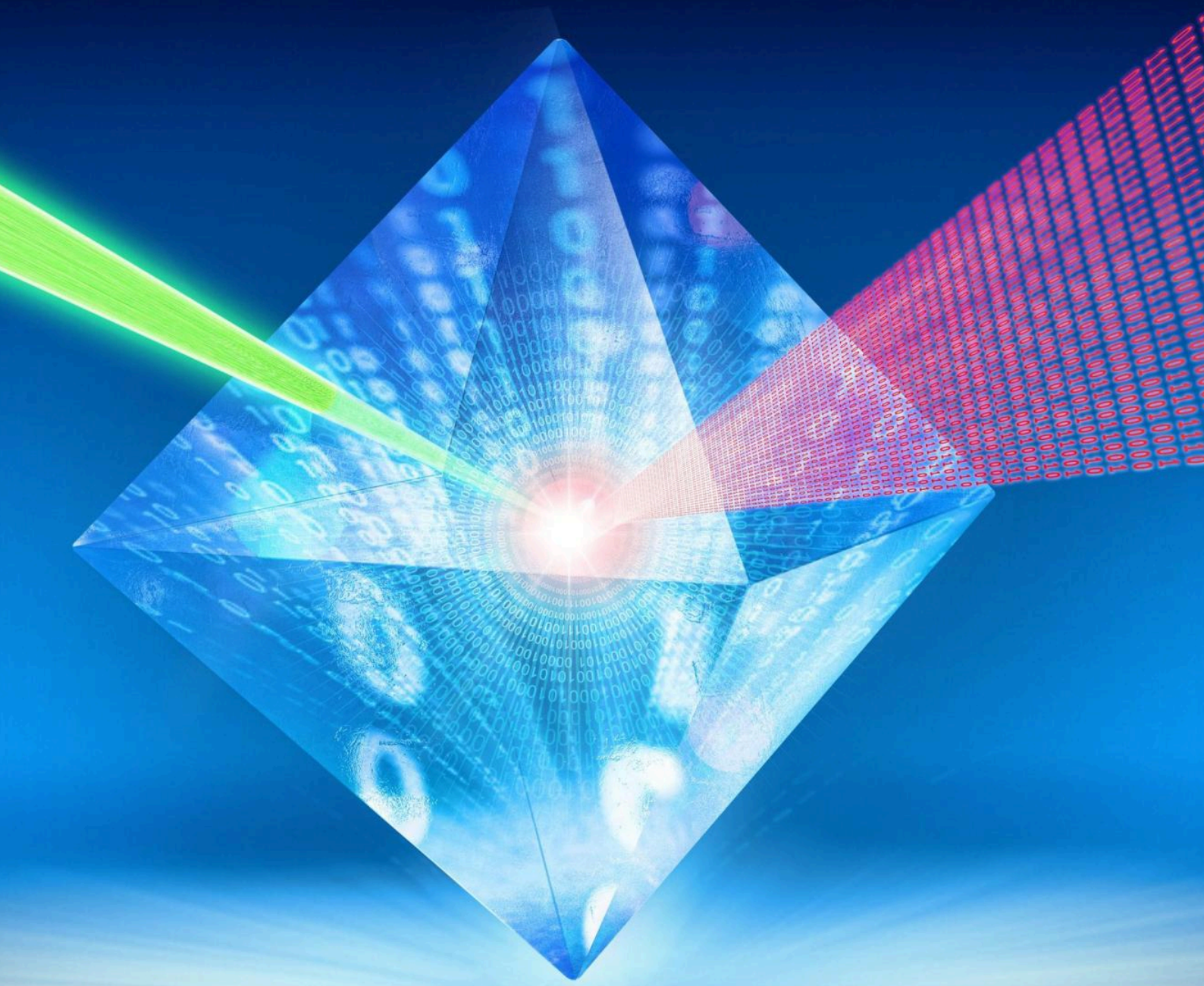
ریاست جمهوری
معاونت علمی و فناوری
ستاد توسعه فناوری فوتونیک، لیزر
مواد پیشرفته و ساخت

ماهنامه فناوری فوتونیک و مواد پیشرفته

سال اول. شماره ۳. بهمن ۱۳۹۸

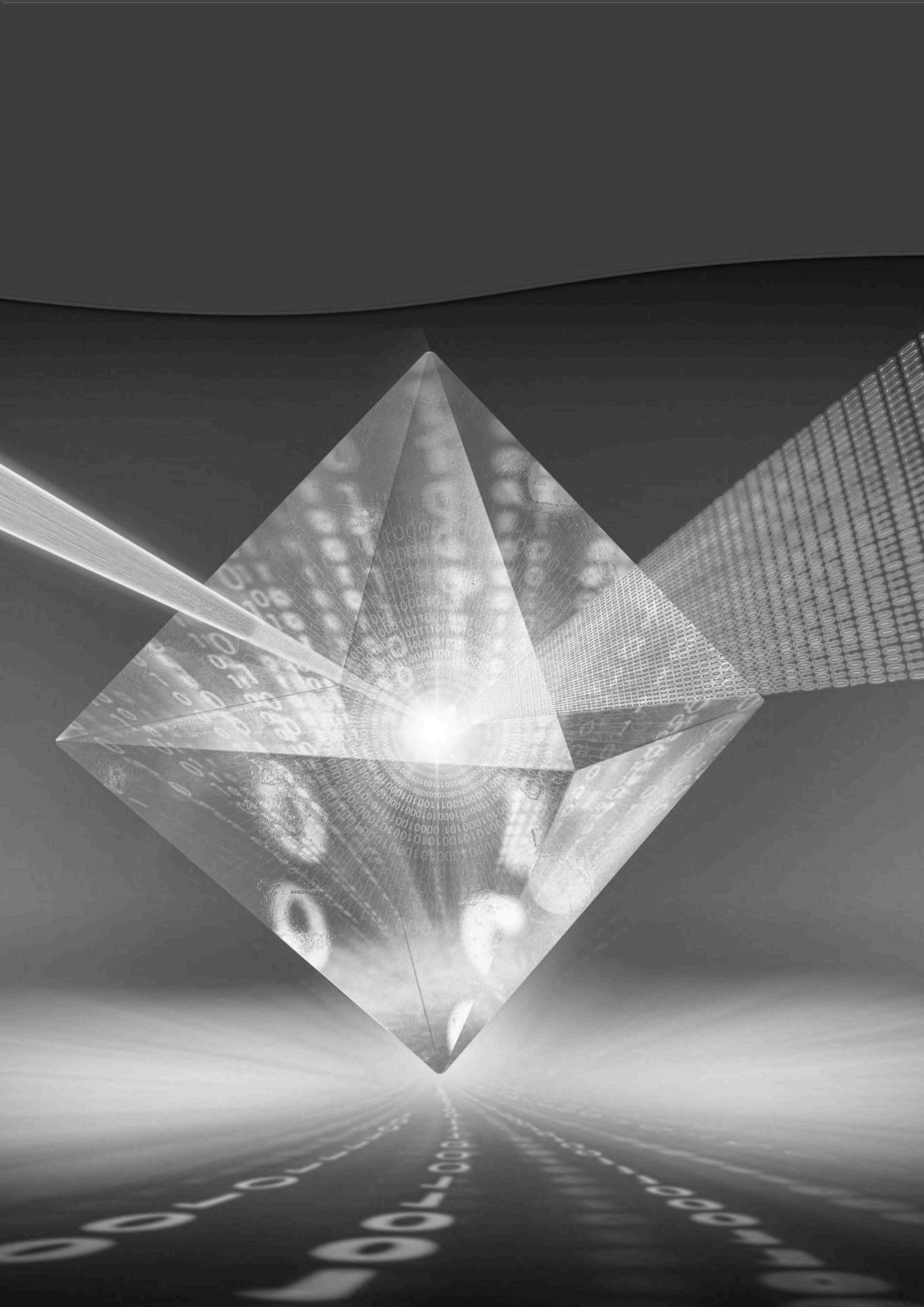


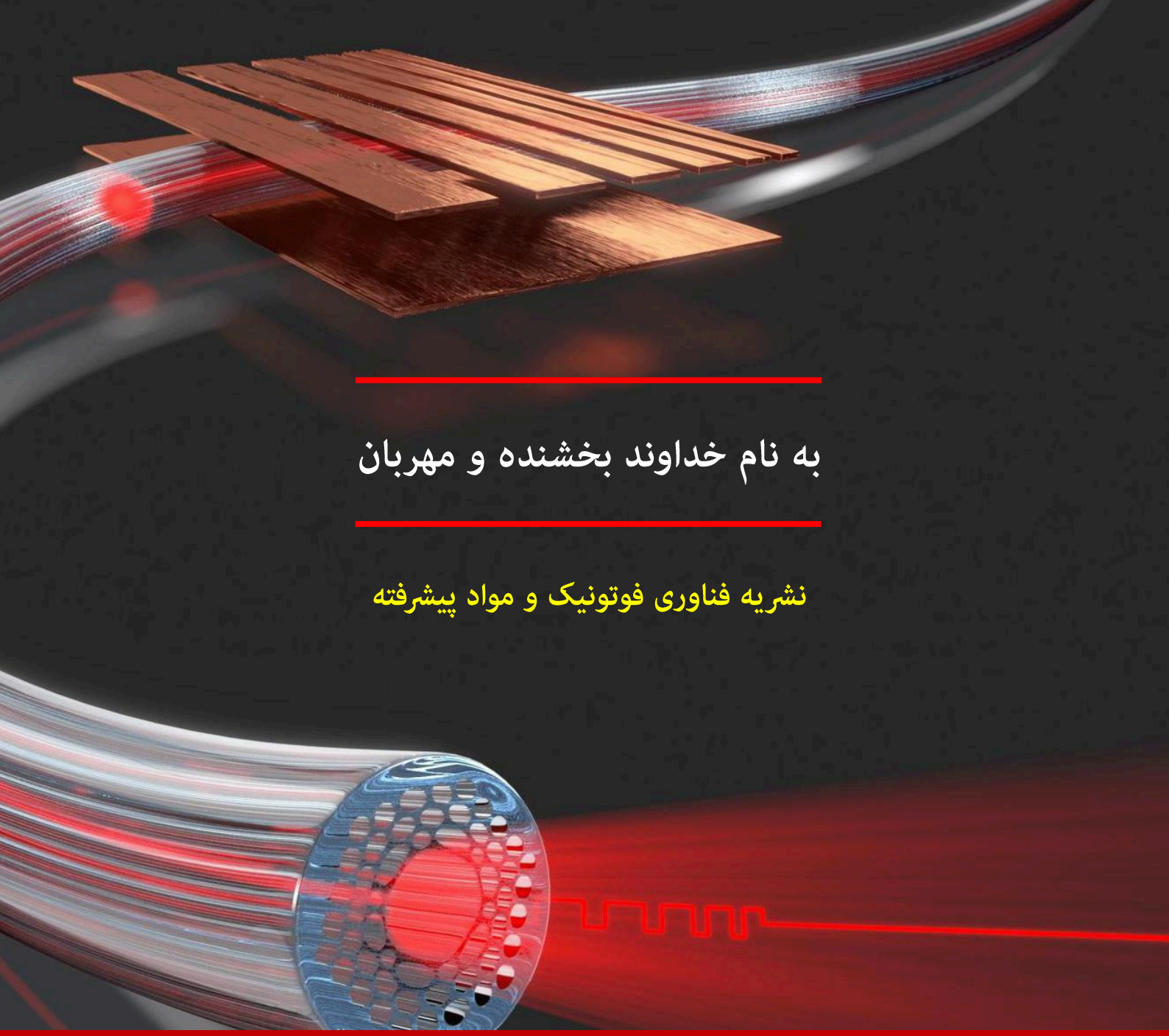
گزارش اختصاصی از
بیست و ششمین کنفرانس
اپتیک و فوتونیک

خودکفایی
در ساخت تایر
خودروهای نظامی

مسیر پیش روی
صنعت الکترونیک
گرافن یا سیلیکان؟

ساختارهای کربنی
و انرژی‌های پاک





به نام خداوند بخشنده و مهربان

نشریه فناوری فوتونیک و مواد پیشرفته

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

نشریه فناوری فوتونیک و مواد پیشرفته

صاحب امتیاز: ستاد توسعه فناوری فوتونیک، لیزر، مواد پیشرفته و ساخت

مدیر مسئول و سردبیر: محمدحسین مجلس‌آرا

جانشین سردبیر: بابک عفافی

ویراستار و دبیر علمی: سیده ثریا موسوی

تحریریه: سیامک میرزازاده، زینب ملکشاهی، مهرناز سیم‌دار، فائزه جدیدی، رزیتا روزبهانی
سیده ثریا موسوی، بابک عفافی

روابط عمومی: کیوان حصاری

طرح روی جلد و صفحه آرایی: بابک عفافی

گروه مشاورین: آرین گودرزی، محمدجعفر نظری، مریم بهرامی کهیش‌نژاد، زهرا عربگل، سید حسین نکومنش‌فرد، سید محمد قریشی
پشتیبانی: کیومرث مهدی‌نیا گتابی

با همکاری انجمن اپتیک و فوتونیک ایران

تارنما: pam.isti.ir
پست الکترونیک سردبیر: deputy@pam.isti.ir
پست الکترونیک جانشین سردبیر: babak.efafi@gmail.com
تلفن: ۰۲۱۲۲۱۸۳۱۱۳
نشانی: تهران، خیابان زعفرانیه، خیابان شهید سرلشکر فلاحی، کوچه شیرکوه، پلاک ۱۱، ساختمان شماره دو معاونت علمی و فناوری ریاست جمهوری

سخن سردبیر

بعد از اکسیژن، مهم‌ترین جزء سازنده بدن ما است! در تمام موجودات زنده، رد پایش یافت شده است! چهارمین عنصر فراوان موجود در کل هستی است! این ماده اساس تمام ترکیبات آلی و شمار زیادی از ترکیبات معدنی و فلزی-آلی است! قلب تپنده ستاره‌ها و سیاره‌ها است! این همان ماده‌ای است که آنتوان لاوویزایر برای اولین بار آن را کربن نامید!

بی‌شک کربن نامی آشنا برای همه اهالی علم است. مهم نیست در چه شاخه‌ای مشغول تحصیل هستید، حتی اگر شعر هم بگوئید، این عنصر بی‌بدیل می‌تواند الهام‌بخش شمار زیادی از استعاره‌های شما باشد.

هرچند تاکنون هم به واسطه رکوردهایش بی‌رقیب مانده، به نظر می‌رسد کماکان شگفتی‌ساز جدول تناوبی باشد! این عنصر که مادر ترکیبات آلی است، لقب پادشاه عناصر را نیز به خود اختصاص داده است! میلیون‌ها ترکیب شیمیایی مختلف، زاده‌ی همین ماده سیاه رنگ طبیعی است.

کربن، جهان کنونی ما را بیش از پیش تحت سلطه خود در آورده است، چنان که توجه دانشمندان زیادی را به خود و خاندانش جلب کرده است. بشر امروزی به خوبی دریافته است که نمی‌تواند بدون کربن زندگی کند، زیرا به هر گوشه‌ای که می‌نگرد، کربن را می‌بیند! از این رو در تلاش است تا جایی که می‌تواند این عنصر جادویی را محسور خود کرده و به شایستگی از تمام آنچه این ماده بی‌نظیر در اختیارش می‌گذارد، بهره‌برداری نماید.

ما فرزندان ایران زمین نیز می‌کوشیم تا به شکرانه این عطیه الهی، با همتی عالی از ظرفیت‌های بالای علمی خود بهره گرفته و گامی بزرگ برای آبادانی این مرز و بوم برداریم. در این شماره از نشریه فناوری فوتونیک و مواد پیشرفته می‌خوانیم که کربن و ساختارهای نوین آن ابزارهای توانمندی هستند که می‌توانند ما را در نیل به این هدف والا یاری کنند. این ماده بی‌نظیر می‌تواند انقلاب شگرفی را در تمام عرصه‌های علمی اعم از فناوری، صنعت، پزشکی و ... رقم بزند و بر ماست که در این عرصه نیز همچون گذشته پرچم‌دار ایران عزیزمان باشیم.

فهرست مطالب

گزارش

گزارش اختصاصی از ۲۶ اُمین کنفرانس اپتیک و فوتونیک ایران-دانشگاه خوارزمی------۶

اخبار فناوری

اخبار فناوری داخلی----------۱۲
خودکفایی در ساخت تایر خودروهای نظامی
درمان افسردگی به کمک نانوساختارهای کربنی
جذب فلزات سنگین موجود در فاضلاب به کمک کربن موجود در پوست تخم‌مرغ
اخبار فناوری خارجی----------۱۸
پلیمرهای بسیار سخت با ساختار توبولان
موفقیت تایرهای اصلاح شده گرافنی
تقویت سازه‌های فضایی با پلیمرهای جدید کربنی
افزایش بازده سلول‌های خورشیدی با استفاده از نانو لوله‌های کربنی
اخبار علمی----------۲۸
ایجاد خواص گرافنی با کمک لیزرهای کم‌توان

دورنما

انقلابی شگرف در سبک زندگی با رهبری کربن و نوادگانش ----------۳۲
ساخت آند گرافیتی در باتری‌های لیتیومی

آموزش کاربردی

معرفی نرم‌افزارهای کاربردی که در شبیه‌سازی پلیمرها،کامپوزیت‌ها و نانولوله‌ها ------۴۴
برنامه شبیه‌سازی Digimat
نرم‌افزار ASPEN HYSYS
مدل‌ساز نانولوله CoNTub

گفتگو

مصاحبه اختصاصی با پژوهشگر ایرانی دانشگاه هاسلت بلژیک در زمینه رشد الماس-----۵۲

از علم تا ثروت

مسیر پیش روی صنعت الکترونیک، گرافن یا سیلیکان؟----------۵۸
تجاری‌سازی گرافن و چشم‌انداز آینده آن
طراحی نقشه راه تجاری‌سازی گرافن
چالش‌های جایگزین کردن گرافن به جای سیلیکان

نوآورانه

تجارتی بزرگ با دی اکسید کربن موجود در هوا!----------۶۸
برگ مصنوعی با قابلیت تولید سوخت‌های زیستی ابداع شد!
تبدیل میکروبی CO_2 به اجزای غذایی مانند پروتئین
فناوری از بین بردن کربن ناشی از انتشار سوخت‌های فسیلی در کارخانه جذب کربن

دروازه‌های علم

ساختارهای کربنی و انرژی‌های پاک ----------۷۶
کاربرد مواد بر پایه کربن در زمینه انرژی‌های تجدیدپذیر
کاربرد مواد بر پایه کربن در تجزیه بی‌هوازی پسماندها برای تولید انرژی----------۸۲
کربن گرافیتی باعث کاهش اسیدیته

گزارش

بیست و ششمین کنفرانس اپتیک و فوتونیک
و
دوازدهمین کنفرانس مهندسی و فناوری فوتونیک ایران
۱۵ و ۱۶ بهمن ۱۳۹۱
دانشگاه خوارزمی
ISC
ASHA
ASHA Beam Profile
INS

گزارش اختصاصی از بیست و ششمین کنفرانس اپتیک و فوتونیک ایران و دوازدهمین کنفرانس مهندسی و فناوری فوتونیک ایران

شاید بتوان بیست و ششمین کنفرانس اپتیک و فوتونیک ایران و دوازدهمین کنفرانس مهندسی و فناوری فوتونیک ایران را بزرگ‌ترین گردهمایی جامعه فوتونیک ایران در سال ۹۸ نامید.

این رویداد فوتونیکی مهم که هر سال به همت انجمن اپتیک و فتونیک ایران برگزار می‌شود، امسال در روزهای پانزده و شانزده بهمن ماه، با میزبانی گرم و خالصانه اهالی دانشگاه خوارزمی حال و هوای دیگری داشت. حضور پرشور و صمیمانه دانشگاهیان از سرتاسر کشور این محفل علمی را رونق بخشیده بود.

ستاد توسعه فناوری لیزر، فوتونیک، ساخت و مواد پیشرفته از جمله بانیان برگزاری این رویداد مهم علمی در کشور است که همه ساله با حمایت‌های مالی و معنوی خود از برگزارکنندگان این کنفرانس، گامی بزرگ در جهت توسعه روزافزون این فناوری و پیشرفت عملکرد فعالان این حوزه برمی‌دارد.

از این رو، در این دوره نیز مشابه دوره‌های پیشین، ستاد با همکاری همه جانبه در برگزاری هر چه باشکوه‌تر این رخداد علمی سهم به سزایی داشت.

آشنایی متخصصان و پژوهشگران دانشگاهی و مراکز پژوهش و صنعتی کشور با فعالیت‌های یکدیگر، مبادله اطلاعات و ایجاد ارتباط بین صنعتگران و پژوهشگران، آشنایی با آخرین دستاوردهای علمی و فناوری در زمینه‌های گوناگون اپتیک و فوتونیک کشور و برگزاری میزگردهای تخصصی از جمله اهداف اصلی برگزاری این کنفرانس سالانه است که امسال نیز همچون گذشته در دستور کار برگزارکنندگان این کنفرانس قرار گرفت.

اپتیک (غیرخطی، کوانتمی و هندسی)، طراحی اپتیکی، اپتیک جو و سنجش از دور، افزاره‌های اپتیکی و الکترواپتیکی (افزاره‌های بلور فوتونی، پلاسمونی، فرامادہ، افزاره‌های نوری آلی و پلیمری، افزاره‌های نوری گرافنی، افزاره‌های نوری نیم‌رسانا، افزاره‌های تراهرتز)، اندازه‌گیری برپایه نور- انبرک نوری، بیوفوتونیک، پلاسما، اپتیک پراشی-تمام نگاری، سامانه‌های اپتوالکترومکانیکی، سلول‌های خورشیدی، طیف‌نگاری، فیبر نوری، انواع لیزرها (نیم رسانا، حالت جامد و گازی)، مگنتوفوتونیک، نانوساختارها و نانوذرات نوری و نور ساختار یافته، مهم‌ترین محورهای این همایش تخصصی بودند که مقالات متعددی در این حوزه‌ها توسط دبیرخانه کنفرانس دریافت گردید. در این دوره از کنفرانس، ۳۷۴ عنوان مقاله علمی به دبیرخانه کنفرانس ارسال شد. از این میان، ۳۱۳ عنوان مقاله پذیرفته شد. ۲۴۰ عنوان مقاله در قالب پوستر و ۷۳ عنوان مقاله به صورت شفاهی ارائه گردید.

مرکز علوم و فنون لیزر ایران، بنیاد ثبوتی، شهرداری کرج، شرکت رایتل، پایگاه استنادی جهان اسلام (ISC)، شرکت نانوگستر سپاهان و همچنین شرکت نمایه پرتو آشا در جمع حامیان این کنفرانس ملی قرار گرفتند.

در اولین روز برپایی کنفرانس، پس از انجام مراسم افتتاحیه با حضور چند تن از مقامات استانی و کشوری، اساتید صاحب نامی همچون آقایان دکتر وحید احمدی و دکتر محمد مهدی طهرانچی در سالن الغدیر دانشگاه خوارزمی که مملو از جمعیت علاقمندان علوم اپتیکی و فوتونیکی بود، به ایراد سخنرانی در این حوزه پرداختند و آخرین دستاوردهای خود و همکارانشان در زمینه‌های فوتونیکی را در رو بخش برای همگان ارائه کردند.

با تلاش خستگی‌ناپذیر دست‌اندرکاران این رویداد علمی، برنامه‌های کنفرانس با روالی منظم، در فضایی دوستانه و با آرامشی دلپذیر دنبال می‌شد. فعالیت بی‌وقفه و دلسوزانه اهالی و کارمندان انجمن در چند ماه گذشته، همت والای اساتید و مشارکت خالصانه دانشجویان دانشگاه خوارزمی، خاطره‌ای خوش را در ذهن شرکت‌کنندگان این دوره از همایش ثبت کرد.

این گردهمایی ملی با برپایی نمایشگاه، به معرفی فعالیت‌ها و دستاوردهای خود در زمینه‌های مختلف مرتبط با همایش پرداختند.

بعد از ظهر روز اول کنفرانس، شور و اشتیاق دانشجویان در ارائه مقالات خود در قالب پوستر مثال‌زدنی بود. جمع‌های کوچک و بزرگ گرد پوسترها، بحث‌های داغ علمی میان دانشجویان و اساتید، تبادل اطلاعات جدید و تجربیات پیشین، سوال و پاسخ‌های داوران و ارائه‌کنندگان، لحظات علمی بی بدیلی را برای همه حاضران در این بخش کنفرانس رقم زد. سالن‌های برگزاری ارائه‌های شفاهی مملو از جمعیت مشتاق دانشجویان و اساتید حوزه‌های متنوع فوتونیکی بود که به بحث و چالش در زمینه‌های تخصصی خویش می‌پرداختند.

در واپسین ساعات اولین روز کنفرانس، میزگردی با حضور جمعی از اساتید و دانشجویان به صورت بحث آزاد برگزار شد و متخصصین، مسئولین و متولیان برگزاری این کنفرانس به سوالات، انتقادات و پیشنهادات حضار پاسخ دادند.

جلسه پرسش و پاسخ با حضور برخی از اهالی انجمن و دست‌اندرکاران

صبح روز شانزدهم بهمن ماه، آقای دکتر Selcuk Yerci میهمانی از کشور همسایه، ترکیه، تنها سخنران خارجی دعوت شده به کنفرانس در میان جمع کثیری از دوستداران حوزه فناوری‌های فوتوولتائیک به تشریح فعالیت‌ها و آخرین دستاوردهای خود و همکارانش در این حوزه فناورانه پرداخت.

پس از ایشان، آقای دکتر نیما تقوی‌نیا هیئت علمی دانشگاه صنعتی شریف، دیگر سخنران کلیدی این همایش، از جمله اساتید خوش نام در صنعت سلول‌های خورشیدی به معرفی این حوزه علمی پرداختند و آخرین یافته‌های تجربی و تحقیقاتی خود و همکارانشان را در اختیار علاقمندان قرار دادند.

در پایان مراسم اختتامیه، اسامی ده نفر از برترین ارائه‌دهندگان پوسترها اعلام شد و جوایزی به رسم یادبود به ایشان تقدیم گردید. به این ترتیب، با درج تصویری دیگر از جمع حاضرین در قاب وبگاه همایش، پرونده این دوره کنفرانس نیز بسته شد.

عکس دسته جمعی در روز دوم برگزاری همایش

ستاد توسعه فناوری لیزر، فوتونیک، ساخت و مواد پیشرفته نیز با برپایی غرفه اختصاصی میزبان میهمانان کنفرانس بود و با ارائه‌ی مجلات و بروشور به تبیین فعالیت‌های اخیر خود در حوزه اپتیک و فوتونیک پرداخت.

اخبار فناوری

روشی جدید برای خم کردن الماس!

نانولوله‌های کربنی و آب، عشق یا نفرت!

کفی هوشمند گرافنی که چشم از پای دیابتی‌ها بر نمی‌دارد!

خودکفایی این بار در ساخت تایر خودروهای نظامی!

حتی پوست تخم‌مرغ هم به نجات محیط زیست آمد!

پلیمرهایی به سختی الماس با ساختار توبولان!

ایران در ساخت تایر خودروهای نظامی خودکفا شد!

اخبار داخلی
به قلم مهرناز سیم‌دار
mehrnaz.simdar@gmail.com

همانطور که پیش از این نیز اشاره شد، یکی از مهم‌ترین موارد مصرف ساختارهای کربنی در صنعت، استفاده از آن در ساخت لاستیک خودرو به عنوان تقویت‌کننده است. ساختارهای کربنی به شکل دوده به آمیزه لاستیک اضافه می‌شوند و مقاومت آن را نسبت به سایش و خوردگی افزایش می‌دهند. اگرچه امروزه در زمینه تهیه و واردات مواد اولیه تایر مشکلاتی وجود دارد، اما به تازگی شاهد حرکتی ماندگار در صنعت تایر ایران هستیم: با خودکفایی در تولید لاستیک خودروهای نظامی، نیروهای مسلح از مشکلات ایجاد شده در پی اعمال تحریم‌های ظالمانه در زمینه تامین تایرهای مورد نیاز ناوگان لجستیکی رها شد. کارخانه «کیان تایر» با نام تجاری «لاستیک البرز» برای اولین بار در کشور یک نوع از تایرهای سنگین با سایز ۲۰-۱۴ را برای ارتش جمهوری اسلامی ایران طراحی و تولید کرده است.

به نقل از بهنام پورحیدری، مدیر عامل کیان تایر در گفت و گو با روزنامه دنیای خودرو، تولید آزمایشی این تایر انجام شده و در حال حاضر ۳۰ حلقه از آن برای آزمایش میدانی در اختیار ارتش قرار گرفته است. وی تاکید کرد: «این تایرها باید تحمل وارد شدن ۱۰۰ تن بار را داشته باشند، به همین دلیل تولید انبوه پس از مشخص شدن ایرادهای احتمالی در طراحی، تولید آمیزه، ساختار تایر و رفع آن‌ها عملیاتی خواهد شد». پورحیدری از درخواست تولید سالانه چندین هزار حلقه از این نوع تایر برای ارتش جمهوری اسلامی و سپاه پاسداران خبرداد و افزود :«با تولید این مدل تایر سنگین در کشور، علاوه بر بی نیازی به کشورهای خارجی، به ازای تولید هر حلقه تایر نیز تا ۳۰۰ دلار برای کشور صرفه جویی ارزی خواهیم داشت».

پژوهشگران ایرانی افسردگی را با نانوساختارهای کربنی درمان می‌کنند!

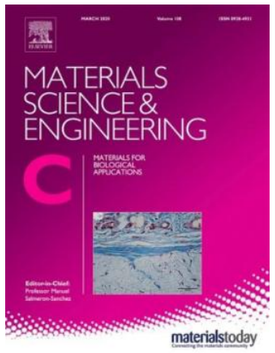
به گزارش گروه فناوری خبرگزاری دانشجو، محققان پژوهشکده لیزر و پلاسما دانشگاه شهید بهشتی با همکاری دانشگاه مالایا مالزی توانسته‌اند با استفاده از یک روش بسیار ساده و مقرون به صرفه با استفاده از نانوساختارهای اکسید کبالت و صفحات اکسید گرافن کاهش‌یافته حسگرهایی را تولید کنند که می‌تواند به تشخیص و درمان بیماری‌هایی مانند افسردگی و آلزایمر کمک کند.

دکتر مهدی علیزاده محقق پژوهشکده لیزر و پلاسما دانشگاه شهید بهشتی درباره دستاوردهای مهم این پژوهش گفت: «در این پروژه توانستیم با جایگزین کردن نانومکعب‌های Co_3O_4 بر روی صفحات rGO با استفاده از روش هیدروترمال یک مرحله‌ای و بالا بردن کارایی الکترود الکتروشیمیایی در شناسایی سروتونین که نوعی انتقال‌دهنده عصبی HT-5 (عامل جلوگیری از بیماری‌هایی چون افسردگی و آلزایمر) است به درمان این بیماری کمک کنیم. تاکنون روش‌های مختلفی برای شناسایی سروتونین به‌کار گرفته شده‌اند. در این روش‌ها محدودیت‌هایی مانند وقت‌گیربودن و نیاز به اصلاح نمونه قبل از انجام تشخیص وجود دارد. از طرف دیگر، شناسایی HT-5 با استفاده از روش‌های الکتروشیمیایی از کارایی بالاتری برخوردار است. با این وجود، غلظت کم HT-5 در شرایط فیزیولوژیکی و وجود مولکول‌های زیستی دیگر با اکسایشی مشابه با HT-5، انجام روش‌های الکتروشیمیایی را با مشکل مواجه می‌کند. مطالعات الکتروشیمیایی نشان می‌دهد که نانوترکیب‌های $rGO\text{-}Co_3O_4$ فعالیت الکتروکاتالیستی مناسبی در اکسیداسیون بیومارکر افسردگی سروتونین (HT-5) در بافر فسفات (PBS) از خود نشان می‌دهند».

وی معتقد است سادگی روش ساخت و نمونه‌های با کیفیت، همچنین کاهش هزینه، افزایش سرعت انجام کار و کارایی این طرح از ویژگی‌های نوآورانه آن است.

پژوهشگر دانشگاه مالایا مالزی در ادامه گفت: «این طرح پژوهشی در مرحله آزمایشگاهی است و با انجام روش‌های دقیق‌تر دارویی و پزشکی قابلیت تجاری‌شدن دارد».

امروزه روش‌های متفاوتی برای شناسایی 5-HT استفاده می‌شود مانند فلورومتری، آنزیم ایمونواسی، رادیو ایمونواسی و طیف سنجی جرمی. در این روش‌ها محدودیت‌هایی مانند وقت‌گیربودن و نیاز به اصلاح نمونه قبل از انجام تشخیص وجود دارد.



نتایج این پژوهش در مجله Materials Science and engineering به چاپ رسیده است.

اخبار فناوری

بطور معمول کربن فعال از زغال سنگ، پوست نارگیل، زغال قهوه‌ای، تراشه‌های چوبی، خاک اره، پوست شالی و ... تهیه شده و به دو روش شیمیایی و فیزیکی قابل فعال‌سازی است.

