تحلیل فرکانس ارتعاشی ورق های گرافن به عنوان حسگر جرم نانومکانیکی

مبینا محمدی ، دکتر جواد پاینده پیمان ، دکتر مجتبی مظاهری

گروه مهندسی مکانیک، دانشگاه صنعتی همدان

j.payandeh@hut.ac.ir

هفته ملی پژوهش و فناوری

نمایشگاه هفته پژوهش و فناوری
دانشگاه صنعتی همدان
آذر ۱۴۰۲

چکیده

حسگرهای تشدید کننده نانوالکترومکانیکی مبتنی بر صفحات گرافن (GS) حساسیت فوق العاده بالایی به ارتعاش نشان می دهند. با این حال، بسیاری از عوامل مانند تعداد لایه ابعاد این صفحات بر ویژگی های سنسور تأثیر می گذارد. در این مطالعه، یک مدل تحلیلی برای بررسی رفتار ارتعاشی صفحات گرافن با نانوذرات متصل پیشنهاد شده است. بر اساس مکانیک محیط پیوسته، تأثیرات جرم نانوذرات متصل به GS بر پاسخ ارتعاشی تشدیدگرهای GS مورد بحث قرار می‌گیرد. نتایج نشان می‌دهد که نانو ذرات را می‌توان به راحتی توسط تشدیدگرهای GS شناسایی کرد که می‌تواند به عنوان یک عنصر نانومکانیکی بسیار حساس در سیستم‌های حسگر استفاده شود. یک رابطه خطی لگاریتمی بین تغییر فرکانس و جرم متصل به صفحه گرافنی زمانی که جرم کل متصل کمتر از حدود Zg 1 باشد، وجود باشد. بر این اساس، استفاده از کالیبراسیون خطی برای محاسبه و تعیین نانو ذرات متصل راحت است. رویکرد شبیه‌سازی و بررسی پارامتریک ابزارهای مفیدی برای طراحی حسگرها و دستگاه‌های نانوذرات مبتنی بر گرافن هستند.

واژه های کلیدی : ورق گرافن ، ارتعاش ، نانوحسگر

مقدمه

ورق های گرافن (GSs) به دلیل خواص مکانیکی، الکتریکی و حرارتی فوق العاده ای که دارند توجه زیادی را به خود جلب کرده اند. [۱-۲] این نانومواد کربنی جذاب، کاربردهای بالقوه زیادی مانند مواد تقویت‌شده، سلول‌های خورشیدی، حسگرهای مولکولی و تشدیدگرهای نانومکانیکی دارند.[۳-۴] اصل اساسی حسگرهای نانو تشدیدگر، تشخیص تغییر فرکانس تشدید یا سرعت موج در نانوحسگرها ناشی از نانوذرات متصل، از جمله اتم‌ها یا مولکول‌ها است.

در حال حاضر، GSها به طور گسترده برای کاربرد در دستگاه های اپتوالکترونیک، ابرخازن های هیبریدی با کارایی بالا و انواع مختلف سنسورهای با کارایی بالا مورد بررسی قرار گرفته اند. همچنین سنسورهای تشدیدگر جرمی نانوالکترومکانیکی (NEMS) را می توان از GS ها ساخت.

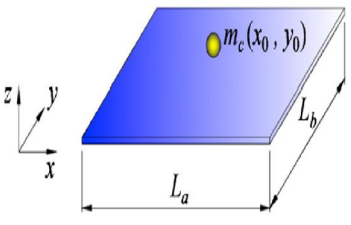
اخیراً، مطالعات نظری مختلفی با استفاده از روش دینامیک مولکولی (MD)، مکانیک ساختاری مولکولی ،یا مکانیک پیوسته برای بررسی SLGS ها برای استفاده در حسگرهای جرمی NEMS انجام شده است. [۵]

لرزش التراسونیک از ویژگی های مهم مربوط به طراحی و عملکرد دستگاه های حسگر است. به نظر می رسد GS ها مواد عنصری عالی برای تشدیدگرهای نانومکانیکی هستند زیرا می توانند ارتعاشاتی در محدوده تراهرتز ایجاد کنند.

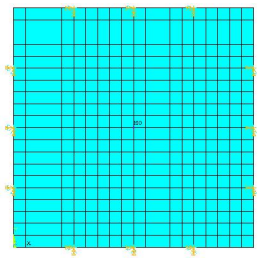
اهداف و روش پژوهش

در این پژوهش، از انجایی که GS ها به دلیل توانایی ایجاد ارتعاشات در محدوده تراهرتز مواد عنصری عالی برای تشدیدگرهای نانومکانیکی هستند، تأثیرات جرم بر فرکانس ارتعاش SLGS ها را به دو روش تحلیلی و عددی اجزا محدود (FEM) بررسی می کنیم.

