که توسط یک دوربین CCDگرفته شده است.

یافته ها نشان می دهد که سلول ها در سطوح توان بالایی باقی می مانند و موجبرها را ایجاد می کنند که کاربرد های جالبی در پزشکی و زیست شناسی را به ما وعده می دهد. سیستم های بیولوژیکی نرم با ناپایداری های نوری قابل تنظیم، کانال های نوری در سوسپانسیون های بیولوژیکی و امکان تصویر برداری غیرخطی از طریق مایعات بیولوژیکی، فقط چند نمونه از این کاربردها است.

---

[1] *Synechococcus*

منبع:
https://www.osa-opn.org/home/articles/volume_28/december_2017/extras/bacterial_waveguides_of_light

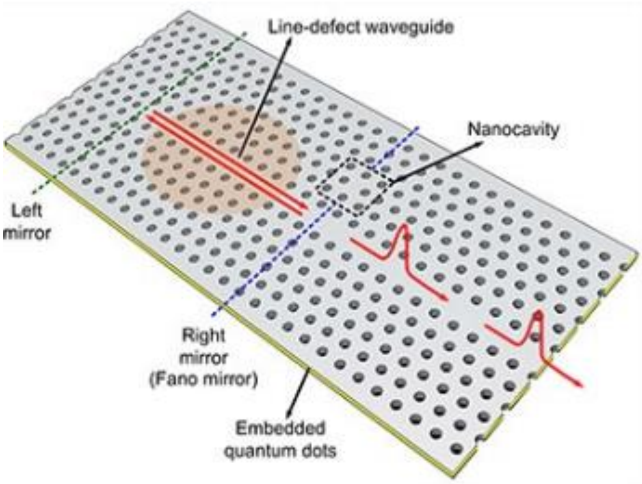
لیزر فانو[1] بدون آینه

در لیزر های معمولی، محیط فعال معمولا بین دو آینه قرار دارد. کاواک های لیزری نیمه هادی ها بـه انـواع مختلفی از تنظیمات آینه شامل بازتـاب فرنـل از یـک سطح دارای شکاف، کوپلینگ مدی در یـک تـوری بـا کنتراست بالا یا بازتاب براگ از مجموعه ای متناوب از لایه ها بستگی دارد. در سال جاری، ما از نوع جدیدی از نانولیزرها با پایانه ی بدون آینه رونمایی کـرده ایـم. در طراحی لیزر ما، انعکاس به سمت عقب از یک آینـه ناشی نمی شود بلکه از تشدید فانو که شکل خاصی از تشدید به نام فیزیکدان ایتالیایی آمریکایی اوگـو فـانو است و آن را در سـال ۱۹۶۱ توضـیح داد، ناشـی مـی شود.

در ساختار ما، تشدید فانو بوسـیله تـداخل مـوج بـین زنجیره ای از مدهای موجبر باز بلور فوتونی و تشـدید گسسته ی کاواک نانوی بلور فوتونی شکل گرفته است. در تشدید، مسیر نور از طریـق کـاواک نـانو و مـوجبر بصورت مخربی تداخل می کنند که این رخداد منجـر به ایجاد یک آینه ی مجازی با بازتاب بالا می شود که تولید کننده ی یک وضعیت مقید در پیوستار است.

درکار نظری قبلی ما نشان دادیم که این چنـین لیـزر فانویی، توانایی مدوله شدن را در فرکانس های بالاتر از یک تراهرتز دارد که از لحاظ بزرگی دو برابر بزرگتر از بهترین لیزرهای امروزی است. در آزمایش های ما، مـا دریافتیم که آینه ی فانو منجر به ویژگی های منحصر به فرد لیزر می شود. این لیزر به دلیل باند باریک آینه فانو در مقایسه با آینه های لیزری رایج تک مد است. با این حـال، پاشـندگی بـزرگ آینـه ی فـانو بـه همـراه غیرخطی بودن نوری، به این معنی است که لیزر مـی تواند در یک رژیم کاملا متفاوت عمل کند، کـه در آن خود را به گونه ای مدوله می کند تا در فرکانس هـای گیگاهرتز یک قطار پایدار با پالس هـای کوتـاه تولیـد کند (از مرتبه ی ۱۰پیکوثانیه) که اثری است که تنهـا قبلا در لیزرهای ماکروسکوپی مشاهده شده است.

[1] Fano laser



طرحواره لیزر فانو، مبتنی بر یک غشاء بلور فوتونی InP که با نقاط کوانتومی InAs به عنوان منطقه فعال جاسازی شده است. کاواک لیزری شامل یک موجبر است که با یک آینه ی سمت چپ پهن باند و و یک آینه سمت راست با پهنای باریک محدود شده است که توسط تداخل فانو بین یک مد پیوسته موجبر و یک مد گسسته در یک کاواک نانو تحقق یافته است. لیزر پالس های کوتاه را در امتداد موجبر به سمت راست منتشر می کند. نقطه رنگی منطقه ای است که در آن پمپاژ نوری انجام می شود.

