بسم الله الرحمن الرحيم

دانشکده فنی و مهندسی

گروه مهندسی مکانیک

پایان‌نامه کارشناسی ارشد طراحی کاربردی

بررسی کمانش حرارتی نانو صفحات براساس تئوری الاستیسیته‌ی غیرموضعی

تنظیم و نگارش

امید احمدی

استاد راهنما

دکتر سامرند رش‌احمدی

بهمن ماه ۱۳۹۳

کلیه حقوق این اثر متعلق به دانشگاه ارومیه است.

دانشکده فنی و مهندسی

بررسی کمانش حرارتی نانو صفحات براساس تئوری الاستیسیته‌ی غیرموضعی

دانشجو:

امید احمدی

این پایان‌نامه به عنوان بخشی از فعالیتهای علمی پژوهشی مقطع کارشناسی ارشد مهندسی **مکانیک** گرایش **طراحی کاربردی** در تاریخ **۹۳/۱۱/۲۸** توسط هیئت داوران ذیل مورد پذیرش قرار گرفت.

استاد راهنمای اول: دکتر سامرند رش‌احمدی

داور خارجی: دکتر رسول شعبانی

داور داخلی: دکتر مجید عباسعلیزاده

نماینده تحصیلات تکمیلی: دکتر سعید تاروردیلو

کلیه حقوق این اثر متعلق به دانشگاه ارومیه است.

بسمه تعالی

فرم شماره ۹

تاریخ:

شماره:

دانشکده فنی و مهندسی

تعهد نامه پژوهشی

نظر به اینکه چاپ و انتشار پایاننامه های تحصیلی دانشجویان دانشگاه ارومیه مبین بخشی از فعالیتهای علمی پژوهشی دانشجو می‌باشد که با استفاده از اعتبارات دانشگاه انجام می‌شود، برای آگاهی دانشجو و رعایت حقوق دانشگاه، دانش آموختگان گرامی نسبت به رعایت موارد ذیل متعهد می‌شوند:

۱. قبل از چاپ پایان نامه خود، مراتب را بطور کتبی به مدیریت تحصیلات تکمیلی دانشگاه اطلاع و کسب اجازه نمایند.

۲. در انتشار نتایج پایان نامه در قالب مقاله، همایش، اختراع، اکتشاف و سایر موارد ذکر نام دانشگاه ارومیه الزامی است.

۳. انتشار نتایج پایان نامه باید با اطلاع و کسب اجازه از استاد راهنما صورت گیرد.

اینجانب **امید احمدی** دانشجوی گرایش **طراحی کاربردی** مقطع **کارشناسی ارشد** تعهدات فوق و ضمانت اجرایی آنرا قبول کرده و به آن ملتزم می‌شوم.

تاریخ و امضا دانشجو

قدردانی

با سپاس از خداوند متعال که توفیقات بی‌حد و حصر خود را شامل همه می‌نماید. با سپاس از برادر دلسوز و مادر مهربانم که هر چه دارم حاصل تلاش و دعاهای ایشان است. با سپاس از استاد گران‌قدرم آقای دکتر رش‌احمدی که همواره مانند یک برادر و دوست صمیمی وجود ایشان را در کنار خودم حس کرده‌ام. با سپاس از اساتید دانشکده فنی دانشگاه ارومیه که با علم و اخلاق خود، علاوه بر تحصیل علم، تحصیل ادب و اخلاق نیز ارزانی دانشجویان خود می‌نمایند.

چکیده

در این مطالعه تئوری الاستیسیته‌ی غیرموضعی برای بررسی رفتار کمانشی و ارتعاشی نانوصفحات که به پی‌الاستیک وصل شده‌اند وتحت تاثیر دمای یکنواخت قرار دارند به کار برده شده است. این تئوری برای تخمین اثرات مقیاس کوچک بر روی رفتار مکانیکی نانوصفحات بکار می‌رود. در این پژوهش ابتدا معادله‌ی حاکم بر کمانش نانوصفحه و ارتعاشات نانو صفحه که تحت تاثیر بار حرارتی است بوسیله‌ی تئوری الاستیسیته‌ی غیرموضعی بدست آمده است.در هر یک از معادلات فرض شده است که نانوصفحه‌ی مورد نظر بوسیله‌ی پی‌الاستیک به زمین متصل شده است.

در این معادله مساله را به صورت دقیق حل می‌کنیم، وبرای تحلیل مساله از روش‌های الاستیسته غیرموضعی کیرشهف[۱] وصفحه میانی[۲] استفاده شده است، همچنین برای حل ریاضی مساله از روش ناویر[۳] استفاده شده است. همچنین تاثیر پارامترهای مقیاس کوچک، طول و عرض نانوصفحه، نسبت ضخامت برای دمای بحرانی و فرکانس طبیعی نانوصفحه بررسی شده است.

