

مجموعه گزارش‌های صنعتی فناوری نانو • گزارش شماره ۱۵۵

فناوری پلاسما؛ نقش و کاربرد آن در زیست پزشکی

سال انتشار: ۱۳۹۵

ویرایش نخست



ستاد ویژه توسعه فناوری نانو

طراحی و اجرا:	توسعه فناوری مهر و موم	تلفن:	۰۲۱-۶۳۱۰۰
نظارت:	داود قرایلو	نمابر:	۰۲۱-۶۳۱۰۶۳۱۰
تهیه کننده:	گروه ترویج صنعتی نانو پزشکی	پایگاه اینترنتی:	www.nano.ir
	medicine@nano.ir	صندوق پستی:	۱۴۵۶۵-۳۴۴

۳	مقدمه
۳	کاربردهای پلاسما در زیست پزشکی
۴	اصلاح سطحی با پلاسما
۵	استریل سازی زیستی با پلاسما
۷	کاربردهای درمانی پلاسما
۹	محصولات ساخت داخل
۱۰	نتیجه گیری

مقدمه

پلازما محیطی شبه گازی است که به آن حالت چهارم ماده گفته می شود. این محیط مجموعه ای از ذرات است که شامل الکترون، یون، اتم و مولکول های برانگیخته می باشد. محیط پلازما از نظر الکتریکی خنثی است. به طور کلی مزیت های اصلی پلازما عبارتند از:

■ اصلاح خواص سطحی مواد بدون تأثیر بر خواص توده

■ ماده

■ اصلاح سطح به صورت کنترل شده

■ ایجاد لایه های نازک با اتصالات عرضی زیاد بدون توجه

■ به هندسه سطح

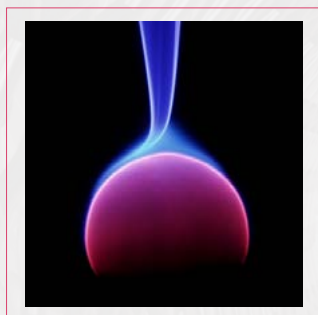
■ تشکیل فیلم های چند لایه

■ فناوری دوست دار محیط زیست

■ عدم نیاز به آب و مواد شیمیایی

■ کمینه سازی تخریب حرارتی و عملکرد سریع

حوزه های کاربرد پلازما مختلف بوده که می توان به سه بخش عمده تقسیم کرد:



که در ادامه به بررسی کاربردهای این فناوری در حوزه زیست پزشکی پرداخته شده است.

کاربردهای پلازما در زیست پزشکی

پیشرفت در علوم پزشکی به طور عمده ای تحت تأثیر استفاده از فناوری ها و دانش های مختلف و گاهی نامرتبط با این حوزه بوده است. از جمله ای این فناوری ها می توان به میکروالکترونیک، نوری (اپتیک)، علم مواد و فناوری نانو اشاره کرد. پزشکی پلازما یا پلازما پزشکی^۱ یکی از رشته های مستقل پزشکی است که همچون فناوری لیزر می تواند گسترش جهانی داشته باشد. در حال حاضر کاربرد پلازما در پزشکی را می توان در سه زیرمجموعه کلی طبقه بندی کرد که عبارتند از: اصلاح سطحی با پلازما^۲، استریل سازی زیستی یا گندزدایی زیستی با پلازما^۳ و کاربردهای درمانی پلازما^۴. مبنای علمی پزشکی پلازما دانش پایه ای مربوط به کنش و واکنش های بین پلازما و سلول یا بافت زنده است.



» پزشکی پلاسمایی:
مبانی علمی و اجزای اصلی

در حوزه‌های اصلاح سطحی و استریل‌سازی زیستی با پلاسما، پلاسما با هدف درمان و اصلاح سطوح و محصولات مورد استفاده قرار می‌گیرد که کاربردهای زیستی و کارایی زیستی آن‌ها را بهبود بخشد تا بتوانند در کاربردهای درمانی مورد استفاده قرار گیرند. در این دو حوزه هم پلاسمای فشار پایین و هم اتمسفری می‌تواند استفاده شود. ولی در حوزه کاربردهای درمانی مستقیم پلاسما، تنها منابع پلاسما با فشار اتمسفری مورد استفاده قرار می‌گیرد.