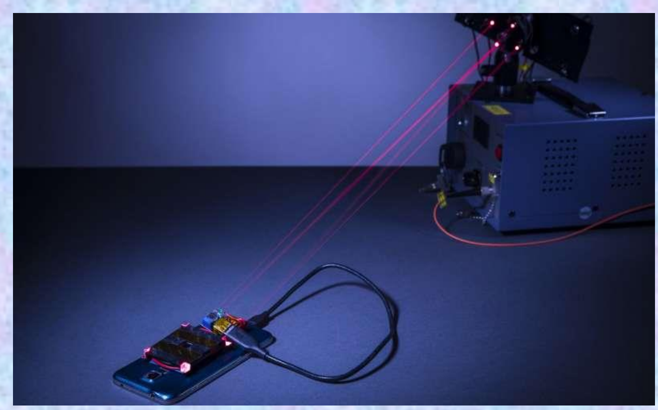
صرف نظر از نمایش اولین لیزر با یک مفهوم جدید، لیزر فانو، کار ما نیز اولین مشاهده ی خود پالس دهی در یک نانولیزر فراهم می کند. خود پالس دهی ممکن است یک روش ساده و مقرون به صرفه برای تولید قطارهای پالس فوق العاده کوتاه بدون هیچ وسیله ی الکترونیکی خارجی باشد. لیزر فانو دارای فیزیک غنی است و می تواند به کاربردهای جدید در زمینه های مختلف مانند ارتباطات با سرعت بالا و انرژی کم و حسگری منتهی شود.

منبع:
https://www.osa-opn.org/home/articles/volume_28/december_2017/extras/a_mirrorless_fano_laser/

استفاده از لیزر به منظور شارژ بی سیم گوشی های هوشمند به صورت ایمن در عرض یک اتاق

اگر چه دستگاههای هوشمندی نظیر تبلت ها و گوشی های هوشمند به ما اجازه برقراری ارتباط، کار کردن و کسب اطلاعات را به صورت بدون سیم می دهند اما همچنان باتری های آنها دارای محدویت مکانی بوده و مجبوریم آنها را باید با استفاده از کابل و اتصال آن به برق شارژ کنیم. دانشمندان در دانشگاه واشنگتن برای اولین بار روشی ایمن برای شارژ باتری تلفن های هوشمند از طریق لیزر توسعه داده اند. بر اساس گزارشی که یک تیم تحقیقاتی در دانشگاه واشنگتن در ماه دسامبر در مجله (۱) ارائه نموده اند یک موبایل یا یک وسیله الکترونیکی پوشیدنی چند منظوره از طریق پرتو مرئی که از یک لیزر ساطع شده می تواند شارژ الکتریسیته را به یه گوشی هوشمند که در یک طرف دیگر اتاق قرار گرفته است با همان سرعت کابل های یو اس بی شارژ کند.

برای انجام این کار این تیم یک سلول الکتریکی نازک را در قسمت پشت تلفن هوشمند نصب کرده اند که گوشی را با استفاده از توان ارسالی از لیزر شارژ می کند. علاوه بر این، این تیم مشخصه ایمنی بارزی شامل یک هیت سینک[۲] صفحه ای تخت فلزی به منظور از بین بردن گرمای اضافی تولید شده توسط لیزر بر روی گوشی هوشمند طراحی کرده اند که به خوبی با یک مکانیزم انعکاسی عمل کرده و در صورتی که یک شخص قصد حرکت در مسیر شارژ باتری را داشته باشد بلافاصله لیزر را خاموش می کند.



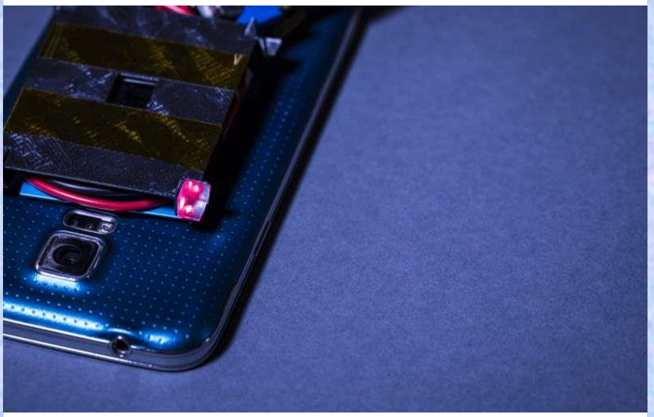
شکل ۱: سیستم شارژر از راه دور ساخته شده توسط محققان دانشگاه جرج واشنگتن. در حالت معمولی هم لیزر شارژر و هم لیزر گارد نامرئی هستند اما برای نشان دادن هدف در این عکس از نور قرمز برای لیزرهای گارد استفاده شده است.