در این مطالعه مشاهده می‌شود که برای صفحات ضخیم تئوری الاستیسته غیرموضعی با استفاده از روش صفحه میانی نتایج مطلوب تر ودقیق‌تری می‌دهد

کلمات کلیدی: نانوصفحه، کمانش، کمانش حرارتی، ارتعاشات، بارحرارتی، پی‌الاستیک، تئوری الاستیسیته‌ی غیرموضعی، پارامتر غیرموضعی یا مقیاس کوچک، روش صفحه میانی، روش کیرشهف

[1] Kirchof

[2] Mind-line

[3] Navier

فهرست مطالب

فصل اول: مقدمه ۱
۱-۱- مقدمه ۲
۱-۲- تاریخچه فناوری نانو در جهان ۴
۱-۳- نانوصفحه وکاربردهای آن ۵
فصل دوم: کلیات و مروری بر مطالعات انجام شده ۱۰
۲-۱- کلیات ۱۱
۲-۲- مروری بر مطالعات انجام شده ۱۳
فصل سوم: استخراج معادلات خیز وارتعاشات نانوصفحه ۱۹
۳-۱- کمانش ۲۰
۳-۱-۱- حالت کلاسیک ۲۳
۳-۱-۲- تئوری الاستیسیته‌ی غیرموضعی ۲۵
۳-۱-۳- بدست آوردن رابطه‌ی کلی خیز نانو صفحات در اثر کمانش حرارتی ۲۷
۳-۲- ارتعاشات ۳۶
۳-۲-۱-بدست آوردن معادله ارتعاشات نانو صفحات تحت تاثیر بار حرارتی ۳۷
فصل چهارم: حل دقیق معادلات خیز و ارتعاشات نانوصفحه و بررسی نتایج- ۴۰
۴-۱- مقدمه ۴۱
۴-۲- حل دقیق کمانش حرارتی نانو صفحه بوسیله تئوری کیرشهف ۴۱
۴-۲-۱-تاثیر پارامتر غیرموضـعی در عدد موج های مختلف بر روی دمای بحرانی درکمانش حرارتی نانوصفحات ۴۳
۴-۲-۲- تاثیر نسبت اندازه در عدد موج‌های مختلف بر روی دمای بحرانی کمانش نانوصفحات ۴۵
۴-۳- حل دقیق کمانش حرارتی نانو صفحه بوسیله تئوری صفحه میانی ۴۸
۴-۳-۱-تاثیر پارامتر غیر موضـعی در عدد موج های مختلف بر روی دمای بحرانی درکمانش حرارتی نانوصفحات ۵۰
۴-۴- .حل دقیق ارتعاشات نانو صفحه تحت تاثیر بار حرارتی بوسیله تئوری کیرشهف ۵۲
۴-۴-۱- ارتعاشات نانو صفحه بدون در نظر گرفتن اثر پی الاستیک و اثر دما. ۵۴
۴-۴-۲- ارتعاشات نانو صفحه با در نظر گرفتن اثر پی الاستیک و اثر دما. ۵۵
۴-۵- حل دقیق ارتعاشات نانو صفحه تحت تاثیر بار حرارتی بوسیله تئوری صفحه میانی ۵۶
۴-۵-۱- ارتعاشات نانو صفحه بدون در نظر گرفتن اثر پی الاستیک و اثر دما. ۵۸
۴-۵-۲- ارتعاشات نانو صفحه با در نظر گرفتن اثر پی الاستیک و اثر دما. ۵۹

۴-۶- نمودارهای مربوط به درصد تغییرات فرکانس طبیعی نانو صفحه بر اساس تئوری کلاسیک وتئوری الاستیسته غیرموضعی ۵۹
فصل پنجم: نتیجه‌گیری و پیشنهادات ۶۳
۵-۱- نتیجه‌گیری ۶۴
۵-۲- پیشنهادات ۶۵
مراجع ۶۶

فهرست شکل‌ها

شکل ۱-۱: مشاهده اندازه یک نانو صفحه ۲
شکل ۱-۲: کاربرد نانو صفحات در مدارهای الکترونیکی ۴
شکل ۱-۳: ساختار دوبعدی نانو صفحه ۶
شکل ۱-۴: کاربرد نانو در پزشکی ۷
شکل ۱-۵: کاربرد نانو در ساخت لباس نظامی مقاوم در برابر دما ۸
شکل ۱-۶: کاربرد نانو در ساخت لباس کاوشگر فضایی ۹
شکل ۳-۱: نمونه‌ای از کمانش در یک سازه ۲۱
شکل ۳-۲: کمانش در یک مخزن استوانه ای ۲۲
شکل ۳-۳ یک صفحه تخت بار محوری ۲۵
شکل ۳-۴: نانوصفحه تحت تاثیر بار حرارتی ۲۸
شکل ۳-۵ نمونه از یک نانو لوله مرتعش ۳۷
شکل ۴-۱: تاثیر پارامتر غیر موضعی بر نسبت دمای بحرانی با عدد موج‌های متفاوت در روش کیرشهف ۴۴
شکل ۴-۲: تاثیر پارامتر غیر موضعی بر نسبت دمای بحرانی با عدد موج‌های متفاوت بدون پی الاستیک در روش کیرشهف. ۴۵
شکل ۴-۳: تاثیر نسبت اندازه بر نسبت دمای بحرانی در روش کیرشهف (e0a=0.5) ۴۶
شکل ۴-۴: تاثیر نسبت اندازه بر نسبت دمای بحرانی در روش کیرشهف(e0a=1) ۴۶
شکل ۴-۵ : تاثیر نسبت اندازه بر نسبت دمای بحرانی ($e_0a=0.5$) بدون وجود پی‌الاستیک در روش کیرشهف ۴۷
شکل ۴-۶ : تاثیر نسبت اندازه بر نسبت دمای بحرانی ($e_0a=1$) بدون وجود پی الاستیک در روش کیرشهف ۴۸
شکل ۴-۷: تاثیر پارامتر غیر موضعی بر نسبت دمای بحرانی با عدد موج‌های متفاوت در روش صفحه میانی ۵۱
شکل ۴-۸ : تاثیر پارامتر غیر موضعی بر نسبت دمای بحرانی با عدد موج‌های متفاوت بدون وجود پی‌الاستیک در روش صفحه میانی ۵۲
شکل ۴-۹: اثر افزایش طول بر نسبت فرکانس برای یک نانوصفحه در روش کیرشهف ۵۴
شکل ۴-۱۰: اثر افزایش طول بر نسبت فرکانس برای یک نانوصفحه که به یک پی الاستیک متصل و تحت تاثیر دما در روش کیرشهف ۵۵
شکل ۴-۱۱: اثر افزایش طول بر نسبت فرکانس برای یک نانوصفحه در روش صفحه میانی ۵۸