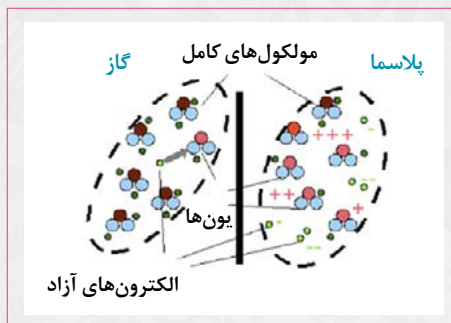
اصلاح سطحی با پلاسما

هدف از این کاربرد، بهینه‌سازی ایمپلنت‌های پزشکی و ابزارهای تشخیصی زیستی است. این بخش شامل کاربرد پلاسما برای افزایش خاصیت ترشوندگی سطوح پلیمری، پوشش دهی سطحی با پلاسما بر روی سطح ایمپلنت‌ها برای بهبود زیست‌سازگاری و عملکرد زیستی^۵ آن‌ها و ایجاد ریزالگوهای شیمیایی^۶ برای کنترل کشت سلولی، در داربست‌های کشت سلولی است. جدیدترین کاربرد پلاسما در این حوزه، عامل‌دار کردن سطحی مواد زیستی (Biomaterials) با پلاسما به منظور رهایش کنترل شده مواد فعال درمانی مانند آنتی‌بیوتیک‌ها است. مواد زیستی عبارتند از مواد غیرزنده با کاربرد ابزارآلات پزشکی زیستی^۷ که کنش و واکنش‌هایی را با سیستم‌های زیستی انجام می‌دهند. از جمله ویژگی‌های مهمی که این مواد باید داشته باشند، زیست‌سازگاری و سازگاری با خون می‌باشد. سازگاری با خون نوعی زیست‌سازگاری با ترکیبی پیچیده از پارامترهای مختلف مانند ویژگی‌های خون، ماده و زمان است.

مهم‌ترین اهدافی که از عامل‌دار کردن مواد زیستی دنبال می‌شود، عبارتند از:

- زیست‌سازگاری
- سازگاری با خون
- ایجاد گروه‌های فعال برای متصل شدن به مولکول‌های زیستی
- ایجاد ترکیبات تحریک‌کننده رشد سلولی
- ایجاد پوشش‌های حساس به دما
- پوشش‌های ضد جرم‌گرفتگی (مقاوم به اتصال پروتئین)

- پوشش‌های ضد میکروبی
- رهایش کنترل‌شده دارویی
- افزایش خاصیت ترشوندگی



» شکل ۱. اصلاح
سطحی با پلازما [۱]

مواد زیستی کاربردهای روزافزونی در حوزه پزشکی پیدا کرده‌اند. اما یکی از محدودیت‌های این مواد نداشتن برخی از خواص است که برای استفاده در پزشکی مورد نیاز است. از این رو با تغییر ویژگی‌های این گونه مواد از طریق ایجاد گروه‌های عاملی سطحی و اصلاح سطحی آن‌ها، این کمبودها برطرف شده و خواص مورد نظر ایجاد می‌گردد. روش‌های شیمیایی از مهم‌ترین شیوه‌ها برای ایجاد این خواص در مواد است. اما این روش‌ها اغلب به دلیل زمان‌بر بودن و همچنین استفاده از ترکیبات شیمیایی، نامناسب بوده و ارزش آن‌ها را برای کاربردهای پزشکی پایین می‌آورد. در واقع پلازما می‌تواند جایگزین مناسبی برای این روش باشد. پلاسمای نوع RF^A بیش از سایر انواع پلازما در ایجاد گروه‌های عاملی سطحی و اصلاح سطحی مواد زیستی مورد استفاده قرار گرفته است. از دلایل استفاده از این نوع پلازما می‌توان به موارد زیر اشاره کرد:

- اصلاح خواص فیزیکی و شیمیایی سطحی بدون اثرگذاری بر خواص توده‌ای ماده
- مزیت بسیار از نظر طراحی، توسعه و تولید پلیمرهای زیست‌سازگار
- اصلاح سطح با روش رسوب لایه نازک به منظور بهینه‌سازی اصلاح و اکشن‌های بین سطح و پروتئین و اتصال سلول‌ها