جذب فلزات سنگین موجود در فاضلاب‌ها توسط کربن به دست آمده از پوست تخم‌مرغ

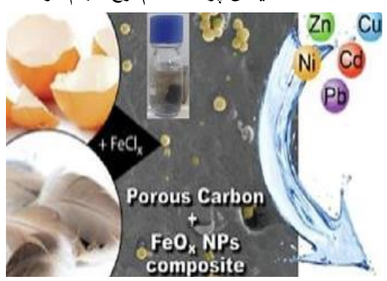
به نقل از ایسنا، «احمد حسینی بنده‌قرائی» دانشجوی دکتری دانشگاه علوم پزشکی و خدمات درمانی سبزوار درباره پژوهشی که پیرامون به دست آوردن کربن فعال از پوست تخم‌مرغ و پر مرغ انجام شده است، می‌گوید: نتایج این پژوهش نشان می‌دهد کربن فعال به دست آمده از پر مرغ و پوست تخم‌مرغ می‌تواند فلزات سنگین موجود در فاضلاب‌ها را جذب کند.

یون‌های فلزات سنگین از آلاینده‌های نامطلوبی است که توسط بسیاری از صنایع وارد فاضلاب‌ها می‌شوند. این یون‌ها باعث آلودگی گسترده آب‌های سطحی و منابع آب زیرزمینی در مجاورت آن‌ها می‌شوند. بنابراین بشر ناچار است که از ورود پساب‌های صنعتی آلوده به فلزات سنگین، به محیط زیست جلوگیری کرده و قبل از استفاده مجدد از این پساب‌ها، آن‌ها را تصفیه کند».

روشهای متداول برای از بین بردن یون‌های فلزی سمی از آب‌های آلوده و فاضلاب‌ها شامل رسوب‌دهی شیمیایی، فیلتراسیون، جذب، تبادل یونی و ... است. در این میان، جذب از نظر سادگی طراحی، کارایی بالا در مقایسه با هزینه عملکردی و تولید حداقل پسماند روش مطلوبی به شمار می‌رود. انتخاب ماده مناسب برای جذب اهمیت زیادی دارد چون علاوه بر آسیب نزدن به محیط زیست باید از لحاظ اقتصادی نیز مقرون به صرفه باشد.

به گفته‌ی این پژوهشگر: «حذف این فلزات از آب‌های شرب آلوده با این فلز قبل از مصرف ضروری است. یکی از راه‌های حل این مشکل استفاده از کربن فعال جهت تصفیه آب و فاضلاب‌های آلوده است».

او با بیان این که با در نظر گرفتن مشکلات زیست محیطی موجود در عصر حاضر، استفاده از ضایعات صنایع برای حل مشکلات زیست محیطی، اهمیت زیادی پیدا کرده است، افزود: پر مرغ و پوست تخم‌مرغ دو ماده ضایعاتی هستند که در صنایع پرورش طیور و یا مواد غذایی ایجاد می‌شوند. ساخت کربن فعال از پر مرغ و فعالسازی آن با یک ماده ضایعاتی دیگر ایده‌ای است که توسط محققان دانشگاه علوم پزشکی و خدمات درمانی سبزوار به واقعیت تبدیل شده است. وی درباره پژوهش خود و همکارانش گفت: این ایده ابتدا به صورت یک پروژه تحقیقاتی در دانشگاه علوم پزشکی و خدمات درمانی سبزوار به تصویب رسید. در این پروژه، برای تهیه کربن فعال ارزان از یک محصول جانبی صنعت مرغداری یعنی پر مرغ استفاده شد و فعالسازی آن با استفاده از یک زباله دیگر از همان صنعت یعنی پوست تخم‌مرغ انجام گرفت.



حسینی ادامه داد: کربن فعال تهیه شده مغناطیسی شد و برای حذف برخی از یون‌های فلزی سنگین و سمی از آب مورد بهره‌برداری قرار گرفت. مطالعات و انجام آزمایشات حدودا یک سال به طول انجامید و یافته‌ها نشان داد که این جاذب جدید از ظرفیت جذب بالایی برای یون‌های فلزی مورد مطالعه برخوردار است. همچنین فرایند جذب، سریع و خودبه‌خودی بود. به‌طور خلاصه، جاذب جدید ویژگی‌های مفیدی را در عمل نشان داد که می‌تواند در تصفیه‌خانه‌های فاضلاب‌های آلوده به یون‌های فلز سنگین مورد استفاده قرار گیرد.

وی افزود: از طرفی تبدیل پر مرغ به کربن توزیع مناسبی از خلل و فرج، سطح زیاد، درجه یکنواختی بالا، دوام و پایداری شیمیایی زیاد در مقابل اسیدها، بازها و عوامل اکسنده را به‌وجود می‌آورد که همگی از خواص مناسب برای یک جاذب هستند؛ همچنین اصلاح کربن فعال پر مرغ با پوست تخم‌مرغ با وجود آن که حاوی مزیت‌ها و خاصیت‌های جذبی گروه‌های عاملی پوسته تخم مرغ است، عیوب مرتبط با انحلال پذیری پوسته تخم مرغ را نخواهد داشت. بطور کلی می‌توان از این جاذب ارزان برای تصفیه منابع آبی آلوده مانند: فاضلاب فرآیندهای صنعتی مثل آبکاری، تولید پلاستیک، استخراج و ذوب فلزات، رنگ سازی و تولید باطری‌ها، کاغذسازی و ... استفاده کرد.

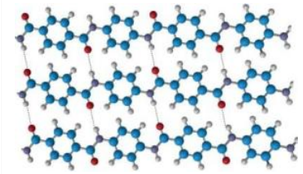
حسینی درباره ویژگی‌های کربن به دست آمده از پر مرغ گفت: کربن تولیدی از پر مرغ شبکه میکرو متخلخل پیوسته و سطح بالایی دارد و می‌تواند به عنوان جاذب مورد استفاده قرار گیرد. ساخت کربن فعال از پر مرغ و اصلاح آن با یک ماده ارزان مانند پوست تخم‌مرغ می‌تواند کارایی ضعیف پر مرغ در حذف ناخالصی‌های معدنی را رفع کرده و کارایی آن را در جذب فلزات سنگین به خصوص کادمیم بالا ببرد.

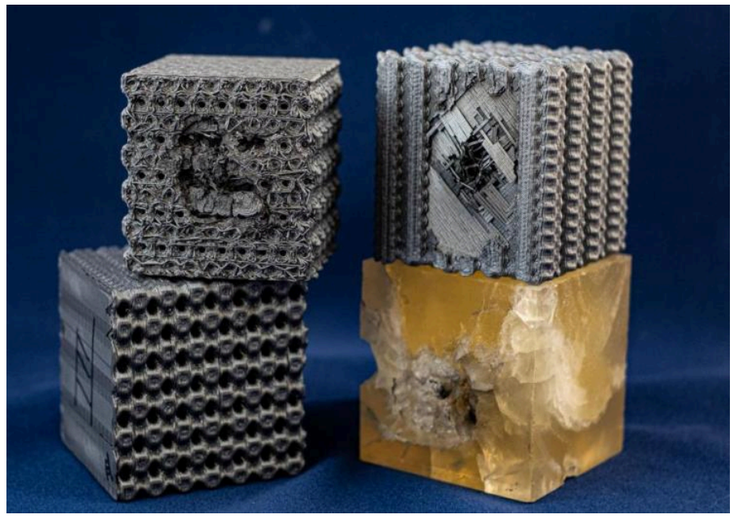
این محقق دکتری در پاسخ به سوالی درباره پژوهش‌های مشابه گفت: در ساله‌ای گذشته مطالعات زیادی برای استفاده از پر مرغ در حذف آلودگی‌های آلی مانند رنگ‌ها انجام شده است. همچنین چندین مطالعه نیز در زمینه استفاده از پر مرغ جهت حذف فلزات سنگین از آب و فاضلاب انجام شده است که متأسفانه کارایی کم این جاذب در جذب فلزات سنگین (کمتر از ۱۰ میلی‌گرم بر گرم) مهم‌ترین مشکل بر سر راه استفاده از این جاذب ارزان برای حذف فلزات سنگین از محلول‌های آبی است.

نتایج این مطالعه در نشریه‌ی Bioresource Technology منتشر شده است.

اخبار خارجی

نظریه‌ی ساخت توبولان اولین بار در ۱۹۹۳ میلادی مطرح شد و پژوهش‌ها برای دستیابی به آن هنوز ادامه دارد.





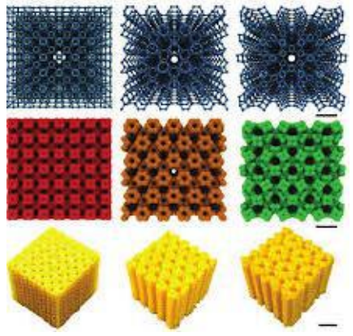
پلیمرهای بسیار سخت با ساختار توبولان

یک تیم تحقیقاتی از دانشگاه «رایس» آمریکا به سرپرستی محقق ایرانی «سید محمد سجادی» موفق به ساخت بلوکی پلیمری با الهام از نانو لوله‌های کربن شدند. این بلوک ساخته شده با ساختار خاص ۱۰ برابر بیشتر از بلوک معمولی ساخته شده از همان نوع پلیمر در برابر اصابت گلوله مقاوم است.

تولید ماده سبک و پر از حفره‌های ریز که دارای سختی برابر با الماس باشد، از اهداف این پژوهشگران بود و بر این اساس محققان دانشگاه رایس به آزمایش پلیمرهای ساخته شده به شکل توبولان‌ها پرداختند.

پلیمر استفاده شده در ساخت بلوک‌های توبولانی پلی لاکتیک اسید (PLA) است.

توبولان‌های مورد مطالعه در این پژوهش، ساختارهای میکروسکوپی متشکل از نانو لوله‌های‌کربنی متصل به یکدیگرند و پیش‌بینی می‌شود که استحکام فوق‌العاده‌ای داشته باشند. دانشمندان نشان دادند که می‌توان توبولان‌ها را از پلیمر به صورت بلوک‌های سه‌بعدی چاپ کرد.



به گفته سجادی: «سامانه‌های نظری مختلفی وجود دارند که تا قبل از ساخته‌شدن نمی‌توان از خواص آن‌ها بهره برد. اما با چاپ سه‌بعدی می‌توان از خواص مکانیکی پیش‌بینی شده استفاده کرد و به ویژگی‌های مکانیکی قابل تنظیم دست یافت. زیرا بسیاری از این خواص در نتیجه توپولوژی ایجاد می‌شوند نه اندازه».

آزمایش‌های انجام شده توسط این گروه تحقیقاتی به این صورت بود که گلوله‌هایی با سرعت ۸/۵ کیلومتر در ثانیه به مکعب‌هایی با شکل ثابت و یکسان شلیک شد. برخی از مکعب‌ها، ساخته شده به شکل توبولان و دارای حفره‌های متعددی بودند و برخی دیگر از مکعب‌ها از همان پلیمر با ساختار معمولی ساخته شده بودند. به گفته سجادی نتایج این آزمایش‌ها بسیار چشمگیر است.

بلوک‌های توبولانی، ۱۰ برابر بهتر از یک بلوک معمولی از همان مواد عمل کردند. به طوری که گلوله در لایه دوم سازه توبولانی به دام افتاد. اما در بلوک معمولی، ترک‌هایی در کل ساختار ایجاد شد. این آزمایش نشان داد که چگونه یک شبکه پلیمری متخلخل اجازه می‌دهد ساختارهای توبولانی بدون ترک‌خوردگی روی هم فرو بریزند.

یعنی این ساختار از قابلیتی برخوردار است که می‌تواند بدون شکستن و ترک برداشتن، بسیار فشرده شود.

به نقل از سجادی این ساختارهای توبولانی می‌توانند از فلزات، سرامیک و پلیمر ساخته شوند و تنها محدودیت آن اندازه چاپگر سه بعدی است. این فناوری در حوزه‌هایی نظیر تجهیزات نظامی، هوافضا، خودرو، ورزش، بسته‌بندی و زیست‌پزشکی قابل استفاده است.

پیش‌بینی می‌شود تا سال ۲۰۳۵ تایرهای گرافنی تحول عظیمی در صنعت تایرسازی جهان به‌وجود بیاورند.

موفقیت تایرهای اصلاح شده گرافنی

«گراتومیک» یکی از شرکت‌های تولیدکننده گرافن از گرافیت بوده و روی توسعه مواد پیشرفته تمرکز دارد. این شرکت اعلام کرد که در همکاری با شرکت تکنولوژی‌های کربنی «پرپتوس»، نتایج موفقیت آمیزی از آزمون بر تایر اصلاح شده با گرافن به‌دست آورده است. این نتایج نشان می‌دهد که تایرهای گرافنی در مقایسه با تایرهای برندهای معتبر جهانی از کیفیت بالایی برخوردار هستند و معتقد است که این نتایج نشانگر دستیابی به موفقیت حائز اهمیتی در فناوری تایرهای گرافنی است که استقرار آن‌ها را در بازار جهانی تایر تضمین می کند. برنامه توسعه ۱۸ ماهه این شرکت شامل یک سری آزمون بود که در مدت شش‌ماه انجام شد و در آن تایرهای تقویت شده با گرافن شرکت گراتومیک و تایرهای صاحب نام در سطح جهانی با هم مقایسه شدند.

این تایرها در جاده‌های مختلف انگلستان مورد آزمایش قرار گرفته تا عملکرد تایرها ثبت و با هم مقایسه شود.

نتایج به‌دست آمده نشان می‌دهد که تایرهای اصلاح شده با گرافن شرکت گراتومیک به دلیل وجود گرافن، ۳۰٪ مقاومت بیشتری در برابر سایش نسبت به تایرهای رقیب داشته‌اند. با این فناوری طول عمر تایر افزایش یافته و ۳۰٪ مسافت بیشتری طی می‌کنند، پیش از آن‌که نیاز به تعویض داشته باشند. علاوه بر این، نتایج آزمایش‌های انجام شده توسط کارشناسان با استفاده از آنالیز استاندارد مکانیکی دینامیکی (DMA) بهبود قابل توجهی در مقاومت نورد نشان می‌دهد که این موضوع نمایانگر بهبود ۳۰ درصدی در مصرف سوخت است. در نهایت، این آزمون‌ها نشان می‌دهد که عملکرد تایرهای گرافنی در جاده‌های مرطوب و یخ‌زده ۴۰ درصد بهبود یافته است.

تقویت سازه‌های فضایی با پلیمرهای جدید کربنی

پژوهشگران دانشگاه «سوری» موفق شدند پلیمرهای الیاف کربنی مورد استفاده در ساخت سازه‌های فضایی را با نوع جدیدی از نانو الیاف‌های چندلایه و مستحکم اصلاح کنند. این پلیمرهای کربنی می‌توانند در ساخت سازه‌های دقیق برای ماموریت‌های فضایی استفاده شوند. اگرچه این پلیمرهای کربنی امروزه در ماموریت‌های فضایی استفاده می‌شوند، اما کاربردهای آن‌ها محدود است، زیرا این ماده رطوبت را به خود جذب می‌کند.

این رطوبت اغلب به صورت گاز در حین یک مأموریت فضایی رها می شود و باعث می شود ساختار ماده انبساط یابد و بر پایداری و یکپارچگی آن سازه تأثیر بگذارد. مهندسان سعی می‌کنند با انجام روش‌های طولانی و گران‌قیمت از قبیل خشک کردن، احتراق و بازپخت مجدد این مشکلات را به حداقل برسانند. اما ممکن است باز هم این مشکل به طور کامل برطرف نشود. برای حل این مسئله پژوهشگران یک نانو الیاف چندلایه ایجاد کرده‌اند که آن را با پلیمرهای کربنی پیوند می‌زنند.

این کار نیاز به مراحل بازپخت چندگانه را از بین می‌برد. مهندسین دانشگاه سوری نشان داده‌اند که نانوالیاف بسیار نازک آن‌ها تنها ضخامتی در حد چند میکرومتر دارد و در مقایسه با پوشش‌های فعلی سازه‌های فضایی که ده‌ها میکرومتر ضخامت دارند، کمتر دچار نقص و آلودگی سطحی می‌شوند و حتی پس از چرخه‌های حرارتی متعدد، یکپارچگی خود را حفظ می‌کنند.

پروفسور «راوی سیلوا» مدیر موسسه فناوری در دانشگاه سوری گفت :«ما اطمینان داریم که پلیمر اصلاح شده‌ای که ما پیشنهاد داده‌ایم، پیشرفت چشمگیری نسبت به روش‌ها و پژوهش‌های مشابه فعلی در بازار دارد. این نتایج دلگرم کننده نشان می دهد که نانو الیاف ما می‌تواند هزینه‌های قابل توجه و خطرات ناشی از استفاده از پلیمرهای الیاف کربنی معمولی را در مأموریت‌های فضایی از بین ببرد». «کریستین ویلهلمی» رئیس بخش تحقیقات و فناوری شرکت ایرباس گفت: «سالهاست که ما از پلیمرهای الیاف کربن در فضاپیماها و سازه‌های خود استفاده می‌کنیم، اما نانو الیاف‌های جدید که به تازگی توسعه یافته‌اند، به ما این امکان را می دهند تا از نسل بعدی پلیمرهای کربنی با دوام بیشتر و در مقیاس بزرگتر استفاده کنیم».

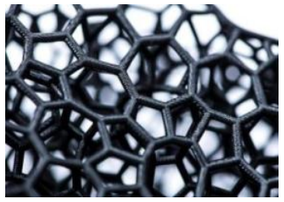
این پروژه تحقیقاتی نتیجه همکاری طولانی و نزدیک دانشگاه سوری و شرکت ایرباس است.

نام علمی این پلیمرها:

Carbon Fiber Reinforced Polymers (CFRPs)

به معنای:

«پلیمرهای تقویت شده با الیاف کربنی» است.



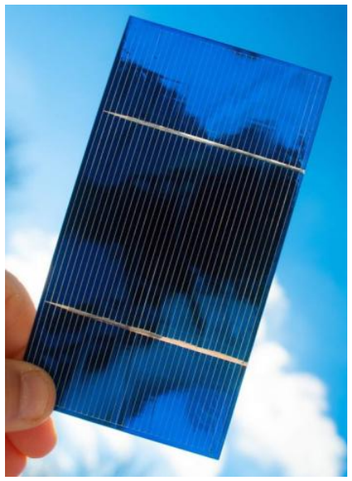
افزایش بازده سلول‌های خورشیدی با استفاده از نانو لوله‌های کربنی

محققـان ژاپنـی توانسـتند لایـه‌های بلـوری پروسکایت بدون نقایص شبکه‌ای را بـا اسـتفاده از نـانو لولـه‌های کربنـی(CNT) تولیـد کننـد. یافتـه‌هـای آن‌هـا، کـه در مجلـه Solar RRL منتشر شده‌است، نانو لوله‌های کربنی می‌توانـد عملکـرد صـفحه‌های خورشـیدی مبتنـی بـر پروسـکایت را بهبـود بخشـد. پروسـکایت‌ها موادی مصنوعی هستند که نور خورشـید را بـه الکتریسیته تبدیل می‌کنند.

روش‌های فعلی تولید پروسکایت‌ها اغلب منجر به تولید شـبکه‌های کریسـتالی بـا نـواقص زیـاد می‌شـود کـه بـازده تبـدیل انـرژی را کـاهش می‌دهـد. ایـن تـیم تحقیقـاتی بـه سرپرسـتی پروفسـور «کیکـو واکـی» در موسسـه فنـاوری توکیو به روشی برای اتصال نانو لوله‌های کربنی بـه پروسـکایت‌ها و افـزایش بهـره‌وری و دوام آن‌ها دست یافته‌اند. این محققان علاوه بر نانو لوله‌های کربنی خالص، از نـوعی نـانو لولـه‌های کربنی بهبود یافته نیز استفاده کرده‌انـد کـه در ساختار آن‌ها گروه‌های عـاملی حـاوی اکسـیژن وجود دارد.

در نتیجـه بلورهـای پروسـکایت بهـتر شـکل می‌گیرنـد و فصـل مشـترک بـین پروسـکایت و CNTها بهبود می‌یابد.

همچنـین گزارشـی از عملکـرد الکتریکـی پروسـکایت بـا نـانو لولـه‌های کربنـی ارائـه کرده‌انـد و خاطرنشـان کردنـد کـه بلورهـای بزرگ‌تـر و نقـایص سـطحی کمـتری هنگـام اسـتفاده از CNTهـای بهبـود یافتـه ایجـاد می‌شود. علاوه بر این، نانو لوله‌های کربنـی بهبود یافته تا حد زیادی باعث اصلاح خواص و محافظت پروسکایت از رطوبت مـی‌شـود. این گروه تحقیقاتی پیش‌بینـی مـی‌کننـد کـه یافتـه‌هـای آن‌هـا راه را بـرای توسـعه انـرژی تجدیدپذیر و پاک‌تر و کاهش اثـرات زیسـت محیطی سوخت‌های فسیلی هموار می‌کند.



پروفسور واکی: «ما امیدواریم که این مطالعه به تولید پروسکایت‌هایی با بازده و عمر بیشتر کمک کند».

کفی هوشمند گرافنی برای جلوگیری از زخم پای دیابتی

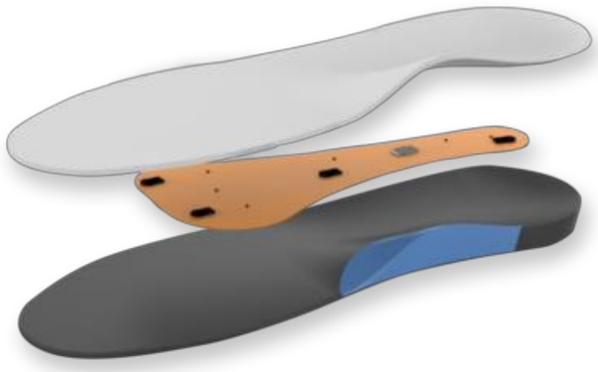
شرکت «بنبوتون» در نیویورک کفـی هوشـمندی با اسـتفاده از شـبکه‌های گرافنـی طراحـی کـرده است که می‌تواند تغییرات فشار و دمای پوسـت را در نقاط مختلف در کف پا اندازه‌گیری کند و در صـورت مشـاهده امکـان ایجـاد التهـاب موضعی، صاحب آن را از طریق تلفـن هوشـمند مطلع می‌سـازد. ایـن وسـیله توسـط «لینـه لـو» هنگامی که در مقطع دکترای مهندسـی شـیمی در موسسـه فنـاوری اسـتیونز در نیوجرسـی مشغول تحصیل بود، ساخته شد.

از آنجـا کـه دیـابتی‌هـا اغلـب دچـار بی‌حسـی اندام‌های بدن هستند، مستعد ابتلا به زخم‌هـای پوستی در پاها می‌باشند. ایـن زخـم‌هـا معمـولا بسیار دشوار درمان می‌شوند و گـاهی منجـر بـه قطع عضو می‌شوند. بنـابراین، ایـن کفـی جدیـد طراحی شده است تا از ایجاد این گونـه زخم‌هـا در پـا را پیشـگیری کنـد. در داخـل یـک جفـت کفـش معمـولی، مجموعـه‌ای از دو کفـی قـرار می‌گیرد. در این کفی‌ها شـبکه‌ای از حسـگرهای مبتنی بـر گـرافن اسـتفاده می‌شـود تـا تغییـرات فشـار و دمـای پوسـت را در نقـاط مختلـف در کف پا اندازه‌گیری کنند.

در اینصورت چنانچـه داده‌هـا حـاکی از بـروز التهـاب موضـعی باشـد، کفـی کـه مجهـز بـه بلوتوث است، به طـور خودکـار هشـداری بـه برنامـه Android/IOS در تلفـن هوشـمند بیماران می‌فرستد و به آنها اطلاع می‌دهد کـه زخمی در حال شکل‌گیـری اسـت. ایـن برنامـه همچنین به کـاربران توصـیه مـی‌کنـد بهـترین اقدامات عملی را انجام دهنـد. عـلاوه بـر ایـن برنامه‌های آن می‌تواند برای هشـدار دادن بـه افراد دیگر مانند پزشک یا اعضای خانواده نیـز تنظیم شود.

کفی‌هـا بـا باتری‌هـای غیـر قابـل شـارژ کـار می‌کننـد و گفتـه می‌شـود قبـل از نیـاز بـه تعویض، چهار ماه دوام می‌آورند. پیش از ایـن محققان موسسه فرانهوفر در آلمـان موفـق بـه تولیـد جوراب‌هـایی شـده‌اند کـه قـادر اسـت فشار را اندازه‌گیری کند. همچنـین اسـتارت‌آپ «سریـن» در سانفرانسیسـکو جوراب‌هـای الکترونیکی می‌فروشد کـه امکـان رصـد دمـای پوست در آن‌ها وجود دارد.

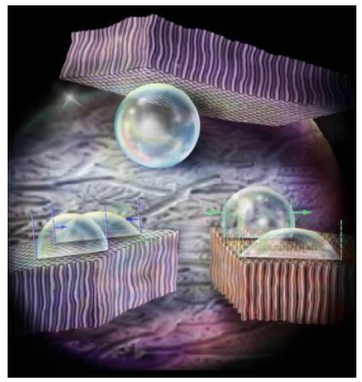
سنسور انعطاف پذیر گرافنی



نانولوله‌های کربنی: عشق یا نفرت از آب؟

نانو لوله‌های کربنی (CNTs) به دلیل طیف گسترده کاربردهایشان بسیار ارزشمند هستند. نانو لوله‌های کربنی از ورق‌های گرافنی که به شکل لوله درآمده‌اند، ساخته شده و ۱۰،۰۰۰ برابر کوچک‌تر از موی انسان هستند. نانو لوله‌های کربن به نسبت جرمشان مقاومت زیادی دارند و خواص حرارتی و الکتریکی استثنایی از خود نشان می‌دهند. این ویژگی‌ها آن‌ها را برای استفاده در طیف وسیعی از کاربردها از جمله ساخت خازن‌ها، اتصال، چسبانندگی، به دام اندازی ذرات و ساخت رنگ، ایده آل می‌کند.

تحقیقات اخیر ویژگی جدیدی از CNTها نشان می دهد: نانولوله‌های کربنی می‌توانند به‌عنوان پوشش، هم آب را دفع کنند و هم آن را در یک نقطه جمع کنند، خاصیتی که می‌تواند کاربردهای زیادی در چاپ، طیف‌سنجی، انتقال آب یا برداشت سطوح داشته باشد.

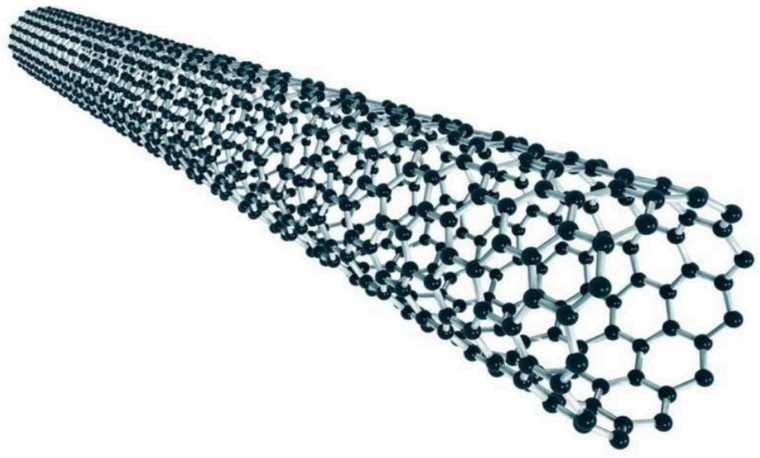


اگر ساختار نانو لوله‌های کربنی بسیار فشرده باشد، ساختاری مانند یک جنگل انبوه دارد. هنگامی که آب روی قسمتی از این جنگل CNT ریخته می‌شود، نانو لوله‌های کربن آب را دفع می کنند و یک قطره کروی ایجاد می‌کنند. با این حال این قطره که روی سطح به وجود آمده به زمین نمی‌افتد و به سطح چسبیده است.

«ژو»، از اعضای این گروه پژوهشی، می‌گوید: «برخلاف سطوح آب‌گریز که قطرات آب به سادگی از روی آن لیز می‌خورند، جنگل نانولوله‌های کربنی پاراهیدروفوبیک هستند. به این معنا که این قطره هم دفع می‌شود و هم به سطح جذب می‌شود، این ویژگی شبیه به رابطه توام عشق و نفرت است».

نکته اصلی این رفتار دوگانه، استفاده از جنگل‌های CNT است که به طور چگال و عمودی روی سطح جمع شده‌اند و رفتار آب‌گریزی از خود نشان می‌دهند در عین حال خاصیت آب‌دوستی ذاتی سطح نانولوله‌های کربنی نیز عامل دیگر بروز چنین رفتار دوگانه‌ای است. این جنگل ها تقریباً ارتفاع ۱۰۰ میکرونی دارند و آن‌قدر متراکم هستند که در یک سانتی‌متر مربع بیش از ۱۰۰ میلیارد نانولوله کربنی وجود دارد. مقداری از آب در ساختار نانولوله های کربنی نفوذ می‌کند و بقیه در یک قطره جمع می‌شوند. رفتار پاراهیدروفوبیست یعنی این که قطره آب می‌تواند روی سطح حرکت کند اما وقتی وارونه می شود، نمی‌افتد.

شکل رفتار دوگانه نانو لوله‌های کربنی نسبت به آب را نشان می‌دهد.



البته سطوحی در طبیعت وجود دارند که رفتار مشابهی نشان می‌دهند، مانند پرزهای پوست هلو یا گلبرگ‌های گل رز. این مواد طبیعی هم رفتاری دوگانه نسبت به آب دارند. اما این پژوهش اولین مشاهدات مربوط به رفتار پاراهیدروفوبیسیت در سطوح متراکم نانو لوله‌های کربن را بیان می‌کند. می‌توان از این رفتار دوگانه برای انتقال مایعات، طراحی بافت پارچه، انتخاب غشاء و حتی روبات‌های بالا رونده از سطوح استفاده کرد.

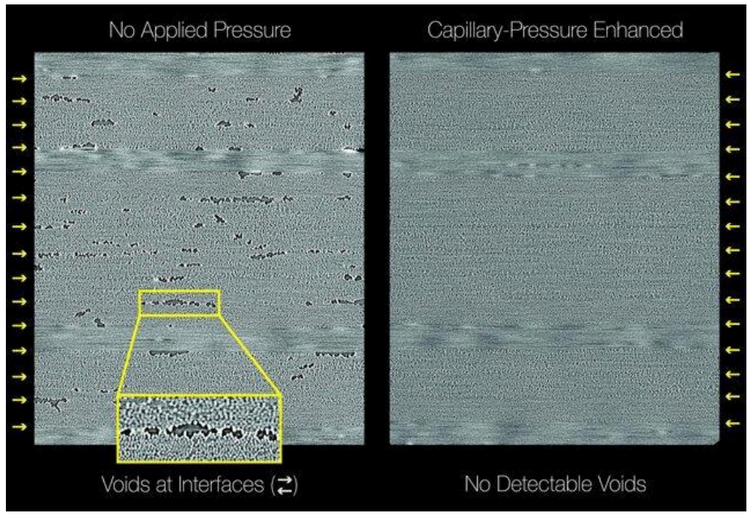
دکتر «پاول لو» از دانشگاه پیتسبورگ توضیح می‌دهد: «پژوهش‌های پیشین نشان می‌دادند که جنگل‌های نانولوله‌های کربنی در محیط آبی ناپایدار هستند، اما ما نشان دادیم که قطرات آب در این جنگل‌های متراکم CNT پایدار هستند. این رفتار ترشوندگی می‌تواند در حوزه‌های مختلف و به شکل آرایه‌های متراکم عمودی، نوار نازک و سایر شکل‌های منحصر به فرد بکار رود».

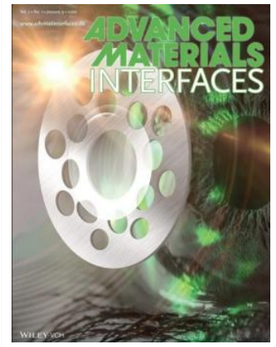
پرزهای پوست هلو یا گلبرگ‌های گل رز. از جمله مواد طبیعی هستند که مشابه نانولوله‌های کربنی رفتاری دوگانه نسبت به آب از خود نشان می‌دهند.

تسهیل در تولید قطعات کامپوزیتی بدنه هواپیما با استفاده از نانو لوله‌های کربنی

بدنه هواپیماهای امروزی از چندین ورقه مواد کامپوزیتی ساخته شده است. این لایه ها کنار هم قرار می‌گیرند و به شکل بدنه هواپیما درمی‌آیند، سپس این سازه‌ها درون کوره‌های بسیار بزرگ قرار می‌گیرند که در آن لایه ها با هم گداخته و ترکیب می‌شوند تا یک پوسته‌ی مقاوم و آیرودینامیکی ایجاد کنند. مهندسان موسسه فناوری ماساچوست (MIT) روشی را برای تولید کامپوزیت‌های مورد نیاز در صنایع هوا فضا بدون استفاده از کوره های عظیم و مخازن تحت فشار ابداع کرده‌اند. این روش می‌تواند به ساخت هواپیماها و سایر سازه‌های کامپوزیتی بزرگ مانند پره توربین‌های بادی سرعت ببخشد.

«برایان واردل» استاد هوانوردی دانشگاه MIT در این مورد می گوید: «اگر در حال ساختن سازه اولیه هواپیما مانند بدنه یا بال هستید، باید یک مخزن فشار یا کوره به اندازه یک ساختمان دو یا سه طبقه بسازید که به زمان و پول زیادی نیاز دارد. این موارد بخش عظیمی از زیرساخت ها هستند. اکنون می توانیم مواد اولیه ساخت تجهیزات هوایی را بدون نیاز به کوره‌های غول پیکر تهیه کنیم، بنابراین می توانیم از تمام آن زیرساخت ها خلاص شویم».