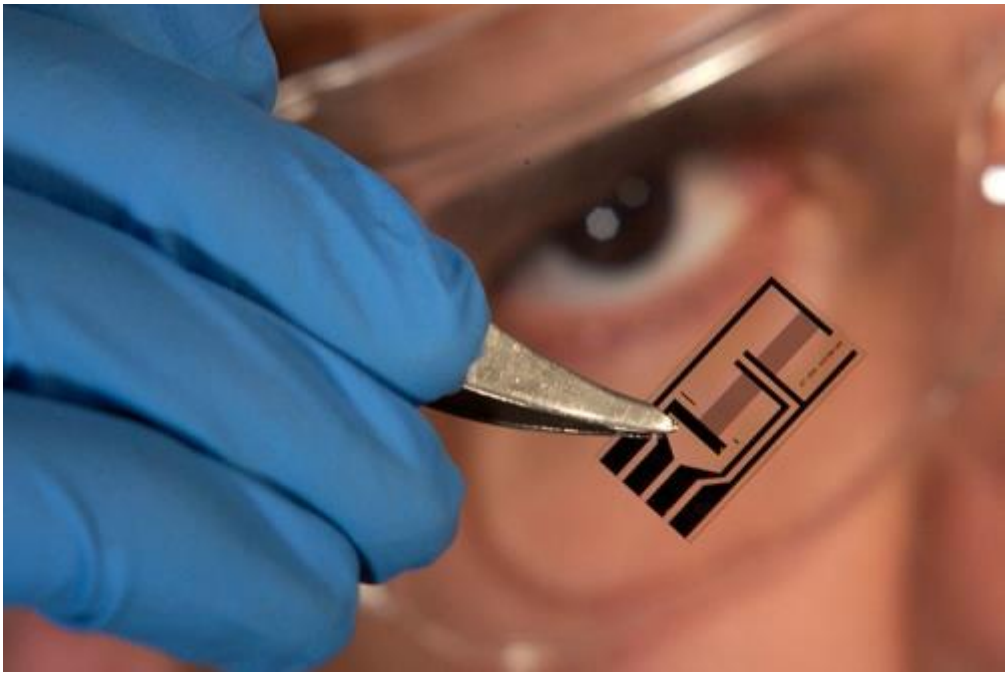
شکل ۴-۱۲: اثر افزایش طول بر نسبت فرکانس برای یک نانوصفحه که به پی‌الاستیک متصل است و تحت تاثیر دما در روش صفحه میانی ۵۹
شکل ۴-۱۳: تاثیر نسبت ضخامت به طول نانوصفحه بردرصد تغییرات حاصل شده از فرکانس طبیعی تئوری الاستیسته غیرموضعی با استفاده از روش کیرشهف و فرکانس طبیعی الاستیسته غیرموضعی با استفاده از روش صفحه میانی ۶۰
شکل ۴-۱۴: تاثیر نسبت ضخامت به طول نانوصفحه بر درصد تغییرات حاصل شده از فرکانس طبیعی با استفاده از روش تئوری کلاسیک و فرکانس طبیعی حاصل شده از تئوری الاستیسته غیرموضی با استفده از روش صفحه میانی ۶۱
شکل ۴-۱۵: تاثیر نسبت ضخامت به طول نانوصفحه بردرصد تغییرات حاصل شده ازفرکانس طبیعی با استفاده از روش تئوری کلاسیک و فرکانس طبیعی حاصل شده از تئوری الاستیسته غیر موضی با استفده از روش کیرشهف ۶۲

فصل اول

مقدمه

۱-۱- مقدمه

اصطلاح نانو[1] در معنی لغوی به معنی کوتوله است، که این کلمه یونانی باستان می‌باشد. یک نانو متر یک میلیاردم متر است. برای سنجش طول پیوندهای کربن-کربن یا فاصله دو اتم بازه ۱۲تا ۱۵ نانومتر به کار می‌رود. همچنین طول یک جفت دی‌ان‌ای نزدیک به ۲ نانومتر است. در سنجشی دیگر می‌توان نسبت یک نانومتر به یک متر را مانند اندازه یک تیله به اندازه کره زمین در نظر بگیریم.