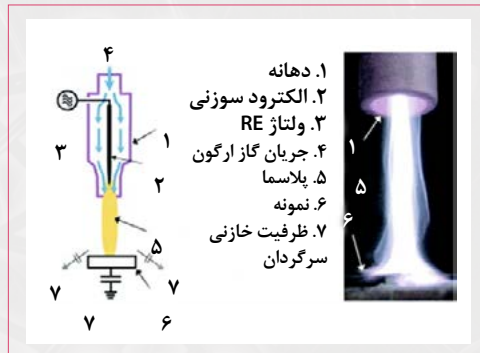
■ جلوگیری از اتصال باکتری به سطح با پوشش ضد باکتری اصلاح شده با پلاسمای RF

یکی دیگر از کاربردهای پلازما در اصلاح سطح مواد زیستی، کاربرد در اصلاح سطح مواد پلیمری سازنده حسگرهای زیستی است. از جمله ویژگی‌های مورد نیاز در پلیمر این نوع از حسگرها، ایجاد گروه‌های عاملی مورد نیاز بر سطح این مواد، ایجاد ریزالکوها برای اتصال سلول‌ها به سطح حسگر و همچنین اتصال و تثبیت مولکول‌های زیستی همچون آنزیم‌ها بر سطح حسگرها بوده است.

■ استریل‌سازی زیستی با پلازما

یکی از مزایای عمده این روش استفاده از پلاسمای اتمسفری برای استریل‌سازی زیستی و قابلیت بکارگیری و

تطبیق آن برای دامنه گسترده‌ای از تجهیزات است. پلاسمای اتمسفری می‌تواند در پاکسازی باکتریایی موثر ابزارهای پزشکی حساس و پیچیده، ابزارهای تشخیصی و مواد بسته‌بندی دارویی استفاده شود.



➤ شکل ۲. جت پلاسمای
فشار اتمسفری [۲]

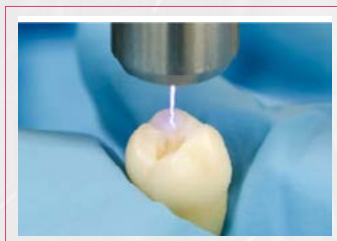
از مزایای این نوع پلاسما می‌توان پایداری عملیات پلاسما، دمای پایین، فشار اتمسفری، توان پایین RF و دمای پایین گازی مورد استفاده را نام برد که موجب کاربردهای فراوان این نوع پلاسما در درمان و رفع آلودگی‌های موضعی شده است.

تاکنون دو مورد از دستگاه‌های استریل‌سازی پلاسمایی با نام‌های تجاری Sterrad و Plazlyte تولید شده‌اند.

Sterad®: گندزدایی با پراکسید هیدروژن و پلاسمای RF [۳]

Plazlyte®: گندزدایی با استیک اسید و پلاسمای Micro Wave [۴]

یکی از مهم‌ترین کاربردهای پلاسما در دندانپزشکی به کشتن باکتری‌های سطحی دندان و نیز باکتری‌های درون کانال‌های ریشه دندان مربوط می‌شود که منجر به برخی فعالیت‌های ضدالتهابی در آن نواحی می‌گردد.



➤ شکل ۳. برس پلاسما [۵]

از نتایج امیدبخش اخیر، می‌توان به کاربرد برس پلاسما (شکل ۳) برای از بین بردن باکتری‌های درون کانال‌های ریشه دندان اشاره کرد. برس پلاسما قادر است در کمتر از ۳۰ ثانیه با انجام واکنش‌های شیمیایی، حفره‌های دندان را تمیز و ضدعفونی کرده و جهت پر شدن آماده سازد. علاوه بر خواص باکتری‌کشی، شعله سرد برس پلاسما پیوند بهتری بین مواد پرکننده و دندان بوجود می‌آورد. واکنش‌های شیمیایی حاصل از برس پلاسما، عملاً سطح دندان را تغییر داده و سبب پیوندی قوی و محکم با مواد پرکننده می‌گردد.