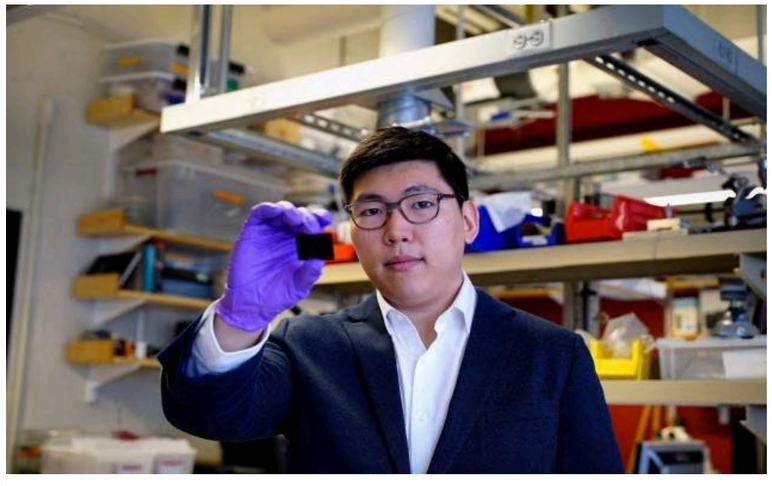


جزئیات این روش در ماه ژانویه سال ۲۰۲۰ میلادی در نشریه Advanced Materials Interfaces منتشر شده است.

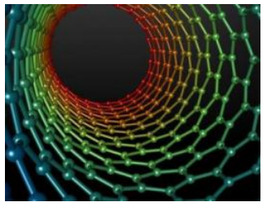
در گذشته اعضای آزمایشگاه واردل در روند ساخت کامپوزیت‌های مورد نیاز در سازه‌های هوافضا، برای ترکیب مواد بدون نیاز به کوره، ورقه‌هایی از ماده را در غشای بسیار نازکی از نانو لوله‌های کربنی (CNT) پیچیدند. هنگامی که جریان الکتریکی را بر این غشا اعمال کردند CNTها مانند یک پتوی برقی نانو مقیاس، به سرعت گرما تولید کردند و باعث شدند مواد داخل آن ذوب شده و ترکیب شوند. این کامپوزیت‌ها به اندازه مواد ساخته شده در کوره‌های معمولی ساخت هواپیما مقاوم و مستحکم بود ولی تنها ۱ درصد از انرژی مصرف شده در آن روش را استفاده می‌کرد. در سال‌های اخیر محققان به دنبال راه‌هایی برای ساخت این کامپوزیت‌ها با کارایی بهتر و بدون استفاده از مخازن فشار بالا بودند که هرگونه حفره یا هوای به دام افتاده را در مواد مورد نظر از بین ببرد.

در یک لایه از نانو لوله‌های کربنی فضاها و حفره‌های بسیار کوچکی وجود دارد که مانند لوله‌های مویینه لوله‌های مویینه اثر می‌کنند.

بنابراین محققان پیشنهاد کردند که اگر لایه نازکی از نانو لوله‌های کربن بین دو ورق کامپوزیت قرار بگیرد، پس از گرم و نرم شدن مواد، فضاهای خالی بین نانو لوله‌های کربن به دلیل اثر مویینگی به‌وجود آمده، فشار منفی ایجاد می‌کنند و لایه‌ها را به سمت هم سوق می‌دهند. در نتیجه هر هوایی که در ساختار باشد خارج می‌شود. « لی» محاسبه کرد که فشار ایجاد شده در اثر مویینگی باید بزرگتر از فشار اعمال شده توسط مخازن فشار باشد. پس از انجام این پژوهش مشاهده شد که کامپوزیت حاصل فاقد حفره و شبیه به کامپوزیت‌های پیشین صنایع هوافضا است که در مخازن فشار بزرگ تولید می شوند. این گروه تاکنون از این روش برای ساخت کامپوزیت‌های چند سانتی متری استفاده کرده‌اند اما اکنون در پی افزایش مقیاس این فناوری هستند. با ابداع روش‌هایی برای ساخت ورقه‌های بسیار بزرگ نانو لوله‌های کربن می‌توان در آینده از این روش برای ساخت قطعات هواپیما استفاده کرد.



شکل زیر طرحواره‌ای از نانولوله‌های کربنی را نشان می‌دهد که از صفحات کربن به ضخامت یک اتم و به شکل استوانه توخالی ساخته شده است.



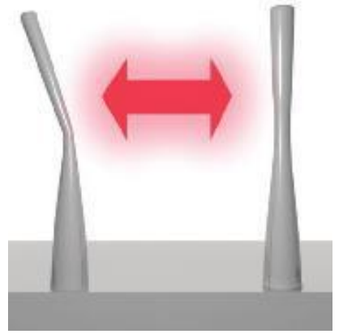
اخبار علمی

این اکتشافات هم در مطالعه الماس و هم در مطالعه فناوری نانو بسیار مفید هستند. کاهش قطر الماس به این اندازه در حال حاضر آسان نیست، اما می‌تواند کاربردهای بسیار زیادی در آینده داشته باشد.

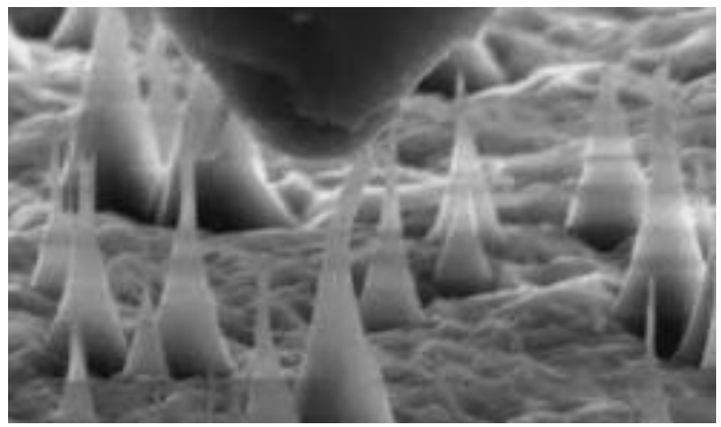
روشی جدید برای خم کردن الماس!

الماس یکی از سخت‌ترین مواد روی کره زمین است، اما دانشمندان روش جدیدی برای خم کردن و تغییر شکل این ماده پیدا کرده‌اند. کلید دستیابی به این فرآیند، امکان کار در ریزترین مقیاس ممکن است. محققان با اعمال یک میدان الکتریکی توانستند بدون شکستگی نانوذرات الماس با ابعاد حدود ۲۰ نانومتر (حدود۱۰۰۰۰ برابر کمتر از موی انسان) را ۹۰ درجه خم کنند.

در این پژوهش از یک دستگاه میکروسکوپ الکترونی روبشی (SEM) برای اعمال نیرو و خم کردن استفاده شد که هیچ‌گونه صدمه و نقص در الماس ایجاد نمی‌کند، اما بار الکتریکی کافی را برای خم شدن نانوسوزن‌های کربنی فراهم می‌کند. این یک فرآیند برگشت‌پذیر است. این دستاورد قابل توجه می‌تواند طیف وسیعی از کاربردها را پوشش دهد. برای مثال می‌تواند در ذخیره انرژی، در ساخت مواد پوششی، یا حتی در محاسبات کوانتومی کاربرد داشته باشد. اما محققان می‌گویند که نتایج این پژوهش درباره چالش‌های بالقوه‌ای که فناوری نانو با آن روبه‌رو است، هشدار می‌دهد.



دکتر بلیک ریگان، پژوهشگر دانشگاه فناوری سیدنی (UTS) در استرالیا و نویسنده ارشد این پژوهش گفت: "الماس، ماده‌ای پیشگام برای کاربردهای نوظهور در حوزه‌های نانوفوتونیک، سیستم‌های مکانیکی میکروالکتریکی و محافظت از پرتو است. ما باید بدانیم که این مواد در مقیاس نانو، چه عملکردی دارند، چگونه خم می‌شوند، تغییر شکل و حالت می‌دهند و ترک برمی‌دارند. ما چنین اطلاعاتی در مورد الماس‌های تک کریستالی نداریم".

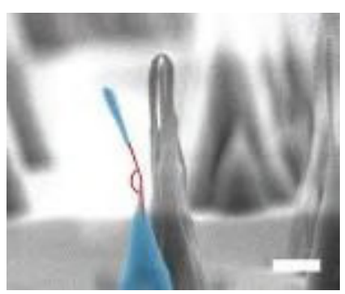


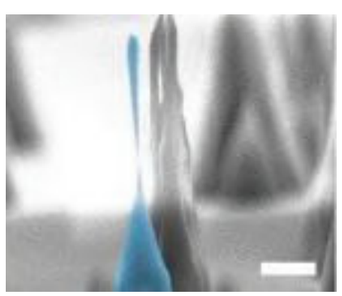
ریگان و همکارانش در تلاش هستند تا نتایجی بدست آورند که بر اساس آن بتوانند با کاهش ابعاد مواد و رسیدن به مقیاس نانو، خصوصیات مکانیکی آن‌ها را تغییر دهند. آن‌ها شبیه‌سازی دینامیک مولکولی را در کنار آزمایش‌های خود انجام دادند تا روش‌های اساسی برای یافتن چگونگی این تغییرات را تجزیه و تحلیل کنند. پژوهشگران در این بررسی با خم کردن نانوسوزن‌های الماس به جلو و عقب نشان دادند که الماس نه تنها امکان تغییر شکل کشسانی دارد، بلکه می‌تواند شکل جدیدی از تغییر شکل پلاستیکی را به خود بگیرد و به جای اول باز نگردد. این امر تنها زمانی اتفاق می‌افتد که ابعاد نانوسوزن‌ها و جهت‌گیری بلورهای الماس به روشی کاملاً مشخص تنظیم شود. این تیم همچنین از طریق شبیه‌سازی‌های خود حالت فرضی جدیدی از کربن را کشف کردند که آن را کربن O8 نامیدند: "به نظر می‌رسد وقتی که الماس تحت فشار قرار می گیرد، ورقه‌های آن به تدریج مانند یک زیپ از هم جدا می‌شوند".

این محققان اولین کسانی نیستند که چگونگی خم کردن الماس را بررسی کرده‌اند. نتایج مشابهی که دو سال پیش نیز منتشر شده است شامل نانوسوزن‌های الماس هستند که با استفاده از فرآیندهای مختلف تهیه و آزمایش شده‌اند.

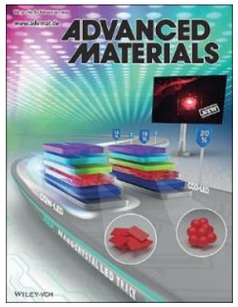
پروفسور ایگور آهارنوویچ، استاد دانشگاه فناوری سیدنی گفت: "یافته‌های این پژوهش، بینش‌های مهمی را در مورد نحوه تغییر شکل مواد نانوساختار ارائه می‌دهد و اینکه چگونه تغییر پارامترهای یک نانوساختار می‌تواند هر یک از خصوصیات فیزیکی آن را از مکانیکی تا مغناطیسی و نوری تغییر دهد، بررسی می‌نماید".

وی افزود: "کاربردهای بالقوه فناوری نانو بسیار متنوع است. یافته‌های ما می‌توانند به طراحی و مهندسی ادوات جدید از جمله ابرخازن‌ها، فیلترهای نوری یا حتی فیلتر هوا منجر شود".





این پژوهش، در مجله Advanced Materialsبه چاپ رسید.



روشی جدید برای ساخت نانوکره‌های کربنی

پژوهشگران دانشگاه صنعتی امیرکبیر موفق شدند به روشی نوین برای ساخت نانوکره‌های کربنی دست یابند.

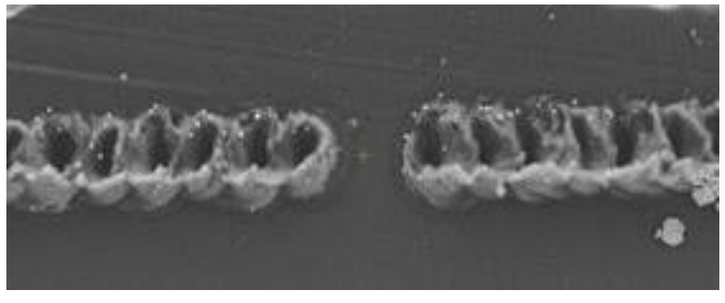
در این روش ابتدا فاز آلی مواد اولیه که ساختار هسته-پوسته- پوسته دارند در آب به صورت محلول درآمدند و سپس طی واکنش و جدایش فازی، ساختارهای هسته- پوسته- پوسته تهیه شدند. در نهایت پس از کربنیزاسیون و حذف پوسته دوم، ساختار هیبریدی کربنی به دست آمد. در این مطالعات نانو ذرات هیبریدی توسط روشی تک ظرفی تولید شدند.

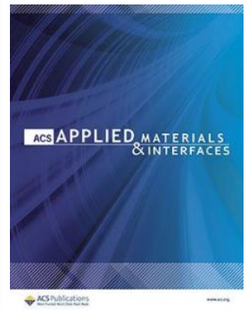
از مزایای این روش می‌توان به نوین بودن طرح و کم هزینه بودن به دلیل کاهش تعداد مراحل اشاره کرد. نانوکره‌های کربنی کاربردهای بسیار زیادی مانند استفاده به عنوان حامل‌های دارویی یا ذخیره انرژی در باتری‌ها دارند. پروین کیانی شجاعی از محققان این طرح، روش تولید این نانو ذرات را روش پلیمریزاسیون ذکر کرد و گفت: "این روش برای اولین بار برای تهیه نانو ذرات کروی کربنی به کار برده شده است و با توجه به کم کردن مراحل تهیه این نانو ذرات، می‌توان این تحقیقات را گامی در جهت تجاری‌سازی این مواد دانست".

ایجاد خواص گرافنی با کمک لیزرهای کم‌توان

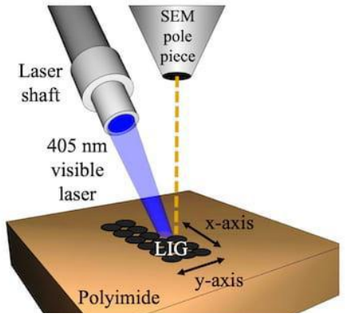
برای ساختن گرافن با استفاده از لیزر (LIG) دیگر نیازی به استفاده از لیزر توان بالا نیست. دانشمندان دانشگاه رایس، دانشگاه تنسی، ناکسویل و آزمایشگاه ملی اوک ریج از یک پرتوی مرئی بسیار باریک لیزری برای سوزاندن ساختار کربن و ایجاد الگوهای میکروسکوپی استفاده می‌کنند.

جیمز تور رئیس آزمایشگاه‌های شیمی دانشگاه رایس، که در سال ۲۰۱۴ روش اصلی تبدیل یک پلیمر معمولی به گرافن را کشف کرد، اعلام کرد که اکنون می‌توانند با ساختن الگوهای بسیار کوچک گرافنی با استفاده از لیزر، در یک میکروسکوپ روبشی الکترونی (SEM) خاصیت رسانایی پلیمرها را مشاهده کنند.





نتایج این پژوهش در نشریه ACS Applied Materials & Interfaces به چاپ رسیده است.



در این پژوهش از لیزرهای کوچکتر با طول موج ۴۰۵ نانومتر، در ناحیه بنفش-آبی طیف نور مرئی استفاده می‌شود. پرتو خروجی این لیزرها تنها وسعتی به بزرگی ۵ میکرومتر از پلیمر را می‌سوزاند.

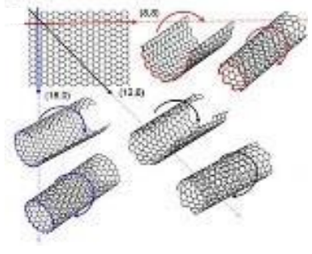
در این فرآیند جدید، LIG تقریبا ۱۰ برابر کوچکتر از روش معمول با لیزر مادون قرمز ایجاد می‌شود. تور گفت: "لیزرهای کم مصرف نیز این روند را ارزان‌تر می‌کنند، این می‌تواند منجر به تولید گسترده‌تر قطعات الکترونیکی و حسگرهای انعطاف‌پذیر شود".

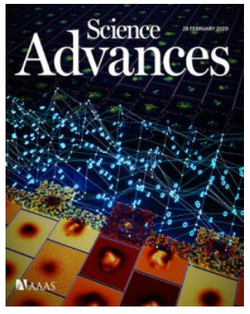
تور افزود: "نکته مهم در علم الکترونیک ساختن سازه‌های کوچکتر است به طوری که بتوان تراکم بالاتر یا تعداد بیشتری از دستگاه‌ها را در واحد سطح گنجاند. این روش به ما این امکان را می‌دهد بتوانیم ساختارهایی بسازیم که ۱۰ برابر متراکم‌تر از سازه‌های پیشین باشد".

روش نوین کنترل خواص نانولوله‌های کربن

پژوهشگران مرکز مواد کربنی چند بعدی در موسسه علوم پایه کره‌جنوبی به رهبری فنگ دینگ موفق به سنتز نوعی نانولوله کربنی با توانایی کنترل خواص ۹۰ درصدی شدند و نظریه جدیدی برای توصیف این سنتز گزینشی در نانولوله‌ها ارائه کردند. نانولوله‌های کربنی تولید شده نسبت به کربن از استحکام بالاتر و وزن کمتری برخوردار هستند. این محصول هدایت الکتریکی و گرمایی قابل توجهی داشته و برای استفاده در صنعت الکترونیک مناسب است. اگرچه نانولوله‌های کربنی به عنوان ماده‌ای پرکاربرد در آینده پیش بینی شده است، اما همان طور که پیش‌تر هم اشاره شد، سنتز کنترل شده آن‌ها همچنان چالش بزرگی برای پژوهشگران محسوب می‌شود.

شکل نانولوله‌های کربنی را می‌توان با لوله‌های کاغذ مقایسه کرد، درست مانند ساخت استوانه با چرخاندن یک ورق کاغذ، CNTها را می توان به شکل یک لایه گرافنی که حول محور خودش چرخیده است تصور کرد. بر این اساس جهت چرخش این لایه‌ها روی خواص نانولوله اثرگذار است.





نتایج این مطالعه در نشریه Science Advances به چاپ رسیده است.

دورنما

انقلابی شگرف در سبک زندگی

با رهبری کربن و نوادگانش

انقلابی شگرف در سبک زندگی با رهبری کربن و نوادگانش

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

علیرغم فراوانی بر روی کره زمین، همچنان ماده‌ای منحصر بفرد محسوب می‌شود! کربن ماده‌ای است که در شکل‌ها و ساختارهای متنوع به صورت طبیعی و مصنوعی، امکانات بی‌نظیری را در اختیار ما قرارداده است. قابلیت بی‌مانند کربن در تشکیل ده میلیون ترکیب متفاوت، مثال‌زدنی است. این تنوع در شکل‌های مختلف کربن ناشی از ساختار الکترونیکی آن است که امکان تشکیل پیوندهای شیمیایی پایدار در پیکربندی‌های مختلف را فراهم می‌کند. گرافیت بعنوان یکی از نرم‌ترین و الماس یکی از سخت‌ترین مواد شناخته شده توسط انسان، هر دو از جمله اشکال مختلف کربن هستند.

کربن به شکل عنصری آن، از زمان توماس ادیسون برای ساخت فیلامان لامپ به شکل صنعتی مورد استفاده قرار گرفته است. این عنصر بخش بسیار مهمی از ساختمان تمام موجودات زنده است و تا آنجا که می‌دانیم بدون این عنصر زندگی وجود نخواهد داشت. ترکیب خطی اوربیتال‌های کربنی، اوربیتال‌های اتمی هیبریدی متقارنی را تشکیل می‌دهد که نتیجه‌ی آن شکل‌گیری ساختارهای پلیمری ۱، ۲ و ۳ بعدی است. زنجیره‌های یک بعدی (که اغلب بعنوان پلیمرها یا بسپارها شناخته می‌شوند)، در واقع همان اجزای سازنده‌ی بافت‌های موجودات زنده در طبیعت هستند و توسط انسان‌ها برای ساختن پلاستیک‌ها توسعه داده شده‌اند. ساختارهای دو بعدی کربن (مانند هیدروکربن‌های آروماتیک چند حلقه‌ای) غالب ترکیبات آروماتیک جهان را در بردارد که هم اساس ساختار کره‌ی زمین را تشکیل می‌دهد و هم در توسعه‌ی مواد کاربردی نقش مهمی دارد. عمده‌ترین کاربرد اقتصادی کربن، به شکل هیدروکربن‌ها است که سوخت‌های فسیلی، گاز متان و نفت خام مهم‌ترین آن‌ها است.

ساختارهای سه بعدی کربن (مانند الماس) به واسطه‌ی پایداری و عدم تحرک‌شان شناخته شده‌اند و تقریبا در همه جای دنیا یافت می‌شوند. با توجه به تنوع و تعدد ساختارهای کربنی، در این مجال تنها به بررسی جدیدترین و کارآمدترین شکل‌های کربن که امروزه در صنایع مختلف مورد استفاده قرار می‌گیرد، می‌پردازیم.

امروزه مواد کربنی پیشرفته در صنایع دفاعی، هوا-فضا، ورزش، ساختمان، انرژی، قطعات الکترونیکی، خودرو و ... کاربردهای گسترده‌ای دارد.

در این میان الیاف کربنی (Carbon fiber)، گرافیت، نانولوله‌های کربنی (Carbon Nanotubes)، گرافن، فوم کربنی، کربن سیاه، کربن شبه الماس، فلورین و نانوکریستال‌های الماس بیشترین حجم بازار جهانی را به خود اختصاص داده‌اند که به اختصار به بررسی کاربردها و ویژگی‌های برخی از مهم‌ترین ساختارهای کربنی خواهیم پرداخت.

- **گرافیت ویژه**

گرافیت یکی از آلوتروپ‌های کربن است که ساختار لایه-لایه‌ای دارد و از کنار هم قرار گرفتن ۶ اتم کربن به صورت یک شش ضلعی منتظم پدید می‌آید.

این اتم‌ها با پیوند کوالانسی به هم متصل شده‌اند و دیگر نمی‌توانند با کربنی خارج از این لایه پیوند کوالانسی تشکیل دهند، بنابراین یک لایه گرافیت از طریق پیوند واندروالس-که پیوند ضعیفی است- به لایه‌های زیرین متصل است. این خاصیت سبب می‌شود لایه‌های گرافیت به راحتی به روی هم بلغزند.

به همین دلیل از این ترکیب برای روان کاری و روغن‌کاری استفاده می‌شود. گرافیت پایدارترین شکل کربن در شرایط استاندارد است و بر خلاف (الماس دیگر آلوتروپ کربن) هادی جریان الکتریکی است.

امروزه از این ماده در ساخت سیلیکان نیم‌رسانا، تراشه‌های LED، باتری‌های لیتیومی، صنایع رنگ، تولید پلی‌سیلیکان‌ها، در قالب‌های فلزی و ریخته‌گری جهت انجام ریخته‌گری‌های مداوم، پمپ‌های خلا خودروها و بسیاری از کاربردهای دیگر بهره‌گیری می‌شود.

در بین گونه‌های مختلف گرافیت اعم از اکسترود گرافیت، ایزوتروپیک گرافیت، و گرافیت قالب‌ریزی شده، گرافیت ایزوتروپیک بخاطر مقاومت حرارتی بالا و همچنین مقاومت در برابر ضربه‌ی ناگهانی بیش از سایر گونه‌های آن مورد توجه قرار گرفته است.

گرافیت ویژه

پایداری در دمای بالا و عدم تحرک شیمیایی، گرافیت را به مناسب‌ترین گزینه جهت کاربرد در مواد نسوز تبدیل کرده است. این ماده در تولید آجرهای نسوز و همچنین آجرهای نسوز "Mag-karbon" (Mg-C) استفاده می‌شود.

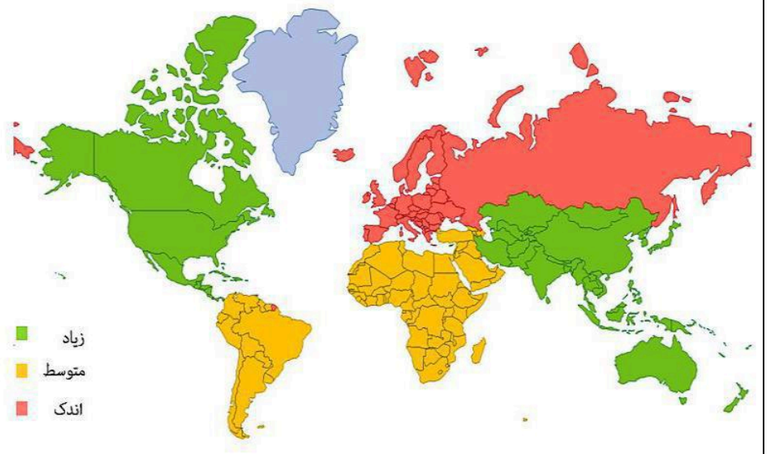
مقررات جدید ساختمان‌سازی در بسیاری از کشورها، قرارگیری مهارکننده‌های شعله در ساختمان و بازدارنده‌های آتش بر مبنای برم (Brominated fire retardants) و پنبه‌نسوز را اجباری کرده است. افزودن گرافیت به فوم عایق معمولی یا سیمان منجر به افزایش مقاومت مواد در برابر شعله می‌شود. گرافیت با قابلیت انبساط ارجح‌ترین ماده جهت مهار شعله است که از منظر صنعتی هم بعنوان راه حلی مناسب و سازگار با محیط زیست برای حل این معضل مورد استقبال قرار گرفته است.

مصالح ساختمانی مقاوم در برابر شعله رده ۱ حاوی تنها ۵٪ گرافیت، برای ساختمان‌های یک طبقه و با کیفیت پایین‌تر مورد استفاده قرار می‌گیرند. میزان استفاده از گرافیت قابل انبساط در مصالح ساختمانی مقاوم در برابر شعله به تدریج افزایش می‌یابد به طوری که در ساخت رده ۴ آن‌ها تا ۵۰ درصد از گرافیت استفاده می‌شود.

کربن (واژه لاتین carbo به معنی زغال چوب) در دوران پیش از تاریخ کشف شد و برای مردم باستان که آن را از سوختن مواد آلی در اکسیژن ضعیف تولید می‌کردند، شناخته شده بود.

یکی از مهم‌ترین کاربردهای گرافیت، ساخت آند در باتری‌های لیتیومی است که امروزه به صورت گسترده در صنعت و فناوری مورد استفاده قرار می‌گیرد.

نرخ رشد بازار گرافیت ویژه بر اساس مکان، از سال ۲۰۱۹ تا ۲۰۲۴



مرجع: Mordor Intelligence

از این رو، گرافیت در ساخت ساختمان‌های چندین طبقه و آسمان‌خراش‌ها نیز سهم مهمی دارد.

گرافیت در زنجیره ارزشی صنایع فوتوولتائیک PV مبتنی بر سیلیکان جزئی ضروری به شمار می‌آید. گرافیت ویژه در تولید موادی با خلوص و دقت بالا که برای کاربرد در دماهایی بسیار بالا و محیط‌های بسیار خورنده مورد استفاده قرار می‌گیرند، نقش کلیدی ایفا می‌کند.

ظرفیت گرافیت مخصوص به کار رفته در تولید صنایع الکترونیکی نیم‌رسانا و انرژی خورشیدی از ۲۵۰۰۰ تن متریک به ۵۰۰۰۰ تن طی ۵ سال گذشته افزایش داشته است و بدین ترتیب بازار این ماده نیز افزایش چشمگیری یافته است.

بر اساس پیش‌بینی‌های انجام شده توسط مرجع معتبر Mordor Intelligence، همانطور که در شکل بالا مشخص است، در بازه زمانی سال‌های ۲۰۱۹ تا ۲۰۲۴ ایران در زمره‌ی کشورهایی قرار دارد که از سهم بالایی در بازار جهانی گرافیت ویژه برخوردار است.

- **الیاف کربنی**

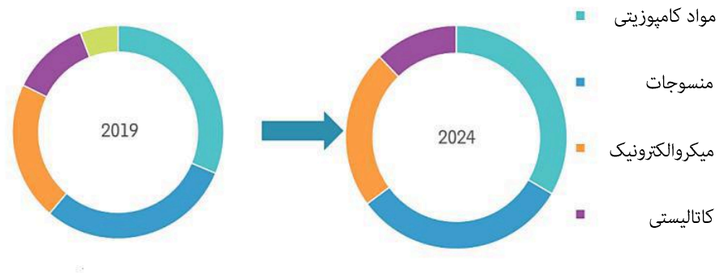
الیاف کربنی یکی از پرکاربردترین گونه‌های الیاف صنعتی است. از امکاناتی که الیاف کربنی در اختیار ما قرار می‌دهد، در بسیاری از کاربردهای دفاعی و هوا-فضایی، صنایع میکروالکترونیک، سازه‌های ترکیبی و کاربردهای کاتالیستی بهره‌گیری می‌شود.

این الیاف درمقایسه با الیاف شیشه‌ای و کولار (Kevlar) از ضریب الاستیک بالایی برخوردارند. ضریب انبساط گرمایی این الیاف در دماهای متفاوت کوچک است که همین امر منجر به پایداری طولی و حفظ اندازه‌ی الیاف کربنی در دماهای مختلف می‌شود.

سازه‌های متشکل از این آلوتروپ کربن با تضمین قدرت، دوام، پایداری و همچنین وزن سبک، جایگزین بسیاری از ساختارهای فلزی معمول شده است که پیش‌تر در صنایع هوانوردی کاربرد داشتند. از اجزای داخلی هواپیما گرفته تا موتور جتی که پره‌های هلیکوپتر را می‌چرخاند، مواد ترکیبی متشکل از الیاف کربنی مورد استفاده قرار گرفته است. پلاستیک‌های تقویت شده با الیاف کربنی در صنایع دفاعی اعم از موشک، ارتش زمینی و دریایی نیز کاربرد موثری دارند. از این رو این ماده برای کشورهایی که صنعت هوا-فضای آن‌ها در حال رشد است بازار بسیار بزرگی را رقم زده است.

در این میان بزرگترین بازار این ماده به قاره‌ی آسیا تعلق دارد که در زمینه‌ی صنعت هواپیماسازی با سرعت هر چه تمام‌تر در حال رشد است. سهم کشورهای اروپایی از بازار جهانی الیاف کربنی چیزی بالغ بر ۳۰% کل بازار است که آلمان به تنهایی بیش از ۲۵% بازار را به خود اختصاص داده است. زیرا این کشور یکی از کشورهایی است که در صنعت خودرو پیشتاز است. با رشد تقاضا در صنایع اصلی، بازار الیاف کربنی در آینده‌ای نه چندان دور با رشد چشمگیر روبرو خواهد بود. به طوری که پیش‌بینی می‌شود، در بازه‌ی زمانی سال ۲۰۱۹-۲۰۲۴، بازار الیاف کربنی به کار رفته در صنایع خودروسازی تا ۱۱% افزایش یابد. بر اساس پیش‌بینی‌های انجام شده، بازار الیاف کربنی از ۴/۷ میلیارد دلار در سال ۲۰۱۹ به رقمی بالغ بر ۱۳/۳ میلیارد دلار در سال ۲۰۲۹ افزایش می‌یابد. علیرغم حجم بالای استفاده از آن‌ها، قیمت الیاف کربن همچنان بالا است و همین مسئله باعث محدودیت فروش الیاف کربن شده است. با توجه به نیازهای مختلف صنعتی در ایران، الیاف کربن در طیف گسترده‌ای از نوع و در وزن‌ها و عرض تمیزکاری‌های مختلف ارائه می‌شوند.

بازار الیاف کربنی در قاره‌ی آسیا: درآمد (%)، کاربردها، از سال ۲۰۱۹ تا ۲۰۲۴

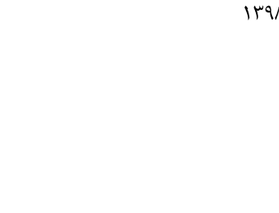


مرجع: Mordor Intelligence

- **نانولوله‌های کربنی (CNT)ها**

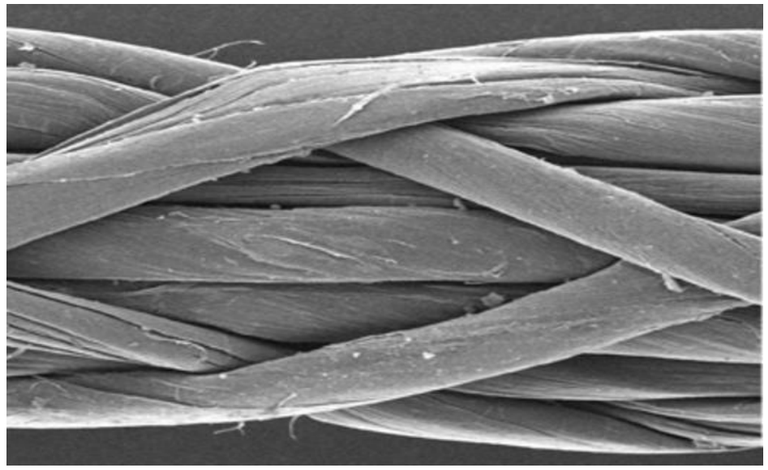
نانولوله‌های کربنی آینده‌ای نویدبخش را پیش روی سرمایه‌گذاران این صنعت ترسیم می‌کند. یک ساختار اتمی قدرتمند با پیوندهای شیمیایی مستحکم، سختی، استحکام و نیز رسانش حرارتی و الکتریکی را برای نانولوله‌های کربنی به ارمغان آورده است. این مشخصه‌های منحصر به فرد، نانولوله‌های کربنی را به یک پیش ماده‌ی صنعتی ایده‌آل برای ساخت گونه‌های مختلف مواد و کامپوزیت‌ها تبدیل کرده است. هرچند ویژگی‌های این نانوساختارها تا حد زیادی به خلوص و کیفیت نانولوله‌های کربنی بستگی دارد. محصولات با کیفیت پایین، با کاستی‌ها و ضعف‌های متعدد، از ارزش و قابلیت بسیار کمی برخوردارند.

