نانو الکترونیک

فصلنامه نانوالکترونیک دانشگاه تبریز
سال اول/شماره چهارم/زمستان ۱۴۰۳




بنام خالق هستی بخش

بسم الله الرحمن الرحیم

فصلنامه علمی دانشجویی نانوالکترونیک رشته نانوالکترونیک

سال اول / شماره چهارم / زمستان ۱۴۰۳

صاحب امتیاز: انجمن علمی دانشجویی نانوالکترونیک دانشگاه تبریز

استادمشاور: دکتر مینا سلیم

مدیرمسئول: هادی محمدیان فرد

سردبیر: هادی محمدیان فرد

هیئت تحریریه: محمد ابوطالبی - عرفان حصاری

فاطمه رضایی - صدرا زارعی - عمران زاده اسماعیل

شیدا شافعی - کاویان سهرابی

سارا محمودی رشید - سارا واصفی

ویراستار: پریا نیکجو تبریزی

طراح و صفحه آرا: امیرمحمد جامبر

شماره مجوز: ک.ن.ت ۱۱۴/۱۰

با تشکر از سرکار خانم دکتر مینا سلیم، استاد مشاور انجمن
های علمی دانشکده برق، و اساتید دانشکده برق
که ما را در تهیه نشریه یاری نمودند.

انجمن علمی نانوالکترونیک دانشگاه تبریز

راه های ارتباطی

Ne_Tbzu

فهرست

سخن آغازین ٤

زندگینامه ٥

به‌دام انداختن الکترون‌ها ٦

امنیت و کنترل در سیستم‌های نانو مبتنی بر بلاک‌چین ٨

سنسور جابجایی ١٢

سلول‌های خورشیدی چندپیوندی ١٦

ثبت رکورد جدید بازدهی سلول خورشیدی چندپیوندی ٢٠

سنسورهای زیستی ٢١

جایگزین سیلیکون ٢٣

لیزرهای مجتمع بر پایه لیتیم نیوبایت ٢٨

معرفی کتاب ٣١

Quantum Control Techniques in Nano Systems 33

سخن آغازین

با عنایت به الطاف پروردگار مهربان و با نام و یاد او و عرض سلام و صلوات بر نبی مکرم اسلام (ص) و خاندان مطهرش و آرزوی ظهور یگانه منجی بشریت قلم بر تحریر علم برداشته و مسیر پر پیچ و خم اما شیرینی را آغاز می کنیم.

با توجه به فرمایشات رهبر معظم انقلاب اسلامی (مدظله العالی) در ارتباط با علم که فرموده اند: باید جوانان نخبه هدف اصلی خود را رسیدن به مرزهای دانش و فناوری و جلو بردن این مرزها قرار دهند، چرا که در بیست سال اخیر در این خصوص، حرکت علمی و فناوری بسیاری انجام شده است ولی ما هنوز عقب ماندگی زیادی داریم و مهمترین وظیفه نسل جوان نخبه، علاوه بر ادامه پرشتاب مسیر موفقیت آمیز علمی، جلو بردن مرزهای دانش و فناوری است. (بیانات رهبر در دیدار با مدال آوران المپیادهای علمی)، با همکاری گروهی از نخبگان علمی این مرز و بوم در زمینه نانو به گردآوری و انتشار مطالبی ارزشمند و نو در زمینه نانوالکترونیک می پردازیم. امید بر این است با همکاری اعضای فعال و تیم نانوالکترونیک بتوان مسیری روشن در جهت راهبرد پیشرفت کشور را شروع کرده و قدمی هر چند قلیل در این راه برداشت.

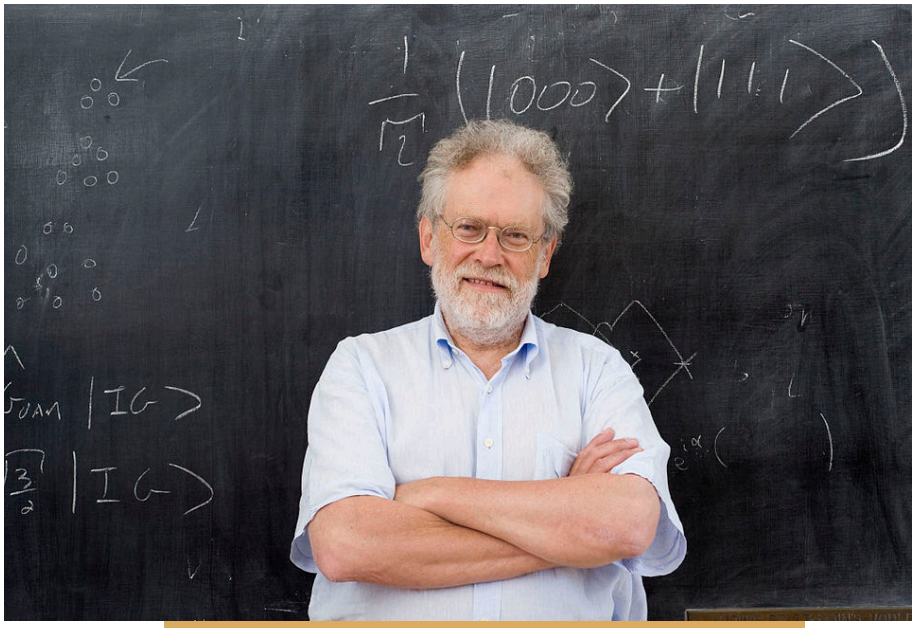
نشریه پیش رو تحت امتیاز انجمن نانوالکترونیک دانشگاه تبریز، بعنوان یکی از برترین دانشگاه های سطح کشور، یکی از معدود نشریات منتشر شده در کشور در زمینه نانوالکترونیک بوده که به صورت مجموعه ای از گردآوری مطالبی متشکل از اکتشافات انجام یافته در زمینه نانوالکترونیک، معرفی دانشمندان مطرح و تاثیر گذار در این زمینه و پروژه های صنعتی انجام شده می پردازد.

در این شماره، با نگاهی اجمالی بر مباحث پایه مانند سلول های خورشیدی دو پیوندی، بیوسنسورها و سنسورهای جابجایی پرداخته و سپس به بررسی مباحث کاربردی مانند لیزرهای بر پایه لیتیم نیوبات، معرفی کتاب، زندگینامه زایلینگر و ..... می پردازیم. در ادامه شما را با کاربرد بلاک چین در نانو، به دام انداختن الکترون‌ها آشنا خواهیم کرد و نهایتا به مقاله انگلیسی می پردازیم.

سخن آخر اینکه از تمام نویسندگان فعال در نشریه نانوالکترونیک دانشگاه تبریز و زحمات و راهنمایی های مشاور محترم انجمن نانوالکترونیک دانشگاه تبریز، خانم دکتر مینا سلیم، نهایت قدرانی و تشکر را داریم.

با تشکر از نگاه های پرمهر شما

هادی محمدیان فرد



زندگینامه
آنتوان زایلینگر

صدرا زارعی- دانشجوی کارشناسی مهندسی برق/دانشگاه تبریز

آنتوان زایلینگر (زاده ۲۰ مئ ۱۹۴۵) یک فیزیکدان اهل اتریش است. وی در سال ۲۰۰۸ مدال ایزاک نیوتون را از موسسه فیزیک بریتانیا در حوزه اطلاعات کوانتومی دریافت کرد. زیلینگر استاد فیزیک در دانشگاه وین و دانشمند ارشد در موسسه اپتیک کوانتومی و اطلاعات کوانتومی اتریش است.

دکتر زایلینگر آزمایش های مهم متعددی در زمینه بنیان فیزیک کوانتومی-اپتیک کوانتومی انجام داده است. از مهمترین آن ها میتوان به اولین آزمایش ترابرد کوانتومی و رایانش یک سویه کوانتومی اشاره کرد. او یکی از فیزیکدانانی است که قضیه معروف GHZ را بیان و اثبات کرد و اولین پژوهشگری است که آن را به صورت تجربی نیز تایید کرده است.

در سال ۲۰۲۲ آنتوان زایلینگر از اتریش به همراه الن اس پکت از فرانسه و جان اف کلاوسر از امریکا جایزه نوبل فیزیک را به خاطر آزمایش های تجربی برای فوتون های در هم تنیده، اثبات شکست نامساوی های بل و پیشگامی برای علم اطلاعات کوانتومی بدست آوردند هرچند تحقیق ها به صورت جداگانه انجام شده بود ولی در زمینه کشف پدیده های ناشناخته مکمل یکدیگرهستند.

دیوید هاویلند رئیس بخش فیزیک در کمیته اعطا کننده جوایز نوبل گفت: پژوهش های این سه دانشمند در پیشرفت رشته‌ای که در هم تنیدگی کوانتومی نامیده میشود نقش مهمی ایفا کرده و یکی از دستاوردهای مهم آن رمزگذاری در شیوه های ارتباطی است.



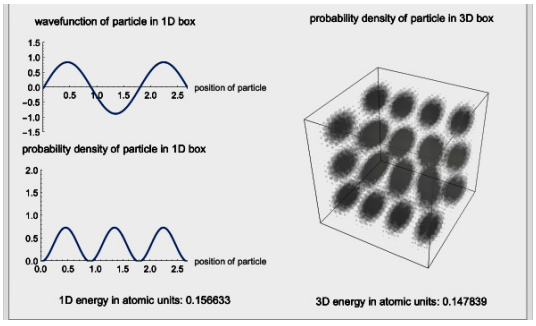
به دام انداختن الکترون ها

فاطمه رضایی- دانشجوی کارشناسی
ساخت و تولید/ دانشگاه تبریز

الکترون ها همواره حرکت می کنند و مثل یک فرفره درسراسر کابل برق حرکت می کنند. زمان رعد و برق ،الکترون ها از یک اوربیتال به اوربیتال دیگر در اتم می پرند.

اما چه می شود اگر تنها یک الکترون را گرفته و در یک جعبه دلخواه محفوظ کنیم ؟ یک الکترون چه شکلی خواهد داشت ؟ یا حتی چه رنگی خواهد بود؟ چه اتفاقی می افتاد زمانی الکترونی که به تنهایی در جعبه به دام انداخته شده را آزاد کنیم؟

فرض کنید یک توپ تنیس را با یک نیرو معین به داخل جعبه ای شیشه ای بیندازیم. مشاهده می کنیم که توپ به همه جهات حرکت می کند و به دیواره های جعبه برخورد می کند . فکر می کنیم که احتمال حضور توپ در تمامی نقاط جعبه یکسان است در حالی که وقتی حرکت آهسته توپ در جعبه را بررسی می کنیم متوجه می شویم که نقاطی وجود دارند که توپ از آن نقاط بیشتر عبور کرده است و احتمال حضور توپ در آن نقاط بیشتر است و همچنین یک سری نقاط هستند که توپ از آن نقاط عبور نمی کند. الکترون نیز مانند این توپ در جعبه عمل خواهد کرد.



در سال ۱۹۲۹ یک فیزیکدان فرانسوی به نام لویی دو بروی ، پاراگراف بالا را برای احتمال وجود هر ذره و حرکت ذره پیشنهاد کرد که برای همه ذره یکسان است . معادله :

$$\lambda=h/p$$

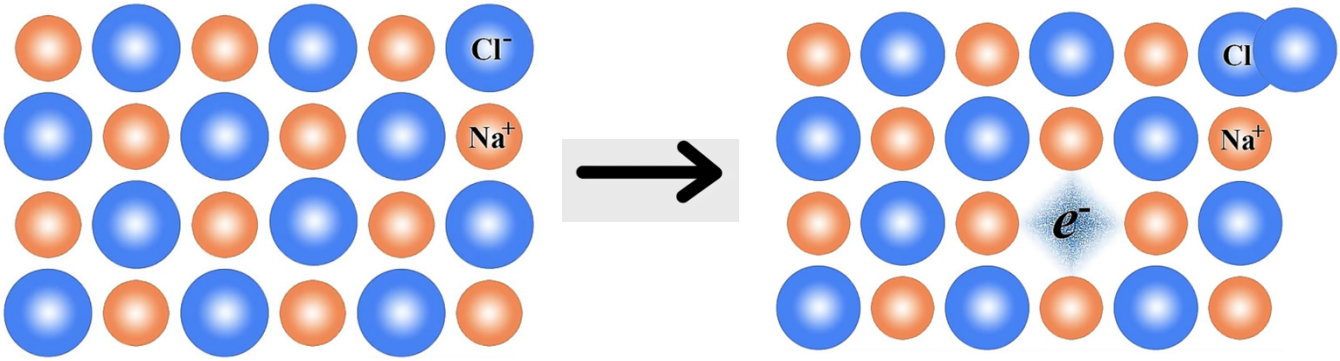
که به معادله طول موج براگ معروف است این معادله حرکت یک ذره، در اصل طول موج پیوسته یک ذره ، را نشان می دهد. پس هرچه ذره نوسانات بیشتری داشته باشد، طول موج کمتری خواهد داشت. حال درمورد الکترونی که در باکس محفوظ است ، زمانی که ما حرکت بیشتری به جعبه می دهیم توپ از نقاط بیشتری عبور می کند و اگر توپ ما در ابعاد میکرو یا نانو باشد احتمال حضور توپ در تمامی نقاط جعبه وجود دارد زیرا طبق گرافی که در تصویر بالا می بینید فاصله بین حرکت ذره و مکان هایی که ذره از آنها میگذرد کوچکتر شده ، در نهایت فاصله بین آنها به صفر میل می کند و دیگر نمی توان نقاط خاصی که احتمال حضور ذره در آنها بیشتر است را پیدا کرد.

این مسئله که چطور می توان تنها یک الکترون رو یک جعبه به ابعاد نانومتری قرار داد حتی اگر بتوانید این کار را بکنید چگونه می توان فهمید که الکترون واقعا رفتار مشابهی با حرکت توپ در داخل جعبه دارد ؟ این اتفاق تنها زمانی رخ می دهد که ما تعداد زیادی از ذرات را داشته باشیم که داخل باکس هایی گیر افتاده باشند.

همانطور که میدانید نمک خوراکی سفید رنگ است. اما نمکی که هیچ رنگ و افزودنی نداشته باشد و در مقابل اشعه گامایی که شامل ذرات ایزوتوپ کبالت ۶۰ باشد ، قرار بگیرد ؛ نارنجی رنگ است. (یک نمک خوراکی و معمولی اما به رنگ نارنجی).

کریستال های نمک از پیوند یونی بین کلر یک بار منفی و نیتروژن یک بار مثبت تشکیل شده است ولی اگر نمک را در مقابل اشعه گاما قرار دهیم، اشعه گاما یک الکترون از اتم کلر را جدا کرده و اتم کلری که هیچ باری ندارد و خنثی است با کلر دیگری پیوند اشتراکی داده و به ملکول کلر (Cl_2) تبدیل می شود. الکترون جدا شده از یون کلرید در بین چهار یون نیتروژن گیر افتاده و چون هر چهار یون به یک اندازه به الکترون نیرو وارد می کنند الکترون نمیتواند با هیچ یک از یون های نیتروژن پیوند تشکیل دهد. به چنین الکترون هایی f-center یا farb-center می گویند. farb یک کلمه آلمانی به معنای رنگ است که در مورد مثال نمک ، به نمک سفید رنگ نارنجی می دهد.

اما چرا گیر افتادن یک الکترون سبب به وجود آمدن رنگ نارنجی می شود؟ الکترون به دام افتاده یک فرکانس سه بعدی معینی دارد و با یک طول موج یکسان حرکت می کند پس تنها می تواند یا یک تشدید معین حرکت کند، هر فرکانسی که با فرکانس ذره برابر باشد با فرکانس ذره ترکیب می شود. رفتار الکترون به دام افتاده به این گونه است که تنها می تواند مقدار معینی از انرژی را بگیرد تا به حالت اولیه خود برگردد (ملکول کلر به یون کلرید). نور آبی می تواند انرژی مورد نیاز الکترون را تامین کند. الکترون می تواند نور آبی که در نورسفید وجود دارد را جذب کند. وقتی نور آبی را از طیف امواج نور سفید حذف می کنیم ، نور از سفید به نارنجی تغییر رنگ می دهد و چون نور نارنجی از کریستال های نمک ساطع می شود ما آن را به رنگ نارنجی می بینیم . پس الکترون با توجه به اندازه مکانی که در آن به دام افتاده می تواند طیف های مختلفی از نور سفید را جذب کند و نور های رنگی مختلفی را نیز ساطع کند. حالا اگر نمک نارنجی رنگ که یک الکترون به دام افتاده دارد را روی یک هیتر داغ قرار دهیم ، نمک ها مانند ستاره ها درخشان می شوند و به سفید تغییر رنگ می دهند.



امنیت و کنترل در سیستم‌های نانو مبتنی بر بلاک‌چین

سارا محمودی رشید- دانشجوی دکتری
مهندسی برق(کنترل)/دانشگاه تبریز

چکیده

باپیشرفت‌فناوری‌نانووافزایش‌وابستگی‌سیستم‌های‌نانوالکترونیکی به تبادل داده، امنیت و کنترل این سیستم‌ها به یک چالش اساسی تبدیل شده است. در این مقاله، قابلیت‌های فناوری بلاک‌چین در تأمین امنیت و کنترل خودمختار سیستم‌های نانو بررسی شده و چگونگی به‌کارگیری آن برای ایجاد یک چارچوب مقاوم در برابر حملات سایبری تحلیل می‌شود. همچنین، به بررسی روش‌های ادغام بلاک‌چین با هوش مصنوعی، یادگیری ماشین و رمزنگاری کوانتومی برای بهبود کارایی و امنیت سیستم‌های نانو پرداخته خواهد شد. علاوه بر این، تأثیر بلاک‌چین در مدیریت انرژی، قابلیت اطمینان، و توسعه سیستم‌های نانوالکترونیکی امن مورد بررسی قرار خواهد گرفت.

۱.مقدمه

فناوری نانو در حوزه‌های مختلفی از جمله پزشکی، الکترونیک، مخابرات و زیست‌فناوری کاربرد گسترده‌ای دارد. با پیشرفت این فناوری و افزایش وابستگی سیستم‌های نانوالکترونیکی به تبادل داده، امنیت و کنترل این سیستم‌ها به یک چالش اساسی تبدیل شده است. اندازه کوچک نانوذرات و دستگاه‌های نانومقیاس باعث می‌شود که در برابر حملات سایبری و دستکاری‌های خارجی آسیب‌پذیر باشند. علاوه بر این، محدودیت‌های پردازشی و ارتباطی نانوسیستم‌ها، نیاز به راهکارهای امنیتی جدید و کارآمد را دوچندان می‌کند.

