

کاربرد فناوری نانو در صنعت دیودهای نورافشان

ویرایش نخست



ستاد ویژه توسعه فناوری نانو

طراحی و اجرا:	توسعه فناوری مهر و نژن	تلفن:	۰۲۱-۶۳۱۰۰
نظارت:	داود قرایلو	نمابر:	۰۲۱-۶۳۱۰۶۳۱۰
تهیه کننده:	فرزاد حسینی نسب	پایگاه اینترنتی:	www.nano.ir
	epower@nano.ir	صندوق پستی:	۱۴۵۶۵-۳۴۴

۳	مقدمه
۳	تعریف دیود نورافشان
۳	ساختار و نحوه کار دیود نورافشان
۴	دیود نورافشان ارگانیک
۴	کاربرد دیود نورافشان
۴	نمایش سیگنال
۴	تأمین روشنایی
۵	کاربردهای ارتباطی و مخابراتی
۵	لامپ‌های کم‌مصرف
۵	چالش‌های موجود در دیودهای نورافشان
۶	فناوری نانو در دیود نورافشان
۶	تشعشع در نقاط کوانتومی
۷	تحریک نقاط کوانتومی
۸	تولیدکنندگان نقاط کوانتومی
۸	برخی دستاوردها در زمینه استفاده از نقاط کوانتومی در ساخت دیود نورافشان
۹	جمع‌بندی

امروزه فناوری نانو رشد و توسعه قابل توجهی یافته و با ورود به عرصه علوم مختلف، منشأ پیشرفت‌های چشم‌گیری شده است. بسیاری چالش‌ها در عرصه دانش الکترونیک نیز با استفاده از فناوری نانو حل شده و یا قابل حل می‌باشند. در این میان یکی از بخش‌های صنعت الکترونیک که فناوری نانو می‌تواند تأثیر زیادی در آن داشته باشد، بحث طراحی و تولید دیودهای نورافشان است. دیودهای نورافشان یکی از ساختارهای پایه صنعت الکترونیک هستند که در ساخت همه ادوات الکترونیک نوری از چراغ‌های سیگنال ساده گرفته تا نسل جدید و پیشرفته نمایشگرهای تلویزیونی کاربرد دارند. فناوری نانو با حل چالش‌های موجود در زمینه دیود نورافشان می‌تواند زمینه گسترش بیش از پیش آن را در کاربردهای مختلف علمی، صنعتی، مخابراتی و حتی در زندگی روزمره فراهم آورد.

تعریف دیود نورافشان

دیود نورافشان یا LED همان‌طور که از نامش پیداست نوع خاصی از دیود است که قادر است از خود نور ساطع کند. LED همانند یک دیود معمولی دارای خاصیت یک‌سوکنندگی^۱ جریان است، یعنی در صورت اعمال ولتاژ موافق جریان را عبور داده و در صورت اعمال ولتاژ معکوس از عبور جریان جلوگیری می‌کند. وجه تمایز LED و یک دیود معمولی آن است که LED می‌تواند در زمان عبور جریان از خود نور ساطع کند.



» شکل ۱. یک نمونه LED معمولی

ساختار و نحوه کار دیود نورافشان

دیود از قرار گرفتن یک قطعه نیمه‌هادی نوع n ^۲ در کنار یک قطعه نیمه‌هادی نوع p ^۳ تشکیل می‌شود. چنین ساختاری را با عنوان پیوند $p-n$ می‌شناسیم که جزء اولیه و اساسی اکثر ادوات نیمه‌هادی می‌باشد. بعد از اتصال دو قطعه نیمه‌هادی و در حالت تعادل گرمایی^۴ ناحیه‌ای خالی از حامل‌های جریان در محل اتصال شکل می‌گیرد که به آن ناحیه تخلیه^۵ می‌گوییم. وجود این ناحیه تخلیه باعث می‌شود که جریان تنها در یک جهت از دیود عبور کند.