Credit: Mark Stone/University of Washington

1. Proceedings of the Association for Computing Machinery on Interactive
2. Heatsink

دکتر شیام گولاکوتا[۱] استاد دانشکده مهندسی برق و کامپیوتر دانشگاه جرج واشنگتن که یکی از همکاران این پروژه می باشد در این باره می گوید: مهم ترین هدف ما در طراحی این سیستم ایمنی آن بوده است.

ما طراحی، ساخت و تست اولیه سیستم لیزری شارژ باتری گوشی های هوشمند با مکانیزم ایمنی پاسخ - سریع را به اتمام رسانده ایم و مطمئنیم که تابش کننده لیزری قبل از آنکه شخصی در معرض تابش آن قرار بگیرد خاموش خواهد شد.

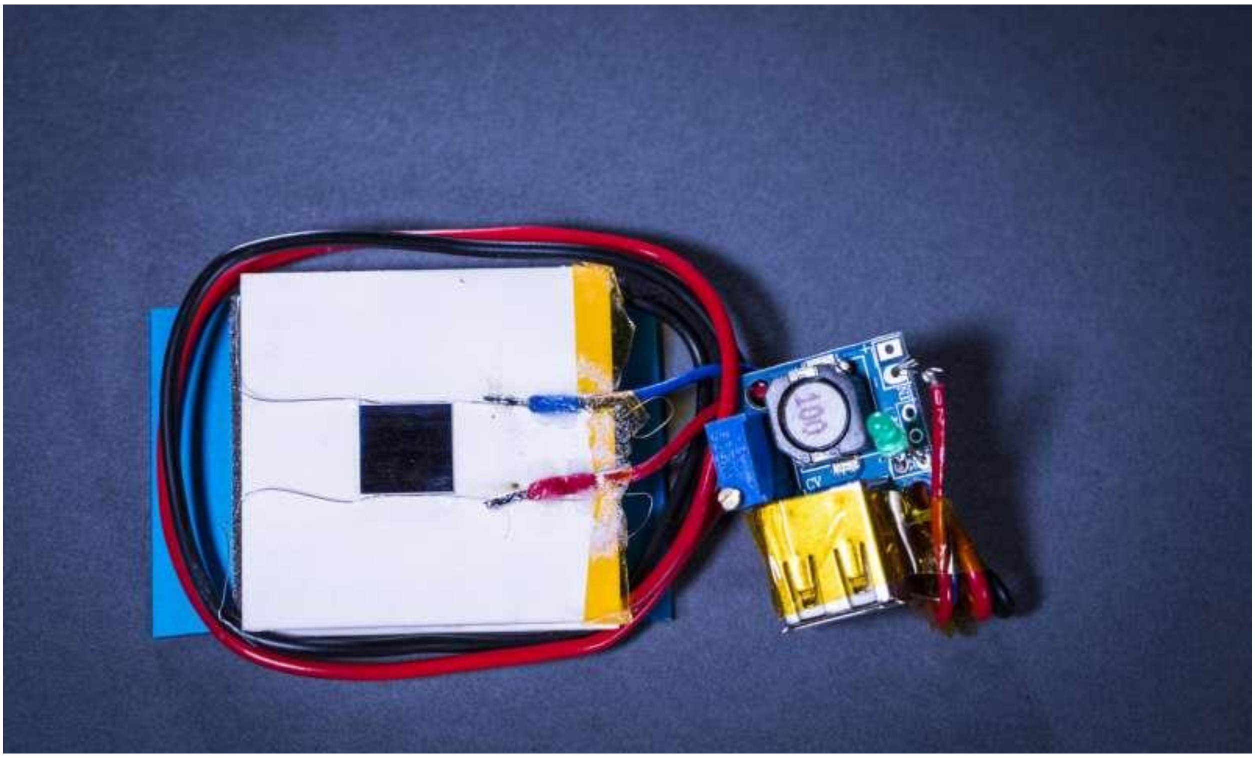


شکل ۲: قسمت قرمز نشان داده شده یکی از منعکس کننده های ساخته شده از طریق پرینتر سه بعدی می باشد که نور پرتو گارد را به سمت فوتودایود قرار گرفته بر روی لیزر منعکس می کنند. قطع شدن پرتو نور گارد بلافاصله سیستم ایمنی برای از کار اندازی سیستم اصلی شارژر را استارت می زند.

گولاکوتا و همکارش آرکا ماجومدار[۲] پروفسور در زمینه فیزیک و مهندسی برق در دانشگاه واشنگتن مسئولیت هدایت این پروژه را برعهده دارند.

ماجومدار در این زمینه ادامه می دهد: علاوه بر مکانیزم ایمنی که پرتو شارژ را خیلی سریع خاموش می کند پلتفرم ما شامل یک هیت سینک برای از بین بردن گرمای اضافی تولید شده از طریق شارژر لیزری می باشد. این ویژگی به سیستم شارژ بی سیم ما استاندارد ایمنی مورد نیاز برای ارائه هم در بخش استفاده های خانگی و هم در بخش تجاری را داده است.