شکل ۱-۱: مشاهده اندازه یک نانو صفحه

قرن اخیر نانو مهمترین دوران صنعت به شمار می رود. نانو نه یک ماده است نه یک جسم بلکه فقط یک مقیاس است. نانو با وجود اندازه بسیار کوچکی که دارد و اینکه قابل رویت بودن نیست، اما تاثیر بزرگی بر زندگی انسان دارد. در مقیاس نانو خواص فیزیکی و شیمیایی تک تک مولکول‌ها و اتم ها با خواص کلی ماده متفاوت است.

[1] Nano

نانوتکنولوژی به معنی مهندسی مواد در ابعاد اتمی-مولکولی و ساخت موادی با خواص کاملاً متفاوت در ابعاد نانو است. خواص فیزیکی و شیمیای ماده تبدیل شده به ابعاد نانونسبت به خواص آن در خواص ماکرویی کاملاً متفاوت است.

نانو یک علم میان رشته‌ای بوده و تقریبا تمامی علوم مهندسی و پزشکی را در برگرفته است. نانو تا کنون بیشترین کاربرد را در صنایع سنگین، بهداشت، نساجی و کشاورزی داشته است و در صنایع رنگ، اتومبیل، کامپیوتر، شیمی، عمران، تصفیه آب و غیره در حال توسعه است. محصولات نانو حاصل از فناوری نانو در کشورهای آلمان و انگلیس بیشترین رواج را دارند.

ساخت، تغییر و بررسی نانو سیستم ها، کاربردهایی را که قبلاً از وجود آن بی‌خبر بودیم، آشکار کرده است که استفاده و عرضه آن پیشرفت چشمگیری در زندگی بشر امروزی داشته است. مهندسی سیستم‌های خلاء پیشرفته و ایجاد توانایی‌های علمی در علوم مهندسی و پزشکی از قبیل تطبیق نیروهای مکانیکی و تعیین مشخصات آنها در سطح نانوثانیه ها، برسی پیشرفت، تکنینک‌های آنالیتیکی[1] مانند آنالیزهای شیمیایی در ابعاد نانو و از طرفی فرصت دستیابی علوم مهندسی به نانوسنسورها، عناصر حافظه و تجهیز دستگاه‌های جدید و موثر در علم پزشکی از دستاوردهای این فناوری است. صرفه جویی در مصرف انرژی، صرفه‌جویی در زمان، افزایش کیفیت محصول، ایجاد زندگی سالم و راحتتر، کاهش وابستگی به سایر تکنولوژی‌های پیشرفته و افزایش درآمد ملی از جمله فواید نانو است.

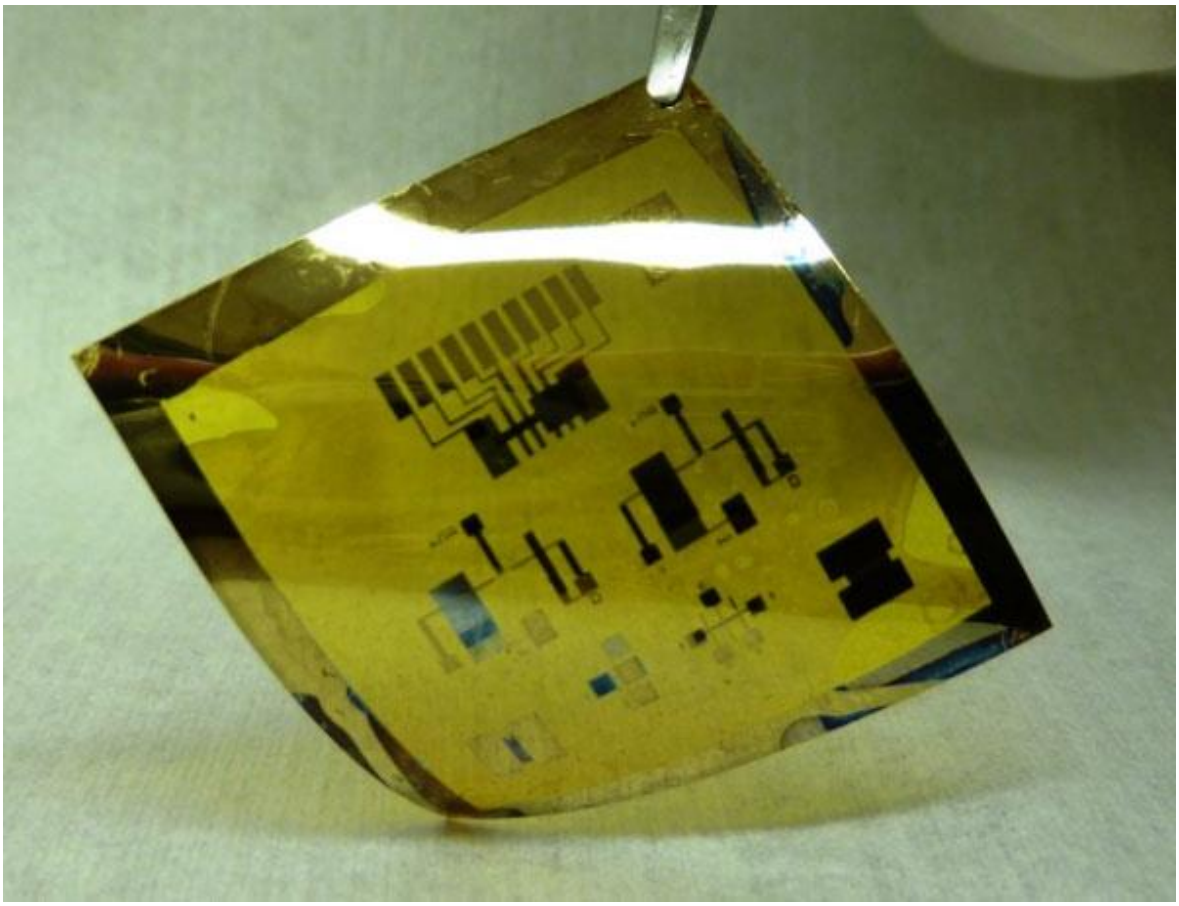
نانوتکنولوژی رشته‌ای از دانش بشری کاربردی و فناوری است که حوزه‌های زیادی را پوشش می‌دهد. موضوع اصلی آن مهار ماده با دستگاه‌هایی در ابعاد کمتر از یک میکرومتر است. در واقع نانوتکنولوژی درک و کاربرد خواص جدیدی از مواد و سیستم‌هایی در این ابعاد است که اثرات فیزیکی جدیدی عمدتاً متاثر از غلبه خواص کوانتومی بر خواص کلاسیک از خود نشان می‌دهند.