این باری که بنفش رنگ پلاسمای سرد بعنوان بخشی از سیستم پرداخت حفره دندان، قادر است باکتری‌ها و میکروب‌های دندان را نابود نماید.

■ کاربردهای درمانی پلاسما

در دهه‌های اخیر پلاسما روز به روز کاربرد بیشتری در حوزه زیست‌پزشکی پیدا کرده است. اما این کاربرد و سایر کاربردهای نام برده شده در بخش‌های پیشین به صورت برون‌تنی^۹ بوده است. در واقع اولین کاربرد درون‌تنی^{۱۱} پلاسما توسط Erbe med انجام شد که لخته شدن پلاسما آرگون^{۱۱} نام گرفت. در این فرآیند از یک پروپ انعطاف‌پذیر برای تخریب سلول‌های سرطان معده و روده استفاده شده است. از این رو حوزه کاربرد درون‌تنی پلاسما از جدیدترین حوزه‌های کاربرد پلاسما بوده که می‌تواند توسعه فراوانی در بخش‌های مختلف پزشکی و درمانی داشته باشد. با توجه به شکل‌های مختلف پلاسما، تنها یکی از انواع پلاسما می‌تواند در این حوزه کاربرد داشته باشد که عبارتست از پلاسمای دما پایین یا اصطلاحاً پلاسمای سرد. البته انواع دیگر پلاسما نیز می‌توانند در این بخش کاربرد داشته باشند، اما به دلیل تماس پلاسما با سلول و بافت زنده، محدودیت‌های فراوانی در نوع پلاسمای مورد استفاده وجود دارد. در این بخش عموماً از پلاسمای غیرتعادلی^{۱۲} که به آن پلاسمای غیرحرارتی^{۱۳} گفته می‌شود، استفاده می‌گردد. البته حساسیت سلول‌ها و بافت‌های مختلف نسبت به دما متفاوت است. به عنوان مثال سلول‌های پوست می‌توانند در مقابل افزایش دما تا ۶۰ درجه سلسیوس به مدت چندین ثانیه سالم باقی بمانند در حالی که افزایش ۲/۲ درجه سلسیوس دما در قسمت ریشه دندان علاوه بر ایجاد درد شدید، می‌تواند سبب مرگ جزئی سلول‌های ریشه گردد. بنابراین کنترل دقیق دمای گاز پلاسما و دمای سطح بافت قرار گرفته در معرض آن بسیار مهم می‌باشد.

در موارد غیر ویژه مانند سوختگی و انعقاد زخم، گرمادهی بخشی از درمان است. بنابراین در این گونه موارد دمای پلاسما عامل مهمی نیست؛ البته تا زمانی که سبب ایجاد آسیب دیدگی عمیق نشود.

در جدول ۱ تعدادی از انواع منابع پلاسمای غیرحرارتی و دمای متناظر گاز آن آورده شده است.

جدول ۱. پلاسمای اتمسفری بر اساس دمای گاز

منبع پلاسما	نوع	گاز	دما (کلوین)
جت پلاسما اتمسفری (APPJ) ^{۱۴}	جفت شده با منبع RF	هلیوم، آرگون	۴۰۰
تابش اتمسفری	AC/DC تابش بر روی آب	هوا	۸۰۰-۱۵۰۰
جت پلاسما-آرک سرد AC	۴۰-۱۰ کیلوهرتز	هوا، O ₂ ، N ₂	۵۲۰
مشعل ریز موج	۲/۴۵ کیلوهرتز	آرگون، O ₂	۲۲۰۰
پلاسما AC	AC	هلیوم، O ₂	۸۰۰-۹۰۰
DBD ^{۱۵}	مقاومت دی الکتریک	NO، O ₂ ، N ₂	۳۰۰

منبع پلاسما	نوع	گاز	دما (کلوین)
DBD پالسی	مقاومت دی الکتریک	آرگون، H_2O	۳۵۰-۴۵۰
تابش اتمسفری	تابش DC با ریز الکترو د کاتدی تو خالی	هوا	۲۰۰۰
سوزن پلاسما	جفت شده با خازن های RF، اندازه میلی متر	هلیوم، N_2	۳۵۰-۷۰۰
سوزن پلاسما	ریز پلاسمای RF	هلیوم، $(+H_2O)$	۳۰۰