1. Shyam Gollakota, an associate professor in the UW's Paul G. Allen School of Computer Science & Engineering
2. Arka Majumdar, a UW assistant professor of physics and electrical engineering



شکل ۳: نمونه اولیه هیت سینک ساخته شده توسط تیم تحقیقاتی دانشگاه جرج واشنگتن که میتواند به قسمت پشتی تلفن همراه وصل شود. این سیستم از یک سل فوتوولتاییک (مربع نقره ای) که به یک مولد ترموالکتریک (مربع بزرگ سفید) وصل شده است مولد به قسمت بالایی هیت سینک آلومینومی متصل شده است.کل قطعه اسمبل شده دارای ۸ میلی متر ضخامت و ۴۰ میلی متر پهناست

پرتو شارژر توسط لیزر تولید شده کـه ایـن تـیم آنـرا برای تولید پرتو متمرکز در ناحیه طیف نزدیـک قرمـز ساخته است. سیستم ایمنی که پرتو شارژر را خاموش می کند در مرکز یک پرتو توان پایین بی ضرر بـه نـام "پرتو گارد" یا پرتو محافظ قرار گرفته که از طریق یک منبع لیزر دیگر که دقیقا در محل لیزر اول واقع شده و به صورت فیزیکی محیط آنرا در بر گرفته است.

بازتابنده های دست ساز قرار گرفتـه شـده در اطـراف سل باتری بر روی تلفن هوشمند پرتو لیزر گارد را به سمت فوتودیود قرار گرفته بر روی لیزر مـنعکس مـی کنند. خود پرتو گارد هیچ گونه شارژ الکتریکـی را بـه سمت تلفن ارسال نمی کند امـا انعکـاس ان از سـطح تلفن همراه به سمت لیزر انتشاری به این پرتوها اجازه خواهد داد تا بـه عنـوان یـک سنسـور عمـل کـرده و هنگامی که شخصـی از جلـوی پرتـو عبـور مـی کنـد بلافاصله به لیزر اصلی اصلاع دهند. پرتو منعکس شده بـیم گـارد مـی توانـد بـه سـرعت کـافی از طریـق آشکارسازی که روی لیزر قرار گرفته حس شـود زیـرا سرعت آن بسیار سریعتر (سـرعت نـور) از سـریعترین حرکاتی است که بدن می تواند تولید کنـد (براسـاس مطالعات فیزیولوژیکی که در چند دهه اخیر انجام شده است). بنابراین زمانی که پرتو محافظ یا گـارد توسـط حرکات بدن قطع می شود گسیلنده اولیه نور در کمتر از کسری از ثانیه آن را تشخیص داده و قبـل از آنکه شخص بخواهد در تماس با لیزر قرار بگیرد یـک شاتر را مسیر نور لیزر قرار می دهد.

طبق این تحقیق یک باریکه لیزری نـازک مـی توانـد توانی معادل ۲ وات را در مساحتی به اندازه ۱۵ ایـنچ مربع تا فاصله ۳۰/۴ متر یا به عبارتی ۱۴ فوت جابجا کند. اما گسیلنده نور می تواند تا شعاع بیم شارژر را تا مساحت ۱۰۰ سانتی متر مربع برای یـک فاصـله ۱۲ متری (۴۰ فوتی) افزایش دهد. این افـزایش بـه ایـن معناست که گسیلنده می تواند سـطوح شـارژ وسـیع تری در حد یک لب تاب و یا گوشی تلفن همراهی که در بازه مساحتی ذکر شده به صورت تصـادفی افتـاده باشد را تحت پوشش قرار دهد

پروفسور ماجومدار اضافه مـی کنـد، انتظـار مـی رود نسـل بعـدی ابزارهـای اپتیکـی در ابعـاد نـانو در فرکانسهای گیگا هرتز عمل کنند که ایـن مهـم مـی تواند زمان پاسخ دهی شاتر در باز و بسته شدن را تـا مقیاس زمانی نانو ثانیه تقلیل دهد.

منبع:

More information: Vikram Iyer et al, Charging a Smartphone Across a Room Using Lasers, Proceedings of the ACM on Interactive, Mobile, Wearable and Ubiquitous Technologies (2018).