نانوتکنولوژی یک دانش به شدت میان‌رشته‌ای است و به رشته‌هایی چون مهندسی مواد، پزشکی، داروسازی، دامپزشکی و زیست‌شناسی، فیزیک کاربردی، ابزار نیم رسانا، شیمی ابر مولکول و حتی مهندسی مکانیک، مهندسی برق و مهندسی شیمی مربوط می‌شود.

تحلیل‌گران بر این باورند که فناوری نانو، فناوری زیستی و فناوری اطلاعات، سه قلمرو علمی هستند که انقلاب سوم صنعتی را شکل می‌دهند. نانو تکنولوژی تولید مواد، ابزارها و سیستم‌های جدید با کنترل در سطح مولکولی و اتمی و استفاده از خواصی است که در ان سطوح ظاهر می‌شوند، از این تعریف می‌توان فهمید که نانوتکنولوژی یک رشته جدید نیست بلکه رویکرد جدیدی در تمام رشته‌ها است.

از کاربردهای متعدد نانوتکنولوژی درعرصه‌های غذا، دارو، پزشکی، بیوتکنولوژی، مکانیک، کامپیوتر، ارتباطات، حمل و نقل و انرژی، محیط زیست، مواد، هوافضا و امنیت ملی می‌باشد. کاربردهای وسیع این عرصه به همراه پیامدهای اجتماعی، سیاسی و حقوقی آن، این فناوری را به عنوان یک زمینه فرارشته‌ای و فرابخشی مطرح کرده است.

[1] analytical



شکل ۱-۲: کاربرد نانو صفحات در مدارهای الکترونیکی

در شکل (۱-۲) یک مدار الکترونیکی چاپی است، که بر روی یک نانوصفحه نمایش داده شده است.
اگر چه آزمایشات و تحقیقات پیرامون نانوتکنولوژی از ابتدای دهه ۸۰ قرن بیستم بطور جدی پیگیری شد. اما اثرات تاثیر گذار نانوتکنولوژی در روند تحقیق و توسعه باعث گردید که نظر تمامی کشورها به این موضوع جلب گردد و فناوری نانو را به عنوان یکی از مهمترین اولویت‌های تحقیقاتی خویش طی دهه اول قرن بیست ویکم محسوب نمایند.

۱-۲- تاریخچه فناوری نانو در جهان

دموکریتیس[1] فیلسوف یونانی در حدود ۴۰۰ سال قبل از میلاد مسیح برای اولین بار واژه اتم را که به معنی تقسیم شدنی است، برای توصیف ذرات سازنده ماده به‌کاربرد. از این رو شاید بتوان وی را به عنوان پدر علم نانو دانست.
نانو در گذشته به معنای فیزیک اتمی نامیده می‌شد، پس از کاربردی شدن آن، نام آن نانو شد. به همین دلیل نانو یک علم جدید نیست، اما کاربردی شدن آن زندگی انسان را متحول ساخت. نخستین کسی که پیشگام بیان نظریه درباره کاربرد صنعتی نانوتکنولوژی بود، ریچارد فیمینن[2] بود.