در دیودها در زمان هدایت، حفره‌ها از نیمه‌هادی نوع p و الکترون‌ها از نیمه‌هادی نوع n در محل پیوند با

یکدیگر باز ترکیب می‌شوند و انرژی آزاد می‌کنند. مقدار انرژی آزاد شده برابر شکاف انرژی موجود بین نوار هدایت و نوار ظرفیت نیمه‌هادی مورد استفاده است. در دیودهای عادی شکاف انرژی معمولاً غیر مستقیم است و از همین رو انرژی در قالب ارتعاشات شبکه بلور آزاد می‌شود. ولی در دیودهای نورافشان شکاف انرژی مستقیم است و به همین دلیل انرژی در قالب فوتون آزاد می‌شود. فوتون آزاد شده ممکن است قابل رؤیت باشد و یا در ناحیه فروسرخ یا فرابنفش قرار بگیرد.

دیود نورافشان ارگانیک



شکل ۲. یک دیود نورافشان ارگانیک قابل انعطاف

دیود نورافشان ارگانیک یا OLED نوعی از دیود نورافشان است که در آن، قسمت متشعشع، لایه باریکی از مواد نیمه‌هادی ارگانیک است که در پاسخ به جریان الکتریکی از خود نور ساطع می‌کند. این لایه نیمه‌هادی ارگانیک بین دو الکترود قرار می‌گیرد که حداقل یکی از آن‌ها شفاف است. OLED ها معمولاً در صفحات نمایش رایانه، تلویزیون‌ها، صفحات نمایش دستگاه‌های قابل حمل مثل گوشی‌های تلفن همراه و رایانه‌های همراه مورد استفاده قرار می‌گیرد [۷].

کاربرد دیود نورافشان

نمایش سیگنال

دیودهای نورافشان در مدارهای الکترونیکی برای نمایش وضعیت مدار استفاده می‌شوند. همچنین از کنار هم قرار دادن دیودهای نورافشان می‌توان ساختارهایی مانند نمایشگرهای هفت‌قسمتی و نمایشگرهای ماتریسی ساخت که انعطاف بیشتری برای نمایش اطلاعات دارند. دیودهای نورافشان امروزه به شکل وسیعی در چراغ‌های راهنمایی و چراغ‌های سیگنال خودروها نیز به کار می‌رود [۴].

شکل ۳. الف) یک نمایشگر هفت‌قسمتی ب) یک نمایشگر ماتریسی ج) چراغ راهنمایی با استفاده از دیود نورافشان



تأمین روشنایی

با تولید و توسعه فناوری دیودهای نورافشان توان بالا استفاده از دیودهای نورافشان در کاربردهای تأمین روشنایی نیز امکان‌پذیر شد. امروزه دیودهای نورافشان در بسیاری کاربردها در زمینه تأمین روشنایی مورد استفاده



شکل ۴. استفاده از LED در یک نمونه

چراغ روشنایی [۱۲]

قرار می‌گیرند که برخی از آن‌ها به قرار زیر می‌باشند.

- ۱ چراغ‌های روشنایی معابر
- ۲ روشنایی هواپیماها و فرودگاه‌ها
- ۳ تأمین نور پس‌زمینه صفحات نمایش LCD^۹
- ۴ فلاش دوربین فیلمبرداری
- ۵ چراغ‌قوه‌های دستی
- ۶ تأمین روشنایی معادن
- ۷ دیو‌های نورافشان فروسرخ برای کاربردهای دید در شب

کاربردهای ارتباطی و مخابراتی

یکی از اولین کاربردهای دیو‌های نورافشان که هنوز نیز متداول است، استفاده از دیو‌های فروسرخ در کنترل از راه دور دستگاه‌های صوتی و تصویری است. البته فرستنده و گیرنده‌های فروسرخ مبتنی بر دیو‌های نورافشان تا مدت‌ها واسطه^{۱۰} مناسبی برای انتقال اطلاعات بین رایانه‌ها و دستگاه‌های رایانه‌ای نیز بودند که این کاربرد با معرفی سامانه‌های جدید و پرسرعت امروزی منسوخ شد.