بلاک‌چین، به عنوان یک فناوری دفتر کل توزیع‌شده، پتانسیل بالایی در تأمین امنیت و یکپارچگی داده‌های نانوسیستم‌ها دارد. این فناوری از ویژگی‌هایی نظیر شفافیت، تغییرناپذیری و امنیت رمزنگاری‌شده بهره می‌برد که می‌تواند تهدیدات امنیتی را کاهش داده و کنترل غیرمتمرکز را در این سیستم‌ها تسهیل کند. علاوه بر این، ادغام بلاک‌چین با روش‌های پیشرفته‌ای نظیر هوش مصنوعی، یادگیری ماشین و رمزنگاری کوانتومی، زمینه را برای توسعه یک چارچوب مقاوم در برابر حملات سایبری فراهم می‌کند.

۲.چالش‌های امنیتی در سیستم‌های نانو

سیستم‌های نانوالکترونیکی به دلیل مقیاس کوچک، حساسیت بالا، و وابستگی به تبادل داده‌های دقیق، در معرض تهدیدات مختلفی قرار دارند. در این بخش، برخی از چالش‌های کلیدی امنیتی بررسی می‌شوند [۱].

۱.۲.نوسانات کوانتومی و نویز محیطی

در مقیاس نانو، رفتار مواد و سامانه‌ها به شدت تحت تأثیر اثرات کوانتومی و نویزهای محیطی قرار می‌گیرد. این امر ممکن است باعث تغییر در داده‌های ذخیره‌شده، از دست رفتن اطلاعات حیاتی، یا کاهش دقت در پردازش‌های محاسباتی شود. چنین مسائلی می‌توانند امنیت اطلاعات را تهدید کرده و صحت عملکرد نانوسیستم‌ها را کاهش دهند.

۲.۲.حملات سایبری و آسیب‌پذیری‌های ارتباطی

حملات تزریق داده: در بسیاری از سیستم‌های نانو، حسگرها و نانوپردازنده‌ها اطلاعات را جمع‌آوری کرده و به شبکه‌های بزرگ‌تر ارسال می‌کنند. مهاجمان می‌توانند داده‌های جعلی به این سیستم‌ها تزریق کرده و آن‌ها را دچار اختلال کنند.

شنود و استراق سمع داده‌ها: ارتباطات بین نانوسیستم‌ها معمولاً از طریق امواج الکترومغناطیسی یا نانوآنتن‌ها انجام می‌شود که در برابر استراق سمع و دستکاری اطلاعات آسیب‌پذیر هستند.

حملات بدافزاری: در نانوسیستم‌های متصل به اینترنت اشیا، امکان نفوذ بدافزارها برای تغییر عملکرد تجهیزات نانو و ایجاد خرابی عمدی وجود دارد.

۳.۲.چالش‌های مربوط به مدیریت کلیدهای رمزنگاری

در روش‌های متداول امنیتی، کلیدهای رمزنگاری برای محافظت از داده‌ها و برقراری ارتباط امن مورد استفاده قرار می‌گیرند. اما ذخیره‌سازی و مدیریت این کلیدها در مقیاس نانو چالش‌های جدیدی را ایجاد می‌کند. برخی از این مشکلات شامل:

- عدم امکان ذخیره‌سازی ایمن کلیدها در نانودستگاه‌ها
- محدودیت منابع پردازشی برای اجرای الگوریتم‌های پیچیده رمزنگاری
- نیاز به روش‌های جدید برای توزیع و به‌روزرسانی کلیدهای امنیتی

۴.۲. تاخیر در پردازش و اجرای تراکنش‌ها

یکی از چالش‌های کلیدی در استفاده از فناوری بلاک‌چین در نانوسیستم‌ها، تأخیر ناشی از اجرای پروتکل‌های اجماع است. پردازش و ذخیره‌سازی تراکنش‌ها در دفتر کل توزیع‌شده نیازمند زمان و منابع محاسباتی است که در برخی موارد می‌تواند منجر به کاهش سرعت عملکرد نانوسیستم‌ها شود.

۳. راهکارهای مبتنی بر بلاک‌چین برای امنیت نانوسیستم‌ها

فناوری بلاک‌چین می‌تواند از طریق ویژگی‌های منحصربه‌فرد خود، امنیت سیستم‌های نانو را بهبود بخشد. در ادامه، برخی از راهکارهای کلیدی ارائه شده‌اند [۲].

۱.۳. استفاده از قراردادهای هوشمند برای کنترل خودمختار

قراردادهای هوشمند می‌توانند در سیستم‌های نانو برای اجرای خودکار فرآیندهای امنیتی و کنترل عملیات مورد استفاده قرار گیرند. برخی از کاربردهای این قراردادها شامل:

- برقراری ارتباط ایمن بین نانودستگاه‌ها بدون نیاز به واسطه‌های مرکزی
- خودکارسازی فرایندهای اعتبارسنجی داده‌ها و جلوگیری از دستکاری اطلاعات
- مدیریت یکپارچه منابع و تنظیم سطوح دسترسی کاربران و دستگاه‌ها

۲.۳. رمزنگاری پیشرفته و امنیت داده‌ها

بلاک‌چین می‌تواند از ترکیب روش‌های رمزنگاری پیشرفته برای تضمین امنیت اطلاعات در سیستم‌های نانو استفاده کند. برخی از مهم‌ترین روش‌های رمزنگاری شامل:

رمزنگاری منحنی بیضوی (ECC): این روش، امنیت بالایی را با استفاده از کلیدهای کوچک‌تر فراهم کرده و برای نانوسیستم‌ها مناسب است.و رمزنگاری کوانتومی: استفاده از پروتکل‌هایی مانند توزیع کلید کوانتومی (QKD) می‌تواند ارتباطات ایمن را در برابر حملات رایانش کوانتومی تضمین کند.

هشینگ مقاوم در برابر حملات کوانتومی: الگوریتم‌های هش پساکوانتومی مانند SHA-3، امکان محافظت از داده‌های ذخیره‌شده در بلاک‌چین را افزایش می‌دهند.

بلاک‌چین یک سیستم دفتر کل توزیع‌شده است که امکان رهگیری تمام تغییرات داده را فراهم کرده و از دستکاری غیرمجاز جلوگیری می‌کند. این ویژگی در نانوسیستم‌های زیستی و پزشکی که نیاز به دقت بالا دارند، اهمیت زیادی دارد.

۴.۳. کاهش تأخیر پردازشی با الگوریتم‌های اجماع سبک

یکی از روش‌های بهبود کارایی بلاک‌چین در نانوسیستم‌ها، استفاده از الگوریتم‌های اجماع سبک مانند اثبات اعتبار (PoA) یا اثبات سهام محول‌شده (DPoS) است که پردازش تراکنش‌ها را سریع‌تر کرده و مصرف انرژی را کاهش می‌دهند.

۴. ترکیب بلاک‌چین با هوش مصنوعی در نانوسیستم‌ها

ادغام هوش مصنوعی با بلاک‌چین می‌تواند راهکارهای هوشمندتری برای تأمین امنیت و بهینه‌سازی عملکرد نانوسیستم‌ها فراهم کند [۳].

۱.۴. تشخیص تهدیدات امنیتی با یادگیری ماشین

الگوریتم‌های یادگیری ماشین می‌توانند داده‌های ذخیره‌شده در بلاک‌چین را تحلیل کرده و الگوهای غیرعادی را تشخیص دهند. این قابلیت می‌تواند به شناسایی حملات سایبری و جلوگیری از نفوذهای مخرب کمک کند.

۲.۴. بهینه‌سازی مصرف انرژی در نانوسیستم‌ها

یکی از چالش‌های مهم در نانوالکترونیک، مدیریت مصرف انرژی است. مدل‌های هوش مصنوعی می‌توانند الگوهای بهینه مصرف انرژی را پیش‌بینی کرده و فرآیندهای پردازشی را بهینه‌سازی کنند.

۳.۴. مدیریت توزیع‌شده داده‌ها و تصمیم‌گیری خودمختار

با استفاده از الگوریتم‌های مبتنی بر یادگیری عمیق، بلاک‌چین می‌تواند اطلاعات را به‌صورت توزیع‌شده ذخیره کرده و از تصمیم‌گیری خودمختار در نانوسیستم‌ها پشتیبانی کند.

۵. بررسی عمیق‌تر امنیت بلاک‌چین در نانوسیستم‌ها

امنیت بلاک‌چین در سیستم‌های نانو از چندین جنبه کلیدی قابل بررسی است که شامل مدل‌های امنیتی، روش‌های رمزنگاری پیشرفته، و تهدیدات نوظهور می‌شود. در این بخش، جزئیات بیشتری از این موارد ارائه می‌شود [۴].

۱.۵. مدل‌های امنیتی بلاک‌چین در نانوسیستم‌ها

مدل‌های امنیتی مبتنی بر بلاک‌چین برای نانوسیستم‌ها باید به گونه‌ای طراحی شوند که ضمن حفظ کارایی، قابلیت اطمینان بالایی نیز داشته باشند. برخی از مدل‌های رایج شامل موارد زیر هستند:

مدل امنیتی بر پایه اجماع غیرمتمرکز: در این مدل، تصمیم‌گیری‌های امنیتی به‌صورت غیرمتمرکز توسط گره‌های مختلف انجام می‌شود و هیچ نقطه‌ی ضعفی از نظر تمرکزگرایی وجود ندارد. این رویکرد، خطر حملات تک‌نقطه‌ای (Single Point of Failure) را کاهش می‌دهد.

دل امنیتی با احراز هویت چندعاملی: در این روش، از چندین سطح احراز هویت مانند رمزنگاری، بیومتریک، و الگوریتم‌های یادگیری ماشین برای شناسایی کاربران و دستگاه‌ها استفاده می‌شود.

مدل امنیتی تطبیقی: این مدل از هوش مصنوعی برای تحلیل تهدیدات به‌صورت آنی استفاده کرده و بر اساس تغییرات محیط، سیاست‌های امنیتی را به‌روزرسانی می‌کند.

۲.۵. رمزنگاری فوق پیشرفته در بلاک‌چین برای نانوسیستم‌ها

با توجه به محدودیت‌های پردازشی نانوسیستم‌ها، استفاده از روش‌های رمزنگاری کارآمد ضروری است. برخی از روش‌های پیشرفته عبارتند از:



رمزنگاری هومومورفیک: این روش امکان پردازش داده‌های رمزگذاری‌شده را بدون نیاز به رمزگشایی فراهم کرده و امنیت داده‌ها را به حداکثر می‌رساند.

امضای دیجیتال پساکوانتومی: با توجه به تهدیدات رایانش کوانتومی، استفاده از امضاهای دیجیتال مقاوم در برابر حملات کوانتومی مانند CRYSTALS-DILITHIUM اهمیت دارد.

توزیع کلید کوانتومی: این روش برای تضمین امنیت کلیدهای رمزنگاری‌شده در بلاک‌چین بسیار موثر بوده و احتمال استراق سمع را تقریباً به صفر می‌رساند.

۳.۵. تهدیدات نوظهور و چالش‌های امنیتی جدید

با پیشرفت فناوری، تهدیدات جدیدی برای بلاک‌چین در نانوسیستم‌ها مطرح می‌شوند که برخی از مهم‌ترین آن‌ها عبارتند از:

حملات مبتنی بر هوش مصنوعی: مهاجمان می‌توانند از الگوریتم‌های یادگیری ماشین برای شناسایی الگوهای ضعف در شبکه‌های بلاک‌چینی و سوءاستفاده از آن‌ها استفاده کنند.

حملات رایانش کوانتومی: با ظهور کامپیوترهای کوانتومی، بسیاری از الگوریتم‌های رمزنگاری فعلی ممکن است در برابر پردازش کوانتومی آسیب‌پذیر باشند.

حملات اجماع متقلبانه: در برخی موارد، مهاجمان می‌توانند با کنترل تعداد زیادی از گره‌های شبکه، الگوریتم‌های اجماع را مختل کرده و داده‌های جعلی را در بلاک‌چین ثبت کنند.

۶. بهینه‌سازی عملکرد بلاک‌چین در نانوسیستم‌ها

یکی از چالش‌های اصلی استفاده از بلاک‌چین در نانوسیستم‌ها، مدیریت کارایی و مصرف انرژی است. برای بهبود این موارد، راهکارهای زیر پیشنهاد می‌شود [۵].

۱.۶. استفاده از الگوریتم‌های اجماع سبک

برخی از الگوریتم‌های اجماع مانند اثبات دانش صفر (ZKP)، اثبات اعتبار، و اثبات سهام محول‌شده می‌توانند به کاهش مصرف انرژی و افزایش سرعت پردازش کمک کنند.

۲.۶. فشرده‌سازی داده‌های بلاک‌چین برای کاهش بار پردازشی

نانوسیستم‌ها معمولاً دارای محدودیت‌های ذخیره‌سازی و پردازشی هستند. روش‌های فشرده‌سازی مانند Merkle Trees و Sparse Merkle می‌توانند حجم داده‌های بلاک‌چین را کاهش داده و کارایی سیستم را بهبود دهند.

۳.۶. استفاده از شاردینگ (Sharding) برای افزایش مقیاس‌پذیری

شاردینگ یک روش توزیع داده‌ها در شبکه بلاک‌چین است که می‌تواند پردازش را سریع‌تر کند. در نانوسیستم‌ها، این روش برای مدیریت داده‌های تولیدشده توسط حسگرهای نانو و پردازنده‌های نانومقیاس مفید است.

۷. کاربردهای بلاک‌چین در حوزه‌های پیشرفته نانوفناوری

بلاک‌چین نه تنها امنیت نانوسیستم‌ها را تضمین می‌کند، بلکه در کاربردهای پیشرفته نانوفناوری نیز قابل استفاده است. برخی از این کاربردها عبارتند از:

۱.۷. پزشکی نانو و مدیریت داده‌های زیستی

- ثبت و مدیریت امن داده‌های بیماران در سیستم‌های پزشکی مبتنی‌برنانوحسگرها
- ثبت و مدیریت امن داده‌های بیماران در سیستم‌های پزشکی مبتنی‌برنانوحسگرها
- حفاظت از اطلاعات حساس مربوط به توالی‌های ژنتیکی و ذخیره‌سازی غیرقابل‌تغییر آن‌ها در بلاک‌چین
- افزایش امنیت ارتباطات بین نانوروبات‌های زیستی و سیستم‌های کنترل از راه دور

۲.۷. امنیت زنجیره تأمین نانومواد

- ردیابی دقیق نانومواد از مرحله تولید تا مصرف نهایی
- جلوگیری از تقلب و جعل محصولات نانویی با استفاده از گواهی‌های دیجیتال مبتنی بر بلاک‌چین
- بهبود شفافیت و کاهش ریسک در تأمین مواد اولیه برای نانوصنایع

۳.۷. نتیجه‌گیری و آینده‌نگری

استفاده از بلاک‌چین در نانوسیستم‌ها، یک رویکرد نوین برای حل مشکلات امنیتی و افزایش قابلیت اطمینان این سیستم‌ها محسوب می‌شود. در این مقاله، چالش‌های امنیتی نانوسیستم‌ها مورد بررسی قرار گرفته و راهکارهای مبتنی بر بلاک‌چین شامل رمزنگاری پیشرفته، استفاده از قراردادهای هوشمند، و بهینه‌سازی الگوریتم‌های اجماع ارائه گردید.

پیشنهادات برای پژوهش‌های آینده شامل:

- توسعه مدل‌های امنیتی مقاوم در برابر رایانش کوانتومی
- بهینه‌سازی الگوریتم‌های اجماع برای کاهش مصرف انرژی در نانوسیستم‌ها
- بررسی امکان ترکیب بلاک‌چین با فناوری‌های جدید مانند اینترنت اشیا نانو و رایانش مه

با پیشرفت این فناوری‌ها، انتظار می‌رود بلاک‌چین بتواند نقشی حیاتی در افزایش امنیت و کارایی نانوسیستم‌ها ایفا کند و به‌عنوان یک راهکار نوآورانه در حوزه‌های پزشکی، صنعت، و مدیریت انرژی به کار گرفته شود.

منابع

1. Rana, Aryan, et al. “Architectures, benefits, security and privacy issues of internet of nano things: A comprehensive survey, opportunities and research challenges.” IEEE Communications Surveys & Tutorials (2024).
2. Akmal, Ibrahim, et al. “An Efficient Artificial Intelligence (Al) and Blockchain-Based Security Strategies for Enhancing the Protection of Low-Power loT Devices in 5G Networks.” Spectrum of engineering sciences 2.3 (2024): 528-586.
3. Pandurangan, Prakash, et al. “Integrating cutting-edge technologies: AI, IoT, blockchain and nanotechnology for enhanced diagnosis and treatment of colorectal cancer-A review.” Journal of Drug Delivery Science and Technology 91 (2024): 105197.
4. Alabdulatif, Abdullah, et al. “Internet of nano-things (iont): A comprehensive review from architecture to security and privacy challenges.” Sensors 23.5 (2023): 2807.
5. Jiao, Jian, et al. “Coupled particle swarm optimization method with genetic algorithm for the static–dynamic performance of the magneto-electro-elastic nanosystem.” Engineering with Computers (2021): 1-15.





سنسور جابجایی

محمد ابوطالبی - دانشجوی کارشناسی
مهندسی برق / دانشگاه تبریز

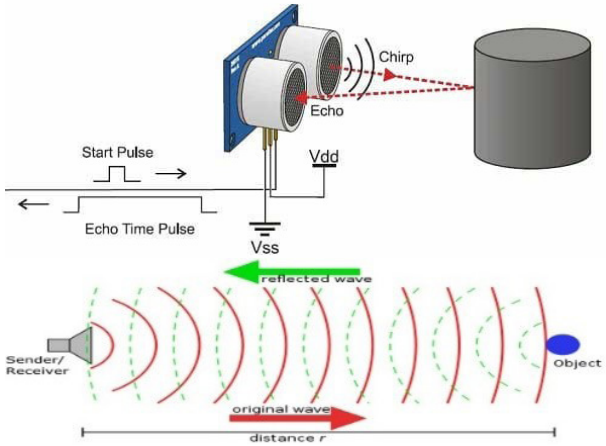
سنسورهای جابجایی

این سنسور ها دستگاه هایی هستند که در جهت اندازه گیری حرکت یک جسم نسبت به حالت اولیه آن ساخته شده اند که توانایی بررسی این امر در ابعاد افقی، عمودی و سه بعدی را دارند که نسبت به کارایی آن ها در صنایع گوناگون همانند خودروسازی، تجهیزات پزشکی، الکترونیک و ... مورد استفاده قرار میگیرند.

این سنسورها معمولاً برای اندازه‌گیری فاصله، ارتفاع، شیب و موقعیت دقیق یک شی در محیط‌های مختلف استفاده میشوند. سنسورهای جابجایی می‌توانند به روش‌های مختلفی عمل کنند و از اصول فیزیکی مختلفی برای اندازه‌گیری جابجایی استفاده کنند. در اینجا به برخی از انواع معروف سنسورهای جابجایی اشاره می کنیم.