[1] Demokritiss

[2] Feynman

وی که متخصص کوانتوم نظری و دارنده جایزه نوبل بوده‌است، در سخنرانی معروف خود در سال ۱۹۵۹به عنوان (آن پایین فضای بسیاری هست) به بررسی بعد رشد نیافته مواد پرداخت. او با اشاره به اینکه اگر ساخت ترانزیستورها و دیگر سازه‌ها با مقیاس کوچک ممکن و شدنی است، پس ما قادر خواهیم بود که آنها را کوچک و کوچکتر کنیم.

فیمینن در ذهن خود یک دکتر مولکولی کوچک را تصور کرد که صدها بار از یک سلول منحصربه‌فرد کوچکتر است و می‌تواند به بدن انسان تزریق شود و درون بدن برای انجام کاری یا مطالعه و تایید سلامتی سلول‌ها و یا انجام اعمال ترسیمی و به طور کلی برای نگهداری بدن در سلامت کامل به سیر بپردازد. در بحبوحه سال‌های صنعتی کلمه بزرگ از اهمیت ویژه‌ای برخوردار بود. علوم بزرگ، پروژه‌های مهندسی بزرگ و غیره ولی از وقتی فیمینن نظرات و منطق خود را بازگو کرد، جهان روندی بسوی کوچک شدن پیش گرفت.

ماروین مینسکی[1] تفکرات بسیار باروری داشت که می‌توانست ادامه دهنده و تایید کننده نظریات فیمینن باشد. مینسکی پدر یابنده هوش‌های مصنوعی در دهه ۱۹۶۰-۱۹۷۰ جهان را در تفکراتی که مربوط به آینده می‌شد رهبری کرد. در اواسط دهه ۷۰ اردیک درکسلر[2] نسبت به وسایل بسیار کوچک فیمینن بسیار علاقمند شد و قصد داشت تا در مورد توانایی آنها به کاوش بپردازد و مینسکی را به عنوان استاد راهنمای پایان نامه خود انتخاب نمود، در اثر این همکاری نتایج قابل توجه و مهمی حاصل شد و بدین ترتیب اولین کسی که ایده نانوتکنولوژی را به دنیا عرضه کرد درکسلر بود. او در آزمایشگاه MIT متعلق به انیستیتو فورسایت مطالعات خود را باسیستم‌های بیولوژیکی شروع کرد و سپس متوجه شد که می‌توان دستگاه‌های مولکولی تولید کرد، بدین ترتیب نانوتکنولوژی به نام او ثبت گردید.

۱-۳- نانوصفحه وکاربردهای آن

توجه به ساختارهای نانو در زمینه‌های پژوهشی، نظری، آزمایشگاهی و صنعتی رو به افزایش می‌باشد. نانو ساختارها شامل نانوتیرها، نانونوارها، نانوصفحات، نانوورقه‌ها، نانوپوسته‌ها و نانو سوییچ‌ها هستند. این ساختارها با دارا بودن خواص مکانیکی، الکترونیکی، الکتریکی و حرارتی بالا، در مقایسه با مواد با ابعاد معمولی متمایز می‌گردند.

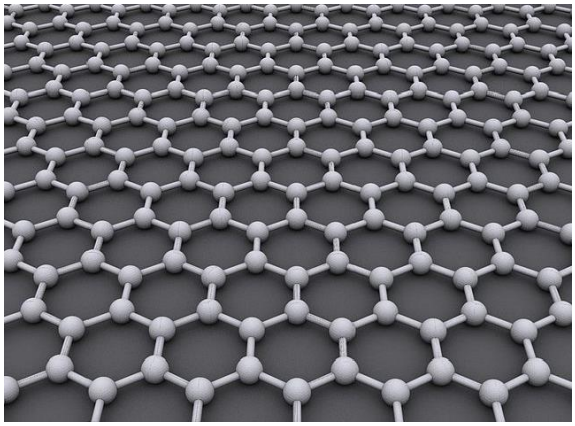
در سال‌های اخیرکاربردهای فراوانی از نانو تکنولوژی در زمینه‌های گوناگون مانند بیوپزشکی، مکانیک، برق و غیره قابل پیش‌بینی است، درک درست ویژگی‌های فیزیکی و مکانیکی این نانو ساختارها، شدت عملکرد و ضریب اطمینان آنها برای کاربرد تجاری ضروری است.

---

[1] Marvin Minsky

[2] Eric Drexler

نانوصفحات ساختارهای دوبعدی هستند، نانوصفحاتی که بطور آزمایشگاهی و محاسباتی مورد مطالعه قرار می‌گیرند، شامل ورقه‌های گرافنی تک لایه و دو لایه هستند. دیگر نانو صفحات مورد توجه نانوصفحات طلایی، نانوصفحات نقره‌ای، ورقه‌های بورن نیترید هستند.