مبنای استفاده از پلاسما در این حوزه اثرات غیر کشنده و غیر تحریک کننده آن بر سلول‌ها و بافت‌های زنده است. موارد کاربردی پلاسما در این حوزه عبارتند از:

■ درمان زخم‌ها و جراحات‌های مزمن

■ منعقدسازی خون با پلاسما^{۱۶}

■ درمان تصلب شریان

■ درمان زخم و جراحات

درمان زخم و جراحات یکی از موارد خوش آتیه و پر کاربرد پلاسما در این حوزه خواهد بود. فعالیت ضد میکروبی انتخابی^{۱۷} همراه با عدم تخریب بافت‌های سالم مجاور زخم و همچنین تحریک کنترل شده احیای مجدد بافت، می‌تواند انقلابی در کاربرد پلاسما در این حوزه باشد.



* اثر ضد عفونی کنندگی داخل بدن + غیر فعال سازی سموم درونی

* نکروز + لایه برداری از بقایای سلولی از جمله میکروارگانیسم‌ها

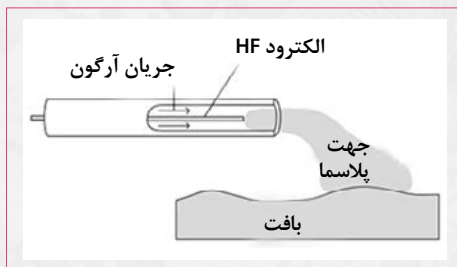
* تحریک تکثیر سلول (فیبروبلاست‌ها، کراتینوسیت‌ها، مویرگ‌ها)

» شکل ۴. کاربرد انتخابی پلاسما برای درمان زخم [۱۶]

■ منعقدسازی خون با پلاسما

در روش‌های جراحی الکتریکی که بر مبنای گرمادهی به بافت زنده است، در اثر عبور جریان از درون بدن،

بافت آسیب دیده به طور دقیق مشخص نشده و ممکن است اثرات مرگبار به همراه داشته باشد. بنابراین نیاز به روش هایی برای درمان بافت با حداقل نفوذ در بدن است که این قابلیت توسط پلاسما امکان پذیر است. یکی از این موارد، استفاده از پلاسمای اتمسفری تولید شده با ولتاژ بالا^{۱۸} است. هدف از استفاده از این روش، انعقاد و جلوگیری از خون ریزی می باشد. البته حتی می توان خشک کردن و کشتن بافت آسیب دیده را نیز با این روش انجام داد.



» شکل ۵. دستگاه پلاسمای آرگون بندآورنده خون، ساخته شده توسط شرکت ERBE. (آرگون از دورن لوله ای که در آن الکتروود با بسامد بالا قرار دارد جریان می یابد. شعله پلاسما پس از خروج از لوله پخش می شود). [۱۷]

مهم ترین مزیت این روش انتقال انرژی به بافت زنده بدون تماس است، زیرا الکتروود با فاصله از بافت قرار می گیرد و مشکلاتی مانند چسبیدن بافت به الکتروود، سوختگی شدید و پارگی بافت وجود ندارد. از دیگر مزایای این روش این است که به دلیل اینکه خون منعقد شده رسانایی کمتری از خون دارد، به محض منعقد شدن، شعله پلاسما به سمت قسمت های دیگر که هنوز منعقد نشده اند، کشیده می شود. عمق نفوذ در این روش ۴-۳ میلی متر است.

درمان تصلب شریان

فرسایش جرقه ای^{۱۹} به عنوان روشی بسیار ویژه در درمان تصلب شریان مورد استفاده قرار می گیرد. بعلاوه، این روش نشان می دهد که تخلیه انرژی زیاد در زمان کوتاه می تواند تا مکان های غیر قابل دسترس مانند عروق خونی نفوذ کند. مبنای این روش تبخیر پلاک ها (چربی هایی که سبب بسته شدن عروق می گردند) توسط گرمایش الکتریکی است. این روش مانند روش منعقدسازی با پلاسمای آرگون است، با این تفاوت که در آن از گاز استفاده نمی شود، بلکه الکتروود مستقیماً وارد جریان خون شده و به سمت محل بیماری هدایت می شود. جریان با بسامد ۲۵۰ kHz به مدت ۱۰ ms در الکتروود برقرار می شود. ولتاژ مورد استفاده حداکثر ۱/۲ kV است. در این شرایط، بافت مورد نظر به سرعت گرم و تبخیر می شود. بخار ایجاد شده مانع از تماس الکتروود با بافت شده و در نتیجه بقیه مراحل درمان به صورت غیر تماسی انجام می شود.