سنسور اولتراسونیک

ایده ساخت این سنسور ها را بشر با نگاهی دقیق به حیواناتی مثل دلفین و خفاش بدست آورده است. این سنسور ها برای اندازه گیری فاصله یا جابجایی از امواج صوتی با فرکانس بالا استفاده میشوند. آنها فاصله اشیا را با انتشار پالس های اولتراسونیک و اندازه گیری زمان بازتاب پالس ها از جسم و بازگشت به حسگر اندازه گیری می کنند. ساختار آنها تشکیل شده از یک مبدل و فرستنده است که امواج مافوق صوت را تولید و ارسال کند و همچنین یک گیرنده که امواج منعکس شده را دریافت و تشخیص دهد، سپس مدارهای الکترونیکی برای پردازش سیگنال و محاسبه فاصله عمل میکند. این سنسورها بدون تماس میتوانند تشخیص دقیق و اعتمادی را در محدوده سنجش آنها را رقم میزند.



از کاربرد های قابل توجه آن میتوان به صنعت خودرو سازی در سیستم های پارک خودرو، کروز کنترل تطبیقی و سیستم های

ایمنی ترمز های اضطراری اشاره کرد که باعث پیشرفت چشم گیری در صنعت شد. از جمله دیگر کاربرد ها در اتوماسیون های صنعتی برای اندازه گیری فواصل وتشخیص اشیاء در خط تولید، رباتیک و ... اشاره کرد.



سنسورلیزری

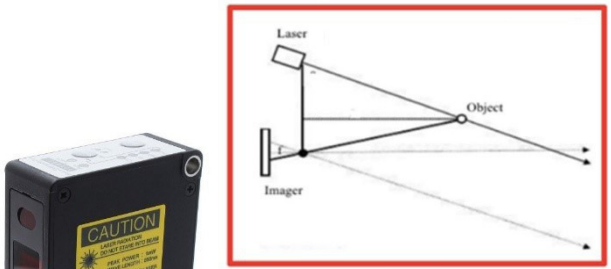
سنسورهای لیزری جز سنسورهای نوری محسوب میگردند ولی از پرتو نور لیزر جهت تشخیص جسم و یا حتی فاصله دقیق آن در طول برد و فواصل طولانی استفده میشود استفاده میکند و قیمت بالایی دارند.این سنسور ها بر اساس ساخته شده که هر کدام وظایفی دارند:

۱. دیود لیزر: دیود لیزر یک پرتو لیزر متمرکز را به سمت جسم مورد نظر ساطع می کند.

۲.پی اس دی: آشکارساز حساس به موقعیت، پرتو لیزر منعکس شده را تشخیص داده و آن را به سیگنال های الکتریکی تبدیل می کند.

۳. پردازشگر سیگنال های الکتریکی: سیگنال های ورودی از پی اس دی را تجزیه و تحلیل کرده و فاصله بین هدف و سنسور را محاسبه میکند.

از کاربردهای وسیع این سنسور میتوان در صنعت خودروسازی برای تراز کردن قطعات و شکاف ها و ... در خط تولید، در رباتیک برای تشخیص موانع و اشیاء و کنترل موقعیت، در اتوماسیون جهت تراز دقیق و موقعیت و بسیاری از صنایع اشاره کرد.





سنسورهای القایی

سنسورهای مجاورت القایی به عنوان اجزای ضروری هستند که تشخیص غیر تماسی اجسام فلزی را با قابلیت اطمینان و دقت بالا ارائه می‌دهند.این حسگرها از اصول الکترومغناطیسی برای تشخیص وجود یا عدم وجود اجسام فلزی در محدوده حسگر خود استفاده می کنند. آنها از یک مدار نوسانگر، سیم پیچ و صفحه حسگر تشکیل شده اند. مدار نوسان ساز یک میدان الکترومغناطیسی با فرکانس بالا در سیم پیچ ایجاد می کند. هنگامی که هیچ جسم فلزی در محدوده تشخیص سنسور وجود نداشته باشد، میدان الکترومغناطیسی تا حداکثر دامنه خود گسترش می یابد و یک الگوی میدان الکترومغناطیسی را تشکیل می دهد. هنگامی که یک جسم فلزی وارد محدوده حسگر می شود، با میدان الکترومغناطیسی تولید شده توسط سیم پیچ تعامل می کند. این فعل و انفعال باعث ایجاد جریان های گردابی در جسم فلزی می شود و باعث تغییر در دامنه و فرکانس میدان الکترومغناطیسی می شود. سنسور این تغییر را تشخیص داده و یک سیگنال خروجی را راه اندازی می کند که نشان دهنده وجود جسم فلزی است.



سنسور های القایی انواع متفاوت با کاربری های خاص خودشان دارند که به آنها اشاره میکنیم:

۱.سنسور القایی حلقه ای: آنها قابلیت تشخیص ۳۶۰ درجه را ارائه می دهند و برای کاربردهایی مانند پایانه های رباتیک و جداول نمایه سازی چرخشی مناسب هستند.



۲. سنسور های القایی مستطیلی: برای کاربردهایی که فضا محدود است ایده آل هستند و همچنین تشخیص دقیق را ارائه می دهند و معمولاً در نوار نقاله ها، سیستم های مرتب سازی و خطوط مونتاژ استفاده می شوند.



۳. سنسور های القایی دوسیم: دارای تنظیمات سیم کشی ساده ای هستند که نصب و ادغام آنها در سیستم های موجود را آسان می کند. آنها گزینه های مقرون به صرفه ای را برای کاربردهای تشخیص اولیه‌هستند.



۴. سنسورهای القایی آنالوگ: آنها سیگنال های خروجی پیوسته را متناسب با فاصله بین سنسور و جسم فلزی ارائه میدهند، قابلیت اندازه گیری دقیق فاصله و معمولا در برنامه های کنترل موقعیت و نظارت استفاده می شوند.



از نظر کاربری استفاده از این سنسورها میتوان به تشخیص وجود اجزای فلزی در خطوط مونتاژ موتور، ساخت شاسی و فرآیندهای کنترل کیفیت در صنعت خودروسازی، تشخیص وجود اجسام فلزی بر روی تسمه نقاله، پالت سازها و سیستم های مرتب سازی در خطوط جابجایی مواد، تشخیص وجود درپوش، درب و ظروف فلزی در صنعت بسته بندی، تشخیص وجود اجسام فلزی در تسمه نقاله، سنگ شکن ها و تجهیزات جابجایی مواد در استخراج معادن و بسیاری از کاربرد های دیگر اشاره کرد.

سنسورهای نوری

این سنسور ها با استفاده از فرستنده و گیرنده نوری کار میکنند. در بیشتر این سنسورها، فرستنده یک شعاع نوری را به سمت هدف می تاباند و یک گیرنده نور بازتابی یا عبوری را بررسی میکند. اگر جسمی وارد محدوده کاری سنسور شود، یا نور را مسدود کند و حتی آن را بازتاب دهد، موجب ایجاد تغییرات در شدت یا زاویه نور شده و باعث ارسال سیگنال به سیستم کنترل میشود. به این ترتیب سنسور نوری میتواند حضور جسم را تشخیص دهد.

این نوع سنسورها از سه بخش اصلی تشکیل میشود:

فرستنده(Emitter): وظیفه فرستنده، انتشار نور از سنسور است و معمولا از دیودهای نوری ال.ای.دی ساخته شده اند که از جنس نیمه هادی هستند. نوری که از فرستنده ارسال میشود اغلب بصورت پالس های با فرکانس مشخص است.(نور مدوله شده). استفاده از نور مدوله شده به سنسور این امکان را میدهد که بین نور خودش و نور محیط (مانند نور خورشید) تمایز قائل شود.

گیرنده(Receiver): وظیفه گیرنده، تشخیص نور ارسالی از فرستنده و تبدیل آن به سیگنال الکتریکی است.

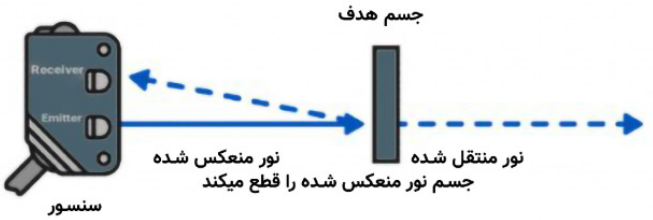
گیرنده ها معمولا از نوع ترانزیستوری است، امروزه اغلب سنسورهای نوری از یک آی سی استفاده میکنند. در این آی سی نیمه هادی، عناصر مورد نیاز برای تقویت، پردازش و عملکرد سنسور وجود دارد.

مدار خروجی: وظیفه مدار خروجی تبدیل سیگنال آنالوگ دریافتی از گیرنده به سیگنال تقویت شده است. این سیگنال قابل استفاده در شمارنده ها، تایمرها، رله ها و یا کاربرد های دیگر است. خروجی سنسورهای نوری بصورت کنتاکت رله و مدل هایی به صورت خروجی ترانزیستوری بصورت ان.پی.ان و پی.ان.پی موجوداست. برخی سنسورها قابلیت تولید سیگنال آنالوگ برای برخی کاربرد های خاص را نیز دارند.

سنسور های نوری ۳ نوع متفاوت دارد که به آنها میپردازیم:

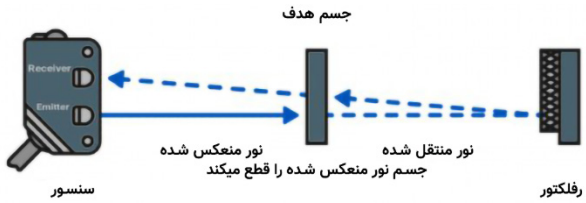
۱.سنسور نوری یک طرفه

در این سنسور ها فرستنده و گیرنده درون یک تجهیز قرار دارد و از بازتابش نور فرستنده به جسم هدف میتواند حضور جسم را تشخیص دهد.



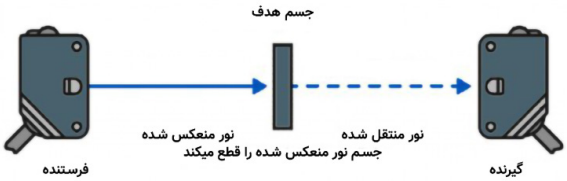
۲.سنسور نوری رفلکتوری

این سنسور نیز مانند سنسور یک طرفه، فرستنده و گیرنده درون یک تجهیز است ولی در مقابل سنسور یک قطعه آینه ای (رفلکتور) قرار میگیرد. رفلکتور یک سطح صاف و شفاف است که نور را به سمت سنسور بازتاب میدهد.



۳.سنسور نوری دوطرفه

این سنسور ها از دو قطعه فرستنده و گیرنده بصورت جداگانه در مقابل هم تشکیل شده اند. فرستنده و گیرنده یک پرتو نور ایجاد میکنند که از ناحیه سنسور عبور میکند.





سلول های خورشیدی چند پیوندی

شیدا شافعی - دانشجوی کارشناسی ارشد
افزاره‌های میکرووونانوالکترونیک/دانشگاه تبریز



انرژی‌های تجدیدپذیر، قلب تپنده آینده‌ای پایدار و سبز هستند. استفاده از این منابع عظیم و طبیعی، مانند انرژی خورشیدی، بادی، آبی، زمین گرمایی و ... نه تنها در کاهش آلودگی و مهار تغییرات اقلیمی موثر است، بلکه به ایجاد اشتغال و رونق اقتصادی نیز می‌انجامد. با انتخاب انرژی‌های پاک، ما یک گام به سوی حفظ محیط زیست برداشته و به نسل‌های آینده این امکان را می‌دهیم که در دنیایی سالم‌تر زندگی کنند انرژی‌های تجدیدپذیر نه تنها به‌عنوان یک راهکار برای کاهش وابستگی به سوخت‌های فسیلی مطرح می‌شوند، بلکه به یک شیوه زندگی پایدارتر و هوشمندانه‌تر نیز اشاره دارند.

انرژی خورشیدی، یکی از جذاب‌ترین و پایدارترین منابع انرژی تجدیدپذیر و پاک موجود در کره زمین است که از تابش مستقیم نور خورشید برای تولید برق و گرما استفاده می‌کند. با توجه به اینکه خورشید هر روز به‌طور تقریبی ۱۷۳ هزار تریلیون وات انرژی به زمین می‌تاباند، این منبع انرژی بی‌پایان و در دسترس است. انرژی خورشیدی نه‌تنها به کاهش وابستگی به سوخت‌های فسیلی کمک می‌کند، بلکه به حفظ محیط‌زیست و کاهش آلودگی نیز می‌انجامد.

استفاده از انرژی خورشیدی عمدتاً از طریق دو فناوری اصلی انجام می‌شود:

سیستم‌های حرارتی خورشیدی. پنل‌های فتوولتائیک، که در مقیاس‌های مختلفی قابل استفاده هستند، نور خورشید را به برق تبدیل می‌کنند. این فناوری با استفاده از مواد نیمه‌هادی مانند سیلیکون، الکترون‌ها را تحریک کرده و جریان الکتریکی تولید می‌کند. این برق تولیدی می‌تواند به‌طور مستقیم در خانه‌ها و کسب‌وکارها استفاده شود یا به شبکه برق عمومی تزریق گردد.

از سوی دیگر، سیستم‌های حرارتی خورشیدی از گرمای خورشید برای تولید آب گرم استفاده می‌کنند. این سیستم‌ها معمولاً در خانه‌ها و ساختمان‌های تجاری برای تأمین آب گرم مصرفی و حتی گرمایش فضا به‌کار می‌روند. این فناوری به‌ویژه در مناطق آفتابی و گرم بسیار کارآمد است و می‌تواند به‌طور قابل‌توجهی هزینه‌های انرژی را کاهش دهد.

یکی از مزایای برجسته انرژی خورشیدی در میان انواع منابع تجدیدپذیر، کاهش هزینه‌ها در طول زمان است. با پیشرفت فناوری، هزینه تولید و نصب پنل های خورشیدی به‌طور چشمگیری کاهش یافته و به همین دلیل، این انرژی به گزینه‌ای اقتصادی و مقرون‌به‌صرفه تبدیل شده است. همچنین، بسیاری از دولت‌ها و سازمان‌ها برای تشویق استفاده از انرژی خورشیدی، مشوق‌ها و تسهیلات مالی ارائه می‌دهند. علاوه بر این، انرژی خورشیدی به‌عنوان یک منبع انرژی پایدار، به جوامع این امکان را می‌دهد که در برابر نوسانات قیمت سوخت‌های فسیلی مقاوم‌تر شوند.

مزایای انرژی خورشیدی

تجدیدپذیر و پایدار، پاک و دوستدار محیط زیست، مقیاس‌پذیری، استقلال انرژی، قابلیت نصب در مکان‌های مختلف، کاهش هزینه‌های انرژی

معایب انرژی خورشیدی

نوسان در تولید انرژی , راندمان محدود , نیاز به فضای زیاد

چالش ها و موانع توسعه انرژی خورشیدی

علیرغم مزایای فراوان انرژی خورشیدی، همچنان چالش ها و موانع متعددی بر سر راه توسعه گسترده این منبع انرژی تجدیدپذیر وجود دارد. یکی از مهمترین چالش های توسعه انرژی خورشیدی، هزینه بالای سرمایه گذاری اولیه برای نصب سیستم خورشیدی است. اگرچه هزینه های بهره برداری و نگهداری این سیستم ها کم است، اما هزینه های سرمایه گذاری اولیه برای تهیه پانل خورشیدی، تجهیزات، نصب و راه اندازی همچنان نسبتاً بالا است. این امر به خصوص برای افراد و خانوارهای با درآمد کم و متوسط، مانع اصلی محسوب می شود. همچنین، ناپایداری و متغیر بودن تولید انرژی خورشیدی به دلیل وابستگی به تابش خورشید، چالش دیگری برای توسعه این منبع انرژی است. در روزهای ابری یا شب هنگام، تولید انرژی خورشیدی کاهش یافته و یا متوقف می شود و این عامل، نیاز به سیستم های ذخیره انرژی را افزایش می دهد.

علاوه بر این، محدودیت های فضایی برای نصب نیروگاه های خورشیدی در مناطق مسکونی و شهری نیز از موانع توسعه این انرژی است. همچنین، در برخی مناطق، محدودیت های مالکیتی زمین ها برای استقرار نیروگاه های بزرگ خورشیدی وجود دارد که نیازمند برنامه ریزی و هماهنگی های بیشتر است.

همچنین، عدم آگاهی عمومی نسبت به مزایای انرژی های تجدیدپذیر و نبود حمایت های کافی از سوی دولت ها و سیاست -گذاران نیز از مهمترین چالش های توسعه انرژی خورشیدی به شمار می روند. با این وجود، با پیشرفت فناوری ها، افزایش مقیاس تولید و اعمال سیاست های حمایتی، امید است که بتوان در آینده نزدیک بر این چالش ها فائق آمد و استفاده از انرژی خورشیدی را به طور گسترده تری توسعه داد.



معرفی سلول های خورشیدی چند پیوندی

پنل خورشیدی چند پیوندی که به عنوان پنل خورشیدی مرکب نیز شناخته می شود، نوعی سلول فتوولتائیک است که از لایه های چندگانه نیمه هادی با فاصله باند متفاوتی تشکیل شده است که می تواند طول موج های مختلف نور را جذب کند. این فناوری امکان جذب طیف وسیع تری از طیف خورشیدی و در نتیجه راندمان تبدیل بالاتر را فراهم می کند این طراحی به سلول‌ها اجازه می‌دهد تا طیف گسترده‌تری از نور خورشید را جذب و به الکتریسیته تبدیل کنند، در مقایسه با سلول های خورشیدی تک پیوندی که فقط یک محدوده خاص از طول‌موج‌های نور را جذب میکنند.

متداول‌ترین نوع سلول‌های خورشیدی چند پیوندی، سلول‌های خورشیدی ۳ پیوندی هستند که از سه لایه مواد نیمه‌رسانا مانند آرسنید گالیم، ایندیم گالیوم فسفید و ژرمانیوم تشکیل شده‌اند که هر کدام برای جذب طیف متفاوتی از خورشید طراحی شده‌اند. طیف لایه بالایی نور مرئی را جذب می کند، در حالی که لایه میانی و پایینی به ترتیب نور مادون قرمز و ماوراء بنفش را جذب می کنند.

سلول‌های خورشیدی چند اتصالی معمولاً در سیستم‌های فتوولتائیک متمرکز استفاده می‌شوند که از لنزها یا آینه‌ها برای متمرکز کردن نور خورشید بر روی یک سلول خورشیدی کوچک و با راندمان بالا استفاده می کنند. این اجازه می دهد تا مقدار مواد نیمه هادی مورد نیاز کاهش یابد، و همچنین راندمان بالاتری نسبت به سلول های خورشیدی تخت تخت سنتی می باشد.

به طور کلی، استفاده از سلول های خورشیدی چند اتصالی پتانسیل افزایش بازده و کاهش هزینه های انرژی خورشیدی را دارد و آن را به یک فناوری امیدوارکننده برای آینده انرژی های تجدیدپذیر تبدیل می کند.

