POLYM PART
مرجع پلیمر در بازار ایران

مروری بر نوآوری‌های پیشرفته در کامپوزیت‌های لاستیک سیلیکونی تقویت‌شده با نانومواد کربن در تجهیزات الکترونیکی و بهداشتی انعطاف‌پذیر

لاستیک سیلیکونی به‌عنوان ماده‌ای چند منظوره با پیشرفت‌های قابل توجهی که کاربرد آن را در تجهیزات الکترونیکی و بهداشتی انعطاف‌پذیر هدایت می‌نماید، ظهور یافته است. در تجهیزات الکترونیکی انعطاف‌پذیر، انعطاف‌پذیری مکانیکی، هدایت الکتریکی و پایداری حرارتی لاستیک سیلیکونی، همراه تکنیک‌های مدرن تولید مانند فناوری‌های چاپ و فرآیندهای لایه‌گذاری قابل توجه است. در حوزه بهداشت و درمان، زیست‌سازگاری و ایمنی کامپوزیت‌های مبتنی‌بر لاستیک سیلیکونی و نانو مواد کربنی از اهمیت بالایی برخوردار است که امکان استفاده از آن‌ها در حسگرها و عملگرهای بیوپزشکی را فراهم می‌نماید. در این مطالعه کاربردهایی مانند مانیتورهای ضربان قلب، حسگرهای فشار، سیستم‌های دارورسانی و پروتزها بیان گردید و تأثیر تحول‌آفرین این مواد بر فناوری پزشکی نشان داد شده است. این بررسی نقش حیاتی آن در شکل‌گیری آینده این حوزه‌های پویا را مورد تأکید قرار می‌دهد. همچنین، در ادامه تحلیلی جامع از پیشرفت‌های کنونی و پتانسیل لاستیک سیلیکونی در تجهیزات الکترونیکی و بهداشتی انعطاف‌پذیر ارائه می‌گردد.

کلیدواژه‌ها: لاستیک سیلیکونی، الکترونیک‌های انعطاف‌پذیر، حسگرهای بیوپزشکی، ژنراتورهای پیزوالکتریک، تجهیزات بهداشتی.

Keywords: Silicone Rubber, Flexible Electronics, Biomedical Sensors, Piezoelectric Generators, Healthcare Devices.

بررسی کلی از لاستیک سیلیکونی و نانو مواد کربنی

به دلیل خواص استثنایی خود، لاستیک سیلیکونی که نوعی الاستومر مصنوعی است و عمدتاً از سیلیکون، اکسیژن، کربن و هیدروژن تشکیل شده، به ماده‌ای حیاتی در کاربردهای صنعتی و بیوپزشکی تبدیل شده است. یکی از ویژگی‌های کلیدی لاستیک سیلیکونی، پایداری حرارتی بالای آن است. این ماده در دامنه دمایی وسیع، از 60- تا 300 درجه سانتی‌گراد، انعطاف‌پذیر و الاستیک باقی‌می‌ماند و آن را برای کاربردهای سخت مناسب می‌سازد. پیشرفت‌های اخیر در فرمولاسیون‌های لاستیک سیلیکونی، خواص مکانیکی آن مانند استحکام کششی و مقاومت

در برابر پارگی را بهبود بخشیده است. نوآوری‌ها در شیمی اتصال عرضی و گنجاندن نانومواد منجر به توسعه لاستیک سیلیکونی با ویژگی‌های عملکردی بهبود یافته شده است. به‌عنوان مثال، لاستیک‌های سیلیکونی نانوکامپوزیت و مواد هیبریدی اکنون در حال بررسی هستند تا دوام و انعطاف‌پذیری را در دستگاه‌های الکترونیکی و سایر کاربردها بهبود بخشند.