دیو‌های نورافشان (در کنار لیزرهای حالت جامد) به‌عنوان منبع نور در ارتباطات فیبر نوری^{۱۱} نیز مورد استفاده قرار می‌گیرند. این کاربرد محدوده وسیعی از انتقال صوت در دستگاه‌های صوتی تا لینک‌های با پهنای باند بسیار بالا که بدنه شبکه جهانی اینترنت را تشکیل می‌دهند را شامل می‌شود.

لامپ‌های کم‌مصرف

در سال ۲۰۰۹ یک لامپ LED با توان مصرفی ۱۳ وات بین ۴۵۰ تا ۶۵۰ لومن^{۱۲} تولید می‌کرد که تقریباً به‌اندازه نور تولیدشده توسط یک لامپ ۴۰ وات معمولی است [۵]. در سال ۲۰۱۱ با بهینه‌تر شدن دیو‌های نورافشان مورد استفاده همین میزان نور تنها با توان مصرفی ۶ وات قابل دسترس شد. لامپ‌های LED همچنین تا ۵۰ برابر بیشتر از لامپ‌های رشته‌ای معمولی عمر می‌کنند [۴].



شکل ۵.
چند نمونه لامپ
کم‌مصرف LED

چالش‌های موجود در دیو‌های نورافشان

یکی از چالش‌های موجود در زمینه تولید و به‌کارگیری دیو‌های نورانی بحث تولید طیف نورانی دلخواه است. دیو‌های نورانی مانند انواع دیگر دیو‌ها از یک پیوند p-n تشکیل شده‌اند. همان‌طور که اشاره گردید انرژی

فوتون آزاد شده در دیود و به تبع آن طول موج فوتون مزبور، وابسته به شکاف انرژی^{۱۳} پیوند p-n است. بنابراین برای تولید نور با طیف رنگی خاص باید فوتون تولید شده طول موج مربوط به همان طیف رنگی را داشته باشد. لذا با توجه به (رابطه ۱) که نسبت انرژی و طول موج را بیان می‌کند، می‌توان نتیجه گرفت برای تولید طیف رنگی دلخواه باید فوتون آزاد شده مقدار مشخصی انرژی داشته باشد که این به معنای تنظیم دقیق شکاف انرژی پیوند p-n است.

$$E = h \cdot c / \lambda \quad (\text{رابطه ۱})$$

h: ثابت پلانک^{۱۴} برابر $6.63 \times 10^{-34} \text{ J.s}$

c: سرعت نور برابر $3 \times 10^8 \text{ m/s}$

یکی از اشکالات این فرآیند این است که در بسیاری موارد، تنظیم دقیق شکاف انرژی پیوند p-n برای تولید موج دلخواه امکان‌پذیر نیست (با توجه به محدودیت‌های ساختاری نیمه‌هادی‌های مورد استفاده در پیوند). اشکال اساسی دیگر در این زمینه این است که اصولاً در یک دیود نورانی معمولی همه فوتون‌های آزاد شده دارای انرژی و در نتیجه طول موج یکسانی نیستند و در نتیجه نور ساطع شده دارای مجموعه‌ای از فوتون‌ها با طول موج‌هایی نزدیک به طول موج هدف هستند. این مسئله خصوصاً در زمینه ارتباطات فیبر نوری مطلوب نیست.

فناوری نانو در دیود نورافشان

راه حل فناوری نانو برای چالش‌های مورد اشاره، استفاده از نقاط کوانتومی^{۱۵} است. نقاط کوانتومی نانو کریستال^{۱۶}‌های نیمه‌هادی هستند که دارای خواص اَبَتیکی منحصربه‌فردی می‌باشند [۸]. قطر نقاط کوانتومی بین ۲ تا ۱۰ نانومتر متغیر است. ساختار نقاط کوانتومی به‌طور معمول به‌صورت پوسته-هسته می‌باشد. هسته معمولاً از ترکیب‌های نیمه‌هادی II-IV نظیر CdSe ، CdS و CdTe یا نیمه‌هادی‌های III-V مثل InP ، InAs یا نیمه‌هادی‌های VI-IV مثل PbSe تشکیل می‌شود. پوسته نیز معمولاً از جنس سولفید روی (ZnS) انتخاب می‌شود [۹].