شکل ۱-۳: ساختار دوبعدی نانو صفحه

بررسی ورقه های کربنی مبحث بنیادی و پایه‌ای در مطالعه نانواست. چون بسیاری از نانوساختارها مبنای آنها کربن است مانند نانو لوله‌های کربنی، حلقه‌های نانو و غیره به‌صورت ورقه‌های گرافنی که تغییر شکل داده اند دیده می‌شوند. گرافن نوع جدیدی از نانوساختارهای کربنی دوبعدی است که کاربردهای فراوانی در بسیاری از زمینه‌های تکنولوژی دارد. ورقه‌های گرافنی تک لایه شامل تعداد زیادی از اتم‌های کربن هستند که بوسیله پیوند کوالانسی درون شبکه لانه زنبوری به هم متصل شده‌اند. انگیزه‌ای که بوسیله‌ی کشف نانو لوله‌های کربنی ایجاد شد باعث شد یک سری تلاش‌ها هم برای رشد گرافن و هم برای جدا کردن گرافن از لایه های ضخیم آن انجام شود.

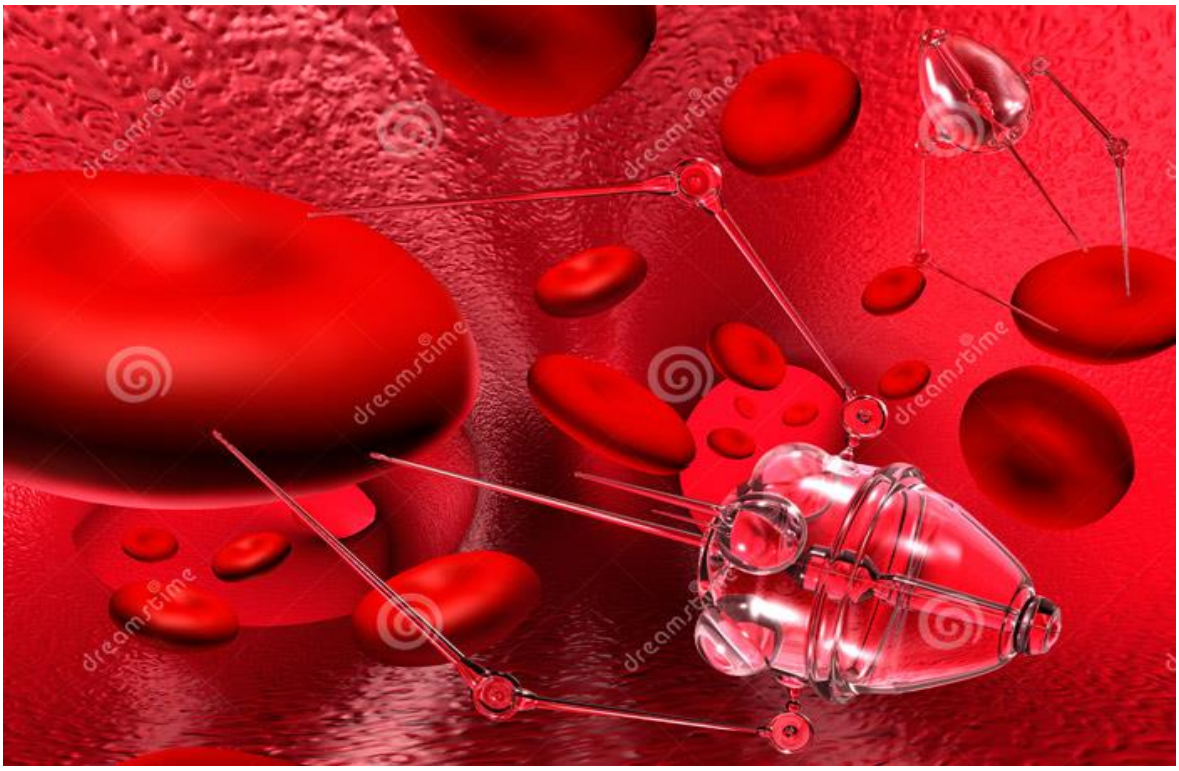
بخار شیمیایی که از سطح مواد هیدروکربنی به جا می‌ماند، تجزیه گرمایی سیلیکون، پوسته‌پوسته‌کردن شیمیایی و تکنیک شکاف مکانیکی روش‌هایی هستند که برای رشد ورقه‌های گرافنی تک لایه و چند لایه استفاده می‌شوند. ورقه های گرافنی یک لایه یا ورقه‌های گرافنی چند لایه، ورقه‌هایی هستند که به یک پی‌الاستیک مانند زرین پلیمیری وصل شده‌اند مانند کامپوزیت‌های پلیمری. پی‌الاستیک‌ها معمولا بوسیله مدل وینکلرشبیه سازی می‌شود. در این مدل پی‌الاستیک با فنرهای الاستیک نزدیک به هم که از دو سر ثابتند تقریب‌زده می‌شوند. با این حال چون در این مدل پیوستگی پی‌الاستیک مورد توجه قرار نمی‌گیرد، این مدل الگوی جالب و کارآمدی نمی‌باشد. یک مدل واقعی و تعمیم یافته از پی‌الاستیک مدل دو پارامتری پسترناک است.

پارامتر اول در مدل پسترناک فشار نرمال را نشان می‌دهد در حالی که پارامتر دوم تنش برشی عرضی که بوسیله‌ی واکنشی که از تغییر شکل عرضی اطراف پی‌الاستیک انجام می‌شود محاسبه می‌گردد.