به گزارش نشریه‌ی علمی phys.org، "اولین مطالعات بر روی نانولوله‌های کربنی نزدیک به سی سال پیش انجام شده است. این در حالی که تا آن زمان هنوز انتظاراتی که برای کاربردهای آن تصور می‌شد، برآورده نشده بود. علت این امر، شکست در فرآیند تولید انبوه و با کیفیت نانولوله‌ها بود. زیرا کیفیت مواد تعیین‌کننده‌ی بی‌بدیل عملکرد محصول نهایی است."



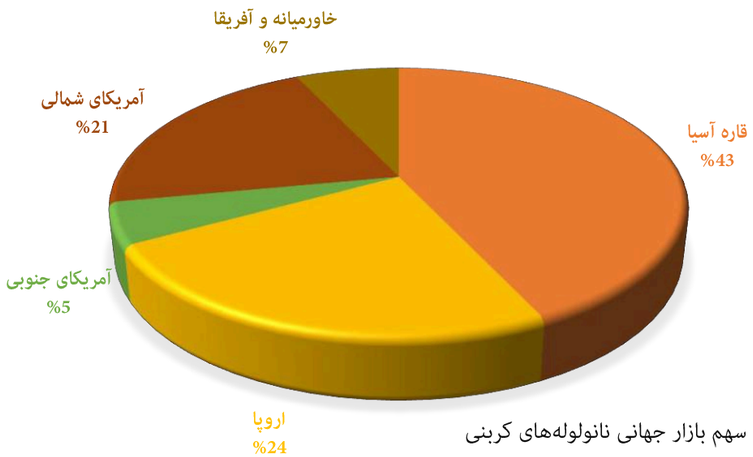
دورنما

امروزه با استفاده از نانولوله‌های کربنی می‌توان نمک را از آب دریا جدا کرد و به این ترتیب آب شور دریا را به آب شیرین قابل شرب تبدیل نمود.



از این رو تحقیقات در زمینه‌ی یافتن راهی برای تولید انبوه نانولوله‌های کربنی با کیفیت بالا همچنان ادامه دارد. این دسته از مواد، گونه‌ای از نانو مواد پیشرفته‌ی برگرفته از کربن است.

در این خانواده، نانولوله‌های متشکل از چندین دیواره (MWCNT)، برای اهل صنعت از جذابیت بیشتری برخوردار است. این گونه از ساختارهای کربنی شامل چندین لایه‌ی گرافیتی غلت داده شده است که ساختار لوله‌ای شکل به خود گرفته است. این دسته از مواد، رده‌ی جدیدی از نانو مواد پیشرفته برگرفته از کربن است. فاصله بین هر یک از این لایه‌ها ۰/۳۴ نانومتر است که قدری بزرگ‌تر از فاصله بین صفحات گرافیتی است که با نیروهای واندروالسی بهم متصل شده‌اند. نانولوله‌ها نقش بسیار مهمی در توسعه‌ی فناوری‌های پیشرفته امروزی مانند، پزشکی، الکترونیک، زمینه‌های گوناگون مهندسی، صنایع هوا-فضا، خودرو، نساجی، انرژی و غیره دارد.



سهم بازار جهانی نانولوله‌های کربنی

با این وجود، تولید انبوه مقرون به صرفه‌ی نانولوله‌های کربنی برای تولید محصولات تجاری، همواره چالش برانگیز بوده است.

از جمله روش‌های رایج تولید صنعتی این ماده می‌توان به لایه‌نشانی بخار شیمیایی، کند و سوز لیزری، تخلیه‌ی قوس الکتریکی و تسهیم نامتناسب مونوکسید کربن فشار بالا اشاره کرد. مرکز تحقیقاتی Glenn ناسا به تازگی رویکردی موثر و کاربردی را در تولید نانولوله‌های کربنی به کار برده است. در این روش، واکنش‌گرها و کاتالیست‌های اضافی را درون نمک کلراید یک فلز حل می‌کنند که به این ترتیب ناخالصی‌های باقیمانده از بین می‌رود و نانولوله‌ها به صورت قابل پیش‌بینی تولید می‌شود.

تحقیق بر روی نانولوله‌های کربنی اثر گسترده‌ای بر حوزه‌هایی همچون سلامت، اطلاعات، انرژی و سایر زمینه‌های فناوری دارد که مزایای اقتصادی زیادی برای تجاری‌سازی فناوری‌های نوین به همراه خواهد داشت. از این رو، تلاش برای کاهش مدت زمان و هزینه تولید، بازار نانولوله‌ها در آینده‌ای نه چندان دور با اقبال خوبی مواجه خواهد کرد. به گونه‌ای که پیش‌بینی می‌شود، بازار نانولوله‌های کربنی در بازه‌ی زمانی سال‌های ۲۰۱۹ تا ۲۰۲۴ رشد سالانه‌ی مرکبی حدود ۲۰ درصد را از خود نشان دهد.

رشد روزافزون و پیشرفت‌های فناورانه نانولوله‌های کربنی مهم‌ترین عوامل گرداننده این بازار هستند. هر چند نگرانی‌های زیست محیطی، چالش‌های ایمنی و سلامتی نیز تا حد زیادی رشد بازار این حوزه را با مشکل مواجه می‌کند. انتظار می‌رود نانولوله‌های کربنی چند دیواره‌ای که بازار را در دست دارد با نرخ بیشتری در بازه‌های پیش‌بینی شده رشد کند که یکی از مهم‌ترین دلایل آن افزایش روزافزون کاربرد این ماده در باتری‌های افزایشی و قطعات پلاستیکی آنتی استاتیکی است.

این نانوساختار همچنین در الکترونیک و افزاره‌های ذخیره‌ی اطلاعات به وفور مورد استفاده قرار می‌گیرند که همین امر بازار بهره‌گیری از این ماده را در آینده بیش از پیش رونق خواهد بخشید.

در بین بازارهای جهانی، کشورهای قاره‌ی آسیا مانند ژاپن و چین با بیشترین آمار مصرف‌کنندگان، بیشترین سهم این بازار را در اختیار دارند.

- **گرافن و مشتقات آن**

امروزه این ماده‌ی جذاب توجه همه نوآوران را به خود جلب کرده است. آیا این ماده‌ی ساده، ارزان، سبک وزن و تجدیدپذیر قادر است جهان کنونی ما را دگرگون کند؟

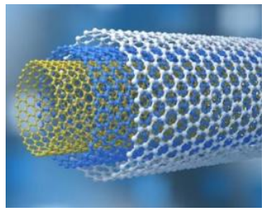
بی شک شما هم پس از مطالعه‌ی این متن پاسختان مثبت خواهد بود.

گرافن یک تک لایه از اتم‌های کربن خالص است که با پیوندهای SP2 در یک الگوی شبکه‌ای شش وجهی کنار هم قرار گرفته‌اند. لایه‌های متراکم گرافنی، گرافیت را تشکیل می‌دهند. یک صفحه گرافنی با ضخامتی به بزرگی یک تک اتم (۰/۳۴۵ نانومتر)، نازک‌ترین ترکیبی است که تاکنون شناخته شده است و به عبارت دقیق‌تر می‌توان آن را ساختاری دوبعدی در نظر گرفت.

پیش از آن که گرافن به صورت تک صفحه‌ای شناسایی شود، باور بر این بود که ترکیبات دو بعدی بخاطر عدم پایداری نمی‌توانند وجود داشته باشند، اما پیوندهای کربن با کربن در گرافن بسیار کوتاه، قوی و پایدار است. این در حالی است که این ماده بسیار شفاف است اما حتی با ضخامت یک تک اتم هم با چشم معمولی قابل رویت است. گرافن سال‌ها پیش از این، به صورت نظری مورد مطالعه قرار گرفته بود اما برای اولین بار در سال ۲۰۰۴ توسط فیزیکدانان دانشگاه منچستر انگلیس برای اولین بار به صورت تک لایه ارائه شد.

" آیا ما می‌توانیم با استفاده از گرافیت یک ترانزیستور بسازیم؟" این سوال اولیه جیم و نووسلوو بود که طی تحقیقاتشان در پاسخ به این سوال، بر آن شدند با استفاده از نوار اسکاچ، لایه‌های نازکی از گرافیت را از یک بلور گرافیتی استخراج کنند.

نانولوله‌های کربنی متشکل از چندین دیواره (MWCNT)، برای اهل صنعت از جذابیت بیشتری برخوردار است. این گونه از ساختارهای کربنی شامل چندین لایه‌ی گرافیتی غلت داده شده است که ساختار لوله‌ای شکل به خود گرفته است.



یک متر مربع گرافن وزنی در حدود ۰/۷۷ میلی‌گرم دارد. برای مقایسه می‌توان وزن یک متر مربع از کاغذ معمولی را که هزار بار سنگین‌تر از گرافن است، مثال زد. جالب است بدانید که یک تک لایه‌ی گرافنی با وزنی کمتر از یک گرم می‌تواند مساحتی به بزرگی یک زمین فوتبال را پوشش دهد.

آیروژل گرافن که رکورد سبک‌ترین ماده‌ی جهان را به خود اختصاص داده است.

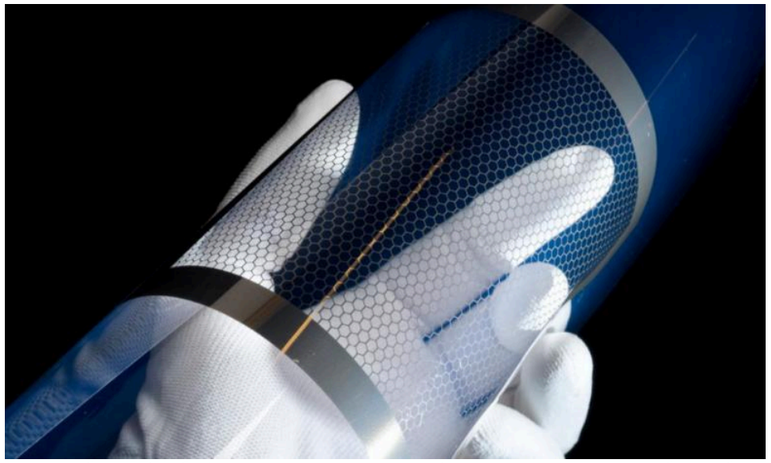
آن‌ها سپس این لایه‌ها را به یک بستر سیلیکانی منتقل کردند و پس از اتصال الکترودها موفق شدند که یک ترانزیستور بسازند. این محققان در سال ۲۰۱۰ جایزه نوبل فیزیک را از آن خود کردند. از زمان این کشف تاکنون، تحقیقات در مورد گرافن در سراسر جهان به صورت گسترده و با سرعت شگفت‌آوری در حال انجام است.

حال به بررسی همه‌ی آنچه که تاکنون در مورد گرافن کشف شده است و این ماده‌ی اعجاب‌انگیز را توصیف می‌کند، می‌پردازیم:

- نازک‌ترین ساختار کشف شده! با ضخامت یک تک اتم، گرافن نازک‌ترین ماده‌ای است که تاکنون شناخته شده است.
- سبک‌ترین! یک متر مربع گرافن وزنی در حدود ۰/۷۷ میلی‌گرم دارد. برای مقایسه می‌توان وزن یک متر مربع از کاغذ معمولی را که هزار بار سنگین‌تر از گرافن است، مثال زد. جالب است بدانید که یک تک لایه‌ی گرافنی با وزنی کمتر از یک گرم می‌تواند مساحتی به بزرگی یک زمین فوتبال را پوشش دهد.
- قوی‌ترین! گرافن از استیل و کولار قوی‌تر است و به اندازه‌ی ۱۵۰۰۰۰۰۰۰ psi توان کششی دارد.
- کشسان‌ترین! گرافن توانایی شگفت‌انگیزی در حفظ اندازه اولیه خود پس از کرنش دارد. صفحات گرافنی معلق درون حفره‌های دی اکسید سیلیکان، دارای ثابت فنری در حدود ۱-۵ نیوتن/متر و مدول یانگ ۰/۵ TPa است.
- بهترین رسانای حرارتی! در دمای اتاق، رسانش حرارتی گرافن در محدوده‌ای از $(۴/۸۴ \pm ۰/۴۴) \times ۱۰^{۳}$ تا $(۵/۳۰ \pm ۰/۴۸) \times ۱۰^{۳}$ $Wm^{-1}K^{-1}$ اندازه‌گیری شده است.
- بهترین رسانای الکتریسیته! در گرافن، هر اتم کربن در یک صفحه دو بعدی، به سه اتم کربن دیگر متصل است که یک الکترون را برای هدایت الکترونیکی آزاد می‌کند. مطالعات اخیر تحرک الکترون را بیش از ۱۵،۰۰۰ $cm^2V^{-1}s^{-1}$ گزارش کرده است. الکترون‌های گرافن با استفاده از انرژی کمتری، ۱۰ برابر سریع‌تر از الکترون‌های سیلیکان حرکت می‌کنند.
- بهترین جذب‌کننده نور! گرافن می‌تواند ۲/۳ درصد نور سفید را جذب کند که با توجه به نازک بودن صفحات گرافنی این مقدار بسیار قابل توجه است. هنگامی که شدت نوری به میزان اشباع برسد، جذب اشباع صورت می‌گیرد که در این حالت یک تراز انرژی به صورت کامل پر شده است.
- گرافن ماده‌ای تجدیدپذیر است! از نظر آماری، کربن چهارمین عنصر فراوان در کل جهان (با جرم) است. به دلیل فراوانی، گرافن به خوبی می‌تواند یک راه حل پایدار و دوستدار محیط زیست برای یک جهان به طور فزاینده پیچیده باشد.

جالب‌ترین نکته در مورد گرافن این است که گرافن یک ماده ساده است که به تنهایی دارای همه این ویژگی‌های حیرت‌آور است. هیچ ماده دیگری در جهان نازک‌ترین، قوی‌ترین، سبک‌ترین و کشسان‌ترین نیست که همزمان بتواند گرما و برق را نیز با سرعت بسیار بالایی انتقال دهد.

جدای از چالش‌ها، گرافن ماده‌ی شگفت‌انگیزی است با این قابلیت که خود به تنهایی می‌تواند جهان را تغییر دهد.



در نگاه اول گرافن می‌تواند برای بهبود عملکرد کاربردها و افزاره‌های موجود مورد استفاده قرار گیرد اما واقعیت این است که قابلیت گرافن چیزی فراتر از آن است. این ماده می‌تواند در کنار سایر ترکیبات دو بعدی در حال ظهور مورد استفاده قرار گرفته و رویکردهای تعاملی ما را با جهان متحول کند.

بعنوان مثال در صنعت الکترونیک، گرافن برق را سریع‌تر از سایر ترکیبات موجود هدایت می‌کند و همچنین از هر ساختار دیگری کوچک‌تر و نازک‌تر است که همین امر باعث کوچک‌تر و سریع‌تر شدن تمام ادوات الکترونیکی ما می‌شود.

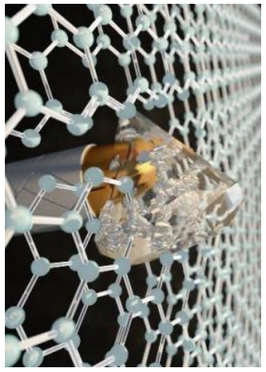
گرافن همچنین رسانایی شفاف است، بنابراین می‌تواند جایگزین (ITO)های شکننده و گران قیمت بکار رفته در صفحه‌های لمسی، پنل‌های سبک و سلول‌های خورشیدی شود. همچنین قابلیت انعطاف‌پذیری این ماده امکانات آن را تا حد زیادی گسترش می‌دهد. یک تلویزیون یا پنجره‌ی تاشو را در خانه خود تصور کنید که در عین حال پروژکتور نیز باشد.

مساحت بزرگ سطح گرافن، رسانندگی بالا، نازکی و استحکام زیاد، همه این موارد بستر مناسبی را برای تولید نسل جدیدی از افزاره‌های حس‌گر بیوالکتریک سریع و کارآمد فراهم می‌آورد. این ادوات در زمینه‌هایی همچون دیده‌بانی توالی DNA، تعیین سطح گلوکز، هموگلوبین و کلسترول به کار می‌روند. باند لاستیکی" متشکل از گرافن با وزن سبک و قابلیت انعطاف‌پذیری می‌تواند کوچکترین حرکات بیمار مانند تنفس، نبض و جابجایی‌های کوچک را حس کرده و امکان نظارت از راه دور از راه دور بر روی بیماران آسیب‌پذیر مانند نوزادان نارس را فراهم آورد.

اکسید گرافن همچنین نویدبخش تحولی عظیم در زمینه‌ی دارورسانی است. در مطالعات اخیر از اکسید گرافن برای رساندن داروهای ضد التهابی و درمان سرطان به صورت ایمن و دقیق بهره‌گیری شده است.

در کاربردی دیگر، گرافن در عین این که به آب اجازه می‌دهد تا از آن عبور کند، تقریباً در برابر مایعات و گازها غیرقابل نفوذ است. از گرافن به دلیل استحکام و ظرافت منافذ آن می توان در سیستم‌های تصفیه آب، سیستم‌های نمک‌زدایی و تولید سوخت‌های زیستی استفاده کرد.

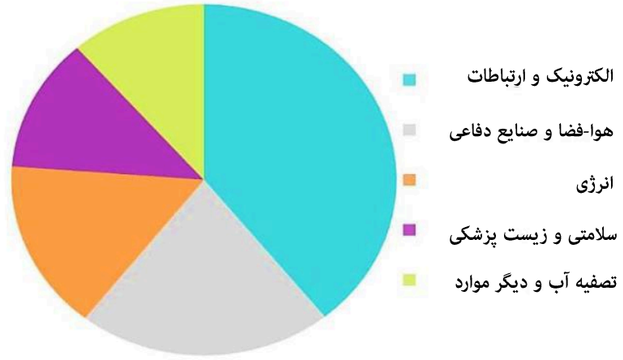
برای تولید هر چیزی که نیاز به استحکام و و در عین حال وزن سبک باشد، می‌توان از گرافن استفاده کرد. گرافن برای ساخت قطعات و تجهیزات هواپیماها، زره‌های بدن، وسایل نقلیه نظامی و هر چیز دیگری با وزن کم، قابل استفاده است.



در شکل بالا صفحات چندلایه و انعطاف‌پذیر گرافن را می‌بینید که به صورت موقت حتی از الماس هم سخت‌تر شده و در برابر فشار و ضربه نفوذناپذیر شده است.

باتری‌هایی که از گرافن برای ذخیره انرژی به جای یون لیتیوم سنتی استفاده می‌کنند، قوی‌تر، پایدارتر و کارآمدتر خواهند بود، ضمن آن که ماندگاری بیشتری دارند. خودروهای برقی، لپ تاپ و سایر دستگاه‌ها می‌توانند با بهره‌گیری از این نسل جدید باتری‌های گرافنی کارآمدی بیشتری داشته باشند.

سهم هر یک از کاربردهای گرافن در بازار جهانی



مرجع: Mordor Intelligence

هدایت الکتریکی آن نیز امکانات جدیدی را فراهم می‌کند. به عنوان مثال، بدنه هواپیمایی که از گرافن ساخته شده می‌تواند در برابر صدمه ناشی از رعد و برق مقاومت کند و همچنین می‌تواند به صورت الکترونیکی در صورت بروز هر گونه مشکل در سازه با خلبانان ارتباط برقرار کند. بتن و مواد دیگری هم هستند که هر روزه ساخته می‌شوند و از خواص استثنایی گرافن بهره می‌برند. باتری‌هایی که از گرافن برای ذخیره انرژی به جای یون لیتیوم سنتی استفاده می‌کنند، قوی‌تر، پایدارتر و کارآمدتر خواهند بود، ضمن آن که ماندگاری بیشتری دارند. خودروهای برقی، لپ تاپ و سایر دستگاه‌ها می‌توانند با بهره‌گیری از این نسل جدید باتری‌های گرافنی کارآمدی بیشتری داشته باشند.

بر اساس پیش‌بینی‌های انجام شده در بازه زمانی ۲۰۲۰ تا ۲۰۲۵ سود مرکب سالیانه بازار جهانی گرافن نزدیک به ۴۰% تخمین زده شده است. افزایش بهره‌گیری از گرافن در ساخت صفحات لمسی و همچنین روند رو به رشد تقاضا در صنایع الکترونیک چاپی از مهم‌ترین عوامل پیشران بازار جهانی گرافن در سال‌های آتی است. هر چند پیش‌بینی می‌شود عوامل متعددی از قبیل کمبود تولیدات تجاری رشد بازار را با مشکل مواجه کند.

در این بین آمریکای شمالی با اختصاص ۲۵% کل بازار، بزرگترین سهامدار بازار گرافن محسوب می‌شود که افزایش تقاضا در صنایع دفاعی، هوا-فضا و الکترونیک عامل تخصیص این حجم از بازار به کشورهای این قاره است. همچنین پیش‌بینی می‌شود قاره‌ی آسیا، رکورد سود سالیانه‌ی مرکبی در حدود ۴۲% را در بازه‌ی زمانی پیش‌بینی شده ثبت کند که آن نیز به واسطه رشد شگرف صنایع الکترونیک در این قاره‌ی کهن است.

- **نانوذرات الماس**

الماس، نامی آشنا در صنعت جواهرسازی و در واقع زیباترین آلوتروپ کربن است. اما امروزه الماس مصنوعی، کاربرد گسترده‌ای در زمینه‌های مختلف صنعت و تکنولوژی دارد. این ساختار بی‌نظیر در ساخت ابزارهای ساینده فوق‌العاده مانند چرخ‌های سنگ‌زنی، ابزارهای برش، مته‌زنی، قلم الماس و ... مورد استفاده قرار می‌گیرد. علیرغم گران‌قیمت بودن، این نماد ثروت و تجمل، در زمینه‌ی‌های مهندسی ماده‌ای ارزشمند است که نه تنها در بخش‌های ماشین‌کاری بکار گرفته می‌شود بلکه در اپتیک، الکترونیک و حتی زیست‌فناوری‌ها نیز بسیار کارآمد عمل می‌کند. الماس مصنوعی به واسطه‌ی رسانش حرارتی بالا و همچنین ایزولاسیون الکتریکی در زمینه‌هایی مانند مدیریت حرارتی و صنعت بسته‌بندی (packaging) نیم‌رسانا نیز کاربرد دارد.

دانشمندان در سال‌های اخیر موفق شدند ابعاد مختلف نانوساختارهای الماس را نیز سنتز کنند و با دستیابی به

نانوساختارهای صفر، یک و دوبعدی الماس و ارائه‌ی ویژگی‌هایی نوین، دامنه‌ی کاربردهای آن را بیش از پیش گسترش دهند. این نانوساختارها با برخورداری از خواص منحصر به فردی که در نتیجه‌ی اعمال محدودیت‌های کوانتومی در آن‌ها بروز کرده است، می‌توانند در دارورسانی، تصویربرداری زیستی و زیست حس‌گرها نیز نقش‌آفرینی کنند. استفاده از الماس مصنوعی در صنعت الکترونیک رو به افزایش است.

با توجه به افزایش تقاضا در صنایع الکترونیک، بیش از ۷% افزایش در سود سالانه‌ی مرکب در بازه‌ی زمانی بین سال‌های ۲۰۱۹ تا ۲۰۲۴، برای این آلوتروپ کربن قابل پیش‌بینی است. از آن جایی که قاره‌ی آسیا در زمینه‌ی صنایع الکترونیک به سرعت در حال رشد است، پیش‌بینی می‌شود سهم اعظم بازار الماس مصنوعی در اختیار این قاره قرار گیرد.

- **کربن سیاه**

به عبارت ساده، کربن سیاه همان عنصر کربن است که به صورت ذرات بسیار ریز و ساختار مولکولی بی‌شکل شناخته شده است. این توده بی‌شکل زیرساختی متشکل از آرایه‌های میکرو کریستالی حاوی حلقه‌هایی متراکم دارد. این آرایه‌ها چیزی شبیه ساختار لایه‌ای متراکم و حلقه‌ای گرافیت هستند با این تفاوت که این آرایه‌ها درون توده بی‌شکل به صورت تصادفی جهت‌گیری کرده‌اند. در نتیجه سطح ذره با درصد زیادی از آرایه‌ها که صفحات لایه‌هایشان متشکل از لبه‌های باز است، پوشیده می‌شود. این لبه‌های باز دربردارنده تعداد زیادی پیوندهای کربنی ناقص است که فعالیت شیمیایی این ماده را به صورت چشمگیری افزایش می‌دهند. اما نکته جالب هنگام استفاده از این ماده این است که این ذرات تا حد زیادی دست نخورده باقی می‌مانند و در واقع بخش عمده ویژگی‌های کاربردی کربن سیاه از مشخصه‌های مورفولوژیکی آن ناشی می‌شود نه فعالیت‌پذیری سطحی‌اش!

بخش اعظم بازار کربن سیاه شامل تولیداتی مانند لاستیک و تولیدات لاستیک صنعتی است. زیرا سیاه کربن یکی از تقویت‌کننده‌هایی است که به دلیل تأثیر ویژه آن بر خواص مکانیکی و دینامیکی لاستیک‌ها، اغلب در صنعت تایر مورد استفاده قرار می‌گیرد. اندازه متوسط ذرات کربن با درجه تجاری در محدوده ۱۰ تا ۵۰۰ نانومتر متغیر است. به این ترتیب ذرات با سایزهای مختلف فرمولاسیون متفاوتی از لاستیک را نتیجه می‌دهند و خواص منحصر به فردی را شکل می‌دهند. به طور کلی، کربن سیاه با اندازه ذرات بزرگتر قابلیت کم‌تری را جهت تقویت لاستیک‌ها از خود نشان می‌دهد. بنابراین با قیمت پایین‌تری نیز عرضه می‌شود.

بنابر آنچه که در این مجال بدان پرداخته شد، کربن و خانواده‌ی بزرگش نقشی حیاتی در زندگی امروزی ما ایفا می‌کنند. وفور ساختارهای کربنی، امکان معرفی حتی مهم‌ترین مشتقات آن را از ما گرفته است.

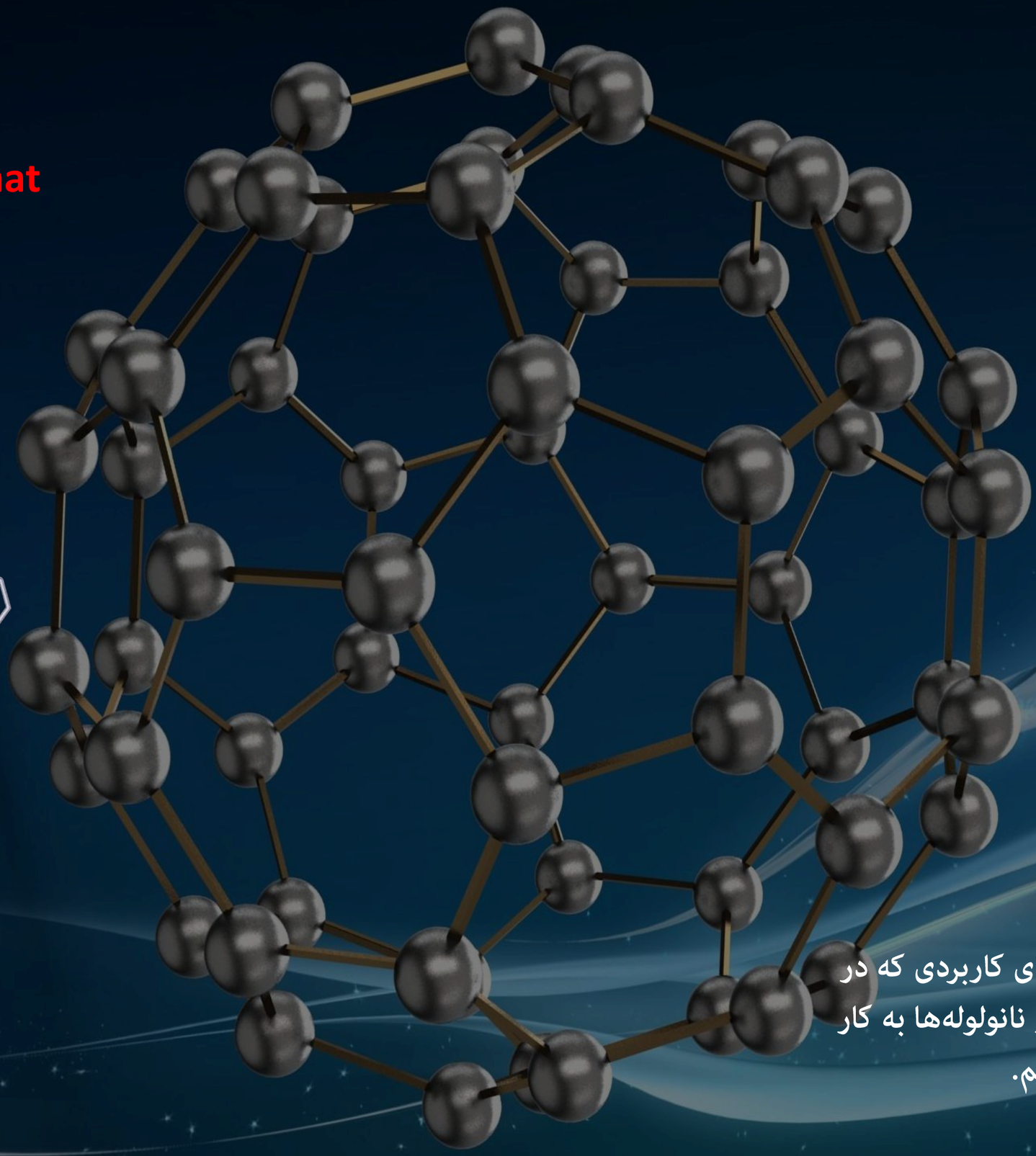
با وجود تمام پیشرفت‌های صورت گرفته، دانشمندان همچنان به دنبال تولید ساختارهایی نوین با ویژگی‌هایی منحصر به فرد هستند که بتوانند از این گنجینه‌ی طبیعی در جهت ارتقای سبک زندگی بشری بهره گیرند.

آموزش کاربردی

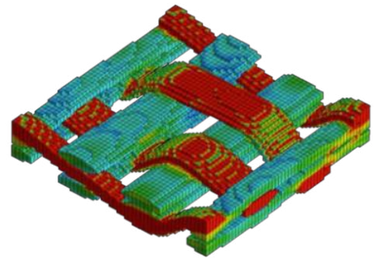
Digimat

aspentech HYSYS

CoNTub



در این بخش به معرفی نرم‌افزارهای کاربردی که در شبیه‌سازی پلیمرها،کامپوزیت‌ها و نانولوله‌ها به کار می‌آیند، می‌پردازیم.



در دهه اخیر استفاده از نانو کامپوزیت‌های پلیمری، پیشرفت‌های شگرفی را در صنعت و علم مواد به همراه داشته است.

نانوکامپوزیت‌ها موادی چندفازی هستند که یک فاز آن‌ها را ماتریس و فازهای دیگر را موادی افزودنی تشکیل می‌دهند که حداقل یکی از آن‌ها باید یک بعد کوچک‌تر از ۱۰۰ نانومتر داشته باشد. بسته به نوع مواد و ویژگی‌های ساختاری که در پردازش آن‌ها به وجود می‌آید، کامپوزیت‌ها به گونه‌ای ساخته شده‌اند که خواص برجسته‌ای داشته باشند.

خواص فیزیکی و مکانیکی فوق‌العاده مانند استحکام بالا، مقاومت در برابر سایش، مقاومت در برابر آتش و حرارت، وزن کم، نفوذپذیری پایین تنها برخی از خواص کامپوزیت‌های پلیمری است.

پیش‌بینی این خواص عالی برای مواد و سازه‌های کامپوزیتی نیز چالش بزرگی را برای مهندسان به وجود آورده است. استفاده از برنامه‌های شبیه‌سازی مناسب می‌تواند تا حدی تولید مواد کامپوزیتی و همچنین کاربرد آن‌ها را پیش‌بینی کند. از آنجا که شرایط پردازش می‌تواند خواص کامپوزیت را تغییر دهد، بنابراین استفاده از برنامه‌های شبیه‌سازی مانند «Digimat» که شامل پردازش مواد هم هستند می‌تواند در تعیین خواص نهایی کامپوزیت‌های طراحی شده بسیار مفید باشند.