محصولات ساخت داخل

دستگاه عملیات سطحی به روش پلاسمای سرد اتمسفری (شکل ۶) ساخت شرکت یارنیکان صالح برای عملیات سطحی و افزودن خواصی ویژه به سطوح منسوجات در منسوجات پزشکی، استریلیزاسیون صنایع

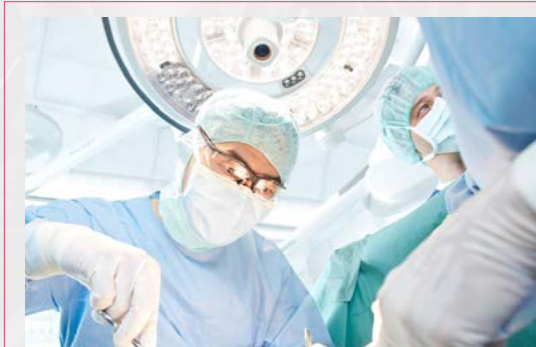
غذایی و همچنین استریل‌سازی ابزارهای جراحی استفاده می‌گردد. از اثرات و کاربردهای این دستگاه می‌توان به افزایش کارایی استریل‌سازی ابزارها، کاهش زمان استریل‌سازی و حذف استفاده از حلال‌ها و مواد شیمیایی و ایجاد خواص ویژه بر روی منسوجات به ویژه منسوجات پزشکی مانند خاصیت ضدباکتریایی اشاره کرد.



» شکل ۶. دستگاه پلاسمای
آتمسفری ساخت ایران

نتیجه‌گیری

پلاسما محیطی شبه گازی است که به آن حالت چهارم ماده گفته می‌شود. این محیط مجموعه‌ای از ذرات شامل الکترون، یون، اتم و مولکول‌های برانگیخته بوده و از نظر الکتریکی خنثی است. پلاسما پزشکی یکی از رشته‌های مستقل پزشکی است که می‌تواند گسترش جهانی داشته باشد. در حال حاضر کاربرد پلاسما در پزشکی در سه زیرمجموعه کلی، از جمله اصلاح سطحی با پلاسما، استریل‌سازی زیستی و کاربردهای درمانی آن خلاصه شده است که در بخش‌های مختلف پزشکی از جمله دندانپزشکی و جراحی بسیار مورد استفاده قرار گرفته است. در حوزه‌های اصلاح سطحی و استریل‌سازی زیستی با پلاسما، پلاسما با هدف درمان و اصلاح سطوح و محصولات مورد استفاده قرار می‌گیرد که کاربردهای زیستی و کارایی زیستی آن‌ها را بهبود بخشد تا بتوانند در کاربردهای درمانی مورد استفاده قرار گیرند.



پی‌نوشت‌ها

- | | |
|----------------------------------|------------------------------------|
| ۱ Plasma medicine | ۱۱ Argon Plasma Coagulation |
| ۲ Plasma surface modification | ۱۲ non-equilibrium |
| ۳ Plasma biodecontamination | ۱۳ non-thermal |
| ۴ Therapeutic plasma application | ۱۴ Atmospheric pressure plasma jet |
| ۵ bio-functionality | ۱۵ dielectric barrier discharge |
| ۶ Chemical micropatterning | ۱۶ Plasma Coagulation |
| ۷ Biomedical | ۱۷ selective |
| ۸ Radio Frequency | ۱۸ High voltage |
| ۹ ex vivo | ۱۹ Spark Erosion |
| ۱۰ in vivo | |