تشنع^{۱۷} در نقاط کوانتومی

الکترون‌ها که به‌صورت معمول در لایه ظرفیت قرار می‌گیرند، با جذب انرژی به لایه هدایت منتقل می‌شوند و یک حفره در لایه ظرفیت به‌جای می‌گذارند. الکترون‌های موجود در لایه هدایت ناپایدار هستند و باید مجدداً به لایه ظرفیت برگردند. الکترون‌ها ضمن بازگشت به لایه ظرفیت با حفره‌ها باز ترکیب شده و انرژی آزاد می‌کنند. انرژی لازم برای برانگیختن الکترون، با انرژی آزاد شده هنگام باز ترکیب یکسان و برابر با شکاف انرژی بین لایه هدایت و لایه ظرفیت است.

مقدار شکاف انرژی بسته به نوع ترکیب نیمه‌هادی متفاوت است. نقاط کوانتومی نیز با اندازه‌های مختلف شکاف انرژی وجود دارند. هر چه اندازه نقاط کوانتومی کوچک‌تر شود شکاف انرژی آن‌ها بزرگ‌تر می‌گردد. در نتیجه برای برانگیخته کردن الکترون در نقاط کوانتومی کوچک‌تر به انرژی بیشتری (نور با طول موج کوتاه‌تر) نیاز است و برعکس.

محدوده نور ساطع شده از نقاط کوانتومی نور مرئی و فروسرخ را شامل می شود. طیف نور تولید شده در دیودهای نورانی معمولی وابسته به جنس و میزان ناخالصی های نوای p و n دیود است. ولی در نقاط کوانتومی انرژی آزاد شده و به تبع آن طول موج و رنگ نور تولید شده وابسته به ابعاد نقطه کوانتومی است. این تفاوت اساسی اجازه می دهد که نقاط کوانتومی توانایی تولید هر طیف نوری را از یک ماده مشخص داشته باشند.



➤ شکل ۶. طیف نور مرئی ساطع شده از نقاط کوانتومی

دیودهای نورانی مبتنی بر نقاط کوانتومی یا QD-LED ها به دلیل خواص منحصر به فرد نقاط کوانتومی که به آن ها اشاره شد، قابلیت تولید هر طیف نوری را دارند. به علاوه طیف نوری ساطع شده از نقاط کوانتومی پهنای به مراتب کمتری دارد. به این ترتیب در استفاده از این دیودها، انتخاب های بیشتری برای تولید رنگ وجود دارد و ارائه رنگ^{۲۸} ها بهتر خواهد بود.

تحریک^{۲۹} نقاط کوانتومی

گفتیم که الکترون ها با گرفتن انرژی از نور ظرفیت به نوار هدایت می روند و به دلیل ناپایداری در نوار هدایت به نوار ظرفیت برمی گردند و فوتون آزاد می کنند. پس لازمه انتشار فوتون تحریک الکترون ها برای انتقال به نوار هدایت است. در حال حاضر دو روش برای تحریک نقاط کوانتومی وجود دارد. روش اول استفاده از یک دیود نورانی معمولی به عنوان منشأ تحریک برای نقاط کوانتومی است. به عنوان مثال محققان روشی را ابداع کردند که در آن پوشش نقاط کوانتومی روی یک دیود نورانی آبی در پاسخ به نور ساطع شده از دیود نور سفید مایل به زرد (مشابه نور لامپ های رشته ای) از خود منتشر می کند [۱۰]. در سال ۲۰۱۱ دانشمندان شرکت PlasmaChem در آلمان موفق به ساخت نقاط کوانتومی برای کاربرد در دیودهای نورانی شدند و بر پایه آن ها مبدل های نوری^{۳۰} تولید کردند که قادر به تبدیل نور آبی به هر رنگی دلخواهی می باشد [۱۱].