Provided by: University of Washington

1. guard beams

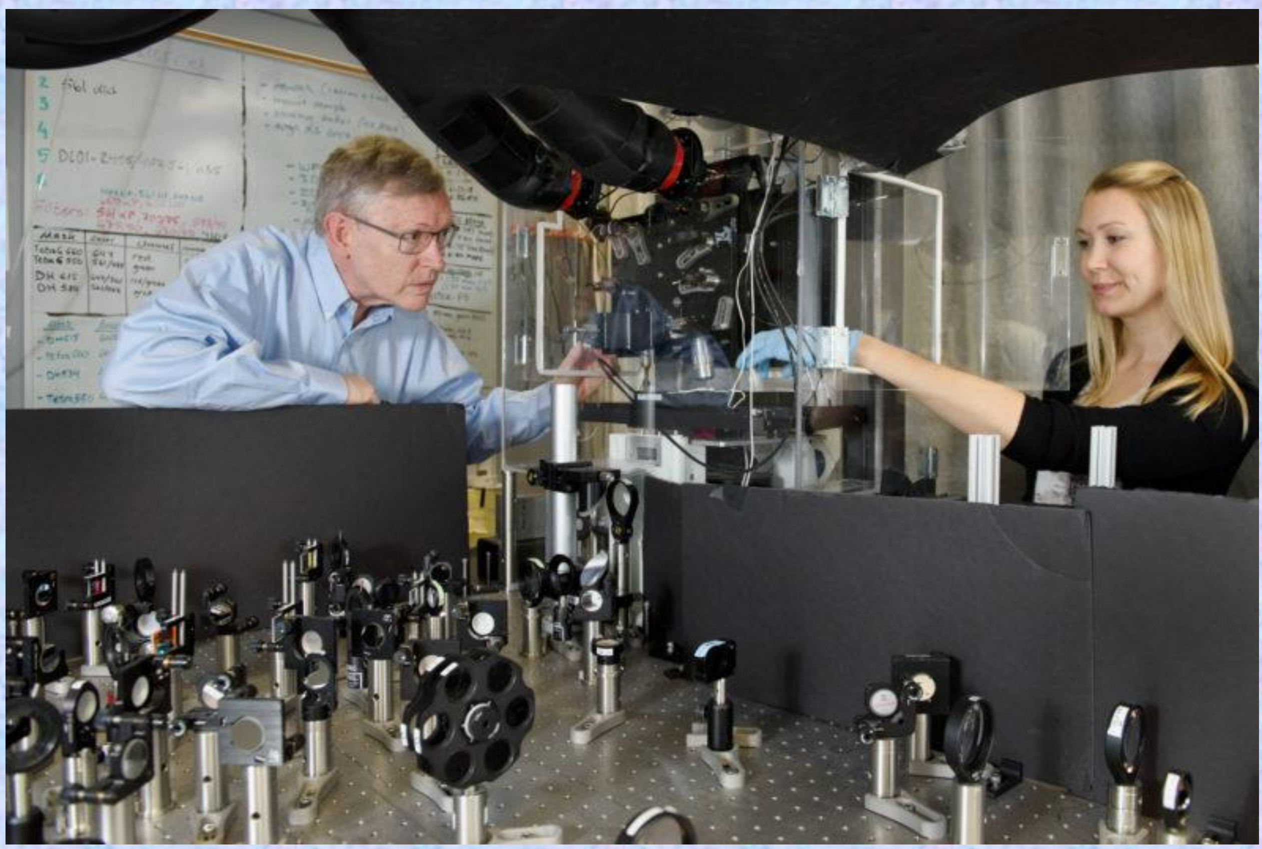
موفقیت محققان دانشگاه استنفورد در مشاهده ی جزئیات نانویی سلول های پستانداران با استفاده از تصویر برداری نوری سه بعدی

جایزه ی نوبل در شیمی سال ۲۰۱۴ به مورنر[1] و همکارش در جهت توسعه ی روش های تصویر برداری درون سلولی با رزولوشن بالا تعلق یافت. او توانست یک میکروسکوپ سه بعدی که میکروسکوپ TILT3D نامیده است در مقیاس نانویی از سلول های پستاندارن تصویربرداری به انجام دهد.

به گفته ی مورنر، سلول از مجموعه ای از پروتئین ها، آنزیم ها و ساختارهایی تشکیل شده است که بصورت یکپارچه عمل می کنند. "ما نظرات متفاوتی در مورد اینکه در داخل سلول دقیقا چه چیزی وجود دارد در اختیار داریم، همه ما با غشای سیتوپلاسمی یا شبکه میتوکندری آشنا هستیم اما آنچه که حقیقت دارد این است که اینها تنها برآیندی از آنچه که همه در مورد ساختار سلول پذیرفته اند می باشند و زمانیکه بصورت انفرادی به سلول نگاه کنیم چیزی که مشاهده می کنیم نه یک تصویر واحد بلکه با چیزی شبیه به یک کتاب با انبوهی از تصاویر و اطلاعات در مورد سلول سرو کار خواهیم داشت."

آزمایشگاه پروفسور مورنر برای مشاهده ی عملکرد دقیق و رفتار جزئی و انفرادی مولکول های درون سلولی چندین حوزه نظیر شیمی، فیزیک، اپتیک و مهندسی را باهم ادغام کرده و امروزه با همکاری با بسیاری از گروه های تخصصی، بر روی موضوعات بیولوژیکی نظیر اندازه گیری ساختار فیبرهای پروتئین مربوط به بیماری هانتینگتون[2]، مشاهده طبقه بندی رشته های فردی دی ان ای در داخل هسته سلول، ثبت تغییرات ساختار سلولی در طول درمان های پزشکی و... تمرکز دارد.