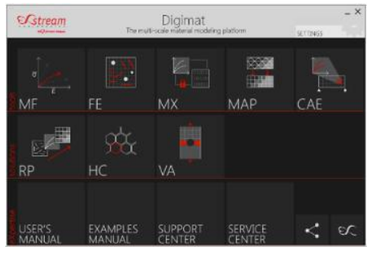
قلم مهرناز سیم‌دار
Mehrnaz.simdar@gmail.com

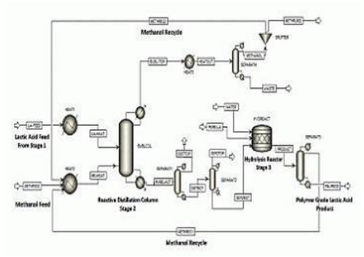
نرم‌افزارهای شبیه‌سازی قدیمی‌تر قادر به توصیف دقیق رفتار مواد کامپوزیتی نیستند. این نرم‌افزار با ارائه توصیفی پیشرفته و دقیق از رفتار کامپوزیت‌ها، بستری برای طراحی فراهم می‌کند که به کمک آن کاربر می تواند به محصولات کامپوزیتی طراحی شده خود اطمینان کامل داشته باشد و آن‌ها را به مرحله تولید برساند.

این نرم‌افزار مجموعه‌ای از ابزارهای جدید است که براي آنالیز، شبیه‌سازي، مدل‌سازي و تجزیه و تحلیل سازه‌های کامپوزیتي و همچنین انتخاب مواد ساخته شده است و به کمک آن می‌توان طراحی مواد را با دقت و بازده بیشتر انجام داد.

همچنین به موسسات دانشگاهی، محققان و دانشجویان کمک می کند تا با صرفه جویی در وقت و کاهش هزینه‌های مربوط به طراحی و آزمایش، محصولات تولیدی را بهبود ببخشند.

به جز کاربردهای پژوهشی، Digimat توسط مهندسان، دانشمندان و متخصصان در فرآیندهای تولید مواد پلاستیکی و کامپوزیتی برای پیش بینی دقیق رفتار مواد و سازه‌های چند فازی پیچیده استفاده می‌شود. طراحان این این برنامه تلاش کرده‌اند تا اعتماد تأمین‌کنندگان اصلی مواد در بازار را به خود جلب کرده و شکاف بین تولید و طراحی را از بین ببرد. با استفاده از این نرم‌افزار و تولید کامپوزیت‌های پلیمری می‌توان به صنایع مختلف کمک کرد. در صنایع مختلفي نظیر هوا فضا، خودروسازی، ساخت محصولات الکترونیکي و تجهیزات پزشکي از این نرم‌افزار استفاده مي‌شود .

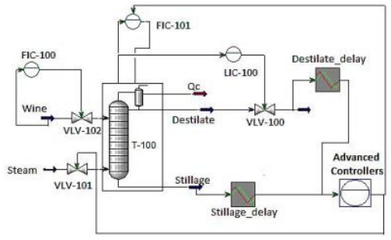




از اواسط قرن گذشته مواد پلیمری در بسیاری از صنایع از جمله ساخت پوشش‌ها، چسب‌ها، رنگ، وسایل الکترونیکی و ... به طور گسترده مورد استفاده قرار گرفته‌اند.

بدون شک می‌توان گفت که شبیه‌سازی فرآیندهای شیمیایی در ساخت پلیمرها بسیار مهم است به طوری که می‌توان نتایج آزمایش‌ها را قبل از انجام آن بررسی نمود. همچنین می‌توان تغییرات عوامل موثر در حین فرآیند را بر محصول خروجی مورد ارزیابی قرار داد تا بتوان بهترین گزینه‌ها را برای متغیرهای فرآیند از قبیل دما، فشار، میزان جریان جرمی مواد اولیه در جهت بهبود محصول نهایی انتخاب نمود. با این کار هزینه‌های مصرفی در انجام آزمایشات لازم کاهش می‌یابد.

یکی دیگر از نرم‌افزارهای جامع و کاربردی که در زمینه‌ی شبیه‌سازی فرآیندهای شیمیایی استفاده



می‌شود، نرم‌افزار « ASPEN HYSYS » است که در زمینه طراحی و شبیه‌سازی واحدهای فرآیندی، نیروگاهی، مخازن طبیعی نفت و گاز و پتروشیمی بسیار قدرتمند عمل می‌کند.

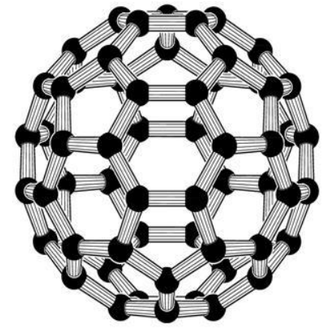
این نرم‌افزار بخش عمده‌ای از نیازهای مهندسین پلیمر، مهندسین شیمی و مهندسین مکانیک را برآورده می‌نماید.

به دلیل برخورداری از ماژول‌های متعدد قابلیت شبیه‌سازی بسیاری از تجهیزات فرآیندی نظیر انواع راکتورها، برج‌های تقطیر و استخراج، مبدل‌های حرارتی، میکسر، پمپ‌ها و کمپرسورها، تجهیزات جداسازی مواد مختلف، انواع عملیات منطقی و... را دارد.

همچنین پشتیبانی از مباحث متفاوت مانند پلیمرها، الکترولیت‌ها، شبیه‌سازی سیستم‌های جامد و فرآیندهای مختلف و همچنین بانک اطلاعاتی قوی در زمینه خواص فیزیکی و شیمیایی جامدات، مایعات و گازها این برنامه را به پرکاربردترین نرم‌افزار طراحی و شبیه‌سازی فرآیندهای شیمیایی تبدیل کرده است. نرم‌افزار ASPEN HYSYS دارای بسته‌های ترمودینامیکی جامع و کاملی است که خواص مواد و ویژگی‌های فرآیند را با دقت بالایی پیش‌بینی می‌کند. نتایج حاصل از شبیه‌سازی فرآیند توسط نرم‌افزار HYSYS با توجه به فرضیات نرم‌افزار از دقت بالایی برخوردار است و می‌توان به کمک آن رفتار سیستم را در شرایط مختلف عملیاتی پیش‌بینی کرد.

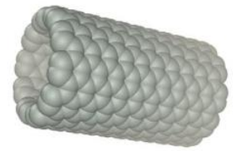
فرآیندهای موجود در HYSYS در دو مرحله انجام می‌شود. ابتدا مواد و معادله حالت مربوط را انتخاب می‌کنیم. در صورت وجود واکنش شیمیایی در این مرحله آن را ذکر می‌کنیم. مرحله دوم پردازش شبیه‌سازی است که با وارد کردن داده‌ها به خروجی مطلوب دست پیدا می‌کنیم.

«نرم‌افزار شبیه‌سازی در صنعت انرژی که توسط تولیدکنندگان، کارمندان و مهندسان در پالایشگاه‌ها در طراحی و عملیات، برای بهینه‌سازی فرآیند مورد استفاده قرار می‌گیرد.»



یکی از موضوعات پژوهشی جدید در حوزه فناوری نانو، مبحث نانولوله‌ها و در کل آلوتروپ‌های کربن است. نانولوله‌های کربنی، ساختارهای حلقوی تو خالی و به ضخامت یک اتم کربن هستند که می‌توانند به شکل تک یا چند جداره آرایش یابند. این قبیل مولکول‌های استوانه‌ای شکل، خواص منحصربفردی دارند که آن‌ها را در بسیاری از زمینه‌ها مانند نانوتکنولوژی، اپتیک، الکترونیک و دیگر زمینه‌های علم مواد مفید می‌سازد.

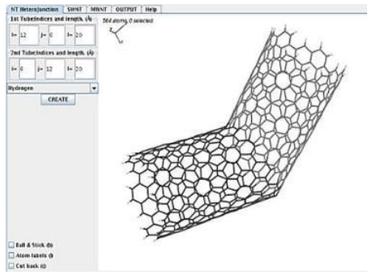
یکی دیگر از اشکال مختلف کربن فولرین است. فولرین‌ها از حرارت دادن به گرافیت به وجود می‌آیند با این تفاوت که در ساختار اتمی فولرین‌ها به جای شش ضلعی‌های منتظم موجود در صفحات گرافیت، مجموعه‌ای از شش ضلعی و پنج ضلعی‌های منتظم وجود دارد که به صورت یک در میان در کنار هم قرار گرفته‌اند و کره فولرین را تشکیل می‌دهند و به جهت شباهت شکل آن به توپ فوتبال، به آن باکی بال (Bucky Ball) نیز می‌گویند. شبیه‌سازی ساختارهای کربنی برای انجام محاسبات، یکی از چالش‌های موجود در این زمینه است که به دلیل ظرافت و پیچیدگی این ساختارها، انجام آن به صورت عملی کاری بسیار دشوار و وقت‌گیر خواهد بود.



از دیگر توانایی‌های منحصربفرد این نرم‌افزار می‌توان به پشتیبانی از نانولوله‌های بسیار بلند تا ۱۰۰۰۰۰ آنگستروم اشاره کرد.

مدل‌ساز نانولوله «CoNTub» نرم‌افزاری تخصصی و قدرتمند برای ساخت مدل‌ها و مختصات سه بعدی نانوتیوب‌ها، نانومخروط‌ها، باکی‌بال‌ها و نمایش گرافیکی مختصات سه بعدی آلوتروپ‌ها با کیفیت بالا و قابلیت دوران آزاد است.

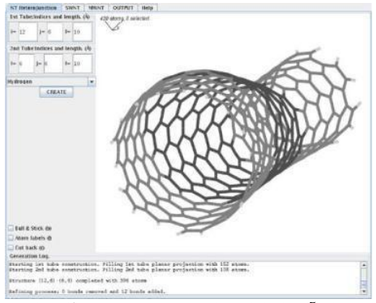
ویژگی بسیار مهم CoNTub که آن را از سایر نرم‌افزارهای مشابه متمایز می‌کند این است که اولین نرم‌افزار شبیه‌سازی برای کربن است که علاوه بر ارائه الگوریتمی برای تولید ساختارهای سه بعدی و اتصالات نانولوله‌های کربن دلخواه، به جز ساختارهای شش ضلعی متداول، نقایصی به شکل پنج ضلعی هم در ساختار کربن تعریف می‌کند. این نرم‌افزار به کمک مجموعه‌ای از ابزارهای اختصاصی به طراحی سازه‌های پیچیده نانولوله‌های کربن برای استفاده در انجام محاسبات می‌پردازد و برای طراحی انواع مختلف اتصالات نانولوله‌ها، از جمله نانولوله‌های تک جداره و نانولوله‌های چند جداره مناسب است. هدف آن کمک به طراحی و تحقیق در مورد ساخت محصولات جدید مبتنی بر نانولوله است و قادر است ساختار بی‌نظیری برای اتصال دو



نمونه ارائه دهد.

ساختارهای کربنی شبیه‌سازی شده توسط نرم‌افزارCoNTub

اولین نسخه این برنامه CoNTub 1.0 برای طراحی سازه‌های پیچیده بود و بی‌نظمی‌ها و اتصالات نانولوله‌ای را نیز دربرمی‌گرفت، در حالی که نسخه جدیدتر این برنامه CoNTub 2.عمدتاً به طراحی اتصال بین سه نانولوله اختصاص دارد. برای تولید نانولوله‌های تک جداره فقط لازم است شاخص‌های لوله مانند طول مورد نظر آن به انگستروم و نوع اتم مشخص شوند.

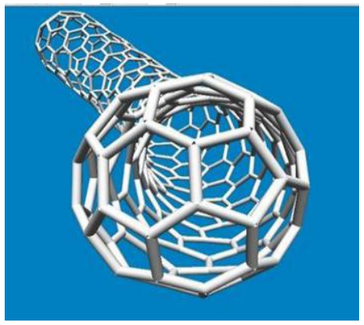


پس از آن نانولوله حاصل و همچنین ویژگی‌های آن مانند ساختار گاف الکترونیکی و چگالی حالت‌ها نمایش داده می‌شود.

برای طراحی نانولوله‌های کربنی چند جداره، چند لوله با محور و طول یکسان در نظر گرفته می‌شود و با وارد کردن مشخصه‌های داخلی‌ترین لوله، طول مورد نظر، تعداد پوسته‌ها و فاصله تقریبی پوسته‌ها در مقیاس آنگستروم، طرح دلخواه شکل می‌گیرد.

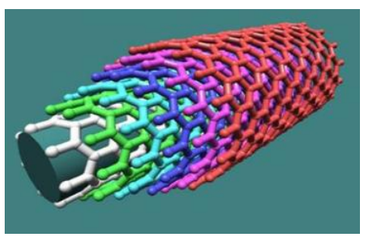
مقدار پیش‌فرض برای فاصله بین لوله‌ها با فاصله استاندارد بین لایه‌ها در گرافیت کریستالی (۳/٤ آنگستروم) مطابقت دارد.

نرم‌افزار به طور خودکار باقیمانده شاخص‌های لوله‌ها را انتخاب کرده و فاصله بین جداره‌ها را تنظیم می کند و سعی می‌کند از ترکیباتی با همان ساختار نانولوله داخلی استفاده کند.

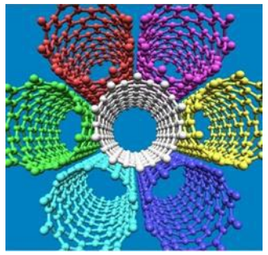


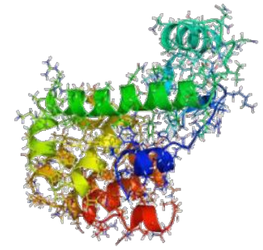
برای طراحی ساختارهای نامنظم و اتصال بین دو نانولوله، این نرم‌افزار قابلیتی دارد که اجازه می‌دهد دو نانولوله کربن به طور جداگانه، مستقل از هندسه، شعاع یا ساختارشان، با ساده‌ترین هندسه ممکن به یکدیگر بپیوندند. این پیوند با استفاده از کمترین تعداد حلقه‌های غیر شش ضلعی (پنج ضلعی یا هفت ضلعی) که به آن نقص یا بی‌نظمی نیز می‌گویند، انجام می‌شود. در نسخه‌های جدیدتر این برنامه که امکان اتصال بین سه نانولوله وجود دارد، برعکس ساختارهای نامنظم و اتصالات قبلی که تنها به یک هفت ضلعی یا یک پنج ضلعی نیاز داشت، حداقل باید شش هفت ضلعی در ساختار قرار گیرد.

در این حالت، مجموعه معادلات حاکم بر هندسه سازه‌ها دارای متغیرهای بیشتری هستند و محدودیت‌های آن‌ها کمتر می‌شود، بنابراین مجموعه‌ای نامتناهی برای شکل‌گیری ساختارهای احتمالی پیش رو داریم.

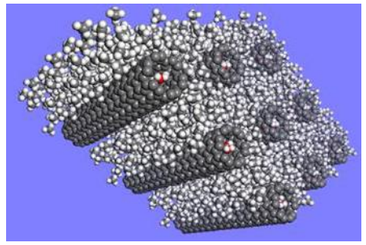


این نرم‌افزار بانک اطلاعات جامعی از نانولوله‌ها در اختیار دارد.





شبیه‌سازی دینامیک مولکولی برای اولین بار در سال ۱۹۵۷ توسط آلدر (Alder) و واینرایت (Wainwright) اجرا شد.



در مطالعه ساختار و برهمکنش‌های اتمی، مدل‌سازی مولکولی ابزاری قدرتمند برای پیش‌بینی الاسیته، ارتعاش، اثرات حرارتی، گذردهی الکتریکی و انرژی‌های پیوند است.

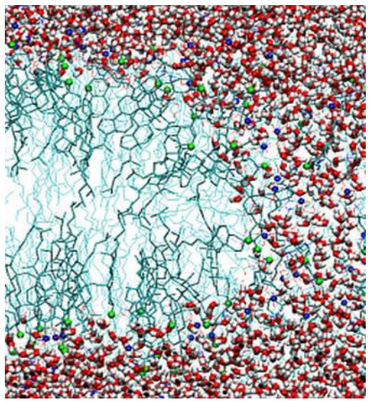
در روش شبیه‌سازی مولکولی معمولا اتم‌ها، مولکول‌ها و خوشه‌های آن‌ها به عنوان واحدهای پایه در نظر گرفته می‌شوند و برهمکنش بین آن‌ها با استفاده از قوانین فیزیک مدل‌سازی می‌شود. در این بین روش‌های شبیه‌سازی مکانیک مولکولی، دینامیک مولکولی و مونت کارلو از سایر روش‌ها پرکاربردتر هستند.

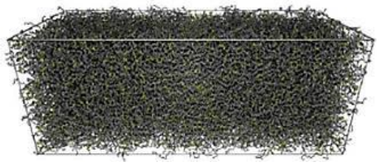
در سال‌های اخیر شبیه‌سازی دینامیک مولکولی به یکی از ابزارهای مهم برای حل مسائل و پیش‌بینی رفتار ذرات به خصوص در مهندسی پلیمر تبدیل شده است. شبیه‌سازی دینامیک مولکولی این امکان را فراهم می‌کند تا به صورت کیفی در مقیاس مولکولی رفتار پلیمرها را مطالعه کنیم و به تحلیل عمیق‌تری از پدیده‌های فیزیکی حاکم بر آن‌ها دست یابیم. دینامیک مولکولی کمک می‌کند تا با آشکار کردن رفتار مولکول‌ها و زنجیره‌های پلیمری مانند آرایش آن‌ها نسبت به یکدیگر و نحوه برهمکنش‌ها، سامانه‌هایی طراحی کنیم که جزئیات ساختاری و دینامیکی مولکول‌ها و به دنبال آن خواص ترمودینامیکی، حرارتی و مکانیکی آن‌ها قابل پیش‌بینی باشد.

در سامانه‌های پلیمری، روش‌های آزمایشگاهی قادر به نشان دادن دقیق پدیده‌ها در مقیاس مولکولی و میکروسکوپی نیستند و سازوکار مورد نظر به استناد شواهد ماکروسکوپی مورد استنباط قرار می‌گیرد. در مقابل شبیه‌سازی مولکولی می‌تواند برای طراحی و ساخت سامانه‌های پلیمری با پیکربندی معلوم و اندازه‌گیری خواص آن در مقیاس مولکولی و میکروسکوپی به کار برده شود. علاوه بر آن با استفاده از شبیه‌سازی مولکولی، این امکان وجود دارد تا اثر تغییرات جزئی در مقیاس مولکولی بر خواص ماکروسکوپی سامانه مورد بررسی قرار گیرد.

در حقیقت مطالعه سامانه‌های پلیمری با روش آزمایشگاهی به علت ناتوانی آن‌ها در آشکار ساختن رفتار مواد در مقیاس اتمی که لازمه رسیدن به درک عمیق از پدیده‌های مختلف است، کافی نیست.

پیشرفت‌های صورت گرفته در زمینه شبیه‌سازی دینامیک مولکولی به علت کاهش هزینه‌های ساخت مواد و ارائه اطلاعات مفید بدون انجام آزمایش‌های متعدد و پرهزینه، این روش را به عنوان روشی کارآمد در گسترش و طراحی سامانه‌های پلیمری نظیر نانوکامپوزیت‌های پلیمری، چسب‌ها، غشاهای پلیمری، حامل‌های دارویی و محلول‌های پلیمری تبدیل کرده است.





علاوه بر موارد ذکر شده، از شبیه‌سازی دینامیک مولکولی می‌توان برای پیش‌بینی رفتار نانوذرات کربن مانند نانولوله‌ها و گرافن هم بهره برد. این مواد خواص شگفت‌آوری از خود بروز می‌دهند و جهت تقویت مواد پلیمری بکار برده می‌شوند.

با این وجود، از دیدگاه آزمایشگاهی، چالش‌هایی برای تولید و شناسایی ساختار آن‌ها وجود دارد. گسترش این مواد به طور عمده از طریق تجربی صورت گرفته است و کنترل کامل و از پیش تعیین شده خواص آن‌ها دشوار است. از این رو شبیه‌سازی مولکولی می‌تواند نقش مهمی در این زمینه ایفا کند.

به طور کلی هدف از شبیه‌سازی سامانه‌هایی که شامل ذرات زیادی هستند، این است که به خواص توده‌ای اتم‌ها دست پیدا کنیم.

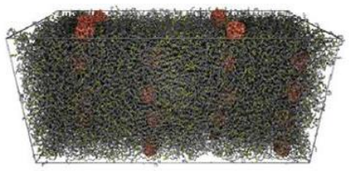
این خواص توده‌ای به طور عمده با مکان هسته اتم تعریف می‌شوند. بنابراین با تقریب منطقی و بر مبنای میدان نیرو (تابع پتانسیل) می‌توان در خصوص رفتار سامانه نتایج مناسبی بدست آورد.

هر شبیه‌سازی دینامیک مولکولی از سه مرحله برای کلیه ذرات سامانه تشکیل شده است:

۱-تعیین شرایط اولیه: دریافت اطلاعات اولیه ذرات که عبارت است از مختصات اولیه ذرات، سرعت‌های آغازین و خواص فیزیکی مثل جرم، اندازه و نوع ذره.

۲-انتخاب تابع پتانسیل مناسب به منظور تعیین برهمکنش بین ذرات:

باید مجموعه‌ای از ذرات که در همسایگی ذره مورد نظر قرار دارند تعیین شود. این مجموعه برای هر ذره در سیستم شکل می‌گیرد و شامل همه ذراتی است که تحت تاثیر نیروی وارده از ذره مورد نظر قرار دارند. به این ترتیب محاسبات



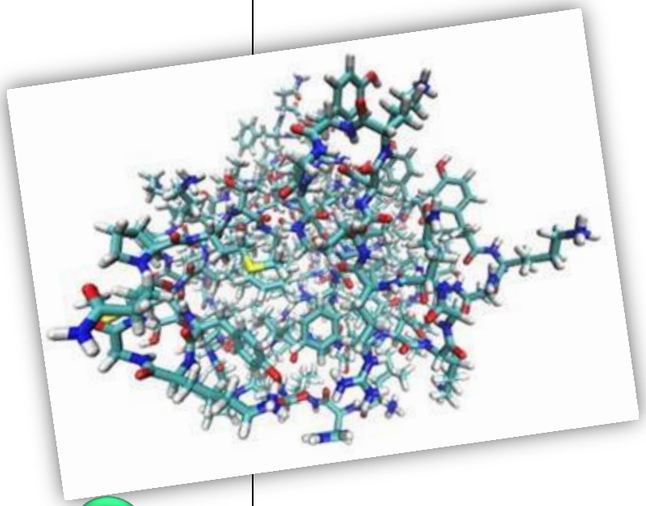
از به دست آوردن اندرکنش بین یک ذره در سیستم با کل ذرات، به محاسبه اندرکنش ذره با ذراتی که در همسایگی قرار می گیرند، تقلیل می‌یابد.

۳-بررسی تحول سامانه با زمان از طریق حل مجموعه‌ای از معادلات حرکت کلاسیک نیوتنی: ابتدا نیروی وارد به هر ذره از روی پیکربندی و شرایط اولیه محاسبه می‌گردد. سپس شتاب، سرعت و مکان جدید هر ذره با استفاده از یکی از روش‌های انتگرال‌گیری محاسبه می‌شود. مراحل ۱ تا ۳ به تعداد بازه‌های زمانی مورد نظر تکرار می‌گردد.

معمولا سیستم‌های مولکولی شامل تعداد زیادی از ذرات هستند و نمی‌توان ویژگی‌های سیستم‌های پیچیده را به طور تحلیلی بدست آورد. شبیه‌سازی دینامیک مولکولی این مسئله را با به کار بردن روش محاسباتی حل می‌کند.

به طور کلی هدف از شبیه‌سازی سامانه‌هایی که شامل ذرات زیادی هستند، این است که به خواص توده‌ای اتم‌ها دست پیدا کنیم.

این خواص توده‌ای به طور عمده با مکان هسته اتم تعریف می‌شوند. بنابراین با تقریب منطقی و بر مبنای میدان نیرو (تابع پتانسیل) می‌توان در خصوص رفتار سامانه نتایج مناسبی بدست



گفتگو

رویای دستیابی به الماسی درخشان‌تر

مصاحبه اختصاصی با پژوهشگر ایرانی

دانشگاه UHasselt

یکی از قطب‌های رشد الماس در اروپا

معرفی خانم دکتر رزیتا روزبهانی

سرکار خانم دکتر روزبهانی، پژوهشگر دانشگاه هاسلت بلژیک، دانش آموخته دانشگاه خوارزمی در رشته فوتونیک پس از اتمام مقطع کارشناسی‌ارشد خود در سال ۱۳۹۴ در مقطع دکتری دانشگاه هاسلت مشغول پژوهش در زمینه رشد الماس شدند و هم‌اکنون به عنوان پژوهشگر مشغول به کار هستند.

سرکار خانم دکتر، لطفا قدری درباره زندگینامه‌ی شخصی و علمی‌تان بفرمائید.

بنام خدا، اینجانب رزیتا روزبهانی متولد تهران در سال ۱۳۶۸ تحصیلات دانشگاهی خود را در دانشگاه سمنان و در رشته فیزیک ماده چگال آغاز کردم و در سال ۱۳۹۱ وارد مقطع کارشناسی‌ارشد رشته فوتونیک در دانشگاه خوارزمی شدم. زمینه پژوهشی اینجانب در این مقطع در زمینه ساخت دیودنوری فرابنفش بر پایه نانومواد با گاف انرژی پهن بود. پس از اتمام مقطع کارشناسی‌ارشد، جهت ادامه فعالیت‌های پژوهشی خود از دانشگاه هاسلت بلژیک در مقطع دکتری در زمینه ساخت دیود شاتکی بر پایه الماس، پذیرش گرفتم و در حال حاضر به عنوان پژوهشگر در این زمینه مشغول به فعالیت هستم.

با توجه به موضوع اصلی این شماره‌ی نشریه ستاد فوتونیک و مواد پیشرفته در ارتباط با ساختارهای کربنی و تخصص شما در این زمینه، لطفا بفرمایید انگیزه و هدف شما برای ورود به حوزه رشد الماس چه بوده است؟

همانطور که می‌دانیم، الماس یکی از مهمترین مواد بر پایه کربن است که به عنوان سخت‌ترین ماده شناخته شده است. همچنین این ماده، دارای گاف انرژی بزرگی در حدود ۵/۴۵ الکترون ولت در دمای اتاق است. تمامی این خواص، موجب شده است تا این ماده در زمینه‌های گوناگونی از جمله الکترونیک و پزشکی مورد استفاده قرار بگیرد و فضای بازی را برای تحقیقات بیشتر فراهم کند. از آنجایی که بهترین نوع الماس از معادن استخراج می‌شود و برای دسترسی به آن محدودیت‌های زیادی وجود دارد، لذا در سال‌های اخیر رشد بخار شیمیایی (CVD) الماس مورد توجه زیادی قرار گرفته است که بخشی از پروژه من در دانشگاه هاسلت در همین رابطه است.

الماس مورد نظر شما در چه زمینه‌هایی کاربرد دارد؟

استفاده از الماس در زمینه‌های مختلفی از جمله الکترونیک، پزشکی، مخابرات، و ... رایج است. در این پروژه، الماس رشد داده شده جهت ساخت دیودهای شاتکی برای استفاده در وسایل الکترونیکی با توان بالا، به کار برده می‌شوند.

تجربه کار آزمایشگاهی در ایران چقدر به شما در این زمینه کمک کرد؟

با توجه به پیشینه‌ی من در زمینه رشد نانوذرات اکسیدروی به روش سل-ژل در پروژه‌ی کارشناسی‌ارشد در دانشگاه خوارزمی، رشد تک کریستالی الماس به روش بخار شیمیایی برای ادامه کار تحقیقاتی جالب و قابل بررسی به نظر می‌آمد. نکته‌ی قابله توجه در زمینه تولید مواد؛ ایجاد خواص بهتر با بهینه کردن روش‌های رشد است، که در هر دو پروژه‌ی کارشناسی ارشد و دکتری من درنظر گرفته شده است.

تجربه‌ی من در زمینه سنتز و ساخت نانو مواد، همچنین آشنایی با عملکرد فتودیود، در طی انجام پروژه‌ی کارشناسی‌ارشد باعث شد تا من در این زمینه با آگاهی بیشتری به انتخاب روش‌ها بپردازم. همچنین می‌توان گفت که داشتن دانش کافی در زمینه مراحل ساخت قطعات الکترونیکی مانند لیتوگرافی، کمک به سزایی در انجام و پیشبرد این پروژه کرده است.

کمی راجع به وجه تمایز محصول نهایی با محصولات موجود و نوآوری خود در زمینه تولید این محصول توضیح دهید.

همانطور که قبلتر هم اشاره کردم، رشد تک کریستالی الماس به علت کاربردهای فراوان آن در صنایع الکترونیک و الکترواپتیک مورد توجه گروه‌های بسیاری قرار گرفته است. اما رشد این ماده همواره با دشواری‌هایی همراه بوده است. از جمله ایجاد تغییر در ساختار کریستالی ماده در هنگام رشد. این مشکل با وارد کردن ناخالصی با هدف بهبود خواص الکتریکی، بیشتر هم می‌شود. در این پروژه تلاش شده است که الماس‌های تک کریستالی با حضور ناخالصی بورون (B) به روش بخار شیمیایی رشد داده شوند. هدف از ورود این ناخالصی، ایجاد نیم‌رسانای نوع مثبت (p) برای استفاده در ادوات دیودی است.

مهمترین ویژگی این پروژه، رشد لایه‌های تک کریستالی الماس با کیفیت کریستالی بالا و ناخالصی بالا و تبدیل این نیم‌رسانا به یک رسانا است. این غلظت بالای ناخالصی به همراه کیفیت کریستالی بالا در نوع خود کم‌نظیر است و آزمایشگاه‌های اندکی در سطح دنیا قادر به تولید این نوع از الماس هستند.

در صورت امکان مختصری راجع به مراحل انجام کار توضیح دهید.

این پروژه به سه قسمت اصلی تقسیم گردیده است:

۱- رشد و بررسی ساختاری و الکتریکی تک کریستالی الماس با ناخالصی بالای بورون (cm^{-3} ~10^{21}) به روش بخار شیمیایی.

۲- رشد و بررسی ساختاری و الکتریکی تک کریستالی الماس با ناخالصی کم بورون (cm^{-3} ~10^{15}) به روش بخار شیمیایی.

۳- ساخت و بهینه‌سازی دیود شاتکی با استفاده از لایه‌های رشد داده شده در مراحل قبل.

از زمان شروع پروژه تاکنون پیشرفت کمی و کیفی کار چطور بوده است؟

در طی سال‌های گذشته در این پروژه، رویکردهای علمی و عملی زیادی در زمینه‌ی رشد و آنالیز لایه‌های الماس رشد داده شده، در پیش گرفته شده است. خروجی این نتایج در قالب مقالات علمی متعددی در کنفرانس‌های بین‌المللی انتشار یافته است. همچنین شبیه‌سازی شرایط رشد در درون راکتور به شیوه DFT تمامی نتایج به دست آمده از آنالیزهای تجربی را تایید کرده است.

چه مراکز دیگری در این زمینه فعال هستند و شما نسبت به سایر رقبا در چه جایگاهی قرار دارید؟

در زمینه‌ی رشد الماس، به صورت خالص و یا افزودن ناخالصی، دانشگاه هاسلت یکی از قطب‌های اروپا است. در موسسه IMO بیش از ۷ راکتور برای رشد نانوکریستال، تک کریستال و پلی‌کریستال الماس با ناخالصی‌های مختلف وجود دارد. در رتبه بعدی در اروپا، مرکزNEEL در دانشگاه Grenbole فرانسه وجود دارد. البته وجود موسسه‌های پیشرفته با تکنولوژی بالا در ژاپن نیز زبانزد است.

هدف اصلی آزمایشگاه ما هم اکنون تولید لایه‌هایی با خلوص بالا جهت استفاده در زمینه‌هایی با تکنولوژی بالا مانند هوا و فضا است. لایه‌های الماس رشد داده شده در آزمایشگاه‌های UHasselt در صنعت مورد توجه بسیاری قرار گرفته‌اند. حائز اهمیت‌ترین آن‌ها حضور در پروژه بین‌المللی اروپا Horizon 2020 می‌باشد. تمامی لایه‌های الماس این پروژه توسط محققین آزمایشگاه الماس دانشگاه رشد داده شده است. پیش‌بینی می‌شود که محصول نهایی این پروژه عظیم تا انتهای سال ۲۰۲۰ وارد بازار تجاری شود.