➤ شکل ۷. ساختار یک QDLED با تحریک الکتریکی [۱۳]

نوع دیگر تحریک نقاط کوانتومی، تحریک الکتریکی^{۳۱} است که بسیار شبیه شیوه مورد استفاده در OLED است. در این روش، لایه ای از نقاط کوانتومی در بین دو لایه منتقل کننده الکترون^{۳۲} و منتقل کننده حفره^{۳۳} محصور می شود. اعمال میدان الکتریکی به دو سر این ساختار سبب حرکت الکترون ها و حفره ها به درون لایه نقاط کوانتومی و باز ترکیب در آنجا می شود (شکل ۷). انرژی حاصل

از بازترکیب باعث تحریک نقاط کوانتومی خواهد شد. این روش عموماً برای طراحی و ساخت صفحات نمایش نقاط کوانتومی مورد مطالعه قرار می‌گیرد.

تولیدکنندگان نقاط کوانتومی

برخی شرکت‌های خارجی که در زمینه نقاط کوانتومی و محصولات وابسته فعالیت دارند در جدول زیر آمده‌اند. متأسفانه در کشور ما کار تولیدی در این زمینه صورت نمی‌گیرد.

کشور	شرکت سازنده
فرانسه	Attonuclei
آلمان	CAN GmbH
کانادا	Mknano
ایالات متحده	NanoAxis
انگلستان	Nanoco Technologies Limited
ایالات متحده	Nanosys
ایالات متحده	NN-Labs
ایالات متحده	Ocean Nano Tech
ایالات متحده	Quantum Materials Corp.
هندوستان	Reinste Nano Venture
ایالات متحده	Sigma-Aldrich

برخی دستاوردها در زمینه استفاده از نقاط کوانتومی در ساخت دیود نورافشان

دیودهای نورافشان مبتنی بر نقاط کوانتومی

همان‌طور که در بالا گفته شد با بهره‌گیری از نقاط کوانتومی در ساختار دیودهای نورافشان می‌توان عملکرد آن‌ها را بهبود بخشید. یعنی دیودهای نورافشان مبتنی بر نقاط کوانتومی یا QDLED^{۳۳} مصرف انرژی کمتر و طول عمر بیشتری خواهند داشت. به‌علاوه در کاربردهایی که نیاز به تولید رنگ خاصی وجود دارد (مثل کاربرد دیود در تأمین روشنایی یا استفاده در صفحات نمایش) استفاده از QDLED می‌تواند راهگشا باشد.

QDLED عاری از کادمیم برای استفاده در لامپ

می‌دانیم که کادمیم جزء فلزات سنگین بوده و به‌شدت سمی می‌باشد. از همین رو استفاده از کادمیم در

بسیاری موارد مثل تولید لامپ‌های روشنایی با محدودیت‌های شدیدی مواجه است. همان‌طور که گفتیم ترکیبات کادمیم در بسیاری موارد در هسته نقاط کوانتومی مورد استفاده قرار می‌گیرند. به این ترتیب واضح است که استفاده از این نقاط کوانتومی در لامپ‌ها امکان‌پذیر نخواهد بود. گروه نانو کو^{۳۵} اخیراً با همکاری شرکت مارل اینترنشنال^{۳۶} موفق به تولید نوع جدیدی از ادوات روشنایی LED شده است که از نقاط کوانتومی عاری از کادمیم بهره می‌گیرد. فناوری نقاط کوانتومی عاری از کادمیم می‌تواند راهکاری ساده، اثربخش و غیر سمی برای تنظیم رنگ LEDها باشد. این همکاری مشترک یک گام اساسی به سوی وارد شدن به دوره تازه‌ای از لامپ‌های LED است [۱۲].