میکروسکوپ TILT3D در واقع ترکیب دو تکنیک تصویربرداری جدید با رزولوشن میکروسکوپی فوق العاده برای تصاویر سه بعدی شفاف از ساختارها و مولکول های درون سلولی می باشد. یکی از این دو تکنیک (به عنوان تولید روشنایی برای صفحات نوری یک طرفه ی مورب شناخته شده اند) که مساله یا جسم مورد نظر را با تمرکز بر تکنیک های روشنایی موجود با وضوح بالا نشان می-دهد.



شکل۱ : قرار گرفتن یک نمونه سلولی در میکروسکوپ جدید TILT3D توسط پروفسور مورنر و خانم آنا کارین گاستاوسون

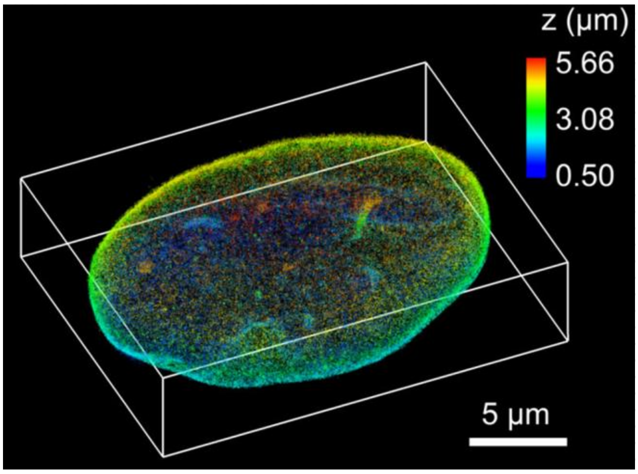
1. W. E. Moerner
2. Huntington

به گفته ی همکار پروفسور مورنر، خانم گاستاوسون[1] زمانیکه شما تصویربرداری برای بررسی جزئیات سلول ها انجام می دهید مشکلی که وجود دارد آن است که تصاویر بدست آمده تصاویری نا واضح و مبهم مشابه با تصاویری که از دور گرفته شده است می باشند.

اما در روش جدید صفحات نوری استاندارد اطراف نمونه را فرا میگیرند و تنها با درخشش یک اسلاید نوری، یک تصویر برداری کامل از نمونه بدست می دهند. حتی با وجود این مزیت اگر شما بخواهید یک صفحه نوری در پایین ترین قسمت سلول به منظور درخشش قرار دهید، نور از گوشه های محفظه ی شامل نمونه، پراش خواهد کرد و تصویر دچار ناهمواری شده و از شکل طبیعی اش خارج می شود. از همین رو با استفاده از تکنیک صفحات نوری مورب، در آزمایشگاه دکتر مورنر، از وارد آمدن اختلال به گوشه های تصویر جلوگیری به عمل آورده اند. این تکنیک علاوه بر بالا بردن وضوح تصویر و از بین بردن اعوجاج موجود در آن با استفاده از صفحات نوری و شیب دار کردن آن، در تکنیک دوم میکروسکوپهای جدید قادر به تصویربرداری سه بعدی نیز می-باشند. برای دست یابی به تصویر روشن تر و واضح تر، محققان مولکول ها را در داخل سمپل سلولی با زیرلایه های شیمیایی مشخص که در هنگام روشن شدن نور را پس می دهند قرار می گیرد. سپس از طریق چیزی که مورنر آنرا "جادوی نوری[2]" نامیده است میکروسکوپ را برای تبدیل هر فلورسنت به دونقطه ی نوری در زوایای مختلف تنظیم می کند. با استفاده از این دو نقطه محققان می توانند موقعیت هر مولکول را در سه بعد که تصویر نهایی را بصورت سه بعدی نشان می دهد، بدست آورند. با اتصال این تصاویر سه بعدی برروی همدیگر، در نهایت محققان می توانند یک بازسازی تصویر از بالا به پایین ایجاد کنند.

تصویر برداری با استفاده از صفحات نوری مورب، ردیابی حرکت های سه بعدی مولکول ها در طول زمان با دقت ده ها نانومتر، که می تواند پیوند مولکول ها را بوسیله ی محرک ها یا حرکت تصادفی در میان ساختار سلول ها نشان دهد، امکان پذیر می سازد.

ترکیب تصاویر واضح TILT3D و قابلیت های سه بعدی با وجود رزولوشن فوق العاده، میکروسکوپ می تواند تصاویر دقیق با وضوح بالا با دقت ده ها نانومتر یا چهارهزار برابر کوچکتر از ضخامت موی انسان ایجاد کند که این یک فرصت جدید برای بدست آوردن جزئیات دقیق از ساختارهای سلول های پستانداران فراهم می کند.



شکل۲: بازسازی تصویر سه بعدی با وضوح فوق العاده از هسته های سلول پستانداران با استفاده از میکروسکوپ TILT3D. مقیاس تصاویر میکرومتر می باشد. تصاویر در ازمایشگاه مونر بدست ثبت شده اند.