رکتور رشد به روش بخار شیمیایی

دستگاه مشخصه‌یابی اثر هال آزمایشگاه

راکتور رشد به روش بخار شمیایی مدل ASTeX1

اهمیت این پروژه در کاهش هزینه محصول نهایی چقدر بوده است؟

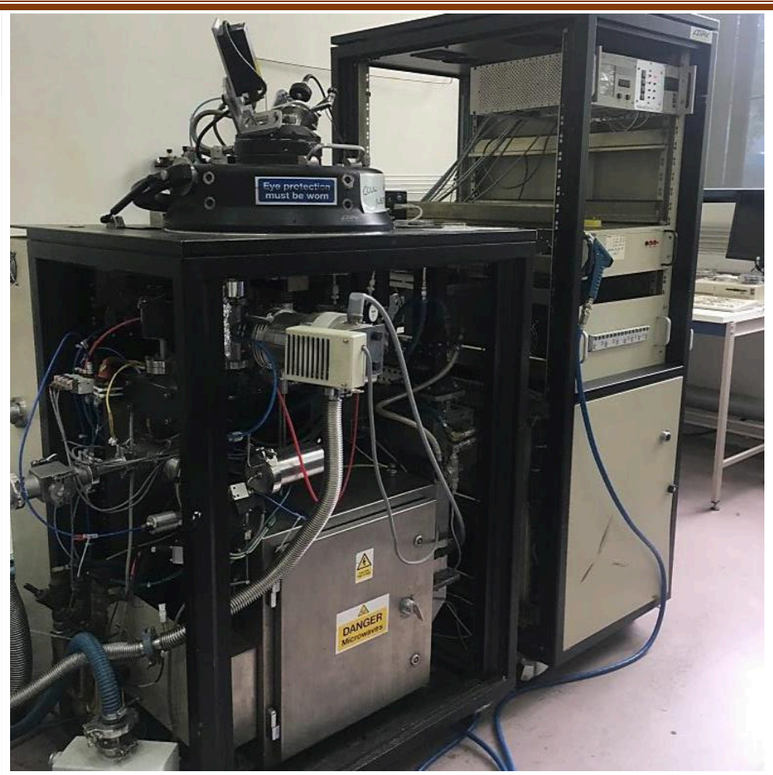
الماس همانطور که در جواهر آلات استفاده می‌شود، هیچ‌گاه ماده‌ی ارزان قیمتی برای استفاده صنعتی نبوده است. گرانترین و بهترین الماس‌ها همیشه از درون مخازن استخراج شده‌اند. اینگونه از الماس‌ها در درون زمین تحت فشار بسیار بالا و دمای بسیار بالا رشد می‌یابند. حال اینکه در این پروژه تلاش شده است تا با شبیه‌سازی محیط قابل رشد در راکتور یعنی فشار و دمای بالا، کریستال‌های الماس با نزدیکترین کیفیت به الماس‌های استخراج شده، تولید شود. با این روش قیمت و هزینه تولید دستگاه‌های الکترونی بر اساس این ماده بسیار کاهش پیدا خواهد کرد.

با توجه به پیشرفت‌های علمی اخیر در زمینه رشد الماس چه موانعی بر سر راه شما وجود دارد؟

از جمله موانع پیشرفت می‌توان به عدم دسترسی به زیرلایه‌های الماس با کیفیت و قیمت مناسب اشاره کرد. ژاپن جز پیشگامان رشد زیرلایه‌های الماس به روش فشار بالا-دمای بالا (HPHT) است. با این وجود هنوز امکان دسترسی به زیرلایه‌هایی با خلوص بالا فراهم نشده است.

داشتن نقص در زیرلایه می‌تواند موجب انتقال این نقص به لایه رشد داده شده شود و کیفیت نهایی محصول را تا حد زیادی کاهش دهد.

هزینه مالی پروژه‌های خود را چگونه تامین می‌کنید؟



راکتور رشد به روش بخار شمیایی مدل ASTeX2

این پروژه با حمایت دولت بلژیک (FWO) در حال انجام است. البته در طی این پروژه، با موسسه‌ها و پژوهشکده‌های بسیاری همکاری و تعامل متقابل صورت گرفته است. از جمله HZB دربرلین و NEEL در فرانسه.

فضای کار در این زمینه خاص را چطور ارزیابی می‌کنید؟

الماس دارای خواص بسیاری است که هنوز به صورت کامل مورده بهره‌برداری قرار نگرفته است. در زمینه رشد، موسسه‌های بسیاری در تلاش هستند تا الماس را بر روی مواد مختلفی رشد دهند. از جمله این مواد پلاستیک‌ها هستند. اما همانطور که می‌دانیم برای رشد الماس حداقل دمای ۶۰۰ درجه سانتی‌گراد لازم است. محققان در تلاش هستند تا با کمک راکتورهای پیشرفته، شرایط رشد الماس در دماهای پایین‌تر از ۶۰۰ درجه سانتی‌گراد را فراهم کنند. کمااینکه به صورت آزمایشگاهی در آزمایشگاه رشد الماس UHasselt پیشرفت‌هایی در این زمینه تا دمای ۴۰۰ درجه سانتی‌گراد صورت گرفته است.

به عنوان سخن آخر چه پتانسیل‌هایی در این حوزه نهفته است؟

الماس به دلیل خواص شگفت‌انگیزی که دارد، پتانسیل‌های فراوانی برای استفاده در زمینه‌های گوناگون ایجاد کرده است. یکی از تازه‌ترین این موارد، بررسی NV center ساختار الماس در حوزه کوانتوم اپتیک است. می‌توان این زمینه فعالیت را که به تازگی دست‌یافتنی شده است در آینده‌ای نزدیک در حوزه کاری این آزمایشگاه مورد بررسی قرار داد.

از علم تا ثروت

مسیر پیش روی صنعت الکترونیک، گرافن یا سیلیکان ؟

آیا گرافن تجاری خواهد شد؟

تجاری‌سازی گرافن و چشم‌انداز آینده آن

طراحی نقشه راه تجاری‌سازی گرافن

چالش‌های جایگزین کردن گرافن به جای سیلیکان

آیا گرافن می‌تواند جایگزین سیلیکان شود یا خیر؟!

به قلم زینب ملکشاهی
z.malekshahi2015@gmail.com

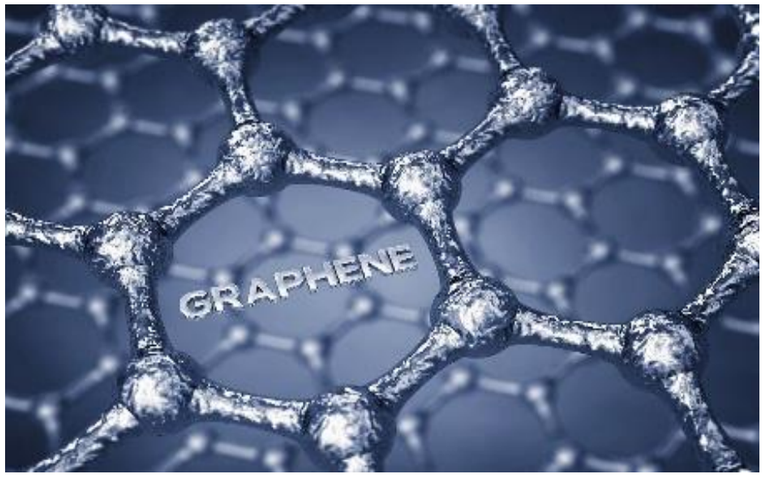
یافتن موادی جدید با ویژگی‌های خاص، همواره یکی از دغدغه‌های بشر بوده است. جستجوی طلا و نفت در دوره‌های مختلف، نشان‌دهنده نیاز او به توسعه دانش در طول تاریخ است. کوشش مستمر برای یافتن موادی از قبیل الماس، چدن و فولاد که زیربنای ساخت و تولید دستگاه‌ها و تجهیزات جدید بوده، نیز نمونه‌ای از تحقق بلندپروازی‌های انسان است. اما این مسیر با کشف و توسعه موادی مانند فولاد پایان نیافته و در هر عصری انسان با دستیابی به فناوری‌هایی نوین، افق‌های جدیدتری را پیش روی علم گشوده و از طریق آن توانسته مواد با قابلیت‌های متفاوتی را توسعه دهد.

معرفی گرافن به عنوان یک ماده جدید حاصل پیشرفت فناوری‌های نوینی است که مجموعه وسیعی از صنایع و علوم مختلف را متاثر کرده است. این ماده در زمان بسیار کوتاهی به عنوان یک موضوع جذاب مورد توجه بسیاری از فناوران در سرتاسر جهان قرار گرفت.

گرافن، به دلیل برخورداری از ویژگی‌های جالب الکتریکی، اپتیکی، حرارتی، مکانیکی و همچنین مساحت سطح بسیار بالا، موضوع تحقیقاتی بسیاری از دانشمندان است. این ماده توانسته است با ترسیم آینده‌ای روشن، انقلاب شگرفی را در صنایع مختلف ایجاد کند.

در سال ۱۹۴۷«فیلیپ والاس»، برای اولین بار به صورت نظری در مقاله‌ای به بررسی ماده‌ای با خواص گرافن پرداخت تا این که سرانجام در سال ۲۰۰۴ دو محقق از دانشگاه منچستر، موفق به ساخت این ماده به صورت آزمایشگاهی، از طریق رویه‌سابی مکانیکی گرافیت شدند.

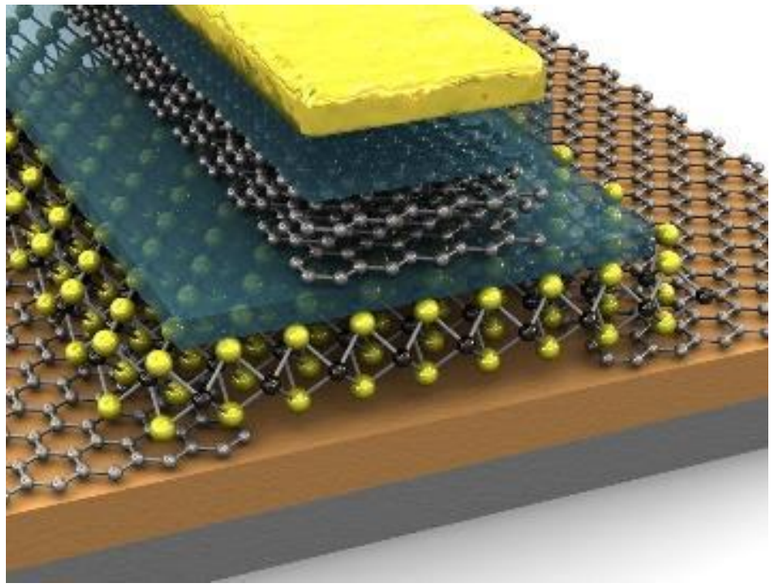
از آن پس، تلاش برای بهره‌گیری حداکثری از ویژگی‌های این ماده شگفت‌انگیز با سرعت زیادی در حال انجام است. از این رو، با توجه به تحولات صورت گرفته، می‌توان گفت کشف گرافن، پس از سیلیکان، مهم‌ترین رویداد صنعتی است. گرافن که به صورت نوارهای بسیار نازکی از تک لایه‌های گرافیت است، به عنوان نازک‌ترین و مستحکم‌ترین ماده موجود در زمین شناخته شده است. خواص بی‌همتای گرافن باعث شده این ماده در زمینه‌های مختلفی از قبیل پوشش‌های عایق حرارتی، کامپوزیت‌های پلیمری با مقاومت بالا، سیستم‌های کنترل حرارت، پوشش مواد در صنایع پزشکی، پیل‌های سوختی، صنایع هوا-فضا (به عنوان جایگزین الیاف کربنی)، نمایشگرها، حسگرهای شیمیایی، سلول‌های خورشیدی و همچنین در صنایع الکتریکی و اپتیکی به صورت گسترده مورد استفاده قرار گیرد. این در حالی است که به دلیل عدم کشف کامل خواص گرافن، تحقیقات مرتبط با کاربردهای گرافن همچنان ادامه دارد. گفته می شود مهم‌ترین تحول ایجاد شده توسط گرافن، در صنعت الکترونیک است. نسبت سطح به جرم بالای این ماده باعث شده است، تولید ترانزیستورها، ابرخازن‌ها و باتری‌های، با سرعت بالاتر، در ابعاد کوچکتر با مصرف انرژی کمتر، چگالی انرژی بالاتر و پراکندگی حرارتی بیشتر نسبت به ابزارهای بر پایه‌ی سیلیکانی انجام شود. از این رو، در ادامه به تحولات صورت گرفته در زمینه ساخت این ماده می‌پردازیم.



نمایی از ساختار لانه زنبوری گرافن

روش‌های تولید گرافن

تاکنون، روش‌های متعددی برای تولید گرافن از گرافیت و مشتقاتش گزارش شده است.



گرافن در ابتدا با استفاده از فرآیند لایه‌برداری مکانیکی گرافیت تولید شد. نمونه‌های تولید شده با این روش دارای کیفیت بالا و برای مطالعات بنیادی مناسب بودند.

پس از آن، روش‌های مختلفی از نظر هزینه، عملکرد، اندازه و کیفیت صفحات، برای سنتز صفحات گرافن مورد استفاده قرار گرفتند. سوسپانسیون مایع اکسید گرافن همراه با کاهش شیمیایی، لایه‌برداری فاز مایع، رشد همبافته با دفع حرارتی اتم‌های سیلیس از سطح کاربید سیلیسیم، رشد همبافته به روش رسوب‌دهی شیمیایی بخار SiC بر روی فلزهای انتقالی، سنتز حلالی-حرارتی و نانولوله‌های کربنی جدا شده، از جمله روش‌های رایج تولید گرافن در صنعت هستند.

از مهم‌ترین گام‌ها در تحقیقات تولید گرافن، توسعه فرآیندهایی است که پس از تولید گرافن، به منظور ایجاد محدوده وسیعی از خواص مطلوب روی آن انجام می‌شود.

با توجه به تحولات صورت گرفته، می‌توان گفت کشف گرافن، پس از سیلیکان، مهم‌ترین رویداد صنعتی است.

در سال ۲۰۱۵، برای اولین بار در جهان، محققان کشورمان در دانشگاه تبریز موفق به ابداع روشی برای تولید گرافن در مقیاس صنعتی شدند که قیمت نهایی محصول را تا ۹۸ درصد کاهش می‌داد.

روش‌های جدید تولید گرافن به منظور بهره‌گیری در صنایع الکترونیکی و جایگزینی آن با سیلیکان در ابررساناها

علاوه بر روش‌های رایج تولید گرافن، هر ساله روش‌های جدیدتری برای تولید این ماده به منظور بهره‌گیری در کاربردهای ویژه، توسط دانشمندان دانشگاه‌ها و محققین مراکز علمی سراسر دنیا معرفی می‌شود.

در سال ۲۰۱۲، دانشمندان نروژی، برای اولین بار روشی را برای تولید نیم‌رساناهایی از جنس گرافن پیشنهاد دادند و پیش‌بینی کردند که می‌توان در صنایع الکترونیکی گرافن را جایگزین سیلیکان کرد.

برای نیل به این هدف، سطح گرافن با اتم‌های گالیم و مولکول‌های آرسنیک بمباران شد و از این طریق، شبکه‌ای از نانوسیم‌های ظریف ساخته شد. محصول تولیدی، یک ماده‌ی هیبریدی با ضخامت ۱ میکرومتر بود که می‌توانست به‌عنوان یک نیم‌رسانا حدود صد برابر نازک‌تر از نیم‌رساناهای سیلیکانی، مورد استفاده قرار گیرد.

نکته قابل توجه در استفاده از نیم‌رساناهای گرافنی به عنوان جایگزین سیلیکان در صنایع و کاربردهای الکتریکی، این است که گرافن مورد استفاده باید از خلوص لازم برای این گونه کاربردها برخوردار باشد. اما گرافن حاصل از روش‌های رایج، خلوص لازم را برای کاربردهای الکترونیکی و استفاده در نیم‌رساناها فراهم نمی‌کرد. از این رو، در همان سال، پژوهشگران کشورمان در دانشگاه صنعتی امیرکبیر، برای اولین بار در جهان، روشی برای تولید گرافن با خلوص بالا، مبتنی بر فرآیند کندگی لیزری با استفاده از لیزر نئودیمیم یاگ در محیط نیتروژن مایع با دمای بسیار پایین، ارائه کردند.

در این روش، ابتدا نور لیزر، با استفاده از سیستم هدایت پرتو، روی یک هدف گرافیتی غوطه‌ور در نیتروژن مایع، متمرکز می‌شد. پس از مدت زمان کوتاه تابش‌دهی، محفظه‌ی شامل ساختارهای گرافن غوطه‌ور در محیط نیتروژن مایع، در دمای اتاق قرار می‌گرفت و بعد از گذشت یک بازه زمانی معین، مایع نیتروژن بخار می‌شد، سپس با افزودن یک مایع دلخواه (به عنوان مثال آب) به داخل محفظه و استفاده از حمام آلتراسونیک، محصولات تولید شده جمع‌آوری می‌شدند.

به این ترتیب، تولید گرافن با روشی بسیار ساده، ارزان، سریع، بدون نیاز به سیستم‌های پیچیده و با قابلیت دستیابی به محصول گرافنی با خلوص بالا صورت می‌گرفت.

تحقیقات در زمینه تولید گرافن مورد نیاز در کاربردهای الکتریکی در مقیاس صنعتی همچنان ادامه داشت. اما با توجه به هزینه‌های زیادی که صرف تولید این محصولات می‌شد، رویکرد دیگری نیز با هدف کاهش قیمت محصول نهایی گرافن در نظر گرفته شد.

در سال ۲۰۱۵، برای اولین بار در جهان، محققان کشورمان در دانشگاه تبریز موفق به ابداع روشی برای تولید گرافن در مقیاس صنعتی شدند که قیمت نهایی محصول را تا ۹۸ درصد کاهش می‌داد. این دستاورد علمی، تغییر بزرگی در تولید محصولات مبتنی بر گرافن ایجاد کرد.

زیرا با وجود کاربردهای گسترده‌ی گرافن و پیشرفت‌های زیاد حاصل از تحقیقات فراوان در زمینه تولید این ماده، تا پیش از آن زمان، روش صنعتی مناسب و مقرون به صرفه‌ای برای تولید گرافن ابداع نشده بود.

به کمک روش توسعه داده شده توسط محققان کشورمان علاوه بر کاهش هزینه‌های تولید، زمان تولید نیز از چندین روز به چند ساعت تقلیل یافت!

پیشرفت‌های حاصل از تحقیقات در زمینه تولید باتری‌های گرافنی و جایگزین کردن گرافن به جای سیلیکان ادامه پیدا کرد تا اینکه در اوایل سال ۲۰۱۹، شرکت Nanotech Energy، که یکی از تولیدکنندگان گرافن، اکسیدگرافن و باتری‌های گرافنی است، اعلام کرد که به یافته علمی تازه‌ای در زمینه تولید گرافن رسیده است و گرافنی با مساحت سطح قابل توجه و کیفیت بسیار بالا تولید کرده است. بر اساس گزارش این شرکت، گرافن تولید شده، دارای مساحت سطحی نزدیک به حدود ۲۵۰۰ متر مربع بر هر گرم (یعنی بالاترین حد پیش‌بینی شده برای گرافن) است.

افزایش مساحت سطحی گرافن، می‌تواند کاربرد گرافن را متحول کند. مساحت سطحی گرافن، تعیین‌کننده مقدار الکترون و میزان انرژی است که می‌تواند در باتری‌ها و ابرخازن‌ها ذخیره شود. با این روش، می‌توان سوپر باتری، ابرخازن و جوهرهای رسانا با عملکرد قابل توجه تولید کرد.

در اواخر سال ۲۰۱۹ نیز شرکت AIXTRON، که از شرکت‌های فعال در حوزه تولید گرافن است، دستگاهی برای تولید انبوه گرافن به روش لایه‌نشانی بخار شیمیایی طراحی کرد.

در اواخر سال ۲۰۱۹، شرکت AIXTRON، که از شرکت‌های فعال در حوزه تولید گرافن است، دستگاهی برای تولید انبوه گرافن به روش لایه‌نشانی بخار شیمیایی طراحی کرده است.

تولید گرافن در دستگاه‌های طراحی شده جدید، در شرایط محیطی انجام می‌شود و به این ترتیب دیگر نیازی به خلا وجود ندارد.،فناوری مورد استفاده در این دستگاه‌ها، به راحتی در کارخانه‌های تولید گرافن قابل استفاده است و هزینه تولید گرافن را تا صد برابر کاهش می‌دهد.

قیمت کم، راندمان بالا و آلودگی بسیار کم، به منظور استفاده در صنایع الکترونیک، فوتونیک، حسگرها و نیم‌رسانا، از جمله مزایای دستگاه طراحی شده توسط شرکت AIXTRON است. از آنجایی که تولید گرافن در این دستگاه‌ها در فشار محیط انجام می‌شود و نیاز به خلا وجود ندارد، فناوری مورد استفاده توسط این شرکت، به راحتی در کارخانه‌های تولید گرافن قابل استفاده است و هزینه تولید گرافن را تا صد برابر کاهش می‌دهد.

دستگاه طراحی شده که محصول سه سال تحقیق و توسعه شرکت AIXTRON است، با هدف پاسخ به نیاز صنعت نیم‌رسانا طراحی و ساخته شده است. در راکتورهای رایج تولید گرافن، معمولا گرافن روی فویل‌ها و سطح فلزی قرار داده می‌شود که این امر موجب بروز آلودگی در گرافن می‌شود و در نتیجه برای صنعت نیم‌رسانا بسیار نامطلوب است. ولی در دستگاه AIXTRON، سنتز گرافن روی لایه‌های نازک عایق صورت می‌گیرد. از این رو، این دستگاه، کمک زیادی به کاهش میزان آلودگی گرافن می‌کند. این عملیات موجب می‌شود توسعه گرافن در صنعت الکترونیک با سرعت بیشتری صورت گیرد.

همچنین این دستگاه قادر است تا ۲۰ هزار مترمربع گرافن در سال تولید کند که این رقم ۲۰۰ برابر بیشتر از ظرفیت راکتورهای رایجی است که در حال حاضر در صنعت استفاده می‌شوند. لازم به ذکر است در ساخت این دستگاه، دانشمندان مختلفی از دانشگاه‌ها و شرکت‌های مختلف کنار هم قرار گرفتند تا این فناوری ارائه شود.

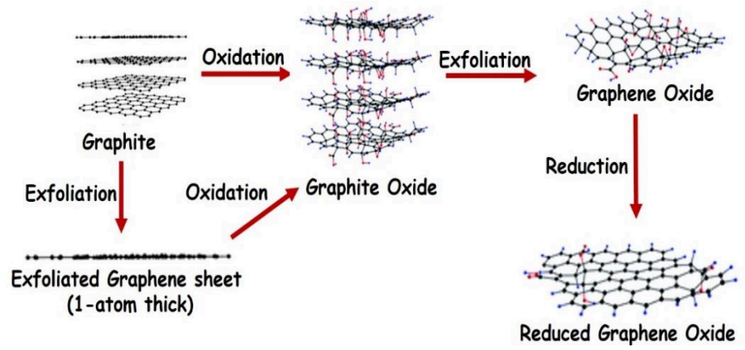
تجاری‌سازی گرافن و چشم‌انداز آینده آن

اولین شرکت فعال در زمینه گرافن و پیشرو در زمینه تولید و تجاری‌سازی کاربردهای گرافن، در سال ۲۰۰۶ میلادی تأسیس شد. تاکنون بیش از ده سال از تجاری‌سازی گرافن می‌گذرد و به دلیل در دسترس و مقرون به صرفه بودن، استقبال بی نظیری از آن در بازار صورت گرفته است. گزارش بازار گرافن در سال‌های ۲۰۱۸-۲۰۲۸، روند تغییر و تکامل در تجاری‌سازی گرافن را به خوبی ترسیم می‌کند.

در این گزارش، ارزیابی جامعی پیرامون گرافن، نانوتیوب‌های کربنی و سایر مواد دو بعدی صورت گرفته است. بر اساس این گزارش، تجاری‌سازی گرافن به پنج مرحله تقسیم می‌شود: در مرحله اول، با راه‌اندازی اولین شرکت‌های فعال در این زمینه و معرفی گرافن به عنوان یک تحول بزرگ در صنعت، امکانات لازم برای انجام فعالیت‌های تحقیقاتی و تولیدی در مقیاس کوچک فراهم شد و سرمایه‌گذاری‌های اولیه صورت گرفت.

در مرحله دوم، رشد شرکت‌های گرافنی در دستور کار قرار گرفت و مجموعه‌ای از پروژه‌های تحقیقاتی در سراسر جهان آغاز شد. با افزایش روند سرمایه گذاری‌ها، بازار چشمگیری در مقابل شرکت‌های فعال در این حوزه قرار گرفت ولی چالش‌های تجاری‌سازی گرافن نیز همچنان وجود داشت که نیاز بود موانع آن برطرف شود. به عنوان مثال، بعضی شرکت‌ها، مقادیر کمی از گرافن تولید شده را به قیمت بسیار بالا عرضه می‌کردند. حضور تامین‌کنندگان کم تجربه در تولید این محصول هم از دیگر چالش‌های بزرگ این دوره به حساب می‌آمد.

در مرحله سوم، مراکز و شرکت‌های تولیدی گرافن، با توجه بیشتر به عواملی مانند ایمنی و هزینه‌های تولید، و همچنین مصرف‌کنندگان این محصولات و افزایش آگاهی خود در زمینه تولید و کاربردهای محصولات گرافنی، به واقع‌گرایی در زمینه مبارزه با چالش‌های تجاری‌سازی گرافن رسیدند. این باعث شد نگرانی‌های مربوط به آینده گرافن تا حد زیادی کاهش یابد.



شکل ۱- فرآیند exfoliation از مهم‌ترین روش‌های رایج تولید گرافن

در مرحله چهارم، صنعت به سمت تکامل و افزایش ارزش گرافن پیش رفت. چینی‌ها نیز وارد عرصه رقابت شدند و با بهبود فرآیندهای تولید، به کار بردن روش‌های جدید، ارتقا کیفیت محصول و کاهش هزینه تولید آن، نشان دادند صنعت گرافن یک تجارت کم هزینه است. به این وسیله تجاری‌سازی محصولات گرافنی سرعت بیشتری گرفت. ولی همچنان هزینه‌های تحقیق و توسعه بالا بود.

و اما در مرحله پنجم، که مرحله فعلی است، شرکت‌هایی با قابلیت‌های متنوع به وجود آمد و با تشدید رقابت‌ها گرافن به مقدار زیادی در دسترس کاربران قرار گرفت.

در این مرحله، کشورهای چین، تایوان، آمریکای شمالی و اروپا، به ترتیب بیشترین ظرفیت اسمی تولید را به خود اختصاص داده‌اند. البته هنوز تفاوت‌های زیادی بین روش‌های تولید و هزینه نهایی محصول تولیدی وجود دارد. با این وجود، فرآیند لایه لایه کردن گرافیت یا «Exfoliation»، رایج‌ترین فرآیند تولید به شمار می‌آید. در شکل ۱ فرآیند تولید گرافن با استفاده از Exfoliation نشان داده شده است.

تلاش‌های قابل توجه کاربران برای هم‌گیری از خواص گرافن، باعث ایجاد طیف وسیعی از کاربردهای مختلف و شاید حتی غیرقابل تصور از گرافن شده است. با همه این اوصاف، هنوز نمی‌توان گفت صنعت تولید گرافن به رشد لازم رسیده است و تا تجاری‌سازی کامل آن، همچنان راه زیادی در پیش است.

کارشناسان این حوزه پیش‌بینی کرده‌اند از سال‌های ۲۰۲۱ تا ۲۰۲۲ میلادی به بعد، افزایش تقاضا در کوتاه‌مدت و افزایش درآمد و ظرفیت تولید شرکت‌ها و تسریع روند رو به رشد درآمدزایی باعث توسعه و تکامل تجاری‌سازی تولید گرافن می‌شوند.

سال‌های پیش رو را می‌توان مرحله تثبیت فناوری تولید گرافن دانست که دسترسی به گرافن مقرون به صرفه آسان شده و اولین نشانه‌های سودآوری در صنعت این ماده پر بازده نمایان خواهد شد.

بنابراین می‌توان گفت، گرافن از لحاظ تجاری‌سازی، ماده‌ای بسیار ارزشمند بوده و همین عامل موجب شده تا برخلاف برخی از اختراعات بسیار مهم تاریخی که رقابت بین چند فرد به عنوان مخترع و محقق صورت می‌گرفته است، اینک نام شرکت‌ها و دانشگاه‌هایی با فناوری‌های بزرگ، به‌عنوان پیشگامان توسعه گرافن مشاهده شود.

در حال حاضر انجام پروژه‌های گرافنی در طرح‌های میان رشته‌ای در زیر مجموعه فناوری‌های نوظهور قرار دارد.

محصولی با پوسته‌ای از جنس گرافن توسط دانشگاه مرکزی لنکشایر (UCLan) در یک نمایشگاه هوایی معتبر بین المللی رونمایی شد.

نسبت سطح به جرم بالای این ماده باعث شده است، تولید ترانزیستورها، ابرخازن‌ها و باتری‌های، با سرعت بالاتر، در ابعاد کوچکتر با مصرف انرژی کمتر، چگالی انرژی بالاتر و پراکندگی حرارتی بیشتر نسبت به ابزارهای بر پایه‌ی سیلیکانی انجام شود.

طراحی نقشه راه تجاری‌سازی گرافن

طراحی نقشه راه گرافن، کلید فرآیند تجاری‌سازی این محصول است. گرافن و دیگر مواد دوبعدی، فرصت‌های جدید و قابل توجهی را برای تولید محصولات و کاربردهای جدید فراهم می‌کنند. پتانسیل کاربردی زیادی در صنعت وجود دارد که منجر به افزایش فعالیت‌های تحقیقاتی در توسعه مفاهیم و کاربردهای پیشرفته گرافن می‌شود.

یکی از اولین استانداردهای بین المللی گرافن با همکاری مشترک موسسه ملی گرافن و آزمایشگاه ملی فیزیک در انگلیس تعریف شده است و بر اساس آن، استانداردهای توصیفی، برای تحقق تجاری‌سازی در سطح بین المللی، ارائه شده است.

یکی از لازمه‌های پیاده‌سازی نقشه راه گرافن، توسعه انجمن ملی گرافن در یک کشور است. با توسعه انجمن ملی گرافن در کشور، می‌توان به طور بالقوه در زمینه فرصت‌ها و پروژه‌های آینده همکاری کرد.

در واقع، حضور انجمن ملی گرافن نقش بسیار مهمی در پیشبرد مسیر توسعه گرافن دارد. علاوه بر آن، انجمن ملی گرافن می‌تواند سرمایه‌گذاران این حوزه شامل کارآفرینان، شرکت‌ها، پژوهشگران، توسعه‌دهندگان و تهیه‌کنندگان، سرمایه‌گذاران و سازمان‌های دولتی را گرد هم آورد، نوآوری‌ها را هدایت کرده و تجاری‌سازی محصولات و فناوری‌های گرافنی را ارتقا دهد و در نهایت ورود گرافن به عرصه تجارت را سرعت بخشد.

یکی از پیشرفت‌های قابل توجه در نقشه راه گرافن، این است که امروزه تعدد محصولاتی که تولید می‌شود خیلی بیش از آن است که ما به عنوان محصولات گرافنی می‌شناسیم، محصولاتی که گرافن موجب ارتقای ارزش آنها شده است.

به عنوان مثال، گرافن، اولین بار در دانشگاه منچستر مشاهده و گزارش شد و اکنون این فناوری به دنبال توسعه فرصت‌های تجاری با همکاری صنعت، موسسه ملی گرافن و مرکز مهندسی و نوآوری گرافن در دانشگاه منچستر است. هم اکنون ۲۵۰ پژوهشگر در دانشگاه منچستر مشغول تحقیق در زمینه گرافن در موسسه ملی گرافن هستند.

این موسسه امکانات و ظرفیت‌های قابل توجهی را برای همکاری میان پژوهش‌های چند رشته‌ای در سراسر دانشگاه ایجاد کرده و درصدد افزایش

مشارکت با صنعت به منظور تسریع پیشرفت محصولات و کاربردهای گرافن است. همچنین مرکز دیگری تحت عنوان مرکز نوآوری مهندسی گرافن در این دانشگاه تاسیس شده است. این امر امکان ایجاد ارتباط تنگاتنگ میان دانشگاه و صنعت را فراهم کرده است و روند تولید علم و امکان تجاری‌سازی آن را در مرکزی منحصر به فرد سرعت بخشیده است.

چالش‌های جایگزین کردن گرافن به جای سیلیکان در صنایع الکترونیکی

مهم‌ترین چالش فناورانه کاربرد گرافن در ابزارهای الکترونیکی، تولید کنترل‌شده صفحه‌های بزرگ گرافن با کیفیت بالا در مقیاس انبوه است که هنوز هم مشکل مربوط به پایداری و تکرارپذیری روش‌های تولید پابرجاست و این، اولین مرحله در تجاری‌سازی ابزارهای الکترونیکی پایه گرافن است. با در نظر گرفتن زیرساخت های موجود در صنعت نیم‌رساناها، فناوری الکترونیک تا حد زیادی وابسته به سیلیکان است. بنابراین هر دیدگاهی در زمینه جایگزین کردن گرافن به جای سیلیکان در صنایع الکترونیک، باید توانایی منطبق کردن خود با فناوری‌های فعلی که بر پایه سیلیکان هستند را داشته باشد. تمام مواد کاندید برای دوره بعد از سیلیکان تقریبا طبقه‌بندی شده‌اند، اما گرافن هنوز در مرحله عدم قطعیت قرار دارد. بنابراین تحقیقات بیشتری نیاز است تا تعیین کند که گرافن می‌تواند جانشینی برای سیلیکان باشد یا خیر!

منابع:

[1] Nabil A. Abdel Ghany and et al., "Revolution of Graphene for different applications: State-of-the-art", Surfaces and Interfaces, 9, 2017, 93-106.

[2] S. Abdolhosseinzadeh, "Fast and fullyscalable synthesis of reduced graphene oxide", Scientific reports, 2015.