موفقیت استفاده از مدل پسترناک برای شبیه سازی واکنش‌های بین پی‌الاستیک و ورقه های گرافنی بوسیله لیف[1] و همکارانش نشان داده شده است [۱].
علاوه بر کاربردهای روزمره‌ای که در بالا به آنها اشاره شد، نانوفناوری در زمینه های پیچیده‌تر و صنعتی‌تری نیز ایفای نقش می‌کند. صنایع رباتیک، هوافضا و نظامی از این دست هستند که هریک به نوبه خود با زندگی مردم در ارتباط هستند.

صنایع رباتیک و نانوفناوری

مهمترین تاثیری که فناوری نانو در رباتیک می‌تواند بگذارد ساخت نانوربات‌هاست که در پزشکی تخصصی جایگاه ویژه‌ای را پیدا خواهند کرد. کاربردهایی که می‌تواند کلید درمان بیماری‌های خطرناک و کشنده مانند سرطان و ایدز باشد. این نانوربات‌ها می‌توانند با توجه به اندازه بسیار بسیار کوچک خود، خود را به مناطق آسیب دیده رسانده و پس از تزریق مستقیم دارو به محل و بررسی‌هایی که انجام می‌دهند بیماری را درمان کنند. یکی دیگر از این کاربردها می‌تواند کاری را که آزمایشگاه‌های بسیار پیشرفته در چند روز برای بیمار انجام می‌دهند در چند دقیقه انجام دهد. یعنی تمام آنالیزهای لازم بیمار توسط یک چیپ چند نانومتری انجام خواهد شد که می‌تواند تحول دیگری را در پزشکی نوین رقم بزند.



شکل ۱-۴: کاربرد نانو در پزشکی

[1] Liew et al

صنایع نظامی و نانوفناوری

به کارگیری فناوری نانو در صنایع نظامی به خصوص در زمینه امنیتی و دفاعی در دهه اخیر مورد توجه پژوهش‌گران قرار گرفته‌است. استفاده از این فناوری در تجهیزات دفاعی راه‌هایی به سوی بهبود اسلحه‌ها، ابتکار در ساخت مواد با وزن سبک و مقاوم به دمای بالا برای هواپیماها، راکت‌ها و ایستگاه‌های فضایی را هموار نموده است. تسلط اطلاعاتی از طریق نانو الکترونیک پیشرفته، به عنوان یک توانایی مهم نظامی، کارایی بالاتر در تجهیزات نظامی و استفاده از ربات‌های پیشرفته به جای استفاده از نیروی انسانی نظامی، پیشرفت در امر شناسایی و در نتیجه مراقبت از عوامل شیمیایی، کاهش خطر برای سربازان در صنایع نظامی و بهبود کارایی خودروهای نظامی از دیگر قابلیت‌های این فناوری نوین در حوزه نظامی، دفاعی و امنیتی است.

شکل ۱-۵: کاربرد نانو در ساخت لباس نظامی مقاوم در برابر دما

صنایع هوافضا و نانو فناوری

یکی از دستاوردهای بارزی که در زمینه نانو می‌توان به آن اشاره نمود، تولید نانو لوله کربنی، قویترین ماده جهان در حال حاضر است که ممکن است بواسطه کشف و تولید این ماده قادر باشیم در آینده‌ای نه چندان دور، تحقق بسیاری از رویاهای بشر در ساخت بالابری که زمین را به آسمان پیوند زند و قادر باشد تا مدار

ژئوسنکرون زمین به جابجایی انسان‌ها و بار بپردازد را شاهد باشیم. با پیشرفت فناوری و ورود آن به عرصه فضا، سفرهای فضایی، ساخت کاوشگرها و سفینه‌های فضایی ساده‌تر و مقرون به صرفه تر خواهد شد. ربات‌های فضانورد با قیمتی ارزان تولید و به منظور شناسایی و انجام آزمایشات روی کرات دیگر به فضا و سایر کرات فرستاده خواهند شد.

از نانو همچنین در ساخت لباس فضانوردان استفاده خواهدشد، لباس فضانوردان در عین داشتن مقاومت بالا در مقابل پرتوهای پرانرژی کیهانی باید سبک و راحت باشد به گونه‌ای که در حرکات فیزیکی فضانوردان اختلال و یا محدودیتی ایجاد نکند و فضانوردان قادر باشند با آرامش و آزادی عمل بیشتری به انجام تحقیقات در فضا و یا روی سطح کرات دیگر بپردازند.

شکل ۱-۶: کاربرد نانو در ساخت لباس کاوشگر فضایی

همانطور که بیان شد می‌بینم که اثرات نانو تکنولوژی فقط به یک شاخه از علوم محدود نمی‌شود و تاثیرات ان روز به روز چشمگیرتر و بیشتر می‌شود، به بیانی دیگر شاید می‌توان گفت پیشرفت در زمینه نانو به منزله پیشرفت مستقیم در بسیاری از علوم می‌باشد و به همین دلیل است که روز به روز تحقیقات و مطالعات علمی و عملی در زمینه فناوری نانو در حال افزایش است.

فصل دوم

کلیات و مروری بر تحقیقات انجام شده