نمونه مدلسازی را یک ورق گرافن تک لایه (SLGS) با جرم متمرکز mc که در موقعیت دلخواه (x0, y0) قرار دارد، همانطور که در شکل ۱ نشان داده شده است، در نظر می گیریم .مبدا در یک گوشه از صفحه میانی ورق گرافن گرفته شده است. محورهای x و y به ترتیب در امتداد طول La و عرض Lb صفحه گرافنی و محور z در امتداد ضخامت h صفحه گرفته می شود.



شکل ۱



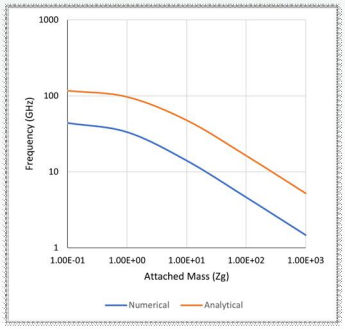
شکل ۲

شکل ۱ : تصویر شماتیک یک GS تک جداره با جرم متصل را نشان می دهد.[۵]

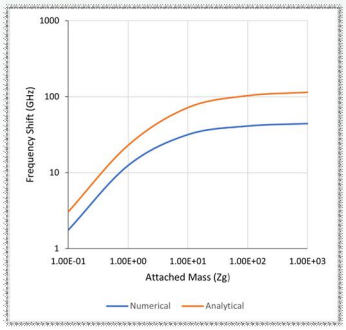
شکل ۲ : تصویر نمونه اولیه اجزا محدود با شرایط مرزی پین-پین را نشان می دهد.

یافته‌های پژوهش

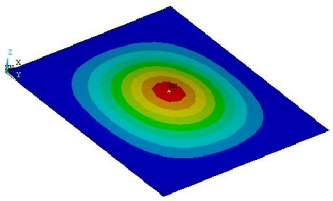
شکل ۳ و ۴ فرکانس تشدید و تغییر فرکانس SLGS ها را به عنوان تابعی از پارامترهای نانو جرم متصل به دو روش عددی و تحلیلی نشان می دهد. در اینجا، تغییر فرکانس به عنوان تفاوت بین فرکانس طبیعی یک GS با و بدون نانوذرات متصل تعریف می‌شود.
فرکانس تشدید نشان داده شده در شکل ۲ با افزایش جرم نانوذرات متصل کاهش می یابد. از شکل ۳ مشاهده می شود که تغییر فرکانس GS های حامل نانوذرات متصل مثبت است زیرا ذرات متصل جرم کلی تشدیدگر GS را افزایش می دهند و مقدار تغییر با افزایش جرم متصل افزایش می یابد.
همچنین نتایج حل تحلیلی و عددی مطابقت دارند.



شکل ۳ - فرکانس تشدید به عنوان تابعی از جرم متصل



شکل ۴ – تغییرات فرکانس تشدید به عنوان تابعی از جرم متصل



شکل ۵ – شکل مود اول با شرایط مرزی پین - پین

راهبردهای پیشنهادی

با توجه به اهمیت بسیار بالای ساخت نانوسنسورها و خواص عالی گرافن ها بهتر است این پژوهش برای حالت هایی با چند جرم و چندین لایه نیز بررسی شوند و نتایج به دست امده با نتایج سایر پژوهش ها بررسی شود تا حالت بهینه و نتایج مطلوب حاصل شود.

منابع

[1] Frank, I.W.; Tanenbaum, D.M.; van der Zande, A.M.; McEuen, P.L. Mechanical properties of suspended graphene sheets. J. Vac. Sci. Technol. B 2007, 25, 2558-2561.
[2] Novoselov, K.S.; Geim, A.K.; Morozov, S.V.; Jiang, D.; Zhang, Y.; Dubonos, S.V.; Grigorieva, I.V.; Firsov, A.A. Electric field effect in atomically thin carbon films. Science 2004, 306, 666-669.
[3] Balandin, A.A. Thermal properties of graphene and nanostructured carbon materials. Nat. Mater. 2011, 10, 569-581.
[4] Du, J.; Cheng, H.M. The fabrication, properties, and uses of graphene/polymer composites. Macromol. Chem. Phys. 2012, 213, 1060-1077
[5] T. Natsuki, “Theoretical analysis of vibration frequency of graphene sheets used as nanomechanical mass sensor,” Electron., vol. 4, no. 4, pp. 723-738, 2015, doi: 10.3390/electronics4040723.

تایید استاد راهنما

نام و امضا استاد راهنما: دکتر جواد پاینده پیمان
تایید تحصیلات تکمیلی :
تایید امور پژوهشی :