■ استفاده از QDLED در صفحات نمایش و تلویزیون‌ها

شرکت چینی تی‌سی‌ال^{۳۷} با همکاری شرکت کیودی ویژن^{۳۸} اقدام به ارائه تلویزیون ۶۵ اینچی مبتنی بر نقاط کوانتومی کرده است. این نمایشگر از عملکرد رنگی بالایی برخوردار است. این تلویزیون از فناوری Color IQ™ استفاده می‌کند و دومین تلویزیون ساخت تی‌سی‌ال است که از این فناوری بهره می‌گیرد.



فناوری Color IQ™ به دلیل استفاده از نقاط کوانتومی، هزینه بسیار کمی دارد و می‌تواند قیمت تمام شده LCDها را به شدت کاهش دهد. بر پایه اظهارات مسئولان این شرکت، فناوری نقاط کوانتومی موجب شده تا نرخ عملکرد رنگی

این تلویزیون‌ها به ۱۱۰ درصد تمام طیف NTSC^{۳۹} برسد. این در حالی است که این رقم برای LCDهای موجود در بازار ۶۰ تا ۷۰ درصد است [۱۳].

گفتنی است علاوه بر تی‌سی‌ال سایر شرکت‌های سازنده صفحات نمایش و تلویزیون نیز به تازگی شروع به استفاده تجاری از نقاط کوانتومی در محصولات خود کرده‌اند. به عنوان نمونه شرکت سامسونگ^{۴۰} اخیراً نسل جدیدی از تلویزیون‌های مبتنی بر نقاط کوانتومی عاری از کادمیم خود را روانه بازار کرده است [۱۴]. شرکت ال‌جی^{۴۱} نیز با استفاده از فناوری نقاط کوانتومی موفق شده است، میزان باز تولید رنگ را در محصولات خود تا ۳۰ درصد افزایش دهد [۱۵].

جمع‌بندی

با رشد و توسعه فناوری نانو و معرفی نقاط کوانتومی این فرصت ایجاد شده که برخی چالش‌های موجود در زمینه دیودهای نورافشان حل شده و زمینه توسعه کاربردهای دیودهای نورافشان فراهم آمده است. همان‌طور که در این گزارش اشاره شد نقاط کوانتومی به دلیل خواص نوری منحصر به فرد این قابلیت را دارند که در دیودهای نورافشان متداول به کار گرفته شده و باعث بهبود عملکرد آن‌ها شوند. همچنین نقاط کوانتومی می‌توان به صورت مستقل در تولید نسل جدید دیودهای نورافشان با عملکرد بهینه‌تر به کار برد. به این ترتیب می‌توان گفت فرصت‌های جدید در صنعت دیودهای نورافشان با استفاده از فناوری نانو و نقاط کوانتومی ایجاد شده و یا در حال شکل‌گیری است.

پی‌نوشت‌ها

۱ Light Emitting Diode

۲ rectifying

۳ n-type semiconductor

۴ p-type semiconductor

۵ thermal equilibrium

۶ depletion region

۷ Organic Light Emitting Diode

۸ high power

۹ Liquid Crystal Display

۱۰ interface

۱۱ Fiber Optic Communication

۱۲ lumen

۱۳ band gap

۱۴ Planck

۱۵ quantum dots

۱۶ nanocrystal

۱۷ نیمه‌هادی‌های II-VI دسته‌ای از نیمه‌هادی‌های مرکب هستند که از ترکیب عناصر گروه‌های دو و شش جدول تناوبی ایجاد می‌شوند.

۱۸ Cadmium selenide

۱۹ Cadmium sulfide

۲۰ Cadmium telluride

۲۱ نیمه‌هادی‌های III-V دسته‌ای از نیمه‌هادی‌های مرکب هستند که از ترکیب عناصر گروه‌های سه و پنج جدول تناوبی ایجاد می‌شوند.

۲۲ Indium Phosphide

۲۳ Indium Arsenide

۲۴ نیمه‌هادی‌های IV-VI دسته‌ای از نیمه‌هادی‌های مرکب هستند که از ترکیب عناصر گروه‌های چهار و شش جدول تناوبی ایجاد می‌شوند.