لاستیک‌های سیلیکونی می‌تواند بر اساس شکل، روش پخت و خواص خاص خود به چندین نوع تقسیم شود. برخی از انواع لاستیک‌های سیلیکونی عبارتند از: (الف) لاستیک سیلیکونی پخت شونده در دمای اتاق (RTV[1]). این نوع لاستیک سیلیکونی معمولاً در کاربردهای مختلفی که نیاز به چسبندگی دارند، مانند آب‌بندی و ساخت قالب، مفید است. لاستیک سیلیکونی RTV دارای دو نوع است: نوعی که در معرض رطوبت موجود در هوا پخت می‌شود و دیگری لاستیک سیلیکونی است که بر اساس پایه مخلوط و عامل پخت ساخته شده است. این نوع بیشتر در ساخت قالب و نمونه‌های اولیه استفاده می‌شود. (ب) لاستیک سیلیکونی پخت در دمای بالا (HTV[2]). این نوع از لاستیک سیلیکونی در شکل‌های جامد و مایع موجود است و بیشتر در قطعات خودرو استفاده می‌شود. این نوع به دلیل توانایی خود در حفظ خواص در دماهای بسیار بالا پیشنهاد می‌شود. سیلیکون جامد HTV در محصولاتی مانند واشرهای خودرویی، درزگیرها و لوله‌ها استفاده می‌شود. با این حال، سیلیکون مایع HTV می‌تواند به شکل‌های مختلفی قالبگیری تزریقی شود. این نوع سیلیکون به دلیل خلوص بالای خود، به‌طور معمول در دستگاه‌های پزشکی و کاربردهای تماس با مواد غذایی استفاده می‌شود. نوع دیگری از سیلیکون، سیلیکون فلورینه است. این نوع سیلیکون مقاومت عالی در برابر سوخت‌ها، روغن‌ها و مواد شیمیایی دارد و آن را برای کاربردهای هوافضا، خودروسازی و صنعتی ایده‌آل می‌سازد. این خواص ناشی از مقاومت حرارتی سیلیکون و مقاومت شیمیایی ناشی از فلورکربن‌ها است. نوع بعدی، سیلیکون با قوام بالا است که قبل از وولکانیزه شدن، قوامی شبیه به آدامس دارد. این نوع معمولاً در فرآیندهای قالبگیری فشاری و اکستروژن استفاده می‌شود. این سیلیکون به خاطر استحکام مکانیکی بالای خود شناخته شده و در کاربردهایی مانند لوله‌ها، درزگیرها و شلنگ‌ها استفاده می‌شود. در نهایت، فوم سیلیکونی یا سیلیکون اسفنجی دارای ساختار سلولی است که به آن خواص سبک و ضربه‌گیری می‌دهد. از آن در کاربردهایی که نیاز به مقاومت در برابر حرارت و ضربه‌گیری دارند، مانند واشرها یا درزگیرها، استفاده می‌شود. نانومواد کربنی، مواد پیشرفته‌ای هستند که از اتم‌های کربن در ساختار خود تشکیل شده‌اند و دارای خواص استثنایی می‌باشند. این نانومواد کربنی به دلیل ویژگی‌های قابل توجه الکتریکی، حرارتی، مکانیکی و شیمیایی خود، توجه زیادی را به خود جلب نموده‌اند. به دلیل این ویژگی‌ها، نانومواد کربنی برای طیف وسیعی از

[1] room temperature vulcanized
[2] high temperature vulcanizing

کاربردها در زمینه‌هایی مانند الکترونیک، ذخیره‌سازی انرژی و نانوتکنولوژی مفید هستند. شکل‌های آلوتروپی مختلفی از این نانومواد کربنی، مانند فولرین‌ها، نانولوله‌های کربنی، دوده صنعتی، گرافن و نانوالیاف کربنی وجود دارد.