تاریخچه سلولهای خورشیدی چند پیوندی

سلولهای خورشیدی چند پیوندی از توسعه سلول‌های تک‌پیوندی سیلیکونی در دهه ۱۹۵۰ آغاز شدند . با پیشرفت در فناوری نیمه رساناها و نیاز به بازده‌ی بالاتر ، پژوهشگران به سمت استفاده از مواد مختلف با گاف انرژی متفاوت حرکت کردند.

دهه ۱۹۵۰ شروع فناوری سلول خورشیدی

در سال ۱۹۵۴، اولین سلول خورشیدی سیلیکونی در آزمایشگاههای بل توسط چاپین ، فولر و پیرسون ساخته شد ، با بازدهی حدود ۶درصد . این فناوری به سرعت برای تأمین انرژی ماهواره ها مورد توجه قرار گرفت.

دهه ۱۹۶۰ استفاده در فضا

در سال ۱۹۵۸، اولین ماهوارهای که از سلولهای خورشیدی استفاده کرد ، ونگارد ۱ بود.

باافزایش نیاز به بازدهی بالاتر برای کاربردهای فضایی، مواد دیگری مانند گالیوم آرسنید برای سلولهای خورشیدی آزمایش شدند.

دهه ۱۹۷۰ معرفی سلولهای چندپیوندی

در این دهه ، پژوهشگران دریافتند که ترکیب چندین نیم هرسانا با گاف انرژی مختلف میتواند نور را بهینه تر جذب کند . اولین طرح های سلولهای دو پیوندی که از InGaP/GaAs ساخته شده بودند ، مطرح شد.

دهه ۱۹۸۰ بهبود بازدهی

اولین سلول های خورشیدی چندپیوندی با بازدهی بیش از ۲۰ درصد ساخته شدند.

دهه ۱۹۹۰ پیشرفت در سلو ل های سه پیوندی

در سال ۱۹۹۴، سلول‌های خورشیدی سه‌لایه ای با بازدهی بالای ۲۵ درصد به تولید رسیدند. این فناوری برای ماهواره ها و کاوشگرهای فضایی مورد استفاده قرار گرفت.

دهه ۲۰۰۰ رکوردهای بازدهی بالا

شرکت (Spectrolab) زیرمجموعه بوئینگ سلول‌های خورشیدی سه پیوندی با بازدهی بیش از ۳۰ درصد را توسعه داد . در سال ۲۰۰۷، رکورد بازدهی سلول های چندپیوندی به ۴۰/۷ درصد رسید.

دهه ۲۰۱۰ تاکنون بهینه سازی و تولید صنعتی

در سال ۲۰۱۶، محققان در Fraunhofer موفق به دستیابی به بازدهی ۴۶ درصد در آزمایشگاه شدند . این سلول ها در سیستمهای خورشیدی متمرکز (CPV) و پروژه های فضایی مورد استفاده قرار میگیرند . پژوهش های اخیر بر کاهش هزینه تولید و افزایش دوام سلول ها متمرکز است.



رایج ترین ترکیبات در سلول های چندپیوندی شامل:

گالیوم آرسنید، ژرمانیم، فسفید ایندیم و گالیوم، آنتیمونید ایندیم

مزایا و معایب

مزایا: بازدهی بالاتر از ۳درصد در شرایط آزمایشگاهی بیش از ۴۵ درصد، جذب طیف گستردهای از نور،عملکرد بهتر در شدت های بالای نور.

معایب

هزینه تولید بالا: تولید این سلولها به دلیل استفاده از مواد گرانقیمت و فرآیندهای ساخت پیشرفته، بسیار پرهزینه است.

پیچیدگی ساخت: نیاز به تراز دقیق لایه‌ها و جلوگیری از عدم تطابق کریستالی، فرآیند ساخت را پیچیده میکند و نیاز به فناوری‌های پیشرفته برای اتصال و یکپارچه سازی لایه‌ها.

محدودیت در کاربردهای تجاری: این سلول ها به دلیل هزینه بالا ، معمولا در فضا، نیروگاه های خورشیدی متمرکز (CPV) و پروژه های خاص استفاده میشوند و برای پنل های خورشیدی خانگی مناسب نیستند.

به طور کلی، سلول های خورشیدی چندپیوندی گزین های عالی برای کاربردهای خاص هستند، اما هزینه بالا مانع از استفاده گسترده در مصارف تجاری شده است.

اصول عملکرد سلولهای چند پیوندی

برخلاف سلولهای خورشیدی تک پیوندی که فقط قادر به جذب یک محدوده مشخص از نور خورشید هستند، در سلولهای چند پیوندی: هر لایه از یک ماده نیمه رسانا با یک گاف انرژی خاص ساخته شده است . لایه های بالایی نور با انرژی بالاتر (طول موج کوتاهتر) را جذب میکنند . نور با طول موج بلندتر از لایهه ای بالایی عبور کرده و توسط لایه های پایین تر جذب میشود . به این ترتیب ، طیف بیشتری از نور خورشید جذب شده و بازدهی سلول افزایش مییابد.

ساختار سلولهای خورشیدی چند پیوندی

ساختار این سلول ها معمولا شامل ۲ تا ۵ پیوند نیمه رسانا است که روی هم قرار گرفته اند . رایج ترین پیکربندی‌ها عبارت‌اند از:

الف) سلولهای دو پیوند: متشکل از دو لایه نیم هرسانا با گاف انرژی متفاوت و بازدهی در حدود ۳۰-۲۵درصد در شرایط آزمایشگاهی، معمولا ترکیب فسفید ایندیم گالیوم و آرسنید گالیوم استفاده میشود.

ب) سلول های سه پیوند: رایج‌ترین نوع سلولهای چند پیوندی بازدهی بیش از ۴۰ درصد در شرایط ایده‌آل. معمولا ترکیب فسفید ایندیم گالیوم، آرسنید گالیوم و ژرمانیم به‌طور گسترده در ماهواره ها و کاوشگرهای فضایی استفاده میشود.

ج) سلولهای چهار و پنج پیوندی: شامل لایه های اضافی برای جذب نور مادون قرمز و نزدیک به مادون قرمز . میتوانند بازده‌ی را به بیش از ۴۵ درصد افزایش دهند. در پروژه های تحقیقاتی و برخی سیستمهای خورشیدی متمرکز (CPV) استفاده میشوند.

ویژگی‌های مواد مورد استفاده در سلولهای چند پیوندی

- مواد نیمه رسانایی که در این سلول‌ها به کار می‌روند باید دارای ویژگی‌های زیر باشند:
- گاف انرژی مناسب برای جذب محدوده های مختلف طیف نوری
- سازگاری کریستالی برای جلوگیری از نقص های ساختاری
- پایداری در برابر شرایط محیطی خصوصا برای کاربردهای فضایی

کاربردهای سلولهای خورشیدی چند پیوندی

ماهواره‌ها و فضاپیماها

بیشترین استفاده از این فناوری در صنایع فضایی است. ناسا، اسپیسایکس و سایر سازمانهای فضایی از این سلول ها برای تأمین انرژی فضاپیماها و ماهواره‌ها استفاده میکنند.

سیستم‌های خورشیدی متمرکز (CPV) در این سیستم ها ، آینه ها یا لنزها نور خورشید را بر روی سلول های خورشیدی متمرکز میکنند. سلول های چند پیوندی به دلیل کارایی بالا ، برای این کاربرد بسیار مناسب اند.

پهپادهای خورشیدی و وسایل نقلیه الکتریکی

برخی پهپادها و خودروهای خورشیدی از این سلولها برای تأمین انرژی استفاده میکنند.

آینده وچالش‌های سلولهای خورشیدی چند پیوندی

کاهش هزینه تولید: پژوهشگران به دنبال رو شهایی برای کاهش هزینه ساخت این سلول ها هستند، از جمله تولید با رو شهای نانوفناوری.

سلولهای خورشیدی پرینت شده: توسعه فناوری پرینت سه بعدی نانو برای ساخت سلول‌های چند پیوندی با هزینه کمتر. سلولهای ترکیبی با فناوریهای دیگر: ترکیب با سلولهای خورشیدی پروسکایتی برای افزایش بازدهی و کاهش هزینه.





ثبت رکورد جدید بازدهی سلول خورشیدی چند پیوندی

شیدا شافعی - دانشجوی کارشناسی ارشد
افزاره‌های میکرو و نانوالکترونیک/ دانشگاه تبریز

به گزارش گروه علم و آموزش ایرنا از تارنمای اخبار علمی ساینس الرت، افزایش کارایی سلول های خورشیدی پیروزی آشکار برای انرژی سبز است که به معنای تولید الکتریسیته بیشتر از همان تعداد صفحات خورشیدی و همان مقدار نور خورشید است. دانشمندان برای رویارویی با این چالش، سخت تلاش می کنند.

گروهی از محققان دانشگاه علم و فناوری ملک عبدالله در عربستان سعودی به یک رکورد جدید در کارایی سلول های خورشیدی چند پیوندی دست یافته اند. سلول خورشیدی چند پیوندی سلولی است که دو ماده مختلف را با هم ترکیب می کند.

چندین ماده می توانند در صفحات خورشیدی خورشیدی کار کنند که هر کدام خواص و ویژگی های خاص خود را دارند. این مواد از نظر کارایی، هزینه و استفاده از آنها در ساخت آسان صفحات خورشیدی متفاوت‌هستند.

در این مورد، محققان مواد سیلیکونی کریستالی را که فراوان تر و ارزان ترند، با مواد پروسکایت کارآمدتر که قابلیت اطمینان کمتری دارند، ترکیب کردند تا به رکورد بازدهی ۳۳/۲ درصدی دست یابند که نسبت به رکورد قبلی ۳۲/۵ درصدی برای این نوع خاص سلول خورشیدی بالاتر است.

این مقدار ممکن است نسبتا اندک باشد، اما هنگامی که میلیون‌ها صفحه خورشیدی و سال‌ها تابش خورشید لحاظ شود، این مقدار اندک نیست. البته، این ماده برای استفاده تجاری آماده نیست.

کارایی بازده تبدیل توان (PCE) است که کارایی ۱۰۰ درصد به معنی تبدیل تمام نور خورشید موجود به الکتریسیته است و چیزی هدر نمی رود. این رکورد توسط موسسه آزمایشی خورشیدی اروپا (ESTI) تأیید شد.

استفان دی ولف دانشمند علوم مواد این دانشگاه می گوید: رکورد جدید بالاترین بازده تبدیل توان در سلول‌های خورشیدی دو اتصالی در زیر نور غیر متمرکز است که نوید تندم های پروسکایت/سیلیکون برای ارائه ماژول‌های فتوولتائیک با عملکرد فوق‌العاده بالا را تایید می کند که برای دستیابی سریع به اهداف انرژی‌های تجدیدپذیر در راستای مبارزه با تغییرات اقلیمی ضروری است.

این سلول چند پیوندی جدید تا حدودی به علت اینکه ماده پروسکایت نور آبی را به بهترین شکل جذب می کند، در سطح رکورد جدیدی کار می کند، در حالی که ماده سیلیکونی پایین نور قرمز را به بهترین شکل جذب می کند. این پوشش طیفی به این معنی است که می‌توان مقدار بیشتری از نور خورشید را جذب و تبدیل کرد.

این محققان جزییات بیشتری از نحوه دستیابی به این رکورد ارائه نکرده است و هنوز هیچ مقاله بررسی شده ای در مورد این فناوری وجود ندارد. این تیم به کار خود برای بهبود طول عمر سلول و اندازه آن ادامه می‌دهد.

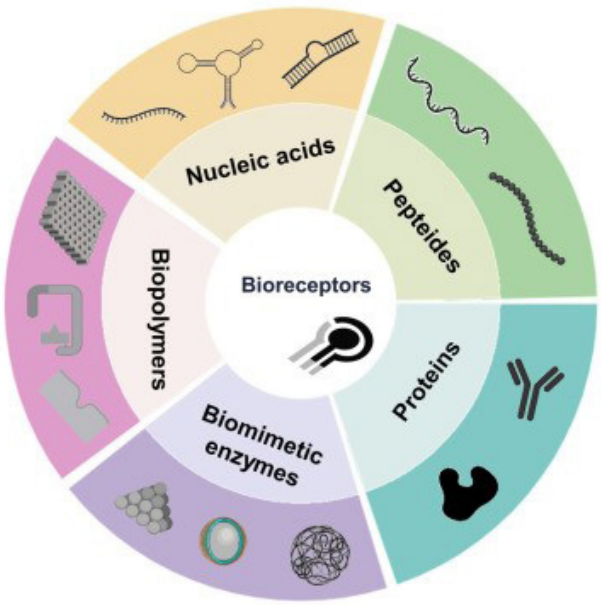
رکوردهای بازده متفاوتی برای انواع مختلف سلول های خورشیدی بدست آمده است. به عنوان مثال، دانشمندان با یک سلول شش لایه به جای دو لایه، به بازده چشمگیر ۴۷/۱ درصدی دست یافتند، اگرچه نور خورشید برای رسیدن به آن سطح، باید متمرکز شود.

البته مواد بیشتر به معنای پیچیدگی بیشتر برای تولیدکنندگان است. با این حال، این پیشرفت در مسیر درستی قرار دارد و امید است انرژی خورشیدی نقشی فزاینده در تولید انرژی سبز ایفا کند.

سنسورهای زیستی

عرفان حصاری ـ دانشجوی کارشناسی
مهندسی پزشکی/دانشگاه تبریز

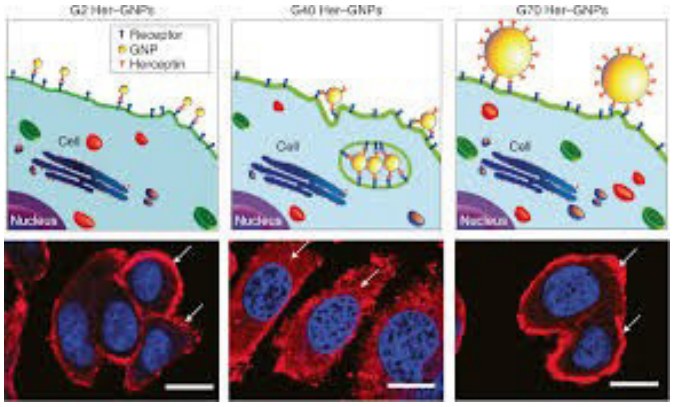
سنسورهای زیستی یا بیوسنسورها دستگاه‌هایی هستند که برای شناسایی و اندازه‌گیری مواد زیستی یا شیمیایی به کار می‌روند. این سنسورها ترکیبی از یک جزء زیستی (مانند آنزیم، آنتی‌بادی، ESTI یا سلول‌های زنده) و یک مبدل فیزیکی-شیمیایی (مانند الکتروشیمیایی، نوری یا مکانیکی) هستند که سیگنال حاصل از واکنش زیستی را به یک سیگنال قابل اندازه‌گیری تبدیل می‌کنند.



اجزای اصلی سنسورهای زیستی

عنصر زیستی (Bioreceptor) شامل آنزیم‌ها، آنتی‌بادی‌ها، گیرنده‌هایا سلولی یا DNA که برای شناسایی مولکول‌های هدف استفاده‌می‌شود.

بیوسنسورها دستگاه‌هایی هستند که برای تشخیص مواد زیستی مانندآنزیم‌ها،پروتئین‌ها،اسیدهای‌نوکلئیک،یاحتی‌میکروارگانیسم‌ها به کار می‌روند. در ادامه چند مثال از سنسورهای زیستی آورده شده است:



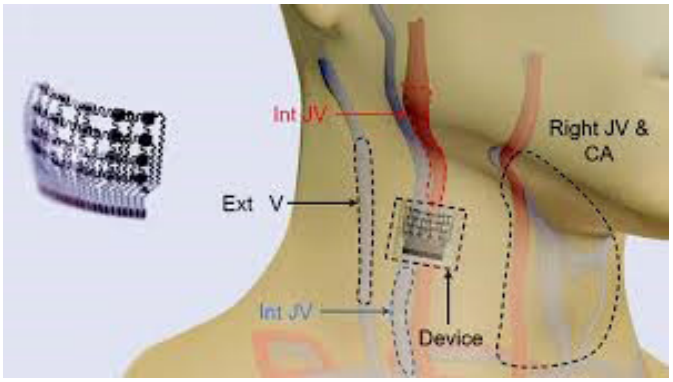
نانو حسگرهای بیولوژیکی (نانوبایوسنسورها) دستگاه‌های کوچک و پیشرفته‌ای هستند که از نانومواد برای تشخیص و تجزیه‌وتحلیل مولکول‌های زیستی استفاده می‌کنند. این حسگرها ترکیبی از زیست‌شناسی، نانوفناوری و الکترونیک هستند و برای شناسایی ترکیبات خاص مانند پروتئین‌ها،DNA،RNA، آنزیم‌ها، ویروس‌ها و باکتری‌ها به کار می‌روند.

اجزای اصلی نانو حسگرهای بیولوژیکی

۱.عنصر تشخیصی زیستی: شامل آنتی‌بادی‌ها، آنزیم‌ها،DNA، یا گیرنده‌های زیستی که به مولکول هدف متصل می‌شوند.

۲.ترانسدیوسر (مبدل): سیگنال حاصل از تعامل زیستی را به سیگنال الکتریکی،نوری یامکانیکی تبدیل می‌کند.

۳.پردازشگر سیگنال: سیگنال تولید شده را پردازش کرده و اطلاعات لازم را نمایش می‌دهد.



انواع نانوحسگرهای بیولوژیکی

۱.نانوحسگرهای الکتروشیمیایی: براساس تغییرات جریان یا ولتاژ در اثر واکنش زیستی عمل می‌کنند.

۲.نانوحسگرهای نوری: از روش‌هایی مانند فلورسانس و پلاسمونیک سطحی برای تشخیص مولکول‌های زیستی استفاده می‌کنند.

۳.نانوحسگرهای مغناطیسی: با استفاده از نانوذرات مغناطیسی برای شناسایی و جداسازی مولکول‌های زیستی کار می‌کنند.

۴.نانوحسگرهای مکانیکی: از نانوساختارهایی مانند نانولوله‌های کربنی و نانوسیم‌ها برای تشخیص تغییرات جرم یا نیروهای مولکولی استفاده‌می‌کنند.