۲۵ Lead Selenide

۲۶ Zinc Sulfide

۲۷ emission

۲۸ color rendering

۲۹ excitation

۳۰ light convertor

۳۱ electrical excitation

۳۲ electron-transporting

۳۳ hole-transporting

۳۴ Quantum Dot Light Emitting Diode

۳۵ Nanoco Group

۳۶ Marl International

۳۷ TCL

۳۸ QD Vision

۳۹ National Television System Committee

۴۰ Samsung

۴۱ LG

مراجع

۱ Kasap, S., & Sinha, R. (2013). Optoelectronics and photonics: Principles and practices (2nd Ed.). Harlow, Essex: Pearson Education.

۲ Direct and Indirect Band Gap Semiconductors. (n.d.). Retrieved from <http://www.doitpoms.ac.uk/tlplib/semiconductors/direct.php>

۳ Direct and indirect band gaps. (n.d.). Retrieved from https://en.wikipedia.org/wiki/Direct_and_indirect_band_gaps

۴ Light-emitting diode. (n.d.). Retrieved from https://en.wikipedia.org/wiki/Light-emitting_diode

emitting_diode

۵ DOE Solid-State Lighting CALiPER Program Summary of Results: Round 7 of Product Testing. (n.d.). Retrieved September 1, 2015, from http://apps1.eere.energy.gov/buildings/publications/pdfs/ssl/caliper_round_7_summary_final.pdf

۶ LED lamp. (n.d.). Retrieved from https://en.wikipedia.org/wiki/LED_lamp

۷ OLED. (n.d.). Retrieved from <https://en.wikipedia.org/wiki/OLED>

۸ Quantum-dot LED may be screen of choice for future electronics. (2012, December 18). Retrieved from <http://newsoffice.mit.edu/2002/dot>

۹ Quantum Dots: Heralding a Brighter Future for Clinical Diagnostics. (n.d.). Retrieved from http://www.medscape.com/viewarticle/776647_2

۱۰ Manna, N., & Saha, A. (2011). Optoelectronics and Optical Communication. New Delhi, India: University Science Press.

۱۱ Quantum Dots: True green and artificial sun light. (2012). Retrieved from <http://www.plasmachem.com/led-true-green.html>

۱۲ LED Lighting To Cut Energy Use While Retaining Adequate Lighting. (2013, December 16). Retrieved from <http://renewablerevolution.createaforum.com/renewables/led-lighting-to-cut-energy-use-while-retaining-adequate-lighting/>

۱۳ Lim, J., Bae, W., Kwak, J., Lee, S., Lee, C., & Char, K. (2012). Perspective on synthesis, device structures, and printing processes for quantum dot displays. Optical Materials Express Opt. Mater. Express, 2(5), 594-628. doi:10.1364/OME.2.000594

۱۴ تولید تجاری LED حاوی نقاط کوانتومی عاری از کادمیم <http://news.nano.ir/48920/1>

۱۵ رونمایی از تلویزیون ۶۵ اینچی مبتنی بر نقاط کوانتومی <http://news.nano.ir/50406/1>

۱۶ تلویزیون‌های سامسونگ مدل ۲۰۱۵ حاوی نقاط کوانتومی <http://news.nano.ir/49212/1>

۱۷ رونمایی ال‌جی از سری جدید تلویزیون‌های مبتنی بر نقاط کوانتومی <http://news.nano.ir/48590/1>

مجموعه نرم‌افزارهای «نانو و صنعت»

مجموعه نرم‌افزارهای نانو و صنعت با هدف معرفی کاربردهای فناوری نانو در بخش‌ها و صنایع مختلف طراحی و منتشر شده است. در این نرم‌افزار اطلاعاتی مفید و کاربردی در قالب فیلم مستند، مقاله، کتاب الکترونیکی و مصاحبه با کارشناسان، در اختیار فعالان صنعتی کشور و علاقمندان به فناوری نانو قرار داده شده است.