منبع:

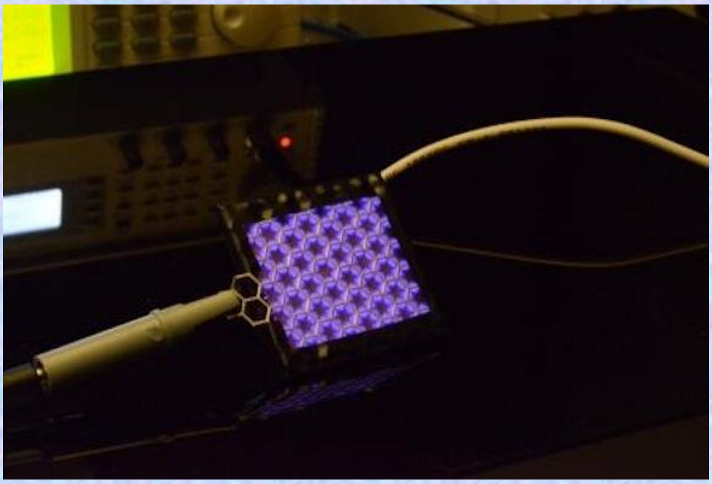
More information: Anna-Karin Gustavsson et al. 3D single-molecule super-resolution microscopy with a tilted light sheet, Nature Communications (2018). DOI: 10.1038/s41467-017-02563-4

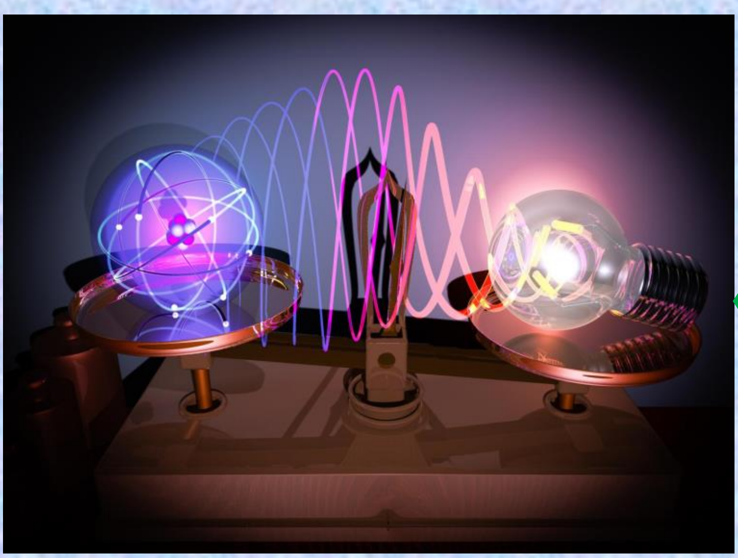
Provided by: Stanford University

1. Anna-Karin Gustavsson
2. optical magic

PHOTONIC PHOTOGRAPHY

دستگاه جدید تسکین آلرژی با استفاده از تکنولوژی پلاسما:
محققان دانشگاه لیورپول انگلیس دستگاهی را بر پایه فناوری پلاسما اختراع کرده اند که آلرژن های موجود در هوا که عامل آلرژی های تنفسی فصلی می باشند را رفع می کند





اپتومکانیک تک-ملکولی در پیکو حفره ها:
محدود کردن نور در یک حفره اغلب برای کمک به افزایش برهم کنش بین نور و تک ذره ذخیره شده در حفره استفاده می شود. محققان با یک تک لایه مولکولهای بفنییل-۴-تیئول که بین یک فیلم طلا و یک نانوذره طلا قرار گرفته اند به این مهم دست یافتند. و با استفاده از این پیکو حفره توانستند طیف رامان یک تک ملکول را اندتزه گیری کند.

تایید تابش نور از سلول های بدن توسط محققان روسی
هر سلول تنها قادر است چند کوانتم بر ثانیه بر سانتی متر مربع از خود ساطع کند.

معرفی یک ژورنال اپتیک و فوتونیک:

Photonics Research

2016 impact Factor: 4.679

Google scholor h5-index: 24

Time to publication: 95 days

ISSN: 2327-9125

Frequency:

Article-at-a-time publication:

Monthly issues

Topic Scope: The journal publishes fundamental and applied research progress in optics and photonics. Topics include, but are not limited to, lasers, LEDs and other light sources; fiber optics and optical communications; imaging, detectors and sensors; novel materials and engineered structures; optical data storage and displays; plasmonics; quantum optics; diffractive optics and guided optics; medical optics and biophotonics; ultraviolet and x-rays; terahertz technology. Photonics Research is a joint publishing effort of the OSA and Chinese Laser Press.