کاربردهای نانوحسگرهای بیولوژیکی

تشخیص پزشکی: شناسایی بیماری‌ها، تشخیص زودهنگام سرطان، بررسی سطح گلوکز در بیماران دیابتی

کنترل کیفیت غذا: تشخیص آلاینده‌ها، باکتری‌ها و سموم در مواد غذایی

محیط‌زیست: شناسایی آلودگی‌های زیستی و شیمیایی در آب و هوا

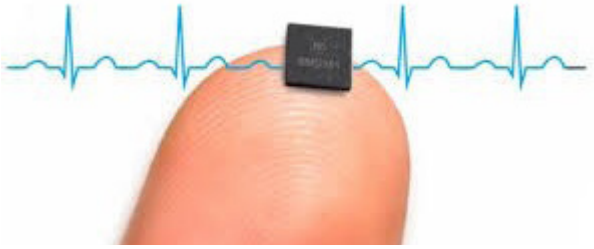
صنعت داروسازی: پایش فرآیندهای زیستی و تولید داروهای هدفمند

مزایای نانوحسگرهای بیولوژیکی

- دقت و حساسیت بالا
- سرعت تشخیص زیاد
- اندازه کوچک و قابلیت حمل
- هزینه کمتر نسبت به روش‌های سنتی

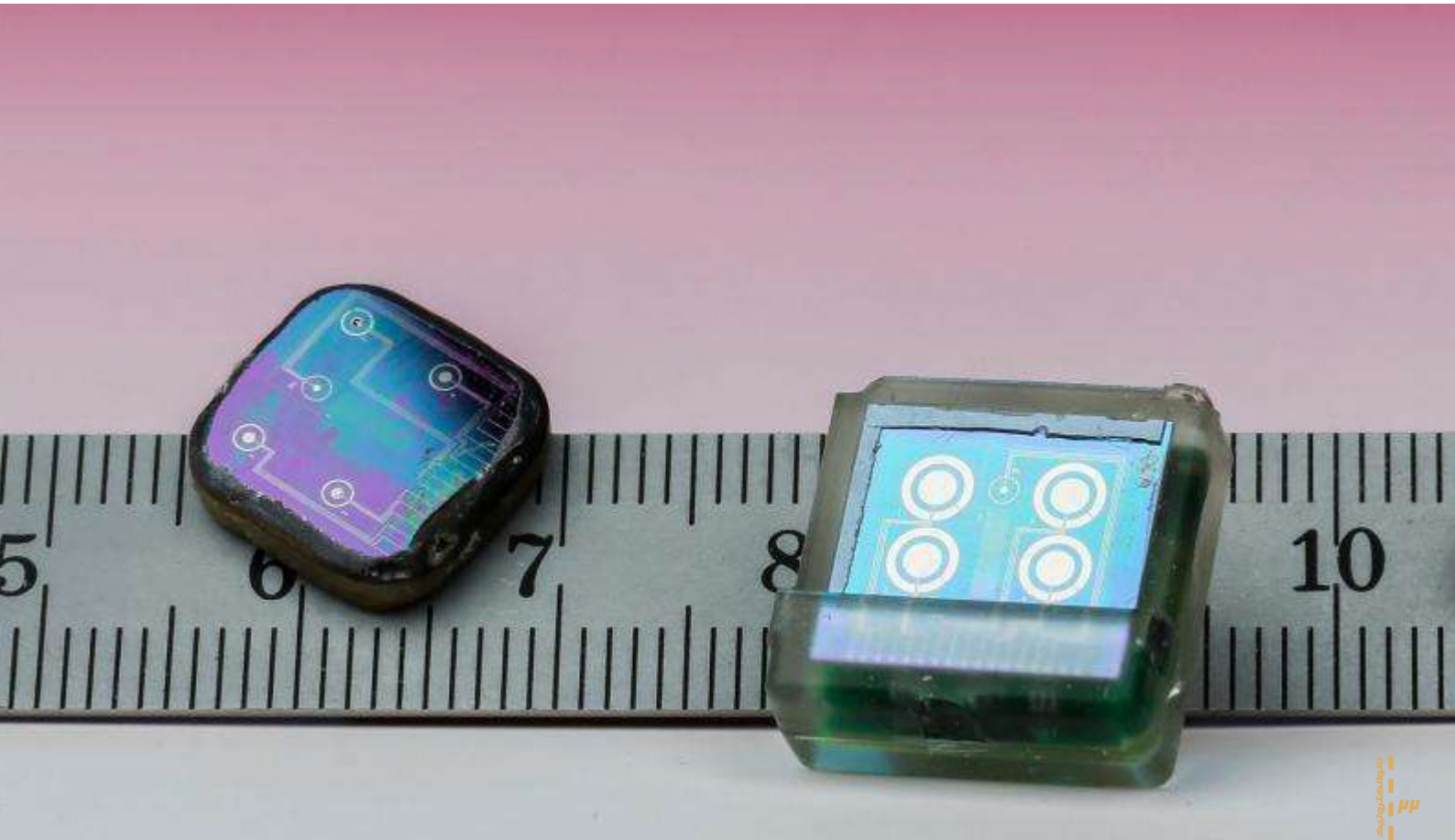
نانوحسگرهای بیولوژیکی آینده‌ای درخشان در پزشکی، صنایع غذایی و محیط‌زیست دارند و به عنوان ابزارهای قدرتمند برای تشخیص سریع و دقیق بیماری‌ها و آلاینده‌ها شناخته می‌شوند.

سنسورهای زیستی به‌عنوان ابزارهای پیشرفته در تشخیص، نظارت و تحلیل ترکیبات زیستی، نقش مهمی در پزشکی، صنایع غذایی، محیط‌زیست و تحقیقات زیستی ایفا می‌کنند. این فناوری با ترکیب عناصر زیستی و سیستم‌های الکترونیکی، امکان اندازه‌گیری سریع، دقیق و کم‌هزینه را فراهم می‌آورد. توسعه و بهبود سنسورهای زیستی می‌تواند به تشخیص زودهنگام بیماری‌ها، بهینه‌سازی فرایندهای صنعتی و حفظ سلامت محیط‌زیست کمک کند. با پیشرفت‌های مداوم در نانوفناوری، بیوانفورماتیک و مهندسی زیستی، آینده سنسورهای زیستی به سمت دقت بالاتر، هوشمندسازی و قابلیت‌های چندمنظوره در حال حرکت است که می‌تواند تحولی اساسی در حوزه‌های مختلف علمی و صنعتی ایجاد کند.



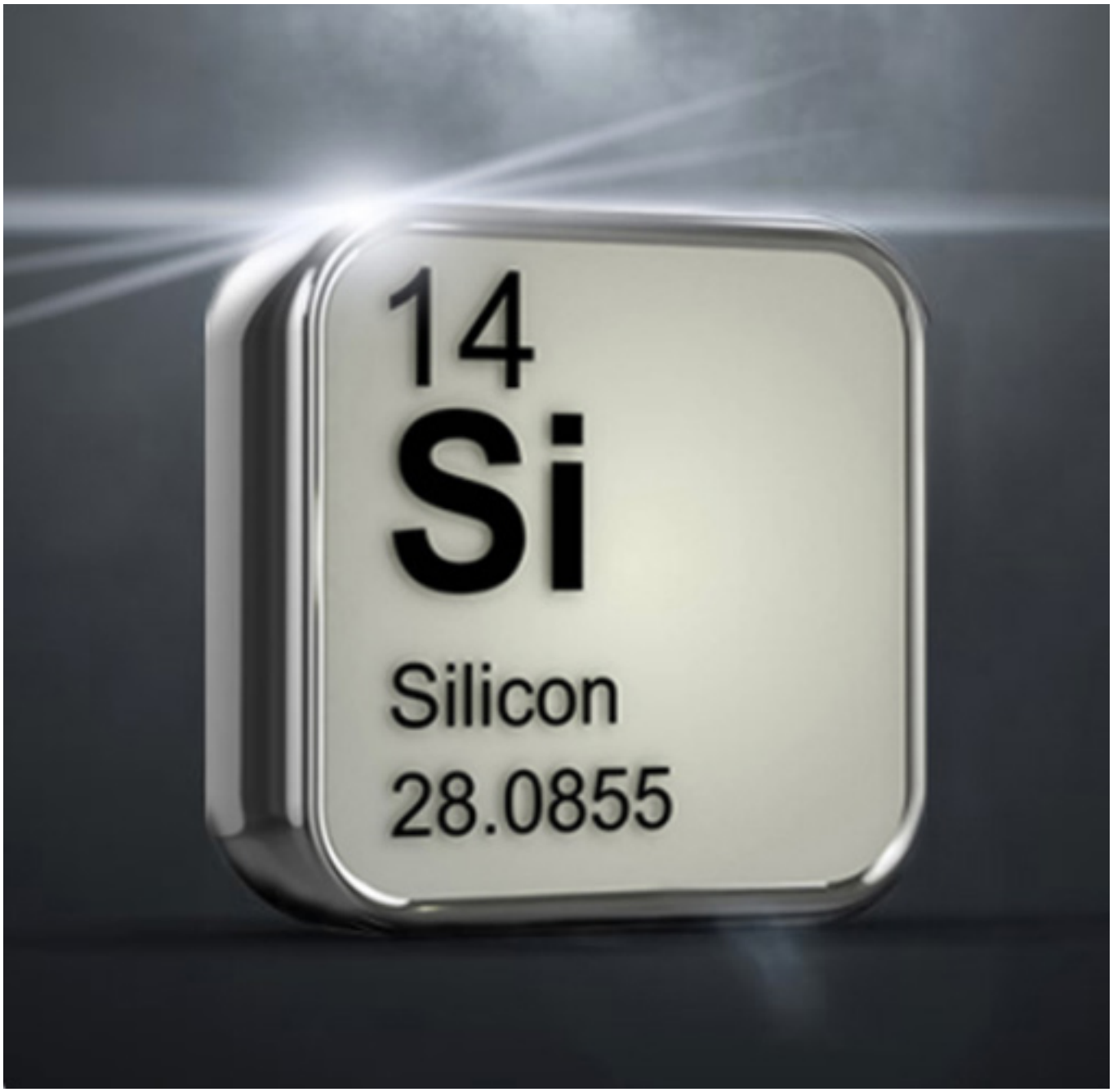
منابع

1. https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S095656631530436X
2. https://books.google.com/books?hl=en&lr=&id=gunTelbEtuMC&oi=fnd&pg=PR11&dq=biological+sensors&ots=bXo_A4e-be9&sig=OBOeAHjFkcyoa-e0wuZqQR-p0vI
3. https://www.science.org/doi/abs/10.1126/science.1247390



جایگزین های سیلیکون

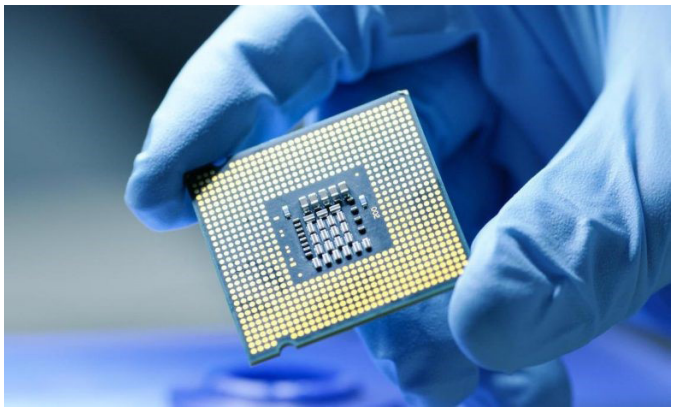
کاویان سهرابی - دانشجوی کارشناسی ارشد
بازاریابی/دانشگاه تبریز



سیلیکون دارای ویژگی‌های بسیاری است که آن را به یک ماده‌ی نیمه‌رسانای ایده‌آل تبدیل کرده است؛ این ماده به‌وفور در کره‌ی زمین یافت می‌شود و هنگامی که در معرض اکسیژن قرار می‌گیرد، یک لایه دی‌اکسید سیلیکون ایجاد می‌کند که از آن می‌توان به‌عنوان عایق و جداکننده استفاده کرد.

در حال حاضر دانشمندان دانشگاه استنفورد دو ماده نیمه‌هادی جدید کشف کرده‌اند: دی‌سلنید هافنیوم و دی‌سلنید زیرکونیم. این ترکیبات نه‌تنها در بسیاری از موارد شبیه سیلیکون هستند، بلکه بزرگ‌ترین مشکل آن را هم می‌توانند حل کنند؛ آن‌ها می‌توانند نازک‌تر شوند. با توجه به ماهیت دی‌الکتریک بالای آن‌ها، محققان توانستند مدارهای کاربردی را با استفاده از این مواد تشکیل دهند که فقط ضخامتی معادل سه اتم دارند. در نتیجه آن‌ها نیاز به انرژی کمتری برای تعویض بین حالت‌های مختلف مدار دارند که این مسئله آن‌ها را کارآمدتر از همتایان مبتنی بر سیلیکون خود می‌کند.

بر طبق اظهارات اریک پاپ، یکی از محققان این مطالعه: سیلیکون به‌طور کلی محو نخواهد شد. اما اگر این نیمه‌هادی‌ها بتوانند با سیلیکون ادغام شوند، این مسئله می‌تواند برای مصرف‌کنندگان به معنی عمر باتری بسیار طولانی‌تر و پشتیبانی از عملکردهای بسیار پیچیده‌تر توسط دستگاه‌های روزمره شود. درحالی‌که کشف اخیر بسیار فوق‌العاده به نظر می‌رسد، بهتر است خیلی به آن امید نداشته باشید. این اولین بار نیست که در مورد یک جایگزین بالقوه‌ی سیلیکون خبری می‌شنویم (به‌عنوان مثال گرافن را در نظر بگیرید). وقتی که ترانزیستورها در این مقیاس کوچک می‌شوند، تأثیر تونل زنی کوانتومی ده برابر می‌شود؛ بنابراین احتمالا سال‌ها طول می‌کشد که این تکنولوژی به جریان اصلی فناوری تبدیل شود.



آینده محصولات سیلیکونی چه می‌شود و چه جایگزین‌هایی در راه هستند؟

داستان صنایع الکترونیکی مدرن با پیشرفت‌های مختلف در زمینه ریزتراشه‌های سیلیکونی مترادف شده است؛ ریزتراشه‌هایی که اطلاعات را در کامپیوترها، گوشی‌ها و تقریبا همه محصولات پیرامون‌مان پردازش می‌کنند. حالا با توجه به همه مشکلاتی که در تامین سیلیکون به وجود آمده، شرکت‌ها به دنبال جایگزینی برای این ماده می‌گردند و اخیرا به استفاده از سیلیکون کاربید و گالیوم نیترید روی آورده‌اند. ولی به راستی آینده محصولات سیلیکونی چه خواهد شد؟

قطعات الکترونیکی با هدایت الکتریسیته‌ای که انرژی گجت‌های ما را تامین می‌کنند، نقش مهمی در زندگی مدرن دارند. این حوزه که با عنوان الکترونیک قدرت شناخته می‌شود، به سرعت در حال تغییر است چون مهندسان در حال حرکت به سمت دستگاه‌هایی هستند که نه بر اساس تراشه‌های سیلیکونی بلکه بر اساس مواد جدیدی ساخته می‌شوند که سریع‌تر و بهینه‌تر الکتریسیته را منتقل می‌کنند.



برخی از نمونه‌های این دستگاه‌ها همین حالا وارد بازار شده‌اند و می‌توانیم منتظر باشیم که قطعات حوزه الکترونیک قدرت در آینده اهمیتی بیشتری پیدا کنند، چرا که اقتصاد از اتکا به سوخت‌های فسیلی در حال حرکت به سمت استفاده از برق است. به‌علاوه، در دوره‌ای که زنجیره تامین سیلیکون با مشکلات جدی روبرو شده، مواد جدید می‌توانند به‌راحتی جایگاه خود را در بازار پیدا کنند.

این مواد جدید اولین بار به‌صورت جدی در سال ۲۰۱۷ از آزمایشگاه سر درآوردند، زمانی که شرکت تسلا با یک پیچ تاریخی در فعالیت‌های خود مواجه شد. این شرکت تا آن زمان دو خودروی لوکس معرفی کرده بود، اما در تلاش برای تبدیل شدن به یک خودروساز موفق، سعی داشت با سرمایه‌گذاری در زمینه تولید انبوه و ساخت محصولات ارزان‌تر برای آینده قمار کرد.

سیلیکون کاربید

وقتی تسلا اتومبیل مدل ۳ را عرضه کرد، به لحاظ فنی نسبت به رقبا یک برتری مخفیانه داشت. این محصول از ماده‌ای به نام سیلیکون کاربید (SiC) استفاده می‌کرد. یکی از قطعات اصلی خودروهای برقی اینورتر کِشنده (Traction Inverter) است که برق را از باتری دریافت می‌کند و بعد از تبدیل آن را به موتور می‌دهد. خودروهای تسلا برای دستیابی به سرعت بالایی که سرنشین را میخکوب می‌کند، باید با استفاده از اینورترهای کشنده صدها کیلووات برق را به موتور برسانند.

اینورترهای کشنده در گذشته از سیلیکون ساخته می‌شدند، ولی این قطعه در مدل ۳ با سیلیکون کاربید تولید شد که ترکیبی از سیلیکون و کربن است. شرکت اروپایی STMicroelectronics که تولید سیلیکون کاربید تسلا را برعهده گرفت، مدعی بود که می‌تواند دامنه مسافت خودرو را تا ۱۰ درصد افزایش داده و به‌طور همزمان در فضا و وزن صرفه‌جویی زیادی داشته باشد.



ماسایوشی یاماموتو، مهندس دانشگاه ناگویای ژاپن که متخصص کالبدشکافی قطعات خودروهای برقی است، می‌گوید: «مقاومت هوا در مدل ۳ به اندازه خودروهای ورزشی کم است. و این طراحی خطی به واسطه کاهش اندازه اینورترها ممکن شده است.»

تسلا مدل ۳ به خاطر قطعات الکترونیک قدرت خود به موفقیت زیادی دست پیدا کرد و نشان داد که خودروهای برقی تا چه اندازه می‌توانند قدرتمند عمل کنند. «کلیر تردوک»، تحلیل‌گر شرکت فرانسوی Yole Developpement می‌گوید کاری که تسلا در یک سال و نیم انجام داد، فوق‌العاده بود.

سایر خودروسازان با مشاهده موفقیت تسلا به سرعت به دنبال ساخت اتومبیل‌های برقی رفتند. بسیاری از آن‌ها حالا نه تنها می‌خواهند در اینورترها از سیلیکون کاربید استفاده کنند، بلکه به دنبال استفاده از این ماده در مبدل‌های DC/DC هستند که انرژی بخش‌هایی مثل سیستم تهویه هوا و شارژرها را تامین می‌کنند.

هزینه سیلیکون کاربید بسیار بیشتر از سیلیکون است، اما بسیاری از شرکت‌ها به این نتیجه رسیده‌اند که پذیرش این هزینه‌ی بالاتر ارزش استفاده از این ماده را دارد. ماه گذشته میلادی، شرکت تولیدکننده نیمه‌رسانا Wolfspeed یک کارخانه سیلیکون کاربید ۱ میلیارد دلاری در نیویورک افتتاح کرد. این شرکت که مقر آن در شمال کالیفرنیا قرار گرفته، با کمپانی جنرال موتورز و چند مشتری دیگر قرارداد بسته تا قطعات موردنیاز آن‌ها را تامین کند. «شیلپان امین»، معاون جنرال موتورز می‌گوید مشتریان وسایل الکترونیکی به دنبال دامنه توان بالاتر هستند: «ما به سیلیکون کاربید به عنوان یکی از مواد اصلی در طراحی قطعات الکترونیک قدرت نگاه می‌کنیم.»