بررسی کلی کامپوزیت‌های مبتنی‌بر لاستیک سیلیکونی و نانومواد کربنی

ترکیب نانومواد کربنی و لاستیک سیلیکونی منجر به ایجاد خواص عالی می‌شود و آن‌ها را برای کاربردهای مختلف مفید می‌سازد. این کاربردها شامل الکترونیک انعطاف‌پذیر، دستگاه‌های قابل کشش، نظارت بر سلامت، برداشت انرژی و مواد حسگر است. بنابراین، نانومواد کربنی به لاستیک سیلیکونی اضافه می‌شوند تا آن‌ها را برای این کاربردها مفید سازند. این موارد را می‌توان به‌طور خلاصه به صورت زیر توصیف نمود: (الف) نانو لوله‌های کربنی ساختارهای نانویی استوانه‌ای با نسبت‌های ابعادی بالا هستند که استحکام مکانیکی و هدایت الکتریکی فوق‌العاده‌ای را ارائه می‌دهند. افزودن نانو لوله‌های کربنی به لاستیک سیلیکونی به‌طور قابل توجهی استحکام کششی، قابلیت کشش و هدایت الکتریکی کامپوزیت را بهبود می‌بخشد. نانو لوله‌های کربنی همچنین هدایت حرارتی را افزایش می‌دهند و این امکان را فراهم می‌نمایند که کامپوزیت در سیستم‌های مدیریت حرارت استفاده شود. این کامپوزیت‌ها می‌توانند برای کاربردهای مختلفی مانند الکترونیک، حسگرها و مدیریت حرارتی در قطعات خودرویی مفید باشند. (ب) گرافن به بهبود استحکام، هدایت الکتریکی و هدایت حرارتی کامپوزیت لاستیک سیلیکونی کمک می‌نماید. همچنین به کاهش نفوذپذیری گاز کمک نموده و آن را بادوام‌تر و مقاوم‌تر در برابر سایش می‌سازد. این کامپوزیت‌ها می‌توانند در آب‌بندهای با عملکرد بالا، فیلم‌های رسانای انعطاف‌پذیر و حسگرهای پوشیدنی مفید باشند. (ج) دوده صنعتی پرکننده مقرون‌به‌صرفه‌ای است که بر اساس نانومواد کربنی ساخته شده و به بهبود استحکام مکانیکی و هدایت الکتریکی لاستیک سیلیکونی کمک می‌نماید. دوده صنعتی معمولاً برای افزایش مقاومت الکتریکی و مقاومت در برابر UV[1] محصولات لاستیک سیلیکونی استفاده می‌شود. استحکام مکانیکی به این کامپوزیت‌ها کمک می‌نماید تا در برابر تنش‌های مکانیکی مقاوم‌تر و بادوام‌تر باشند و عمر آن‌ها را در محیط‌های سخت افزایش دهد. علاوه‌بر این، هدایت الکتریکی بالا این کامپوزیت‌ها را برای کاربردهایی در دستگاه‌های ضد الکتریسیته ساکن، حسگرها و مدارهای الکترونیکی انعطاف‌پذیر مفید می‌سازد. با وجود بهبود در استحکام و هدایت الکتریکی، کامپوزیت‌ها انعطاف‌پذیری و الاستیسیته ذاتی لاستیک سیلیکونی را حفظ می‌نمایند. کامپوزیت‌های مبتنی‌بر لاستیک سیلیکونی و نانومواد کربنی، آن‌ها را برای کاربردهای انعطاف‌پذیر مانند دستگاه‌های پوشیدنی، لوله‌های پزشکی و درزگیرها مناسب می‌سازد.