[3] Yanyan Xu and et al., "Liquid-Phase Exfoliation of Graphene: An Overview on Exfoliation Media, Techniques, and Challenges", Nanomaterials, 2018, 8(11): 942.

https://www.chemistry.ucla.edu/news/ucla-energy incubator -produces-graphene-expands-surface-area-storage-within-ange-theoretical

https://phys.org/news/2019-06-cost-effective-large-scale-graphene-aixtron.html

https://norwegianscitechnews.com/2012/09/new-material-may-replace-silicon/

https://www.zoomit.ir

http://www.electronicsweekly.com

https://gink.ir

نوآورانه

تجارتی بزرگ با جذب کربن موجود در هوا!

برگ مصنوعی با قابلیت تولید سوخت‌های زیستی ابداع شد!

تجارتی بزرگ با دی اکسید کربن موجود در هوا

به قلم فائزه جدیدی

Jadidi87@yahoo.com

جهان در آینده در صورت دستیابی به اهداف توافق‌نامه پاریس، تا حد زیادی عاری از کالاها و خدمات مبتنی بر فسیل خواهد بود و در کالاهای مورد استفاده، کربن فسیلی با چرخه‌های پایدار کربنی جایگزین خواهد شد. به طوری که در تأمین انرژی صنعتی، به جای سوخت‌های فسیلی از الکتریسیته و هیدروژن الکترولیتی استفاده می‌شود و حمل‌ونقل به ترکیبی از وسایل نقلیه با باطری برقی و سوخت‌های هیدروکربنی پایدار متکی خواهد بود.

با این‌حال، دنیای کم کربن دنیای بدون کربن نخواهد بود! زیرا کربن برای کالاهای مصرفی بر پایه مواد شیمیایی آلی و همچنین برای مواد غذایی و خوراک دام، حیاتی خواهد بود. در چنین دنیایی، کربن مورد نیاز از منابع فسیلی گرفته نمی‌شود، بلکه از طریق جذب و استفاده مجدد از محتوای کربن موجود در مواد مختلف تامین خواهد شد.

بنابراین جذب و بهره‌برداری از کربن با استفاده از مهمترین منابع صنعتی CO_2، مانند انتشار گازهای صنایع سیمان، فولاد و نیروگاه‌ها آغاز می‌شود. پس از این صنایع، نوبت به منابع زنده می‌رسد و سرانجام در مواردی که این منابع نمی‌توانند کربن کافی را تامین کنند، جذب CO_2 به طور مستقیم از هوا صورت می‌پذیرد.

براساس مطالعات محققان دانشگاه‌های کالیفرنیا، آکسفورد و پنج موسسه دیگر، جمع‌آوری دی‌اکسیدکربن و تبدیل آن به محصولات تجاری مانند سوخت یا مصالح ساختمانی در آینده‌ای نه چندان دور می‌تواند به یک صنعت جهانی جدید تبدیل شود. نتایج این تحقیق که در مجله علمی Nature منتشر شده است، روش‌های مختلف بهره‌گیری از دی‌اکسیدکربن را در تولید سوخت‌ها و مواد شیمیایی مبتنی بر CO_2 (شامل پلیمرها و پلاستیک‌ها، مصالح ساختمانی بتونی، بازیافت پیشرفته روغن با استفاده از CO_2 (CO_2-EOR)، تولید انرژی زیستی از طریق جذب و ذخیره کربن (BECCS))، همچنین ارتقای کیفیت آب و هوا، مدیریت خاک، جنگلداری و تولید محصولات چوبی بررسی

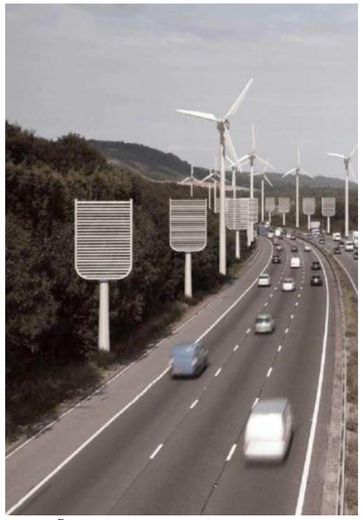
می‌کند. با استفاده از چنین رویکردی، با کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای، شرایط محیط زیست نیز تا حد زیادی بهبود می‌یابد.

با توسعه این روش، طی فرآیندهایی از دی‌اکسیدکربنی که به صورت بیولوژیکی از طریق فتوسنتز استخراج شده، بهره‌گیری می‌شود. چنان که به طور متوسط می‌توان حدود ۰/۵ گیگاتن دی‌اکسیدکربن در سال را جذب و از آن بهره‌برداری کرد که در غیر این صورت تمام این حجم گاز به اتمسفر فرار می‌کند.

بر اساس برخی مطالعات، می‌توان بیش از ۱۰ گیگاتن دی‌اکسیدکربن را در سال با هزینه کمتر از ۱۰۰ دلار در هر تن دی‌اکسیدکربن در چرخه تولید مورد بهره‌برداری قرار داد. با این حال محققان خاطر نشان کردند که مقیاس‌ها و هزینه‌های استفاده از دی‌اکسیدکربن در روش‌های مختلف بسیار متفاوت است. پتانسیل استفاده از دی‌اکسیدکربن در تولید پلیمرها، در سال ۲۰۵۰ بین ۱۰ تا ۵۰ تن در سال تخمین زده می‌شود. در ساختار فعلی بازار، حدود ۶۰ درصد پلاستیک‌ها در بخش‌هایی غیر از بسته‌بندی به کار می‌روند. از جمله آن که به عنوان مواد بادوام در بخش‌هایی مانند ساخت و ساز، تولید انواع کالاهای خانگی، الکترونیک و وسایل نقلیه کاربرد دارند. چنین محصولاتی دارای طول عمری بیش از چندین دهه یا حتی قرن هستند.

درچشم انداز اقتصادی مبتنی بر استفاده مجدد از کربن، کربن زیرزمینی همچنان در زمین باقی می‌ماند، در حالی که کربن روی زمین بدون تجمع در اتمسفر در گردش است. جنگل‌ها به عنوان جاذب کربن و همچنین منبع مهم کربن شناخته می‌شوند. علاوه بر این، کربن از انتشار گازهای صنعتی و در نهایت از هوا نیز گرفته می‌شود و در نهایت هدف این است که تا سال ۲۰۴۰ در سطح جهان، سه گیگاتن دی‌اکسیدکربن در سال به سوخت، مواد شیمیایی و مواد غذایی تبدیل شود.

امروزه استفاده از دی‌اکسیدکربن به دلیل ملاحظات تغییرات آب و هوایی مورد توجه



روزافزون جامعه قرار گرفته است. ضمن آن که بهره‌وری از CO_2 به عنوان ماده اولیه در مقایسه با سایر هیدروکربن‌های معمولی منجر به فرآیندهای تولیدی مقرون به صرفه‌تر و از نظر زیست محیطی پاک‌تر خواهد شد.

در همین راستا، تخمین زده می‌شود که روش‌های بهره‌وری از CO_2 در مصالح ساختمانی بتونی باعث استفاده از ۰/۱ تا ۱/۴ گیگاتن CO_2 در سال شود که به تنهایی می‌تواند ۷۰٪ از بازارهای سیمانی را به خود اختصاص دهد. این ماده را می‌توان به عنوان عامل بهبوددهنده سیمان در بتن پیش‌ساخته مورد استفاده قرار داد.

همچنین مواد شیمیایی متداول در مقیاس بزرگ مانند متانول، اتیلن، پروپیلن و آروماتیک BTX (بنزن، تولوئن، زایلن)، که خود پیش ماده‌های ضروری برای تولید محصولات نهایی پایدار هستند نیز می‌توانند با استفاده از دی‌اکسیدکربن و هیدروژن سنتز شوند. پلیمرها و مواد با طول عمر زیاد که از محصولات سوخت مشتق شده‌اند نیز با یه کارگیری روش‌های جذب و بهره‌وری از کربن، قابل تولید هستند.

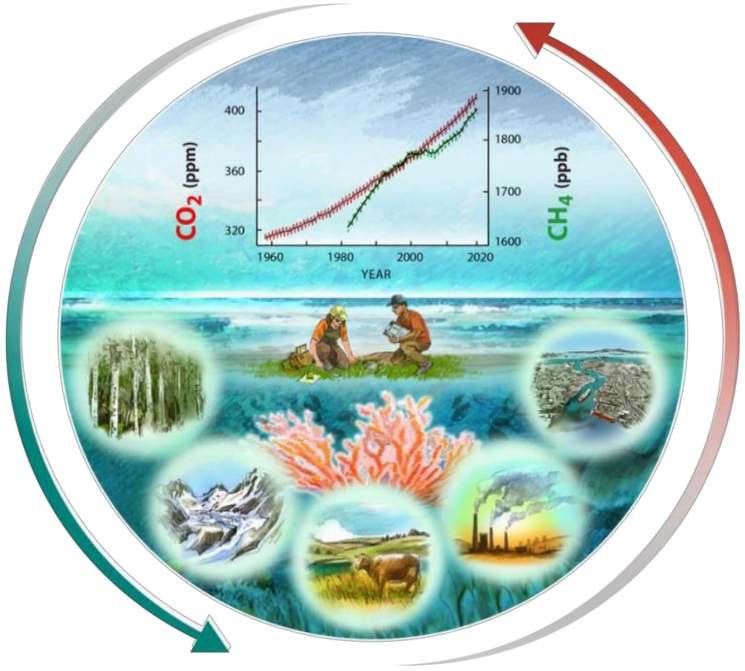
با این حال، تحقق این چشم‌انداز نیاز به تجدید نظر اساسی در صنعت پتروشیمی دارد.

تقریباً تمام محصولات شیمیایی که در حال حاضر از مواد اولیه فسیلی تولید می‌شوند، را می‌توان از دی‌اکسیدکربن تولید کرد.

Cameron Hepburn, et al., The technological and economic prospects for CO2 utilization and removal. Nature, 2019.

ماده اولیه صنعتی یا فرایندهای شیمیایی برای تولید محصولات ارزشمند حاوی کربن اشاره دارد.

تبدیل میکروبی CO_2 به اجزای غذایی مانند پروتئین، قندها و سایر کربوهیدرات‌ها و چربی‌ها، در واقع تقلید از روش طبیعت است.



تجزیه و تحلیل ارائه شده در تحقیقات این دانشمندان حکایت از آن دارد که استفاده از دی‌اکسیدکربن نه تنها می‌تواند بخشی از راه حل مقابله با تغییرات آب و هوایی باشد بلکه تبدیل این ماده مضر به پیش‌ماده‌های دیگر می‌تواند آورده‌ی اقتصادی قابل توجهی را نیز به همراه آورد.

براساس گزارشات، اگر بخواهیم دمای کره زمین در ادامه قرن بیست و یکم بیش از ۱/۵ درجه سانتیگراد افزایش نیابد، باید ۱۰۰ تا ۱۰۰۰ گیگاتن دی‌اکسیدکربن از اتمسفر حذف شود. در حال حاضر، انتشار سالانه دی‌اکسیدکربن فسیلی در جو بیش از ۱ درصد بوده و مقدار آن در سال ۲۰۱۸ به رکورد ۳۷ گیگاتن رسیده است.

به این ترتیب، پدیده بهره‌برداری از دی‌اکسیدکربن در صنعت، می‌تواند به عنوان عامل انگیزه‌بخش مضاعفی برای حذف این ماده از اتمسفر زمین در نظر گرفته شود.

بهره‌وری از CO_2 به صورت بیولوژیکی یا زمینی می‌تواند در قالب تولید محصولات چوبی برای ساختمان‌ها، افزایش بازده گیاهان با جذب کربن افزایش یافته در خاک، تولید سوخت‌های زیستی و مواد شیمیایی مشتق شده زیستی باشد و از این طریق باعث ایجاد ارزش اقتصادی شود.

به تازگی ایالات متحده آمریکا بودجه ۱۱۰ میلیون دلار را به پروژه‌های تحقیق و توسعه در مورد جذب، استفاده و ذخیره کربن (CCUS) به عنوان گزینه‌ای مناسب برای جایگزینی منابع انرژی مبتنی بر فسیل مانند نیروگاه‌های زغال سنگ یا گازسوز و سایر منابع صنعتی، برای کاهش انتشار دی‌اکسیدکربن اختصاص داده و در این زمینه پیشرو است. وزارت انرژی آمریکا ۵۵/۴ میلیون دلار بودجه برای هزینه‌های تحقیق و توسعه‌ی سامانه‌های جذب کربن در مقیاس تجاری در قالب ۹ پروژه، اختصاص داده است.

بر این اساس پروژه‌های منتخب باید فعالیت‌های کلیدی زیر را در دستور کار دهند:

۱- تعیین مشخصات دقیق و کامل سایت ذخیره‌سازی CO_2 در مقیاس تجاری (جذب ۵۰ میلیون تن CO_2 در طی یک دوره ۳۰ ساله)

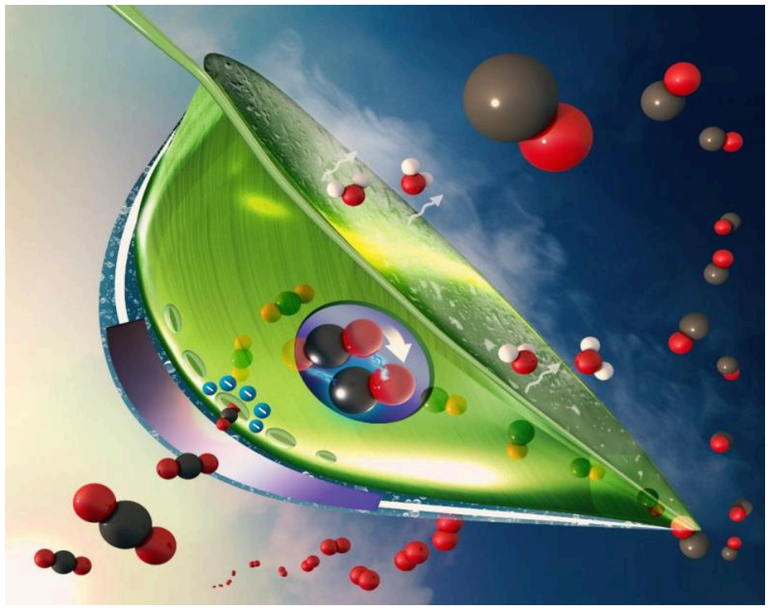
۲- کسب مجوز کنترل تزریق زیرزمینی به منظور ساخت یک چاه تزریقی

۳- تکمیل تخمین مالی جذب CO_2

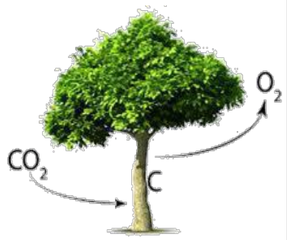
۴- انجام همه اقدامات مورد نیاز برای تعیین قانون و خط مشی سیاست‌گذاری محیط زیست ملی برای نیل این هدف، ارزیابی به روز دانش علمی چرخه کربن، دومین گزارش مربوط به این موضوع موسوم به SOCCR2 با مشارکت بیش از ۲۰۰ دانشمند از ایالات متحده آمریکا، کانادا و مکزیک ارائه شده است. این گزارش یافته‌های کلیدی و اطلاعات عملی در مورد وضعیت و روند مشاهده شده در چرخه کربن آمریکای شمالی را تحت تأثیر عوامل طبیعی و انسانی ناشی از آن ارائه می‌دهد. این یافته‌ها مبتنی بر تحقیقات بین رشته‌ای است که شامل مطالعات تجربی، مشاهده‌ای و مدل‌سازی در طول یک دهه گذشته است. بر طبق این گزارش اکوسیستم‌های زمینی و اقیانوسی نقش مهمی در حذف و جذب CO_2 از اتمسفر دارند.

این مخازن از سال ۲۰۰۷ تا ۲۰۱۶، سالانه به طور متوسط ۵/٤ میلیارد تن کربن را حذف و ذخیره کرده‌اند که در غیر این‌صورت حدود نیمی از مقدار CO_2 منتشر شده در آن زمان، در جو باقی می‌ماند. در همین راستا به تازگی گروهی از دانشمندان به شرح جزئیات روش نوینی برای تولید سوخت با استفاده از کربن پرداخته‌اند. این محققان برای غلبه بر تغییرات آب و هوایی یک "برگ مصنوعی" ارزان قیمت ساخته‌اند.

دکتر Wu با همکاری Rajh و سایر محققان آزمایشگاه ملی Argonne ایلینویز در ایالات متحده آمریکا و همچنین دانشمندان دانشگاه ایالتی کالیفرنیا، و دانشگاه شهر هنگ‌کنگ مقاله‌ای را ارائه کرده‌اند که بر اساس آن تحت شرایط خاصی، فتوکاتالیست ذره‌ای Cu_2O با کاهش CO_2 آب را اکسید می‌کند.



پیش‌بینی می‌شود در سطح جهانی تا سال ۲۰۵۰، تغییر کاربری اراضی به دلیل روندهای اجتماعی، جمعیتی و اقتصادی بین ۱۱ تا ۱۱۰ میلیارد تن کربن به جو وارد نماید.



با این حال، این روند در ایالات متحده آمریکا برعکس است: جریان فعلی ارزیابی‌ها حاکی از آن است که شیوه‌های بهتر مدیریت جنگل و همچنین احیای جنگل و سایر پیشرفت‌ها در اکوسیستم و مدیریت منابع به این کشور کمک می‌کند تا میزان انتشار کربن خود را کاهش دهد.

محققان یک برگ مصنوعی تولید کردند که کربن را به سوخت تبدیل می‌کند.

طیف گسترده‌ای از سوخت‌ها و حامل‌های انرژی را می‌توان به صورت مصنوعی از دی‌اکسیدکربن تولید نمود.

سوخت‌های مشتق شده از دی‌اکسیدکربن گزینه مهمی در فرآیند کربن‌زدایی هستند. زیرا می‌توان از این فرایند در زیرساخت‌های حمل و نقل موجود استفاده کرد. همچنین این سوخت‌ها می‌توانند در بخش‌هایی که کربن‌زدایی آن‌ها سخت‌تر است، مانند حمل و نقل هوایی نقش مهمی پیدا کنند، زیرا هیدروکربن‌ها چگالی انرژی بیشتری نسبت به باتری‌های امروزی دارند.

در واقع اکسید مس دی‌اکسیدکربن مضر را به یک سوخت جایگزین مفید، تبدیل می‌کند.

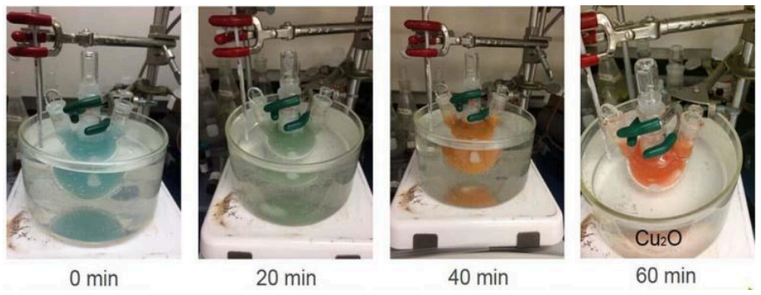
این فناوری جدید، که اخیرا در مجله Nature Energy منتشر شده است، از نحوه استفاده گیاهان از انرژی خورشید برای تبدیل CO_2 به مواد غذایی الهام گرفته است و از آنجایی که این فناوری جدید رفتار برگ‌های واقعی و روند فتوسنتز را تقلید می‌کند، برگ مصنوعی نامیده شده است.

محصولی که از یک برگ طبیعی به وجود می‌آید، گلوکز و اکسیژن است. اما این برگ مصنوعی متانول و اکسیژن تولید می‌کند. تولید متانول از دی‌اکسیدکربن (که عامل اصلی در گرم شدن کره زمین است)، هم باعث کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای می‌شود و هم جایگزینی برای سوخت‌های فسیلی ایجاد می‌کند.

نکته کلیدی در این فرایند تولید یک پودر قرمز ارزان قیمت و بهینه شده به نام اکسید مس است. این پودر با داشتن تعداد بسیار زیادی ذرات هشت وجهی، طی یک واکنش شیمیایی تولید می‌شود که در آن از چهار ماده‌ی گلوکز، استات مس، هیدروکسید سدیم و سولفات دودسیل سدیم استفاده شده است و این مواد به آبی که تا دمای خاصی گرم شده، اضافه می‌شوند.

این پودر به‌عنوان یک کاتالیزور یا محرک شیمیایی به آبی که در آن واکنش دی‌اکسیدکربن دمیده شده، اضافه شده است و پرتویی از نور سفید که شبیه‌ساز خورشید است، به آن می‌تابد.

چیدمان این آزمایش برحسب مدت زمان در شکل زیر آورده شده است.



این واکنش مانند فوتوسنتز، اکسیژن تولید می‌کند و در عین حال دی‌اکسیدکربن محلول در آب، پودر را به متانول تبدیل می‌کند. چون دمای جوش متانول از آب کم‌تر است، هنگام گرم شدن محلول، متانولی که تبخیر شده است، جمع‌آوری می‌شود. مراحل بعدی این تحقیق شامل افزایش متانول به دست آمده و تجاری‌سازی این فرآیند، برای تبدیل دی‌اکسیدکربن جمع‌آوری شده از منابع اصلی گازهای گلخانه‌ای مانند نیروگاه‌ها، وسایل نقلیه و حفاری نفت است.

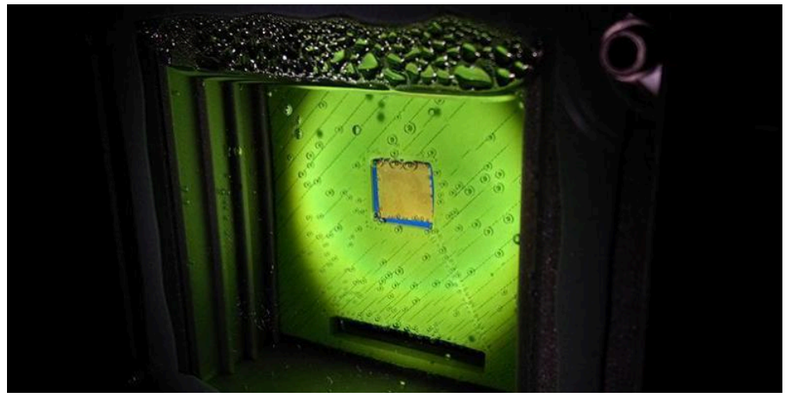
آقای Wu که استاد مهندسی مکانیک و مکاترونیک و عضو مؤسسه نانوتکنولوژی واترلو است و از سال ۲۰۱۵ روی این پروژه کار می‌کند، می‌گوید: " تاکنون کسی این واکنش شیمیایی را مورد مطالعه و بررسی قرار نداده است. من از پتانسیل این کشف برای تغییر روند موجود بسیار هیجان زده هستم. تغییرات آب و هوایی یک مشکل فوری است و ما می‌توانیم ضمن ایجاد سوخت جایگزین، به کاهش انتشار CO_2 کمک کنیم."

مشابه این فرایند، تحقیقی در دانشگاه کمبریج نیز در حال انجام است و در آن محققان در حال توسعه افزاره‌ای هستند که با انجام فوتوسنتز توسط نور خورشید و یک جاذب نور کبالتی، آب و دی‌اکسیدکربن را به Syngas تبدیل می‌کند.

این ماده از ترکیب هیدروژن و مونواکسید کربن ساخته می‌شود و برای تولید سوخت‌ها، پلاستیک، داروها و کودهای جایگزین مورد استفاده قرار می‌گیرد. این دقیقا مفهومی مشابه "درخت مصنوعی" را در ذهن تداعی می‌کند که توسط

Yimin A. Wu, et al. Facet-dependent active sites of a single Cu2O particle photocatalyst for CO2 reduction to methanol. Nature Energy, 2019

Juha Lehtonen, et al., The Carbon Reuse Economy Transforming CO2 from a pollutant into a resource, VTT Technical Research Centre of Finland Ltd, 2019



کلاس لاکنر در دانشگاه کلمبیا معرفی شد. سال‌ها پیش، لاکنر رویکردی را ارائه داد که بر اساس آن "درخت‌هایی" با برگ‌های پلاستیکی پوشیده از نوعی رزین، می‌توانستند CO_2 هوا را صد برابر بیشتر از درختان طبیعی از بین ببرند. ضمن آن که با قرار دادن این برگ‌ها درون آب، به محض خیس شدن نوعی سوخت زیستی تولید می‌شد (شکل بالا).

چنین فرآیندهایی از دو جهت جذاب می‌نماید: اول این که حذف دی‌اکسیدکربن (عامل اصلی گرم شدن زمین) از اتمسفر می‌تواند روند تغییرات آب و هوایی را کند کند. دلیل دوم، سوخت‌های جایگزینی است که در نتیجه‌ی این فرآیندها تولید می‌شود و به مردم این امکان را می‌دهد که همچنان از خودروهای غیر الکتریکی خود استفاده کنند. البته یکی از مهمترین مشکلات مهم بهره‌گیری از درخت مصنوعی این است که این فناوری نمی‌تواند در طول شب کار کند. حتی اگر لاکنر می‌توانست میلیون‌ها درخت مصنوعی خود را که از این رزین استفاده می‌کردند مستقر کند، بازگرداندن غلظت دی‌اکسیدکربن جوی به پیش از حالت آن در عصر صنعتی حداقل ده دهه طول می‌کشید! بنا بر آنچه گفته شد، سناریوی جذب و تبدیل دی‌اکسید کربن به سوخت و پیش‌ماده‌های کاربردی تاکنون با رویکردهای متفاوتی پیش روی محققان به نمایش گذارده شده است. اما در این بین آنچه اهمیت دارد، امکان کاربری آن‌ها در بخش صنعتی و به صورت عملی است که همچنان دانشمندان را با چالش‌های زیادی مواجه کرده است.

فناوری از بین بردن کربن ناشی از انتشار سوخت‌های فسیلی در کارخانه جذب کربن

دروازه‌های علم

ساختارهای کربنی و انرژی‌های پاک

کاربرد مواد بر پایه کربن در زمینه انرژی‌های تجدیدپذیر

به قلم سیامک میرزازاده

photonics.isti@gmail.com

با توجه به افزایش جمعیت جهان و نیاز مبرم به منابع انرژی و استفاده پیوسته از منابع محدود، سوخت‌های فسیلی و آزاد شدن آلاینده‌های ناشی از مصرف این نوع سوخت‌ها، نیاز روز افزون به منابع انرژی جدید و پاک بیش از پیش احساس می‌شود. انرژی خورشیدی از جمله مهم‌ترین منابع تجدیدپذیری است که امروزه توجه زیادی را به خود جلب کرده و ذخیره‌سازی این نوع انرژی از اهمیت بالایی برخوردار است. روش‌های مختلفی که برای ذخیره انرژی حاصل از نور خورشید وجود دارد، عبارتند از:

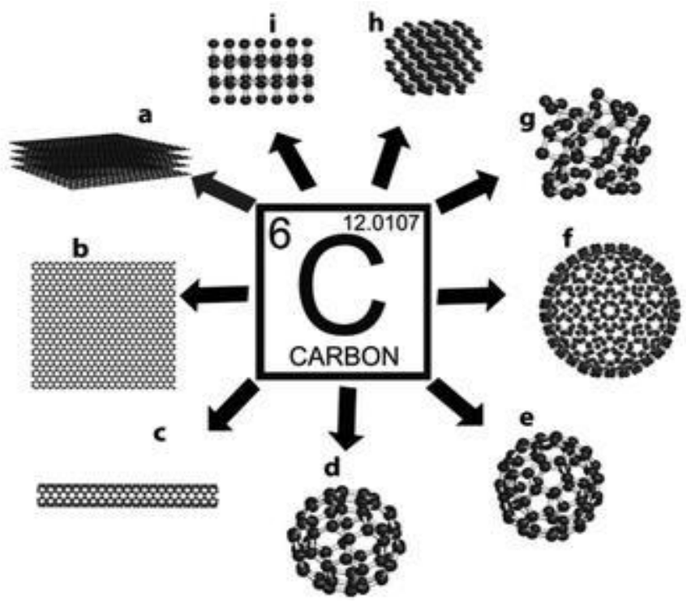
۱- مواد تغییرفازدهنده (Phase change materials (PCM))

۲- باتری‌های الکتروشیمیایی (Electro-chemical batteries)

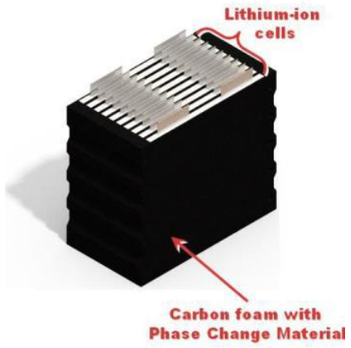
علاوه بر روش‌های گفته شده استفاده از نیم‌رساناها به منظور انجام فرآیند کاتالیزوری تولید هیدروژن و اکسیژن با هدف تولید سوخت همیشگی و پاک نیز مورد توجه دانشمندان و پژوهشگران زیادی قرار گرفته است.

PCMها به دلیل هزینه پایین، طول عمر بالا و قابلیت تخریب‌پذیری نسبت به باتری‌های الکتروشیمیایی کاربرد گسترده‌تری پیدا کرده‌اند. از جمله مهمترین ویژگی‌های این مواد می‌توان به سرعت شارژ بالاتر نسبت به سرعت دشارژ آن‌ها اشاره کرد که به دلیل افزایش سرعت همرفت در نتیجه ذوب شدن رخ می‌دهد.

مواد تغییرفازدهنده موادی هستند که با جذب انرژی تغییر فاز داده و در نتیجه انرژی حرارتی را در خود نگه می‌دارند. اکثر این مواد در دمای اتاق جامد هستند. با توجه به این که هدایت گرمایی در اغلب مواد جامد پایین است، می‌توان از مواد افزودنی کربنی یا آلوتروپ‌های (دگرشکل‌های) مختلف آن در این مواد بهره گرفت.



شکل۱- آلوتروپ‌های مختاف کربن



مواد تغییرفازدهنده در سیستم‌های تهویه هوا، الکترونیک، سیستم‌های گرمایی منازل و بسیاری از کاربردهای صنعتی دیگر، به کار گرفته می‌شوند.

پیش‌ماده‌های کربنی در دو گروه عمده گرافیتی شده و گرافیتی نشده تقسیم‌بندی می‌شوند. بعضی از مواد وقتی که در دمای بالا ۳۰۰۰ درجه سلسیوس حرارت داده می‌شوند، گرافیتی نشده و محصول این فرآیند کربن بی‌شکل (آمورف) خواهد بود.

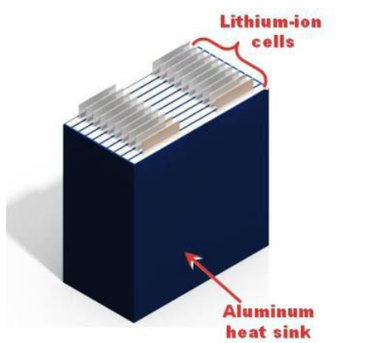
ترکیبات کربنی آمورف موادی هستند که دارای نظم ساختاری در محدوده بالاتر از ۱۰-۱ نانومتر نیستند و در نتیجه این مواد با مواد گرافیتی شده تفاوت قابل توجهی دارند.

مسئله حائز اهمیت دیگر کربونیزه کردن و حذف هترو اتم‌هایی مانند نیتروژن و اکسیژن است که در دمای بالای ۱۵۰۰ درجه سلسیوس به صورت گاز آزاد می‌شوند و در روند سنتز و پلیمریزاسیون گرمایی تاثیرگذار هستند. نکته حائز توجه، باقی ماندن خاکستر حاصل از مواد معدنی در روند گرافیتی شدن حتی در دمای بالای ۳۰۰۰ درجه سلسیوس است که در ساختار متخلخل گرافیتی به دام می‌افتد. شکل ۲ روند گرافیتی شدن را طی چند مرحله نشان می‌دهد.

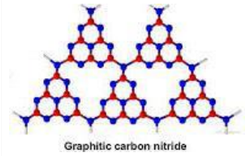
یکی از ترکیبات پرکاربرد بر پایه کربنی مواد گرافیتی هستند که به دلیل هدایت پایین مواد تغییرفازدهنده به عنوان افزودنی به آن‌ها استفاده می‌شوند. گرافیت طبیعی، فیبرها و فوم‌های گرافیتی، گرافیت لایه لایه شده، نانوصفحه‌های گرافیتی، نانولوله‌های کربنی و کربن آمورف از جمله ترکیب‌های گرافیتی هستند که به شکل‌های مختلف در سیستم‌های نگهدارنده انرژی مورد استفاده قرار می‌گیرند.

در میان ترکیبات کربنی، کربن گرافیتی به دلیل دارا بودن هیبریداسیون sp^2 برای افزایش هدایت گرمایی بیش‌ترین کاربرد را دارد. ناگفته نماند که گرما طبق فیزیک حالت جامد به وسیله فونون‌ها و الکترون‌ها حمل می‌شود که هیبریداسیون sp^2 باعث گردش راحت‌تر الکترون‌ها و در نتیجه افزایش هدایت گرمایی می‌شود.

از دلایل دیگر کاربرد گرافیت در مواد تغییرفازدهنده داشتن ساختار مناسب در شرایط استاندارد است. هدایت گرمایی را با k نشان می‌دهند که واحد آن $Wm^{-1}K^{-1}$ است. در دمای اتاق هدایت گرمایی مواد کربنی از ۰/۰۱ تا ۲۰۰۰ $Wm^{-1}K^{-1}$ گسترده شده است که برای مواد با نظم ساختاری بالا متفاوت است. در نتیجه افزودن ترکیبات بر پایه کربنی باعث افزایش هدایت گرمایی گاهی اوقات با ضریب ۱۰ می‌شود [۱].