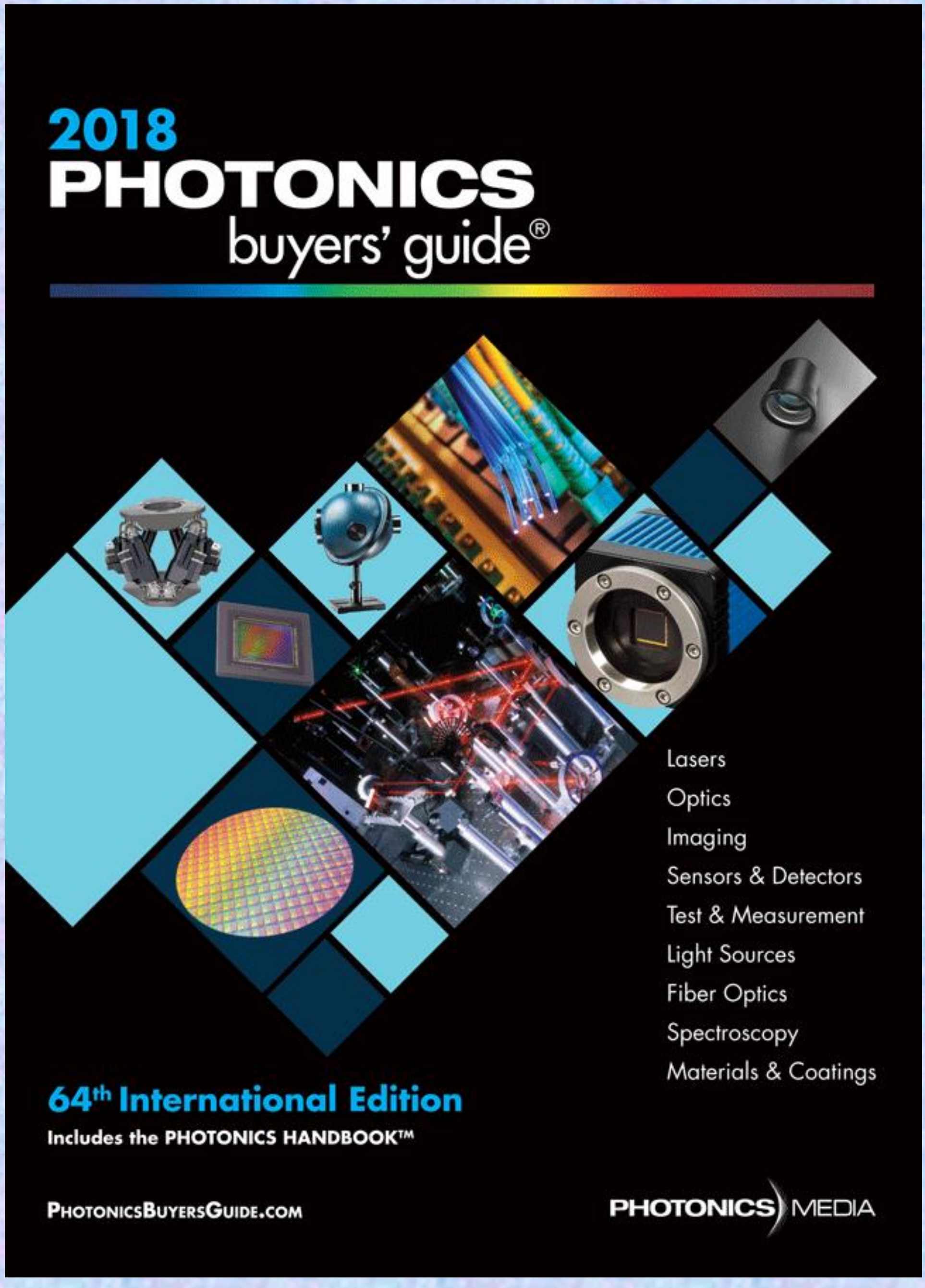
منبع:

https://www.osapublishing.org/prj/home.cfm

معرفی کتاب...

PHOTONICS BUYERS' GUIDE

راهنمای خریداران ادوات فوتونیکی



هند بوک فوتونیکی

سال تولید: ۲۰۱۸
ناشر: فوتونیک مدیا
قیمت: برای کاربران آمریکا و کانادا: رایگان
برای سایر کشورها: ۲۴ دلار
تعداد صفحات: ۸۶۶

If you buy products and services related to lasers, optics, imaging, sensors, detectors, test and measurement, light sources, fiber optics, spectroscopy, materials and coatings -- you need the Photonics Buyers' Guide. The 2018 edition also includes 130 pages of technical articles from the Photonics Handbook.

قطرات آب بر روی یک گل تقریبا شکل نیمه کروی به خود می گیرد. لنزهای ایجاد شده به طور قابل توجهی سطح گلبرگ در زیر واقع شده را بزرگنمایی می کند.خورشید مستقیم به عنوان یک ستاره پراکنده درخشان است.

— ***Emilio Gómez-González***,
Universidad de Sevilla, Spain

منبع:

https://www.osa-opn.org/home/articles/volume_28/december_2017/features/winners_of_2017_photo_contest/