تاکنون شش عنوان از مجموعه نرم‌افزارهای نانو و صنعت با موضوع کاربردهای فناوری نانو در صنایع «نفت»، «خودرو»، «نساجی»، «ساخت‌وساز»، «بهداشت و سلامت» و «کشاورزی»، ارائه شده است.

مرکز پخش: ۶۶۸۷۱۲۵۹ - www.nanosun.ir



از مجموعه گزارش‌های صنعتی فناوری نانو منتشر شده است



- کاربرد فناوری نانو در کاشی و سرامیک
- غنی‌سازی محصولات کشاورزی با نانو کودهای کلاته آهن و روی
- کاربرد فناوری نانو در فرآیندهای ازدیاد برداشت نفت خام
- خشک کردن انجمادی پاششی
- کیتوسان پلیمری زیست تخریب پذیر در سامانه‌های دارورسانی
- فناوری نانو و بتن‌های ویژه
- کاربرد فناوری نانو در آنالیزگرهای جدید صنایع بالادستی نفت
- کاربردهای فناوری نانو در بخش انتقال شبکه برق‌رسانی
- فناوری نانو و توسعه آن در کشاورزی
- نقش فناوری نانو در ارتقای کیفی سیمان و مصالح پایه سیمانی
- روش تغییر شکل پلاستیک شدید (SPD) در تولید فلزات نانوساختار
- آلیاژسازی و فعال‌سازی مکانیکی، فناوری تهیه نانومواد
- منسوجات ضد میکروب
- کاربرد فناوری نانو در سازه‌های بتنی هوشمند با قابلیت خودترمیم‌شوندگی
- لوله‌های حرارتی و کاربردهای آن در انتقال انرژی حرارتی
- کاربرد فناوری نانو در بهبود عملکرد سلول‌های خورشیدی
- نانو حسگرها جهت پایش شاخص‌های حیاتی بدن
- سیستم یون‌زدایی خازنی (CDI)
- کاربرد نانو در متالورژی پودر فلزات
- کاربرد فناوری نانو در پوشش‌های ضد نقش و ضد نوشتار
- نانو حسگرهای تشخیص دهنده مواد منفجره
- استفاده از نانوذرات پلیمری بر پایه PLGA برای دارورسانی هدفمند
- کاربرد فناوری نانو جهت گندزدایی از آب به روش ازوناسیون
- میکرو/نانو حباب در صنعت آب و فاضلاب
- تصفیه آب با استفاده از غشاء سرامیکی نانوفیلتراسیون
- کاربرد فناوری نانو در گچ ساختمانی
- تصفیه آب با استفاده از غشاهای نانوالیاف
- کاربرد فناوری نانو در صنعت آب
- کاربردهای فناوری نانو در منسوجات خانگی
- فناوری نانو در تصفیه پساب صنعت نساجی
- نانو حسگرهای پایش کیفیت آب
- نانو حسگرهای مورد استفاده در صنایع غذایی و آشامیدنی
- کاربردهای فناوری نانو در صنعت هوافضا
- فولادهای نانوساختار
- فناوری نانو و محیط‌های کنترل شده کشت (CEA)
- نانو حسگرهای تشخیص سموم کشاورزی
- کاربرد فناوری نانو در شیشه‌های هوشمند (۱)
- نانوالفت‌کش و اثر آن در کنترل آفات
- کاربرد فناوری نانو در صنعت مفره
- کاربردهای فناوری نانو در صنایع غذایی
- کاربردهای فناوری نانو در روغن‌های روان‌کننده
- نانو افزودنی‌های به سوخت
- کاربردهای نانوالیاف در کشاورزی
- کاربرد فناوری نانو در سیمان و سیال حفاری
- کاربرد نانوساختارها در فناوری‌های جداسازی غشایی
- نانوفیلترهای لیفی
- فناوری‌های نوین در مدیریت و افزایش بهره‌وری آب در نیروگاه‌های گرمایی
- فولاد نانوساختار Sandvik Nano flex
- کاربرد فناوری نانو در صنعت سیم و کابل