نیویورک به دره سیلیکون کاربید تبدیل می‌شود؟

«کیتی هوچول»، فرماندار نیویورک در مراسم افتتاح کارخانه Wolfspeed گفت: «منطقه کوچکی در فاصله بسیار دور از ما قرار دارد که دره سیلیکون نامیده می‌شود. آیا تا به حال اسمش را شنیده‌اید؟ بله، درباره این منطقه مبالغه شده. من می‌خواهم اولین کسی باشم که ورود شما را به دره سیلیکون کاربید خوش‌آمد می‌گویم، چون آینده این‌جاست.»

سیلیکون همچنان در آینده نزدیک بازار نیم تریلیون دلاری نیمه‌رساناها را در دست خواهد داشت. ولی سیلیکون کاربید در حوزه قطعات الکترونیک قدرت که سالانه حدود ۲۰ میلیارد دلار فروش دارد، در حال ایجاد تغییرات مهمی است. Yole Developpement پیش‌بینی می‌کند که بازار سیلیکون کاربید در صنعت خودرو تا سال ۲۰۲۷ پنج میلیارد دلار بیشتر از رقم فعلی خود خواهد شد. این رقم فعلا کمی بیشتر از ۱ میلیارد دلار است.

«ادواردو مرلی»، مدیر STMicroeletronics می‌گوید: «بدون سیلیکون کاربید نمی‌توانستیم به چنین جهشی در بازار خودروهای برقی دست پیدا کنیم.»



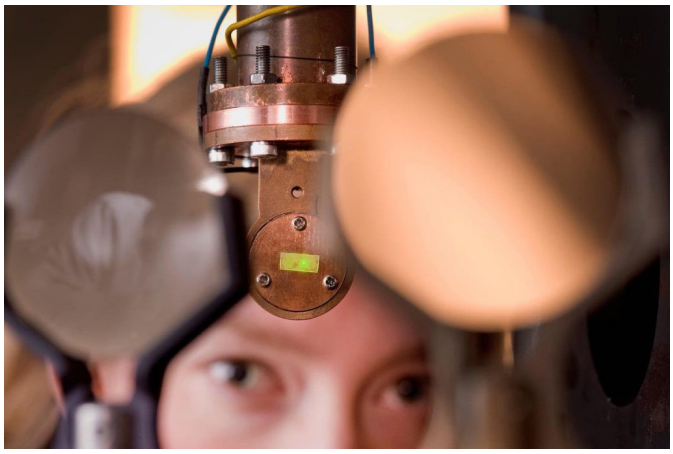
گالیوم‌نیترید

سیلیکون و سیلیکون کاربید در صنعت الکترونیک کاربردی‌اند چون نیمه‌رساناهستند: یعنی می‌توانند مثل فلزات رسانای الکتریکی و مثل پلاستیک‌ها نارسانا باشند. این ویژگی باعث می‌شود نیمه‌رساناها مواد مهمی در تولید ترانزیستورها باشند و زیربنای قطعات مدرن الکترونیکی را شکل دهند.

سیلیکون کاربید نسبت به سیلیکون نوار ممنوعه پهن‌تری دارد، یعنی انرژی بیشتری لازم است تا بین دو حالت جابه‌جا شود. نیمه‌رساناهای دارای نوار ممنوعه پهن یا WBG در قطعات الکترونیک قدرت کاربردی‌ترند چون می‌توانند توان بیشتری را به شکل بهینه‌تر منتقل کنند.

سیلیکون کاربید یکی از مهم‌ترین مواد WBG است که دهه‌هاست برای استفاده شدن در تولید ترانزیستورها در دست توسعه قرار دارد. ولی عده دیگری از مهندسان به سراغ ماده دیگری به نام گالیوم نیترید (GaN) رفته‌اند. محققان در دهه ۱۹۸۰ برای ساخت اولین LED نور آبی از این ماده استفاده کردند. نور آبی از فوتون‌های پرانرژی تشکیل شده است. گالیوم نیترید اولین نیمه‌رسانایی بود که توانست فوتونی با این اندازه انرژی تولید کند.

محققان اخیرا به استفاده از گالیوم نیترید برای بهبود قطعات الکترونیک قدرت روی آورده‌اند. این ماده در سال‌های اخیر به ثمره نشسته و در شارژر گوشی‌ها و کامپیوترها به کار گرفته شده است. این آداپتورها کوچک‌تر، سبک‌تر، سریع‌تر و بهینه‌تر از آداپتورهایی هستند که از ترانزیستورهای سیلیکونی استفاده می‌کنند.



جیم ویتام، مدیر ارشد شرکت کانادایی GaN Systems که ترانزیستور گالیوم نیترید شارژر لپ‌تاپ‌های اپل را تامین می‌کرد، می‌گوید: «شارژرهای معمولی که برای کامپیوترهای خود می‌خرید، دارای بهره‌وری ۹۰ درصدی هستند. بهره‌وری گالیوم نیترید ۹۸ درصد است. بنابراین می‌توانید هدررفت انرژی را چهار برابر کمتر کنید.»

شرکت Yole Developpement تخمین می‌زند که بازار گالیوم نیترید تا سال ۲۰۲۷ به ۲ میلیارد دلار برسد. ارزش این بازار در حال حاضر حدود ۲۰۰ میلیون دلار است.

مواد WBG در حال ورود به سایر حوزه‌ها هم هستند. دیتاسنترها به خاطر استفاده از تعداد زیاد سرورهایی که خدمات آنلاین ارائه می‌کنند، معمولا مصرف برق بالایی دارند. شرکت Compuware که تامین‌کننده منابع تغذیه پرتوان برای دیتاسنترهاست، می‌گوید منابع تغذیه گالیوم نیترید هدررفت برق را تا ۲۵ درصد کاهش می‌دهند و تا ۲۰ درصد فضای کمتری اشغال می‌کنند. در نتیجه، می‌توان سرورهای بیشتری را در قفسه‌ها جا داد. این شرکت می‌گوید منابع تغذیه گالیوم نیترید آن‌ها توسط شرکت‌های بزرگی در سراسر دنیا مورد استفاده قرار گرفته‌اند.



گالیوم‌نیترید برای انرژی‌های تجدیدپذیر

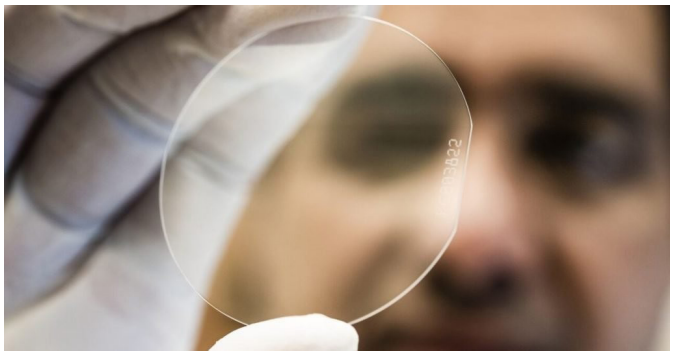
مهندسان می‌خواهند از مواد WBG برای استفاده بیشتر از منابع انرژی‌های تجدیدپذیر کمک بگیرند. سلول‌های خورشیدی و توربین‌های بادی برای انتقال برق به خانه‌ها و شبکه برق متکی به اینورترها هستند، و بسیاری از شرکت‌ها انتظار دارند که گالیوم نیترید این کار را بهتر از سیلیکون برای آن‌ها انجام دهد.

یکی از تامین‌کنندگان اینورترهای انرژی خورشیدی به نام Enphase در حال حاضر مشغول آزمایش اینورترهای گالیوم نیترید است تا مطمئن شود که این قطعات می‌توانند دهه‌ها در شرایط سخت جوی در پشت‌بام‌ها تاب بیاورند. در یکی از تست‌های این شرکت، اینورترها زیر آب تحت فشار قرار می‌گیرد و به مدت ۲۱ روز در دمایی بین ۸۵ تا منفی ۴ درجه سلسیوس آزمایش می‌شوند.

اگر گالیوم نیترید در این چالش‌ها موفق باشد، Enphase قصد دارد خیلی سریع تولیدات خود را به سمت این ماده ببرد. در واقع، یکی از مهندسان ارشد Enphase سال گذشته در جلسه‌ای با سرمایه‌گذاران پیش‌بینی دقیق‌تری در باره داشت. او گفته بود با آمدن گالیوم نیترید پایان راه سیلیکون رقم خواهد خورد.

شرکت‌هایی که قطعات WBG تولید می‌کنند، تا حد زیادی از گزند کمبود تراشه که تحت تاثیر مشکلات زنجیره تامین سیلیکون به وجود آمده، در امان بوده‌اند. تولید سیلیکون کاربید و گالیوم نیترید حتی پیش از آغاز همه‌گیری جهانی ویروس کرونا شدت گرفته بود و شرکت‌های مختلف قراردادهای متعددی را برای تامین این قطعات امضا کرده بودند.

بحران کمبود سیلیکون حالا به سازندگان نیمه‌رساناهای WBG کمک کرده است. خریداران تراشه که از چالش‌های تامین سیلیکون خسته شده‌اند، توافق‌های دراز مدتی را امضا کرده‌اند تا در آینده از بروز مشکلات مشابه در تامین این قطعات در امان بمانند.



فناوری‌های جانشین سیلیکون در آینده

با وجود این که شرکت‌های زیادی به استفاده از سیلیکون کاربید و گالیوم نیترید متمایل شده‌اند، محققان در حال توسعه مواد WBG جدیدی هستند که توان قطعات الکترونیک قدرت را افزایش خواهند داد. «ماساتاکا هیگاشیواکی»، محقق موسسه ملی اطلاعات و فناوری ارتباطات ژاپن در سال ۲۰۱۲ از ترانزیستور پرپتانسیلی رونمایی کرد که از گالیوم اکسید ساخته شده بود.

نوار ممنوعه گالیوم اکسید بسیار بیشتر از سیلیکون کاربید و گالیوم نیترید است. قطعات که با این ماده ساخته می‌شوند، نسبت به سیلیکون، سیلیکون کاربید و گالیوم نیترید هدررفت انرژی خیلی کمتری خواهند داشت و در نتیجه بهره‌وری بیشتری ارائه می‌کنند.

دانشمندان تاکنون پیشرفت‌های زیادی در زمینه توسعه این نیمه‌رسانا داشته‌اند. دکتر هیگاشیواکی انتظار دارد که این ماده در یک دهه آینده در محصولاتی مثل اینورترهای کشنده‌ی خودروهای برقی به کار گرفته شود و بتوانیم آن‌ها را در بازار ببینیم.

با این حال، نوآوری همواره ادامه دارد و محققان از احتمال استفاده از یک ماده بهتر در آینده خبر می‌دهند. خانم ترودک می‌گوید: «الماس بهترین ماده از نظر پهنای نوار ممنوعه است.» با این وجود، احتمالا زمان زیادی طول می‌کشد تا پژوهشگران بتوانند این ماده بسیار گران قیمت را در قطعات الکترونیکی به کار بگیرند.

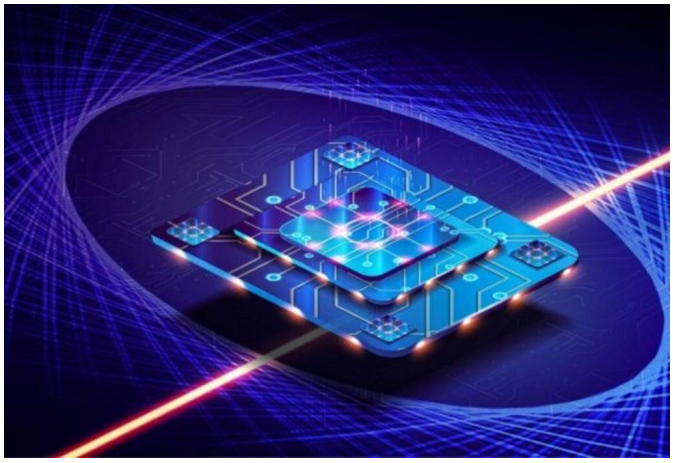
دانشمندان توانسته اند ماده نیمه رسانای جدیدی را کشف کنند که می تواند در آینده نزدیک جایگزین سیلیکون شود. با کشف این ماده نیمه رسانا که در تولید ترانزیستورهای بر پایه سیلیکون به کار می رفت؛ تکنولوژی نوینی در ساخت ترانزیستورها ایجاد خواهد شد و باید منتظر تغییرات خوبی در ابعاد و سرعت ترانزیستورها باشیم. در دو سال اخیر تولیدکنندگان و مراکز تحقیقاتی مختلفی بر روی ساخت و تولید این نیمه رسانا تلاش و تحقیق کرده اند و حاصل این تحقیقات اکنون به نتیجه رسیده است.

سیلیکون دارای ویژگی های بسیاری است که آن را جزو بهترین و ایده آل ترین مواد نیمه رسانا قرار داده است. هم چنین این ماده به وفور بر روی زمین یافت می شود. هنگامی که در معرض اکسیژن قرار می گیرد، یک لایه دی اکسید سیلیکون بر روی آن ایجاد می شود و هم چنین تولید یک مدار نیمه هادی می کند که به نوبه خود به عنوان یک عایق عمل خواهد کرد.

در حال حاضر دانشمندان دانشگاه استنفورد دو ماده نیمه هادی را پیدا کرده‌اند، اسم این نیمه هادی ها عبارتند از hafnium dislenide و zirconium diselenide. این دو نیمه هادی بسیار به سیلیکون شبیه هستند. البته باید گفت این دو نیمه هادی نه تنها به سیلیکون بسیار شباهت دارند، بلکه بزرگترین مسایلی که سیلیکون دارد را نیز حل خواهند کرد. این دو نیمه هادی می توانند نازک تر از سیلیکون تولید شوند. با توجه به ماهیت دی الکتریک بالای K، محققان توانسته اند مدارهای کاربردی را با این مواد تشکیل دهند که در ساخت آن فقط سه اتم استفاده شده و به همین دلیل ضخامت زیادی هم ندارند. در نتیجه این امر، آنها نیاز به انرژی کمتری دارند و لازم نیست زود به زود تعویض شوند. در کل باید گفت نیمه هادی ها کارآمد تر از همتایان خود بر پایه سیلیکون هستند.

اریک پاپ، یکی از محققان این مطالعه معتقد است: "البته سیلیکون به صورت کلی از تولیدات حذف نخواهد شد. اما برای مصرف کنندگان، نیمه های جدید می توانند عمر باتری بسیار طولانی تر و عملکرد بسیار پیچیده تر و البته قوی تری داشته باشند، البته نظریه ای وجود دارد که می گوید اگر این نیمه هادی های جدید بتوانند با سیلیکون ادغام شوند، نتیجه بهتری هم خواهد داشت. "

البته چنین حالتی یعنی ادغام نیمه هادی های جدید و سیلیکون به نظر می رسد که فوق العاده باشد ولی تاکنون چنین آزمایشاتی رسما انجام نشده است. البته این اولین بار نیست که محققان در هادی جایگزین سیلیکون بررسی و تحقیق می کنند و پیش از این نیز تحقیقاتی در این زمینه انجام شده است. ولی وقتی که ترانزیستورها کوچکتر می شوند، تأثیرات تونل زنی کوانتومی ده برابر می شود، بنابراین این تکنولوژی می تواند به عنوان یک موضوع مهم مورد توجه محققان باشد و شاید دلایل بسیاری وجود دارد که محققان این تحقیقات را به شدت و جدیت دنبال می کنند.



این ترانزیستورها می‌توانند جایگزین بالقوه برای فناوری سیلیکون باشند

در این فناوری جدید، ترانزیستورها می‌توانند برای دستیابی به عملکرد بالا در ولتاژ پایین در یک ناحیه نانومقیاس، مکانیک کوانتومی را مهار کنند. همچنین اندازه کوچک این ترانزیستورها راه را برای عصر جدیدی از الکترونیک فوق متراکم، با کارایی بالا و کم‌مصرف هموار می‌کند.

ترانزیستورهای سیلیکونی به‌عنوان سوئیچ‌های الکترونیکی عمل می‌کنند. یک اعمال ولتاژ ساده باعث تغییر حالت چشمگیر در ترانزیستور، از خاموش به روشن می‌شود. این حالت روشن/خاموش نشان‌دهنده ارقام باینری است که محاسبات را ممکن می‌سازد.

بازده یک ترانزیستور به شیب سوئیچینگ آن مرتبط است. شیب تندتر به طور مستقیم با مصرف انرژی کمتر ارتباط دارد. این بدان معنی است که ترانزیستور را می‌توان به‌سرعت روشن و خاموش کرد که در نتیجه باعث می‌شود به زمان کمتر و در نتیجه انرژی کمتری نیاز داشته باشد.

بااین‌حال، یک محدودیت اساسی به نام بولتزمن، حداقل ولتاژ موردنیاز برای عملکرد ترانزیستور در دمای اتاق را تحمیل می‌کند. این حد عموماً در ترانزیستورهای سیلیکونی یافت می‌شود. برای غلبه بر این محدودیت، ترانزیستورهای جدید ساخته شده توسط MIT از مواد نیمه‌هادی فوق نازک و مکانیک کوانتومی برای دستیابی به عملکرد بالا در ولتاژ پایین استفاده می‌کنند.

محققان از مواد نیمه‌هادی گالیم آنتی مونید و آرسنید ایندیم برای این کار استفاده کردند. همچنین محققان اصول تونل‌زنی کوانتومی را در معماری دستگاه خود گنجانده‌اند. در این پدیده، الکترون‌ها می‌توانند به موانع بالقوه نفوذ کنند.

لیزرهای مجتمع برپایه لیتیم نیوبایت

عمران زاده اسماعیل - دانشجوی کارشناسی ارشد فوتونیک/دانشگاه تبریز

لایه نازک لیتیوم نیوبات (LN) به عنوان یک پلت فرم فوتونیک یکپارچه به دلیل ویژگی های فوتوالکتریک غنی و عالی که بر اساس آن دستگاه های فوتونیکی عملکردی مختلف مانند مدولاتورهای الکترواپتیک و مبدل های طول موج غیرخطی با عملکرد چشمگیر نشان داده شده اند، بسیار مورد توجه قرار گرفته است.

به عنوان بخش مهمی از سیستم فوتونیک یکپارچه، لیزر و تقویت کننده مورد انتظار روی پلت فرم لایه نازک LN اخیراً یک سری پیشرفت ها و پیشرفت های مهم را ایجاد کرده است.