امروزه استفاده از نیم‌رساناها به منظور انجام فرآیند کاتالیزوری جهت تولید هیدروژن و اکسیژن به عنوان سوخت پاک نیز، مورد توجه دانشمندان و پژوهشگران زیادی قرار گرفته است.



کربن نیترید گرافیتی با داشتن شکاف انرژی در حدود ۲/۷ الکترون ولت نیم‌رسانا بوده و از قابلیت جذب نور خورشید که در ناحیه طیفی مرئی قرار دارد، برخوردار است.

از جمله مواد کربنی دیگری که دارای هیبریداسیون sp^2 بوده و به دلیل برخورداری از شکاف انرژی مناسب در نیم‌رساناها کاربردهای متعددی پیدا کرده است (از جمله این که در واکنش شکافت آب و تولید هیدروژن و اکسیژن مورد استفاده قرار می‌گیرد)، می‌توان به کربن نیترید گرافیتی اشاره کرد که از پیش‌ماده‌های دارای کربن و نیتروژن مانند ملامین، اوره، سیانامید، دی سیانامید و ... تحت پلیمریزاسیون گرمایی تولید می‌شود.

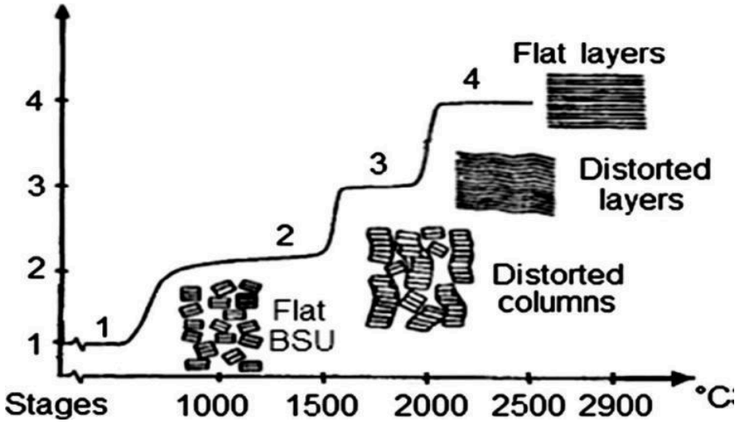
به منظور پلیمریزاسیون گرمایی از روش‌های مختلف لایه‌نشانی بخارشیمیایی، اسپری پلاسما، روش سولووترمال و روش‌های دیگر استفاده می‌شود که هرکدام از این روش‌ها مزایا و معایب خاص خود را دارد. به عنوان مثال اسپری پلاسما امکان کنترل اندازه ذرات را برای ما مقدور می‌سازد اما در مقایسه با روش لایه‌نشانی بخارشیمیایی هزینه بالاتری دارد. این در حالی است که ساختار حاصل از روش لایه‌نشانی بخارشیمیایی حالت توده‌ای دارد در مقایسه با آن اسپری پلاسما ساختار لایه لایه‌ای، تولید می‌کند.

کربن نیترید گرافیتی با داشتن شکاف انرژی در حدود ۲/۷ الکترون ولت نیم‌رسانا بوده و از قابلیت جذب نور خورشید که در ناحیه طیفی مرئی قرار دارد، برخوردار است.

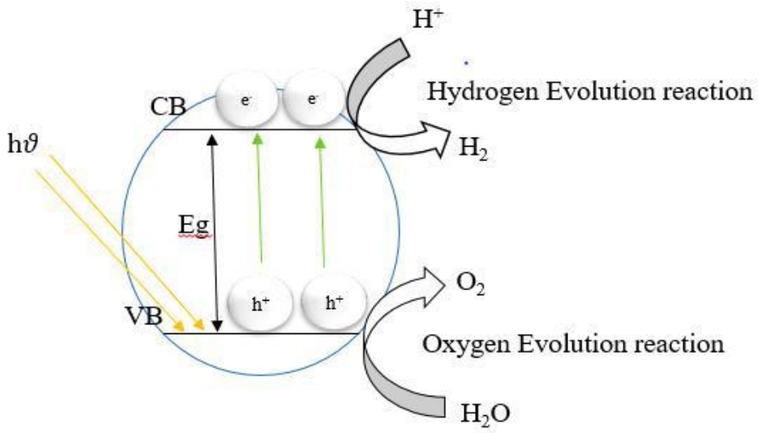
علاوه بر آن، افزودن ناخالصی از نوع فلز یا هترو اتم‌هایی نظیر نیتروژن عملکرد جذب نور در آن را بهبود بخشیده و تولید هیدروژن در سطح این فوتوکاتالیزور را افزایش می‌دهد. به همین علت این ماده به عنوان یک سوخت پاک مورد استفاده قرار می‌گیرد.

ازجمله ویژگی‌های دیگر این ماده می‌توان به ساختار الکترونی مناسب برای فرآیند انتقال بار به منظور انجام واکنش‌های مورد نظر، سنتز آسان (این ماده با استفاده از پیش‌ماده‌های گفته شده و طبق یک برنامه‌ریزی دمایی سنتز می‌شود)، پایداری بالا در شرایط دمایی و اسیدی و محیط‌های مختلف، صرفه اقتصادی و همچنین غیر سمی بودن آن اشاره کرد.

مساحت سطح پایین از جمله معایب این دسته از نیم‌رساناها است. با توجه به این که واکنش‌های اکسایش و کاهش گفته شده در سطح نیم‌رسانا صورت می‌گیرد، هر چقدر



شکل۲- نظم ساختاری در روند گرافیتی شدن پیش‌ماده‌های کربنی



شکل۳- فرآیند جذب نوربرابر با شکاف انرژی (Eg) در نیم‌رساناها و ایجاد زوج الکترون-حفره و انجام واکنش تولید اکسیژن و هیدروژن به ترتیب در نوار هدایت و نوار ظرفیت

مساحت سطح نسبت به حجم نیم‌رسانا بیش‌تر باشد، عملکرد آن نیز بهتر خواهد بود. از این رو، به منظور افزایش مساحت سطح این نیم‌رسانا و بسیاری از دیگر نیم‌رساناها از مواد بر پایه کربنی استفاده می‌شود که از مهمترین آن‌ها می‌توان به گرافن اشاره کرد. گرافن دارای ساختار دو بعدی با مساحت سطحی در حدود ۲۶۰۰ متر مربع به ازای هر گرم از آن است [۲].

گرافن متخلخل مکان‌های مناسبی را برای تثبیت کربن نیترید گرافیتی بر روی آن فراهم می‌کند و در نتیجه عملکرد نیم‌رسانایی آن در اثر افزایش مساحت سطح بهبود می‌یابد و از کلوخه شدن کربن نیتریدگرافیتی جلوگیری می‌کند.

علاوه بر افزایش مساحت سطح در صورت استفاده از ترکیب گرافن، باید این موضوع را هم در نظر گرفت که ترکیبات کربنی (با توجه به این که کربن توانایی پذیرش ظرفیت های مختلفی را دارد) می‌توانند به عنوان پذیرنده و انتقال‌دهنده الکترون در نیم‌رساناها عمل کرده و باعث بهبود عملکرد آن‌ها شوند [۳].

روند انجام واکنش در حضور این نیم‌رساناها به این صورت است که در مرحله اول نور با طول موج مناسب (که برابر با فاصله بین نوار رسانش و نوار ظرفیت نیم‌رسانا است) جذب می‌شود.

در مرحله بعد الکترون از نوار ظرفیت به نوار هدایت مهاجرت کرده و زوج الکترون-حفره ایجاد می‌شود.

در مرحله پایانی مولکول‌های آب جذب شده بر روی این نیم‌رساناها در واکنش‌های اکسایش و کاهش شرکت کرده که در نتیجه آن هیدروژن و اکسیژن تولید می‌شود (شکل ۳).

در پایان باید خاطر نشان کرد که شیمی کربن و ترکیبات کربنی همان شیمی آلی است که بخش عمده‌ای از تحقیقات دانشگاهی و صنعتی را به خود اختصاص داده است. این امر به دلیل اهمیت مواد بر پایه کربن است که هم در طبیعت یافت می‌شوند و هم در آزمایشگاه‌ها برای کاربردهای صنعتی و دارویی و... سنتز می‌شوند. برای کسب اطلاعات بیشتر در این زمینه می‌توانید به منابع زیر مراجعه نمائید.

[1] Badenhorst, Heinrich. "A review of the application of carbon materials in solar thermal energy storage." *Solar Energy* 192 (2019): 35-68.

[2] Zeng, Deqian, et al. "Sub-5 nm ultra-fine FeP nanodots as efficient co-catalysts modified porous g-C3N4 for precious-metal-free photocatalytic hydrogen evolution under visible light." *ACS applied materials & interfaces* 11.6 (2019): 5651-5660.

[3] Chen, Lifu, et al. "Surface area measurements of graphene and graphene oxide samples: Dopamine adsorption as a complement or alternative to methylene blue?." *Applied Materials Today* 18 (2020): 100506.

کاربرد مواد بر پایه کربن در تجزیه بی‌هوازی پسماندها برای تولید انرژی

کاربرد مواد بر پایه کربن در تجزیه بی‌هوازی پسماندها برای تولید انرژی

به قلم سیامک میرزازاده

photonics.isti@gmail.com

در سال‌های اخیر به منظور تجزیه بهتر پسماندها و تولید سوخت‌های زیستی، از مواد بر پایه کربن در فرآیند تجزیه پسماندها بهره‌گیری شده است و مطالعات در این حوزه به صورت گسترده و روزافزون همچنان در حال پیگیری است. از این رو، با توجه به اهمیت موضوع، قابلیت تجاری‌سازی و توجیه اقتصادی این دانش فنی، بر آن شدیم که در این بخش به بررسی مقاله‌ای بپردازیم که در ماه اخیر به چاپ رسیده و به مطالعه این موضوع پرداخته است.

مواد کربنی با ساختار سه‌بعدی مانند گرافیت، دوبعدی مانند گرافن و یک بعدی مانند نانولوله‌های کربنی و صفر بعدی مانند فولورن به عنوان افزودنی و مکمل سوخت به خاک اضافه می‌شوند.

بیوکار (biochar) یکی از مواد بر پایه کربن است که توسط گیاهان طی فرآیند پایرولیز در خاک تولید شده و برای حذف دی‌اکسیدکربن از خاک مورد استفاده قرار می‌گیرد. گرافن نیز به عنوان یک محیط ضد باکتریایی و همچنین یک میکروارگانیسم با قابلیت نابودگری و کنترل اثرات ناشی از ارگانیسم‌های مضر، امروزه توجه دانشمندان این حوزه تخصصی را به خود جلب کرده است. در جدول ۱ تاثیر افزودن مواد بر پایه کربن بر تجزیه بی‌هوازی پسماندها نشان داده شده است.

جدول۱- درصد تاثیر و مشخصه‌های ساختارهای کربنی در تجزیه غیرهوازی پسماندها

بازدارنده یا محرک بودن	تاثیر (%)	پیش‌ماده	مقدار	اندازه	ماده
باز دارنده	-۱۲/۶	پسماند آب	mg/mg VS ۰/۱۰۸	۸-۳/۴ nm	اکسید گرافن
محرک	۲۰-۲۵	اتانول	۱/۰ g/L	۱۰-۵ µm	گرافن
محرک	۱۴/۳	لجن	۳۰ mg/L	قطر ۰/۲-۵ µm ضخامت ۸/۱- ۰/۲ nm	گرافن
محرک	۵۰	لجن	مساحت سطح ویژه ۱/۶ m^2/L	چگالی ۱/۸۰ g/mL	الیاف کربنی

در کارخانه‌های تجزیه پسماند، فرآیند بیولوژیکی بدین ترتیب صورت می‌گیرد:

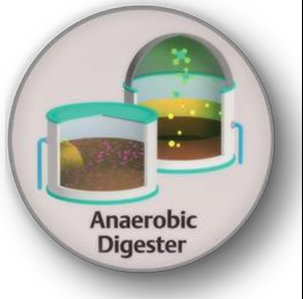
در ابتدا، طی فرآیند هیدرولیز، پسماندهای آلی به شکر، آمینواسید و اسیدهای چرب تبدیل می‌شوند. در مرحله‌ی بعد، قبل از تبدیل شدن به متان، ابتدا به استات، هیدرژن و دی‌اکسیدکربن تجزیه می‌شوند.

تجزیه غیرهوازی پسماندها به دو دسته تجزیه خشک و تجزیه مرطوب (یا در حضور آب) تقسیم‌بندی می‌شود. تجزیه خشک به دلایل مختلفی از جمله اسیدیته بالا به دلیل کم بودن مقدار آب و تولید مواد آلی مختلف محدود می‌شود. تجزیه غیرهوازی پسماندهای خشک یا پسماندهایی که مقدار مواد جامد نسبت به رطوبت بیش از ۱۵ درصد است، گزینه مناسبی برای تولید انرژی است ولی همانطور که پیش‌تر هم اشاره شد، اسیدیته‌ی بالا، تولید مقدار زیاد مواد آلی، تولید آمین‌ها و همچنین سرعت نفوذ پایین در این نوع پسماندها، از جمله محدودیت‌های پیش رو برای این روش تجزیه است.

زمانی که درصد رطوبت در این مواد از ۸۲ درصد به ۶۵ درصد کاهش پیدا می‌یابد، سرعت تجزیه غیرهوازی به صورت خطی کم می‌شود، ضمن آن که تجمع اسید پروپیونیک که در پسماندهای شهری به وفور وجود دارد، نیز سرعت تجزیه پسماند را کاهش می‌دهد. در تجزیه غیرهوازی خشک واکنش‌های فیزیکی و شیمیایی برای تجزیه پسماند با جریان نفوذ کنترل می‌شود. در نتیجه محدودیت در انتقال جرم منجر به تولید کمتر متان می‌شود. بدین ترتیب از معایب تجزیه غیرهوازی پسماندها می‌توان به سرعت تبدیل کم، زمان بازداری زیاد و حجم بالای پسماندها اشاره کرد. در سال‌های اخیر، در مورد استفاده از مواد بر پایه کربن به منظور بهبود عملکرد در تجزیه غیرهوازی در محیط آبی مطالعات فراوانی صورت گرفته است. دلیل این تاثیرگذاری بر روی فرآیند تجزیه را می‌توان به قدرت جذب مواد کربنی نسبت دلد زیرا چنین ساختارهایی بعضی از مواد بازدارنده را جذب می‌کنند که در نتیجه آن سرعت فرآیند تجزیه افزایش می‌یابد. مواد کربنی همچنین دارای رسانایی الکتریکی بوده و همین امر بازده فرآیند انتقال بار را بهبود می‌بخشد و سبب افزایش مقدار متان تولید شده می‌شوند.

سیستم تجزیه بی‌هوازی خشک پسماندها در کشور مراکش با ظرفیت تولیدMW ۱/۸ انرژی و Nm^3 ۱۸۰۰۰ گازهای زیستی در هر روز

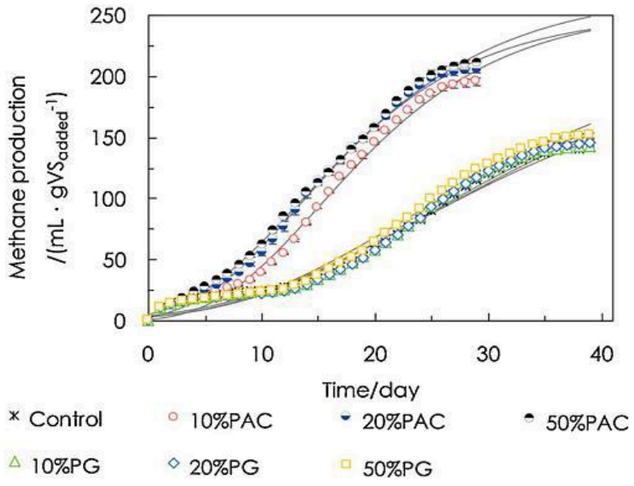
در مطالعه‌ای که تجزیه بی‌هوازی و خشک پسماندها را بررسی کرده است، مشاهده شد که افزودن پودر کربن فعال و یا پودر کربن گرافیتی به پسماندها باعث افزایش سرعت تولید گاز متان می‌گردد.



باید اشاره کرد که رسانایی کربن گرافیتی به مراتب بیش‌تر از رسانایی کربن فعال است اما کربن فعال از قدرت جذب بالاتری برخوردار است. همانطور که در شکل زیر نشان داده شده است، اثر درصدهای مختلف پودر کربن فعال و کربن گرافیتی، با هم مقایسه شده است. مطابق شکل مشاهده می‌شود که در هر دو مورد میزان گاز متان تولید شده نسبت به حالتی که مواد کربنی استفاده نشده است، افزایش یافته اما این میزان برای کربن فعال به مراتب چشمگیرتر است و این ماده در مقایسه با کربن گرافیتی در فرآیند تجزیه و تولید گاز متان موثرتر عمل می‌کند. به طوری که مقدار گاز متان تولید شده در حضور پودر کربن فعال از ۱۹۵/۷ به ۲۱۰/۵ میلی‌لیتر به ازای هر گرم از پودر استفاده شده است، در صورتی که این مقدار برای حالت بدون استفاده از مواد کربنی ۱۴۰/۹ میلی‌لیتر در مدت زمان۴۰ روز گزارش شده است.

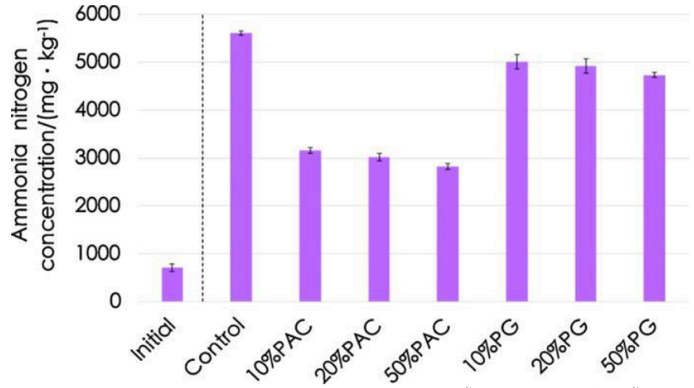
کربن فعال در مقایسه با کربن گرافیتی در فرآیند تجزیه و تولید گاز متان موثرتر عمل می‌کند.

آمونیاک یکی از موادی است که در فرآیند تجزیه غیرهوازی پسماندها تولید می‌شود. حضور آمونیاک باعث تضعیف تجزیه پسماند می‌شود. در یک مطالعه پژوهشی مقدار آمونیاک موجود در پسماند قبل و بعد از فرآیند تجزیه غیرهوازی به ترتیب برابر با ۷۰۹/۹۶ میلی‌گرم و ۵۶۰۵/۸ میلی‌گرم به ازای هر کیلوگرم از پسماند گزارش شده است (شکل ۲). در نتیجه طی فرآیند تجزیه مقدار آمونیاک نسبت به حالت آغازین ۴۸۹۶/۸ میلی‌گرم به ازای هر کیلوگرم پسماند افزایش داشته است. در این پژوهش بعد از استفاده از کربن فعال با درصدهای مختلف در راکتور مورد نظر مقدار آمونیاک تولید شده در پایان فرآیند، در محدوده ۲۸۲۳/۷۶ تا ۳۱۵۴/۶۴ میلی‌گرم به ازای هر کیلوگرم از پسماند ثبت شد، که مقدار آمونیاک تولید شده ۲۱۱۸/۸ تا ۲۴۴۸/۷ میلی‌گرم به ازای هر کیلوگرم پسماند کمتر از مقدار اولیه است. همچنان که در شکل ۲ مشاهده می‌شود با افزایش مقدار پودر کربن فعال و کربن گرافیتی مقدار آمونیاک تولید شده کاهش پیدا کرده است.



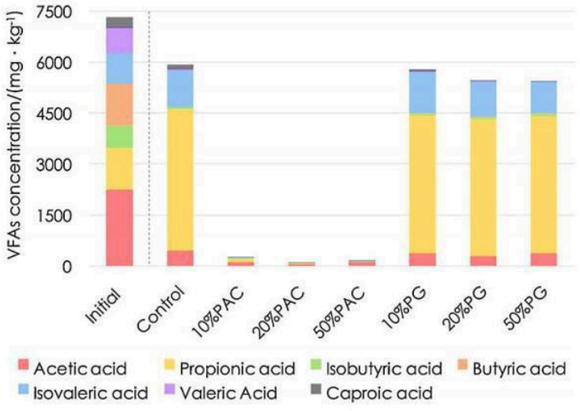
شکل ۱- اثر افزایش پودر کربن فعال (PAC) و پودر گرافیت (PG) با درصدهای مختلف نسبت به حالتی که مواد کربنی استفاده نشده (Control) بر روی مقدار متان تولید شده در تجزیه غیر هوازی خشک

مواد رسانای بر پایه کربن مانند کربن گرافیتی باعث کاهش اسیدیته شده و با افزایش هدایت الکترونی بین ذرات، تولید متان را تا ۱۰ برابر افزایش می‌دهد.



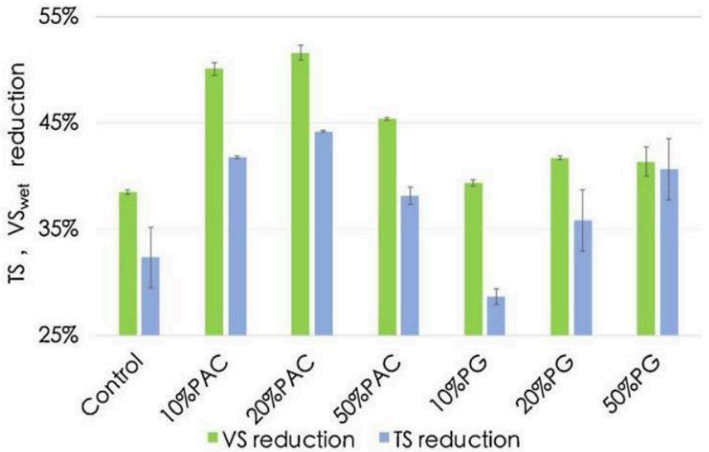
شکل ۲- مقدار آمونیاک تولید شده در فرآیند تجزیه غیرهوازی پسماند، در شرایط بدون استفاده از مواد بر پایه کربنی (Control)، کربن فعال پودری (PAC) و در حالت استفاده پودر کربن گرافیت (PG) با ترکیب درصدهای مختلف با توجه به مقدار اولیه آمونیاک (Initial)

تجمع اسیدهای چرب فرار در پسماندها نیز یکی دیگر از عواملی است که باعث بازدارندگی تجزیه بهتر و تولید حداکثری متان می‌شود. یکی از راه‌های کاهش اسیدیته بالا، استفاده از پودر کربن فعال است که در نتیجه افزودن آن اسیدهای اضافی جذب شده و شرایط بهینه برای تجزیه پسماند فراهم می‌شود. ضمن آن که مواد رسانای بر پایه کربن مانند کربن گرافیتی باعث کاهش اسیدیته شده و با افزایش هدایت الکترونی بین ذرات، روند متانیزه شدن را بهبود می‌بخشد و نرخ تولید متان را نسبت به حالتی که مواد بر پایه کربنی استفاده نشده است، تا ۱۰ برابر افزایش می‌دهد. مطابق شکل شماره ۳، در صورت استفاده از پودر کربن فعال در فرآیند تجزیه غیرهوازی، کاهش چشم‌گیری در مقدار اسیدهای چرب فعال تولیدشده نسبت به حالتی که کربن گرافیتی استفاده شده است، مشاهده می‌شود.



شکل ۳- مقدار اسیدهای چرب تولید شده در فرآیند تجزیه بی‌هوازی در حالت بدون مواد بر پایه کربنی (Control) و در حالت اضافه کردن پودر کربن فعال (PAC) و پودر کربن گرافیتی (PG) با در صدهای وزنی مختلف

تجزیه بیولوژیکی پسماندها با رویکردهای مختلفی صورت می‌گیرد که از طریق اندازه‌گیری مقدار مواد جامد کل و مقدار مواد جامد فرار، قبل و بعد از فرآیند تجزیه غیرهوازی مشخص می‌شود. سرعت تخریب مواد جامد کل در حضور پودر کربن فعال با درصدهای وزنی مختلف ۱۷/٦ تا ۳٦/٤ درصد نسبت به حالتی که هیچ مواد کربنی استفاده نشده، افزایش یافته است.
همچنین مواد جامد در اثر افزودن درصدهای وزنی مختلف پودر کربن فعال، ٤٥/٤ تا ٥١/٦ درصد نسبت به حالت بدون افزودنی سریعتر تخریب شده است. هر چه که در صورت استفاده از پودر گرافیت به جای پودر کربن فعال، سرعت تخریب مواد جامد ۲/۳ تا ۸/۳ درصد افزایش داشته است (شکل٤).

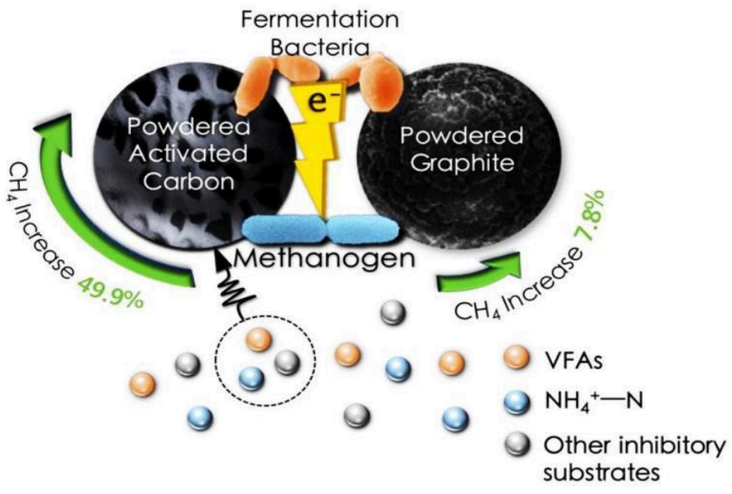


شکل- ۴ مقدار افزایش در سرعت تخریب مواد جامد کل (TS) و مواد جامد فرار (VS) در صورت افزودن پودر کربن گرافیتی(PG) و پودر کربن فعال(PAC)

کربن گرافیتی و همچنین کربن فعال هر دو از مواد رساننده بر پایه کربنی هستند. همچنان که در شکل شماره ٤ مشاهده می‌شود، تفاوت قابل توجهی بین سرعت تخریب مواد جامد کل و مواد جامد فعال در صورت استفاده از هر کدام از این مواد وجود دارد که این خود می‌تواند به دلیل تفاوت در مکانیسم و فرآیندهای انتقال بار مربوط به هر کدام از این دو ماده بر پایه کربنی باشد.
همانطور که در بخشهای قبلی نیز اشاره شد، کربن فعال یک جاذب قوی است و با جذب بازدارنده‌ها سبب بهبود عملکرد فرآیند شده و در نتیجه سرعت تخریب را افزایش می‌دهد.
در نهایت می‌توان چنین نتیجه‌گیری کرد که مواد جامد متخلخل تاثیر به سزایی در بهبود متانیزه کردن و تخریب بیولوژیکی پسماندها در سیستم‌های تجزیه غیر هوازی و هوازی دارند. مقدار متان تولید شده در حضور پودر کربن فعال با درصد وزنی ٤۹/۹ تا ۵۰ درصد افزایش داشت.
همچنین افزودن پودر کربن فعال به طور قابل ملاحظه‌ای سرعت فرآیندهای پایرولیز و تخریب را نسبت به حالتی که مواد بر پایه کربنی افزوده نشده است، افزایش داد.

Pan, Chao, et al. "Effects of conductive carbon materials on dry anaerobic digestion of sewage sludge: Process and mechanism." *Journal of hazardous materials* 384 (2020): 121339.

میزان تولید گاز متان و بهبود فرآیند تخریب به عوامل متعددی بستگی دارد که از آن جمله می‌توان به قدرت جذب کربن فعال در مورد موادی مانند آمونیاک و پروپیونیک اسید که مانع تخریب می‌شوند، اشاره کرد.
در مقایسه با کربن فعال، کربن گرافیتی سرعت تخریب کمتر و در نتیجه مقدار گاز متان تولید شده کمتری را نتیجه می‌دهد. از این رو چنین می‌توان نتیجه گرفت که جذب مواد بازدارنده از جمله اسیدهای چرب و آمونیاک عامل اساسی و تاثیرگذار در فرآیند تولید متان در حضور مواد بر پایه کربن است. علاوه بر آن افزودن کربن فعال به فرآیندهای تجزیه بی‌هوازی نه تنها باعث افزایش میزان متان تولیدی می‌شود بلکه گونه‌های مختلف آنتی‌بیوتیک‌ها را نیز از بین می‌برد.
به طوری که بر اساس مطالعات انجام شده، غلظت ژن‌های مقاوم آنتی‌بیوتیک‌های خاصی مانند tetQ و tetW با افزودن کربن فعال تا حد زیادی کاهش می‌یابد. هر چند مطالعات نشان داد که غلظت گونه‌های دیگری از ژن‌ها با افزایش کربن فعال بیشتر شده است.
بررسی ساختار جامعه میکروبی نشان داد که متانوژن‌های هیدروژنوتروفیک در محفظه‌ی حاوی ۵۰ درصد کربن فعال پودری، کاهش قابل توجهی یافته بود. این در حالی است که غلظت متانوژن‌هایی که از فرمات به عنوان بخشنده الکترون بهره می‌گرفتند، افزایش یافته بود. به این ترتیب، کربن فعال باعث افزایش فراوانی نسبی آرکی باکتری‌ها شده و گونه‌های غالب متانوژن‌ها را تغییر می‌دهد. اصلاح کربن فعال همچنین منجر به تغییر شکل اجتماعات میکروبی می‌شود و همین امر انتقال حامل‌های بار الکترون از هیدروژن به فرمات را تسهیل کرده و بهره انتقال الکترونی را در سیستم‌های تجزیه‌ی بی‌هوازی خشک لجن فاضلاب افزایش می‌دهد. این امر ثابت می‌کند که سیستم‌های تجزیه بی‌هوازی (AD) نه تنها می‌توانند به عنوان یک فرآیند تبدیل زباله‌ها و مواد بازیافتی به انرژی عمل کنند، بلکه با افزایش کربن فعال و حتی سایر آلوتروپ‌های کربنی می‌توانند اثرات منفی آنتی بیوتیک‌ها را نیز کاهش دهند.
به این ترتیب، انتظار می‌رود که درآینده‌ای نه چندان دور کربن و مشتقاتش در صنعت بازیافت و تبدیل فرآورده‌های دورریختنی به محصولاتی جدید و قابل استفاده مانند سوخت‌های پاک و مواد اولیه جدید منافع اقتصادی و زیست محیطی متعددی را به ارمغان آورند.



تقویم ماه

اسفند ماه ۹۸ (رویدادهای خارجی) Feb/Mar 2020

نام رویداد	محوریت	زمان	مکان
NANOTECH MIDDLE EAST 2020	نمایشگاه و کنفرانس بین المللی نانوتکنولوژی	۱۵ بهمن - ۷ اسفند 4-26 Feb	امارات متحده عربی (دوبی)
SPIE ADVANCED LITHOGRAPHY 2020	نمایشگاه و کنفرانس لیتوگرافی پیشرفته	۸-۴ اسفند ماه 23-27 Feb	آمریکا (سان جونز)
W3 + FAIR 2020	نمایشگاه تجاری در زمینه اپتیک، الکترونیک	۸-۷ اسفند ماه 26-27 Feb	آلمان (وتزلر)
LASER PHOTONICS CHINA	بزرگترین نمایشگاه تجاری فوتونیک	۲۸ اسفند-۱ فروردین 18-20 Mar	چین (شانگهای)
5th Bioinspired Materials 2020	کنفرانس مواد و سیستم‌های زیستی	۲۹-۲۶ اسفند ماه 18-20 Mar	آلمان (ایرسی)
Nanoscience and Nanotechnology 2020	کنفرانس علوم و فناوری نانو	۲۹-۲۸ اسفند ماه 18-19 Mar	امارات متحده عربی (دوبی)

اسفند ماه ۹۸ (رویدادهای داخلی) Feb/Mar 2020

نام رویداد	محوریت	زمان	برگزارکننده و مکان برگزاری
اولین همایش بین المللی علوم و فناوری نانو	کنفرانس بین‌المللی نانوتکنولوژی	۲۴ اسفند 14 Mar	دانشگاه تهران (تهران)
International Conference on Interdisciplinary Studies in Nanotechnology	کنفرانس بین‌المللی مطالعات میان‌رشته‌ای نانو فناوری	۱۶ اسفند 6 Mar	مرکز توسعه و گسترش مطالعات میان رشته ای (تهران)
International Conference on Nanoscience and Technology Development	کنفرانس بین‌المللی علوم و توسعه فناوری نانو	۲۲ اسفند 12 Mar	سازمان بین المللی مطالعات دانشگاهی (گرجستان، تفلیس)
International Conference on Innovative Technologies in Science, Engineering and Technology	کنفرانس بین‌المللی فناوری‌های نوآورانه در زمینه علوم، مهندسی و تکنولوژی	۲۴ اسفند 14 Mar	همایش آروین البرز (برلین آلمان)