مراجع

- ۱ http://www.cncplasma.com.my/cnc_plasma_cutting.html
- ۲ <http://iopscience.iop.org/article/10.1088/1367-2630/11/11/115102/pdf>
- ۳ <http://www.fda.gov/iceci/enforcementactions/warningletters/2010/ucm212230.htm>
- ۴ <http://www.fda.gov/MedicalDevices/Safety/AlertsandNotices/PublicHealthNotifications/ucm062297.htm>
- ۵ <file:///psf/Home/Desktop>
- ۶ http://www.effitech.eu/Effitech_EN/medical.php
- ۷ http://www.medscape.com/viewarticle/489484_2

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 «نفط»، «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 سامانه‌های رنگ‌سنجی مبتنی بر اسپکتروفتو متری در صنایع رنگ
- نانو حسگرهای تشخیص تهدیدات بیولوژیکی
- نانو حسگرهای تشخیص سرطان
- کاربرد فناوری نانو در صنعت کفپوش‌های نساجی
- کاربرد فناوری نانو در صنعت ترانزیستور و مدارهای مجتمع
- پوشش‌ها، کفپوش‌ها و سازه‌های مقاوم در برابر لغزش
- بررسی و کاربرد نانوفوتوکاتالیست‌ها در حوزه‌های مختلف
- کاربرد فناوری نانو در روش فیلتراسیون اسمز مستقیم
- آزمایشگاه روی تراشه
- کاربرد نانولوله‌های کربنی در فلزات
- کاربردهای نانومواد سلولز در صنایع مختلف، حوزه کامپوزیت و پلیمر
- کاربرد فناوری نانو در خازن‌ها
- کاربرد نانوکاتالیست‌ها در بهبود عملکرد پیل‌های سوختی
- سلول‌های خورشیدی شفاف
- کاربردهای فناوری پلاسمای قوس‌سی خزنده در صنایع
- نانوذرات مغناطیسی، تشخیص و درمان هدفمند بیماری‌ها
- کاربرد فناوری نانو در منسوجات پزشکی و بهداشتی
- کاربرد نانومواد سلولز در فیلم‌های بسته‌بندی خوراکی
- کاربردهای نانو ذرات نور تاب در بهبود سلول‌های خورشیدی
- نانو حسگرهای تشخیص و اندازه‌گیری گاز دی‌اکسید گوگرد
- راهکارهای مقابله با آلودگی هوا توسط فناوری نانو
- نانو حسگرهای تشخیص و اندازه‌گیری گاز دی‌اکسید کربن
- نانو حسگرهای تشخیص توالی دی‌ان‌ای و ژن‌های معیوب
- نانوذرات و دارورسانی به چشم
- کاربرد منسوجات نانوفارانه در وسایل نقلیه
- کاربرد فناوری نانو در تصفیه آب خاکستری
- کاربرد نانوسلولز در چاپ سه‌بعدی
- کاربرد نانو مواد سلولزی در روکش‌های خوراکی
- کاربرد نانو کاتالیزورها در کنترل و رفع آلودگی محیط‌زیست
- بهبود شرایط بهداشتی سطوح تجهیزات در صنایع غذایی، نوشیدنی و دارویی با استفاده از فناوری نانو
- کاربردهای فناوری نانو در انرژی
- نانو آمولسیون، نقش و کاربرد آن در پزشکی
- کاربرد فناوری نانو در تولید منسوجات عایق گرمایی
- کاربرد فناوری نانو در تولید منسوجات عایق صوتی
- بهبود عملکرد پوشش‌های مقاوم به خوردگی با استفاده از نانو لوله‌های کربنی
- کاربردهای فناوری نانو در ارتقاء توانمندی سربازان
- کاربرد فناوری نانو در صنعت چرم
- کاربرد فناوری نانو در حذف آلودگی آرسنیک از آب
- کاربرد فناوری نانو در منسوجات بی‌بافت
- کاربرد نانومواد سلولز در مقوا
- نانو بارکدها
- کاربرد فناوری نانو در چاپ منسوجات
- کاربرد فناوری نانو در تولید الیاف
- کاربرد فناوری نانو در وسایل نقلیه
- فناوری نانو؛ نقش و کاربرد آن در دندانپزشکی
- کاربرد سیالات فوق بحرانی در صنعت داروسازی