در این مقاله، پیشرفت تحقیقاتی لیزرها بر روی پلت‌فرم‌های لایه نازک لیتیوم نیوبات بررسی می‌شود.

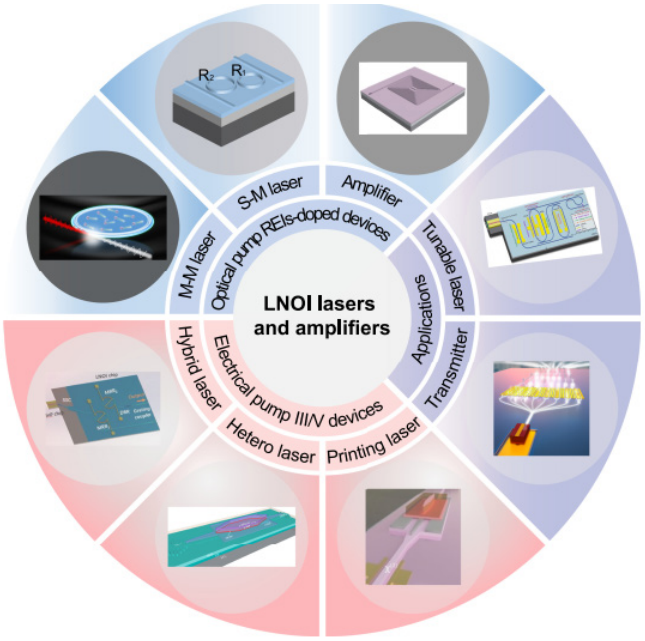
لیتیوم نیوبات (LN) دارای اثرات فیزیکی غنی است، مانند الکترواپتیک، غیرخطی، فتورفراکتیو، پیزوالکتریک، پیروالکتریک و پنجره شفاف گسترده (۰/۳۵ تا ۵ میکرومتر) و بنابراین از دهه ۱۹۶۰ توجه زیادی را به خود جلب کرده است.

خوشبختانه، LN بر روی عایق (LNOI) تهیه شده توسط فرآیند برش هوشمند با موفقیت در دو دهه گذشته توسعه یافته است، که باعث می شود موجبرهای نوری مبتنی بر LNOI دارای اندازه مد کوچک (تقریبا ۱ میکرومتر مربع) و کنتراست با ضریب شکست بالا (حدود ۰/۷) باشن که انقلابی در تحقیقات در زمینه فوتونیک یکپارچه‌است.

ریزحفره‌های مبتنی بر یک پلت فرم LNOI با ضریب کیفیت بالا (۱۰۷ تا ۱۰۸) و موجبر با تلفات انتقال کم (۰/۰۲۷ dB/cm) با موفقیت نشان داده شده‌اند.

علاوه بر این، به دلیل ضریب الکترواپتیک عالی LN و همپوشانی میدان مد قوی بین میدان الکتریکی و مد نوری ارائه شده توسط پلت فرم LNOI، مدولاتورهای الکترواپتیکی با ولتاژهای محرک سازگار با CMOS و پهنای باند ۳ دسی بل تا ۱۰۰ گیگاهرتز در LNOI تحقق یافت.

لیزرها و تقویت کننده‌های فوتونیک یکپارچه LNOI نیز می‌توانند با ادغام هیبریدی لیزرهای نیمه‌رسانای تجاری یا تقویت کننده‌ها یا ادغام ناهمگن مواد بهره III-V با طرح پمپاژ الکتریکی محقق شوند.



پارامترهای مهم برای مشخص کردن میکرولیزرها

قبل از معرفی پیشرفت تحقیقاتی میکرولیزرها بر اساس LNOI دوپ شده با REI، برخی از پارامترهای مهم برای توصیف عملکرد میکرولیزر را مورد بحث قرار می‌دهیم.

آستانه‌لیزر

آستانه لیزر زمانی به توان پمپ اشاره دارد که گین ارائه شده توسط محیط گین فقط با از دست دادن حفره لیزر برابر باشد.

توان آستانه پمپ (Pth) لیزر ریزحفره‌ای WGM را می توان تقریباً به این صورت بیان کرد که nl و Ql به ترتیب به ضریب شکست مؤثر و ضریب کیفیت مد سیگنال لیزر مربوطه اشاره می کنند.

$$P_{th} \approx \frac{2\pi n_l hcV_p}{\lambda_l \lambda_p Q_l \eta \sigma_{em} \tau} \qquad (1)$$

λl و λp به ترتیب طول موج سیگنال و پمپ را نشان می دهند.

Vp حجم مد پمپ است و η بازده پمپ است.

h و c به ترتیب به ثابت پلانک و سرعت نور در خلا اشاره دارند.

σem و τ به ترتیب با سطح مقطع انتشار تحریک شده و طول عمر فلورسانس یون های افزایش مطابقت دارند.

همانطور که از معادله (۱) مشاهده می شود برای یک محیط گین معین، برای به دست آوردن آستانه لیزر پایین، راه موثر برای کاهش آستانه لیزر، بهبود راندمان پمپاژ، افزایش مقدار Q تشدید کننده و کاهش حجم مد است که یک مزیت قابل توجه انجام تحقیقات لیزری بر اساس تشدیدگرهای WGM است.

به طور خاص، Q بالا را می توان با بهبود فناوری پردازش به دست آورد.

به عنوان مثال، حداکثر مقدار Q یک حفره LNOI WGM تا ۱۰۸ بر اساس تهیه بدون یون لایه نازک LN نشان داده شده است که نزدیک به حد بالایی جذب ذاتی LN بالک است و پتانسیل زیادی را در استفاده از لیزرهای آستانه بسیار کم نشان میدهد.

حجم مد را می توان با کاهش اندازه یا ضخامت حفره تشدید کاهش داد.

با این حال، باید توجه داشت که قطر یا ضخامت خیلی کوچک ممکن است منجر به افزایش افت تابشی حفره تشدید شود و تعادل بین Q و V باید در تحقیقات واقعی در نظر گرفته شود تا حداکثر مقدار Q/V به دست آید.

علاوه بر این، بهینه سازی راندمان پمپاژ شامل عوامل عمده ای مانند اتصال بین فیبر مخروطی (یا موجبر) و تشدید کننده، همپوشانی حالت پمپ و حالت سیگنال در محیط بهره و همچنین جذب محیط بهره به پمپ است.

راندمان تبدیل و حداکثر توان خروجی لیزر

راندمان تبدیل لیزر به نرخ تغییر توان سیگنال تولید شده نسبت به توان پمپ در مرحله کار بالای آستانه لیزر اشاره دارد که نشان دهنده راندمان تبدیل از پمپ به سیگنال در طول عملیات لیزر است.

در عین حال بدیهی است که حداکثر توان خروجی لیزر به حداکثر توانی اطلاق می شود که می توان در هنگام کار لیزر به دست آورد که می تواند سطح توان موجود لیزر را برای کارهای بعدی منعکس کند.

برای بهینه سازی این دو پارامتر، استخراج سیگنال لیزری نیز باید بهینه شود.

به عبارت دیگر، راندمان پمپ بالا و راندمان استخراج سیگنال باید به طور همزمان تضمین شود.

با این حال، از آنجایی که پمپ و سیگنال در باندهای مختلف هستند، حالت جفت (کوپل) بین یک فیبر مخروطی یا موجبر مستقیم و یک تشدیدگر ناسازگار است.

به طور کلی، حداکثر توان خروجی لیزر زمانی مشاهده می شود که نور پمپ در آزمایش بیش از حد کوپل شده باشد.

برای تحقق راندمان تبدیل بالا و آستانه پایین، اغلب لازم است یک جفت باند پهن (broadband coupling) طراحی شود تا نیازهای پمپ کارآمد و استخراج سیگنال را برآورده کند.

علاوه بر این، متفاوت از بهینه سازی آستانه لیزر، اندازه تشدید کننده یا طول حفره بزرگ برای بهبود انباشت گین برای به دست آوردن یک خروجی لیزر شدید مورد نیاز است.

پهنای خط لیزر

پهنای خط لیزر معمولا به عرض کامل در نیمه ارتفاع حالت سیگنال در طیف لیزر اشاره دارد که یک پارامتر مهم منعکس کننده انسجام و نویز لیزر است.

با توجه به فرمول Haken-Lax-Scully ، پهنای خط لیزر ساطع شده در بالای آستانه را می توان به صورت بیان کرد.

$$\delta\nu = \frac{\pi h\nu(\Delta\nu)^2}{P} = \frac{\pi h\nu^3}{PQ^2} \qquad (2)$$

که در آن h ثابت پلانک است، v و P به ترتیب فرکانس و توان منتشر شده لیزر، و Δv عرض خط حالت حفره است.

افزایش ضریب کیفیت تشدید کننده و توان خروجی روشی موثر برای کاهش پهنای خط لیزر است.

بحث در مورد سایر عوامل موثر بر عملکرد لیزر، مانند غلظت دوپینگ، را می توان در بررسی قبلی در مورد لیزرهای میکروکاویتی WGM یافت.

سپس پیشرفت تحقیقاتی لیزرهای میکرودیسک چند حالته، لیزرهای میکرورینگ چند حالته و میکرولیزرهای تک حالته مبتنی بر پلتفرم REI doped-LNOI در بخش‌های زیر معرفی می‌شود.

لیزرها و تقویت کننده های اپتیکالی پمپ شده

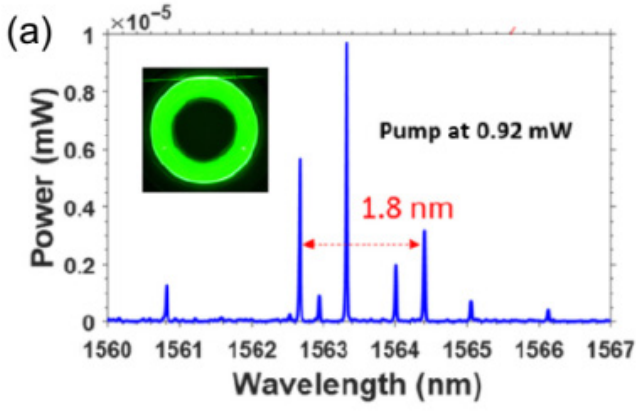
- لیزر هایی با دوپینگ یون کمیاب مبتنی بر پلتفرم‌های LNOI
- لیزرهای ریز حفره Whispering بر اساس LNOI دوپ شده REI

کارهای انجام شده

به طور مثال wang و همکاران (۲۰۲۱) یک لیزر LNOI دوپ شده با اربیوم بر اساس یک میکرودیسک با قطر ۲۰۰ میکرومتر ساخته شده بر روی یک تراشه دوپ شده با اربیوم با غلظت دوپینگ ۱ درصد توسط فرآیند PLACE گزارش داد.

فاکتور Q با روش طیف انتقال اسکن $۱/۸ \times ۱۰^{۶}$ در ۱۵۶۳ نانومتر اندازه گیری شد.

سیگنال لیزر ساطع شده در باند ۱۵۶۰ نانومتری و فلورسانس تبدیل قوی سبز-آبی همراه با آن در زیر پمپ لیزر ۹۷۶ نانومتری مشاهده شد، همانطور که در شکل ۱ نشان داده شده است.

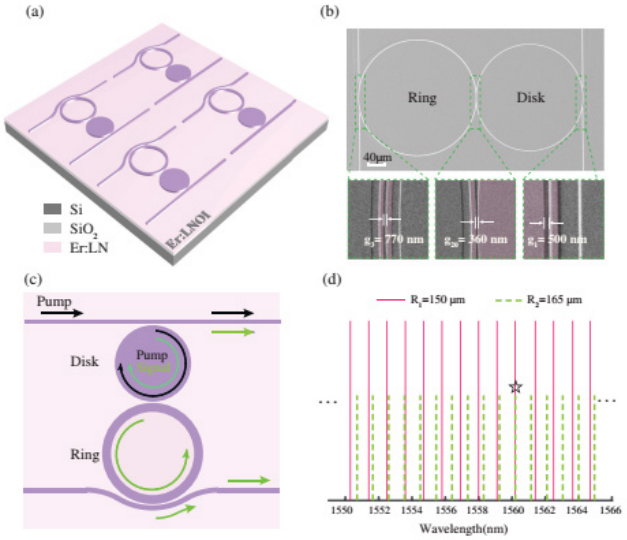


شکل ۱

آستانه سیگنال لیزر کمتر از ۴۰۰ میکروواتبود، و راندمان تبدیل با برازش داده‌های قدرت سیگنال $۱/۹۲ * ۱۰^{-۴}$ استنباط شد.

علاوه بر این، شیفت آبی (شیفت قرمز) طول موج سیگنال در توان پمپ کمتر (بالاتر) با نرخ منفی ۱۷/۰۳ pm/mW (۱۰/۵۸ pm/mW) مشاهده‌شد.

همچنین در کار xiangmin و همکاران (۲۰۲۱) یک لیزر تک حالته یکپارچه که با اربیوم دوپ شده را با استفاده از یک میکرودیسک کوپل شده و میکرورینگ در LNOI در شکل ۲ نشان داده شده است.



شکل ۲

WGSML در ۱۵۶۰/۴۰ نانومتر با حداکثر ۳۱/۴ dB نسبت سرکوب حالت جانبی (SMSR) به دست آمده است.

با تنظیم دما، توان خروجی WGSML افزایش می یابد و طول موج مرکزی را می توان از ۱۵۶۰/۳۰ به ۱۵۶۰/۴۰ نانومتر تغییر داد.

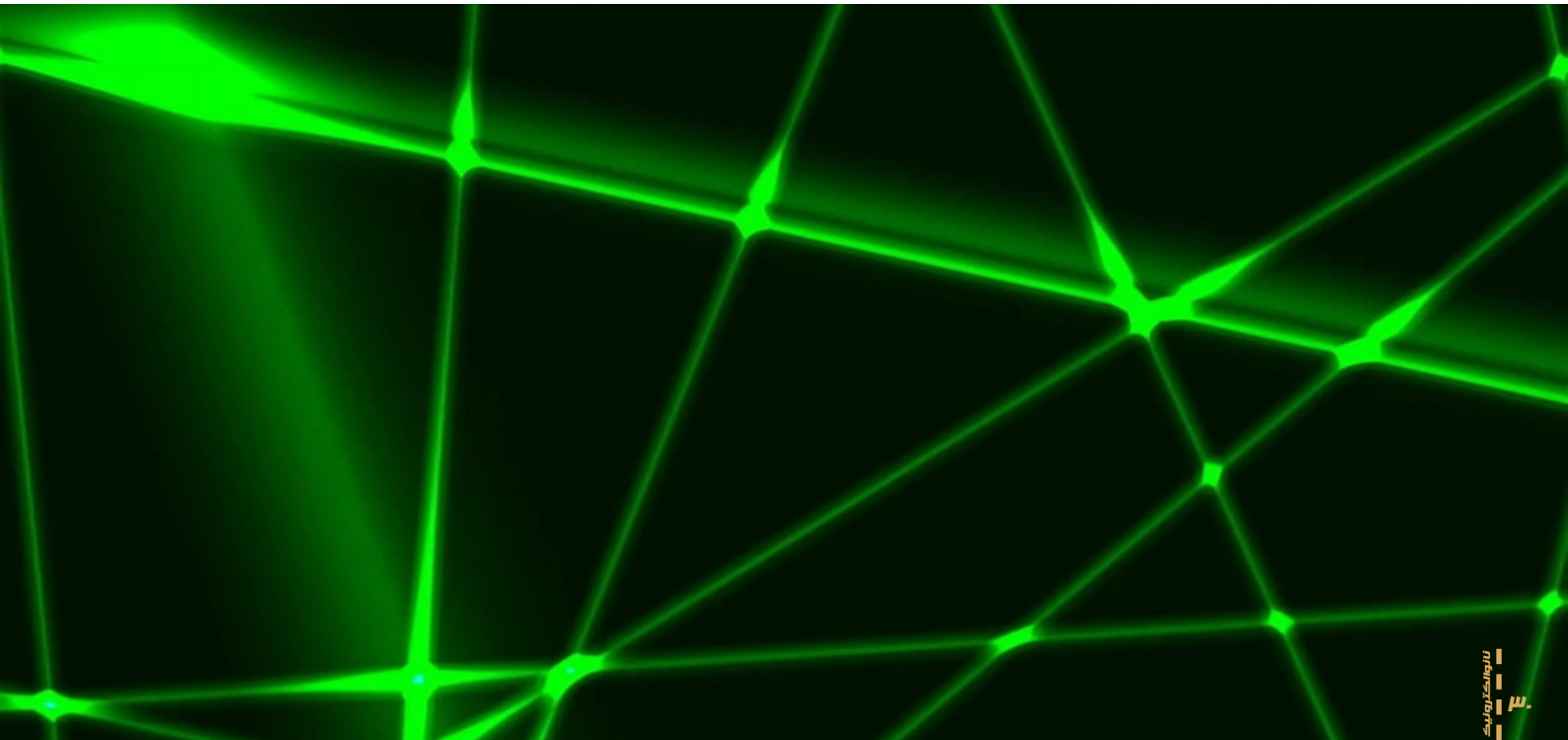
توان آستانه پمپ WGSML حدود ۱/۳۱ میلی وات بود.

نتیجه‌گیری

در این مقاله پیشرفت‌های تحقیقاتی در زمینه میکرودیسک‌ها، میکروحلقه‌ها و لیزرهای تک‌مدی روی پلتفرم LNOI آلایش‌یافته با عناصر خاکی کمیاب معرفی شد. همچنین، تحقیقات مربوط به تقویت‌کننده‌های مبتنی بر LNOI آلایش‌یافته با عناصر خاکی کمیاب نیز مرور شد. محدودیت‌ها و راهکارهای بهبود لیزرها و تقویت‌کننده‌های پمپاژ نوری نیز مورد بحث قرار گرفت. توسعه سریع انواع مختلف دستگاه‌های فوتونیکی در پلتفرم‌های لایه نازک LN ، تحقق منابع نوری روی تراشه بدون شک منجر به دستیابی به سطح بالایی از یکپارچگی در این پلتفرم خواهد شد. همچنین، آشکارسازهای مبتنی بر سیلیکون، فسفر و نانوسیم‌های ابررسانا در پلتفرم LNOI اثبات شده‌اند که نشان‌دهنده امکان‌پذیری آشکارسازهای فوتونی یکپارچه است. علاوه بر این، تجربیات مربوط به یکپارچه‌سازی ناهمگن آشکارسازهای فوتونی III-V در فوتونیک مبتنی بر سیلیکون نیز می‌تواند به پلتفرم‌های لایه نازک LN انتقال یابد و به دستیابی به پهنای باند بالای آشکارسازها منجر شود.

منابع

1. Luo, Qiang & Bo, Fang & Kong, Yongfa & Zhang, Guoquan & Xu, Jingjun. (2023). Advances in lithium niobate thin-film lasers and amplifiers: a review. Advanced Photonics. 5. 10.1117/1.AP.5.3.034002.
2. Z. Wang et al., “On-chip tunable microdisk laser fabricated on Er3þ-doped lithium niobate on insulator,” Opt. Lett. 46(2), 380 (2021).
3. Xiangmin Liu, Xiongshuo Yan, Yi’an Liu, Hao Li, Yuping Chen, and Xianfeng Chen, “Tunable single-mode laser on thin film lithium niobate,” Opt. Lett. 46, 5505-5508 (2021)



معرفی کتاب اصول لیزر اوراسیو سوولتو (ویراست چهارم)

سارا واصفی - دانشجوی کارشناسی فیزیک مهندسی/دانشگاه تبریز



معرفی

کتاب اصول لیزر اثر اوراسیو سوولتو یکی از منابع اصلی و جامع در زمینه لیزرها و اپتیک کوانتومی است. این کتاب به طور گسترده در دانشگاه ها و مراکز تحقیقاتی سراسر جهان به عنوان یک مرجع مورد استفاده قرار میگیرد. ویرایش های متعددی از این کتاب به روز شده و بهبود یافته اند.

ویژگی های کتاب

* کتاب اصول لیزر تقریبا تمامی جنبه های فیزیکی و فنی لیزرها را پوشش میدهد. از اصول پایه اپتیک کوانتومی و برهمکنش نور و ماده گرفته تا انواع مختلف لیزرها، طراحی و کاربردهای لیزر، همه در این کتاب به تفصیل مورد بحث قرار گرفته اند.
* سوولتو یک فیزیکدان برجسته بود و کتاب او به دلیل دقت و صحت علمی اش شناخته میشود. مفاهیم به طور دقیق تعریف شده اند و توضیحات با استفاده از معادلات ریاضی و مدل های فیزیکی پشتیبانی میشوند.
* با وجود حجم زیاد مطالب و پیچیدگی برخی از مفاهیم سوولتو توانسته است مطالب را به شکلی واضح و قابل فهم ارائه دهد. او از مثال های متعدد و نمودارهای گویا برای توضیح مفاهیم استفاده میکند.
* ویرایش های جدید کتاب اصول لیزر همواره با آخرین پیشرفت ها در زمینه لیزرها و اپتیک کوانتومی به روز شده اند. این امر باعث شده است که این کتاب همچنان یک منبع معتبر و ارزشمند برای دانشجویان، محققان و مهندسان باشد.

مباحث کتاب اصول لیزر

* مفاهیم مقدماتی
* برهمکنش تابش با اتم ها و یون ها
* ترازهای انرژی، گذارهای تابشی و غیرتابشی درمولکول ها و نیمه رساناها
* پرتو و انتشار موج از محیط اپتیکی
* تشدیدگرهای اپتیکی انفعالی
* فرایندهای دمش
* رفتار لیزر پیوسته موج
* رفتار گذرای لیزر
* لیزرهای حالت جامد، رزینه ای و نیمه رسانا
* لیزرهای گازی، شیمیایی، الکترون آزاد و پرتو ایکس
* ویژگی های باریکه های لیزر
* تبدیل باریکهٔ لیزر: انتشار، تقویت، تبدیل بسامد، تراکم تپ و انبساط تپ

محتوای اصلی کتاب

* هدف اصلی کتاب توصیف وسیع و منسجم رفتار لیزر در ساده ترین سطح و سازگار با فهم فیزیکی صحیح است. سازماندهی اساسی بر پایه این تفکر آغاز شده است که لیزر از سه جز تشکیل میشود، محیط فعال، تشدیدگر و سیستم دمش.

۱. در فصل دوم کتاب گسیل خودبه خود تقویت شده به طور مفصل تشریح شده است و روش ساده شده جدید این پدیده برای هر دو خط همگن و ناهمگن معرفی شده است.



۲. فصل سوم کتاب به برهمکنش تابش با محیط های نیمه رسانا، به صورت کپه ای و یا به صورت ساختار محدود شده کوانتومی (چاه کوانتومی، سیم کوانتومی و نقطه کوانتومی) اختصاص داده شده است.

۳. در فصل پنج کتاب نظریه جدید تشدیدگرهای پایدار و ناپایدار معرفی شده است و همچنین عناوین جدید در دینامیک تشدیدگرهای پایدار و ناپایدار، با آینه هایی که دارای نیمرخ های بازتابندگی عرضی به صورت گاوسی و یا اَبَرگاوسی هستند، مورد بررسی قرار میگیرد.

۴. در فصل ششم کتاب لیزر های حالت جامد با دمش دیودی، هم به صورت دمش طولی و هم به صورت دمش عرضی، یکجا معرفی و با آرایش های دمش لامپی متناظر با آن مقایسه شده اند.

۵. در فصل هفتم، معادلات آهنگ وابسته به مکان، هم برای لیزرهای چهارترازی و هم برای لیزرهای شبه سه ترازی معرفی شده و مفاهیم ضمنی آنها برای دمش طولی و عرضی مورد بحث قرار گرفته است.

۶. در فصل هشتم، قفل شدگی مُد لیزر به طور مفصل تر مورد بررسی قرار گرفته است تا روش های جدید قفل شدگی مد را توضیح دهد. در مورد اثرات به وجود آمده توسط پاشندگی مرتبه دوم و مرتبه سوم کاواک لیزر و مسئله جبران سازی پاشندگی، برای دستیابی به تپ های با کوتاه ترین مدت زمانی نیز بحث شده است.

۷. در فصل نهم کتاب، لیزرهای جدید کوکپذیر حالت جامد و و لیزرهای جدید نادر، و همچنین لیزر های نیمه رسانا و طرز کار آن ها مورد بررسی قرار گرفتند.

۸. فصل های ۱۱ و ۱۲ کتاب درمورد خواص واگرایی باریکه لیزر چندمُدی و انتشار آن از یک سیستم اپتیکی، و همچنین درمورد ایجاد باریکه های لیزری با شدت قله بسیار بالا و تکنیک تقویت تپ جیرجیره ای و تکنیک های وابسته انبساط تپ و تراکم تپ بحث کرده است.

مخاطبان

کتاب اصول لیزر برای دانشجویان سال آخر دورهٔ کارشناسی یا سال اول کارشناسی ارشد و در رشته های فیزیک، مهندسی برق، و مهندسی فوتونیک مناسب است. همچنین، این کتاب میتواند به عنوان یک منبع مرجع ارزشمند برای محققان و مهندسان فعال در زمینه لیزرها و اپتیک کوانتومی مورد استفاده قرار گیرد.

اگر مقصود خواننده، فراگیری اصول فیزیک لیزر مورد نظرش باشد، تاکید بر تمرکز وی روی بخش اول کتاب (فصل های ۲ تا ۸ و فصل ۱۱) خواهد بود. ولی اگر خواننده بیشتر به اصول مهندسی لیزر علاقه مند است، روی بخش دوم کتاب (فصل های ۵ تا ۱۲) باید متمرکز شود.

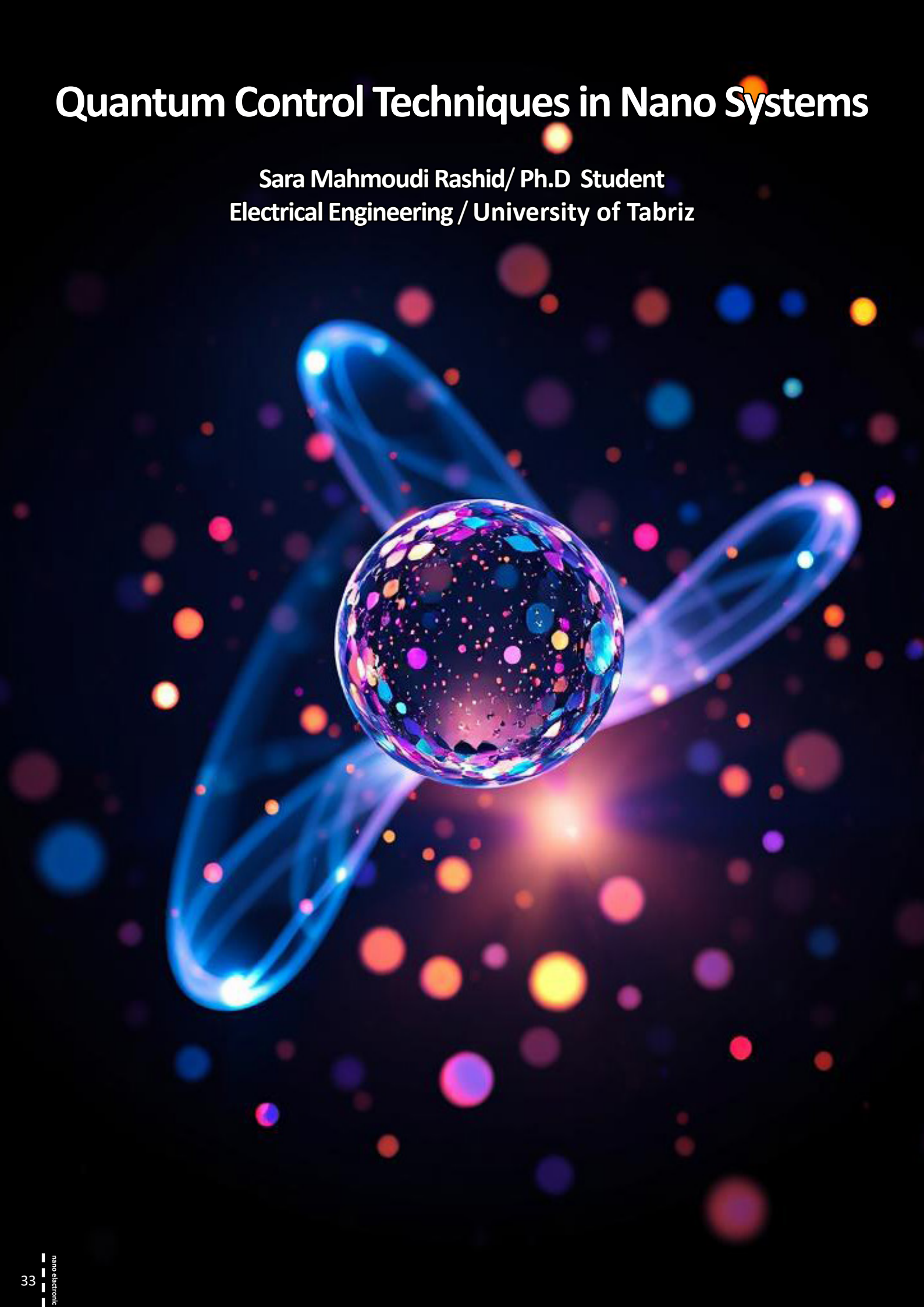
منابع

۱.کتاب اصول لیزر، اثر اوراسیو سوولتو ویراست چهارم

2.https://link.springer.com/book/10.1007/978-1-4419-1302-9

Quantum Control Techniques in Nano Systems

Sara Mahmoudi Rashid/ Ph.D Student
Electrical Engineering / University of Tabriz



Abstract

Quantum control techniques have emerged as a critical component in the development of nanoelectronic systems, enabling precise manipulation of quantum states for applications in quantum computing, sensing, and communication. This paper explores state-of-the-art methodologies in quantum control, including optimal control theory, reinforcement learning-based strategies, and feedback mechanisms tailored for nanoscale systems. The challenges of decoherence, noise resilience, and scalability are examined, along with potential solutions leveraging advanced mathematical frameworks. A comparative analysis of different control strategies highlights their effectiveness in various nanoelectronic applications. The review also provides insights into emerging trends and future research directions in quantum control for nano systems.

1. Introduction

The advent of quantum technologies has revolutionized the field of nanoelectronics, where quantum control plays a pivotal role in achieving high-precision operations. Traditional control methods fall short in addressing the quantum nature of nanosystems, necessitating specialized approaches such as Lyapunov control, quantum feedback control, and machine learning-enhanced strategies. Recent advancements in quantum computing, quantum cryptography, and quantum sensing further underscore the necessity for robust and efficient quantum control mechanisms. This paper provides a comprehensive review of recent advancements in quantum control techniques and their practical implications in nanoelectronics, along with a discussion on potential challenges and solutions.

2. Fundamental Principles of Quantum Control

Quantum control involves the application of external fields or interactions to manipulate quantum states within a predefined objective [1]. The primary frameworks used in quantum control include:

- Hamiltonian Engineering: Adjusting system parameters to achieve desired quantum evolution by precisely tuning interactions between quantum particles.
- Optimal Control Theory: Utilizing Pontryagin's Maximum Principle and dynamic programming for trajectory optimization, ensuring maximal efficiency in quantum state transitions.
- Quantum Feedback Control: Implementing real-time adjustments based on continuous quantum measurements to stabilize and correct quantum states.
- Machine Learning-Based Control: Employing deep reinforcement learning and neural networks for adaptive quantum state manipulation, enabling robust performance in dynamic quantum environments.

3. Key Challenges in Quantum Control of Nano Systems

Despite the theoretical advancements, implementing quantum control in nanoscale devices presents significant challenges [2]:

- Decoherence and Noise: Quantum states are highly susceptible to environmental interactions, leading to loss of coherence and degradation of quantum information.
- Measurement Limitations: Observing quantum states without perturbing them is a fundamental challenge, requiring advanced weak measurement techniques and quantum non-demolition measurements.
- Scalability Issues: Extending quantum control methods to large-scale quantum circuits remains a critical concern, necessitating the development of modular quantum architectures.
- Hardware Limitations: Current fabrication technologies introduce imperfections that affect quantum control precision, necessitating error mitigation techniques and fault-tolerant designs.

4. Advanced Quantum Control Strategies

To address these challenges, several advanced techniques have been developed [3]:

4.1 Lyapunov-Based Quantum Control

Lyapunov control methods ensure stability and convergence of quantum states, particularly useful for quantum gate operations in nanoelectronic circuits. By designing a suitable Lyapunov function, quantum systems can be guided towards a desired state while minimizing the effects of external perturbations. Recent research explores the integration of Lyapunov control with machine learning to enhance robustness against noise and uncertainties.

4.2 Quantum Reinforcement Learning

Machine learning techniques, particularly reinforcement learning, have been employed to design adaptive control policies that optimize quantum state transitions while mitigating noise effects. Reinforcement learning algorithms can discover control sequences that maximize fidelity and robustness against uncertainties in quantum systems. Hybrid quantum-classical reinforcement learning is emerging as a promising direction for real-time optimization of quantum controllers.



4.3 Robust Control and Fault-Tolerant Mechanisms

Robust quantum control frameworks incorporate techniques such as H-infinity control and Bayesian estimation to enhance fault tolerance in nanoscale quantum devices. These approaches help in stabilizing quantum systems under fluctuating external conditions and intrinsic noise. Fault-tolerant quantum control plays a crucial role in the development of reliable quantum processors and communication networks.

4.4 Stochastic Quantum Control

Stochastic control strategies integrate probabilistic models to account for uncertainties in quantum systems. Markov decision processes and stochastic differential equations play a crucial role in designing resilient quantum controllers that can adapt to dynamic environments. Research in this domain focuses on combining stochastic control with quantum error correction methods to mitigate decoherence effects.

4.5 Hybrid Quantum-Classical Control

A promising direction is the integration of classical control techniques with quantum algorithms, creating hybrid control frameworks. Classical controllers can be used for error mitigation and initial state preparation, while quantum controllers refine state evolution through precise gate manipulations. The synergy between classical and quantum control has the potential to improve the scalability and efficiency of quantum technologies.

5. Applications in Nanoelectronics

Quantum control techniques are instrumental in various nanoelectronic applications [4]:

- Quantum Computing: Enhancing fidelity of quantum gate operations and error correction, ensuring scalable quantum computation architectures.
- Quantum Sensing: Improving sensitivity and precision in nano-scale quantum sensors, leading to advancements in biomedical imaging and environmental monitoring.
- Quantum Communication: Enabling secure transmission of information via quantum cryptographic protocols, strengthening cybersecurity frameworks.
- Nanoelectromechanical Systems (NEMS): Controlling mechanical motion at the quantum level for ultra-sensitive detection systems, facilitating breakthroughs in nanorobotics and bio-nano interfaces.
- Quantum Dots and Single-Electron Devices: Precise manipulation of electron states for applications in nanoelectronic memory, logic devices, and quantum dot-based transistors.

6. Future Directions

Future research in quantum control for nano systems should focus on [5]:





- Hybrid Control Approaches: Integrating classical and quantum control techniques to improve robustness and scalability.
- Scalability Enhancements: Developing new architectures for large-scale quantum computing applications, emphasizing modular design principles.
- Noise-Resilient Quantum Controllers: Employing advanced filtering techniques such as Kalman filtering and stochastic control for improved decoherence management.
- Hardware-Aware Control Strategies: Designing control protocols that consider real-world fabrication imperfections and hardware constraints, ensuring practical feasibility.
- Quantum Control for Bio-Nano Interfaces: Exploring applications in quantum-assisted drug delivery, bioelectronics, and nanoscale medical imaging.
- Quantum Error Mitigation Techniques: Implementing novel error correction strategies tailored for nanoscale quantum devices, enhancing quantum information processing reliability.
- Topological Quantum Control: Utilizing topological protection mechanisms to enhance quantum state robustness against environmental noise, paving the way for fault-tolerant quantum computing.
- Integration with Quantum Machine Learning: Combining quantum control with quantum-enhanced machine learning algorithms to optimize nanoelectronic device performance, enabling adaptive quantum technologies.

7. Conclusion

Quantum control techniques are indispensable for the advancement of nanoelectronics, enabling precise manipulation of quantum states while addressing fundamental challenges such as decoherence and scalability. This paper has provided a detailed review of the latest methodologies in quantum control and their implications for nanoelectronic applications. Continued research and innovation in this domain will drive the future of quantum technologies, fostering the development of scalable, robust, and efficient quantum systems for next-generation nanoelectronic devices.

References

1. Dehaghani, Nahid Binandeh. “Optimal and Robust Quantum Control Strategies for Stability, Fidelity, and Entanglement Enhancement.” (2025).
2. Pacheco, A. Lopez, and J. Aguilar. “Systematic literature review on quantum applications in nanotechnology.” The Journal of Supercomputing 81.1 (2025): 1-26.
3. Recio-Poo, Miguel, et al. “Tuning electronic levels in photoactive hydroxylated titania nanosystems: combining the ligand dipole effect and quantum confinement.” Nanoscale 16.18 (2024): 8975-8985.
4. Hlali, Slah, Adel Kalboussi, and Abdelkader Souifi. “Nanomaterials and Nanoelectronics: Synthesis, Properties, and Applications for Nanotechnology.” (2025).
5. Bahadur, Preeti Singh, et al. Nano Technology: The Future of Innovation. Academic Guru Publishing House, 2024.

1947
University of TABRIZ

انجمن علمی نانوالکترونیک دانشگاه تبریز

Nano electronic

Tabriz University`s Nano electronics Journal

No.4,Winter 2025