[1] Ultra Violet

اهمیت در فناوری مدرن

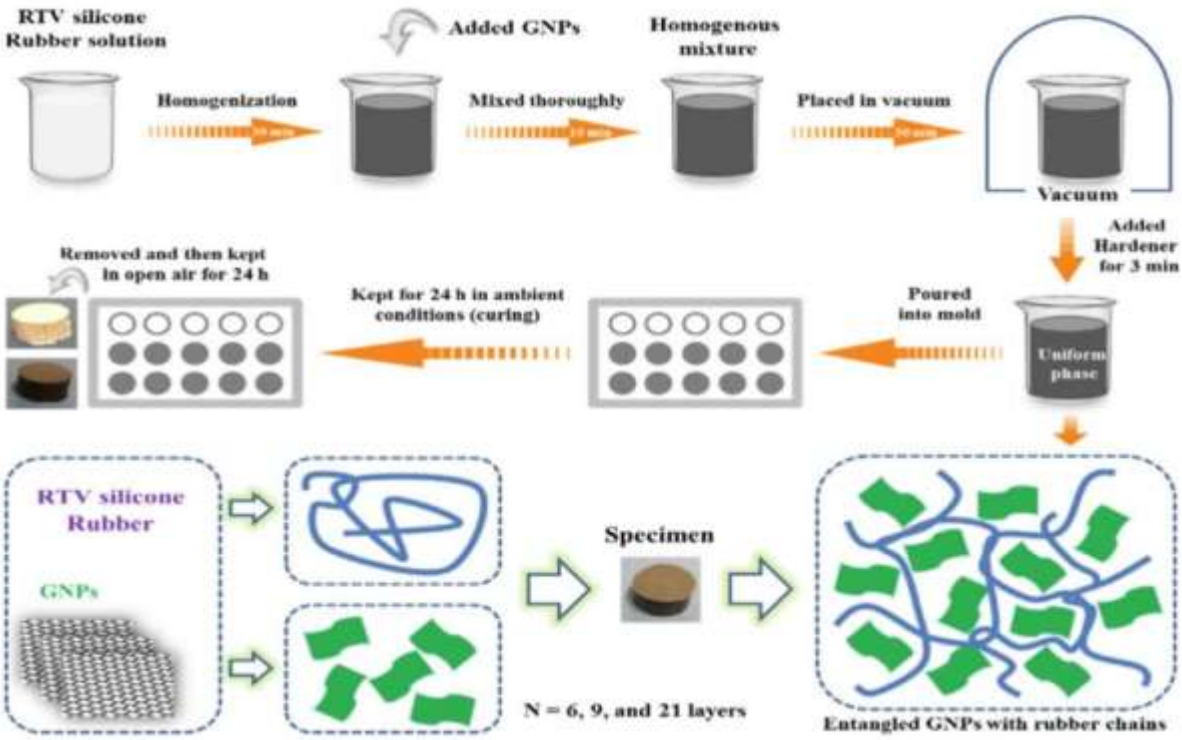
بطورکلی، کامپوزیت‌های مبتنی‌بر لاستیک سیلیکونی و نانومواد کربنی به دلیل تنوع و قابلیت اطمینان آن‌ها نقش مهمی در فناوری معاصر ایفا می‌نمایند. در الکترونیک‌های انعطاف‌پذیر، الاستیسیته و دوام لاستیک سیلیکونی برای ایجاد دستگاه‌های قابل تاشدن و کشش استفاده می‌شود. این شامل نمایشگرهای انعطاف‌پذیر، حسگرهای پوشیدنی و پوست‌های الکترونیکی است که همگی به موادی نیاز دارند که بتوانند در برابر تنش مکانیکی مکرر بدون تخریب مقاومت نمایند. در زمینه الکترونیک، لاستیک سیلیکونی به‌عنوان ماده‌ای عایق در اجزای مختلف استفاده می‌شود و ایمنی و قابلیت اطمینان سیستم‌های الکتریکی را تضمین می‌نماید. نقش آن در رباتیک نرم نیز قابل توجه است، زیرا انعطاف‌پذیری و تاب‌آوری لازم برای عملگرها و حسگرها در اندام‌های رباتیک را فراهم می‌نماید. بخش بیوپزشکی به‌طور قابل توجهی از زیست‌سازگاری و پایداری لاستیک سیلیکونی بهره‌مند شده است. این ماده در دستگاه‌های پزشکی، ایمپلنت‌ها و پروتزها استفاده می‌شود، جایی که طبیعت غیرواکنشی آن ایمنی و کارایی را تضمین می‌نماید. قابلیت استریل شدن این ماده بدون از دست دادن خواص آن، کاربرد آن را در برنامه‌های پزشکی بیشتر می‌نماید. لاستیک سیلیکونی و نانومواد کربنی در ایجاد دستگاه‌های پزشکی زیست‌سازگار و بادوام نقش دارند که منجر به پیشرفت‌های قابل توجهی در مراقبت‌های بهداشتی، از جمله توسعه‌های مربوط به پروتزها و حسگرهای قابل کاشت شده است.

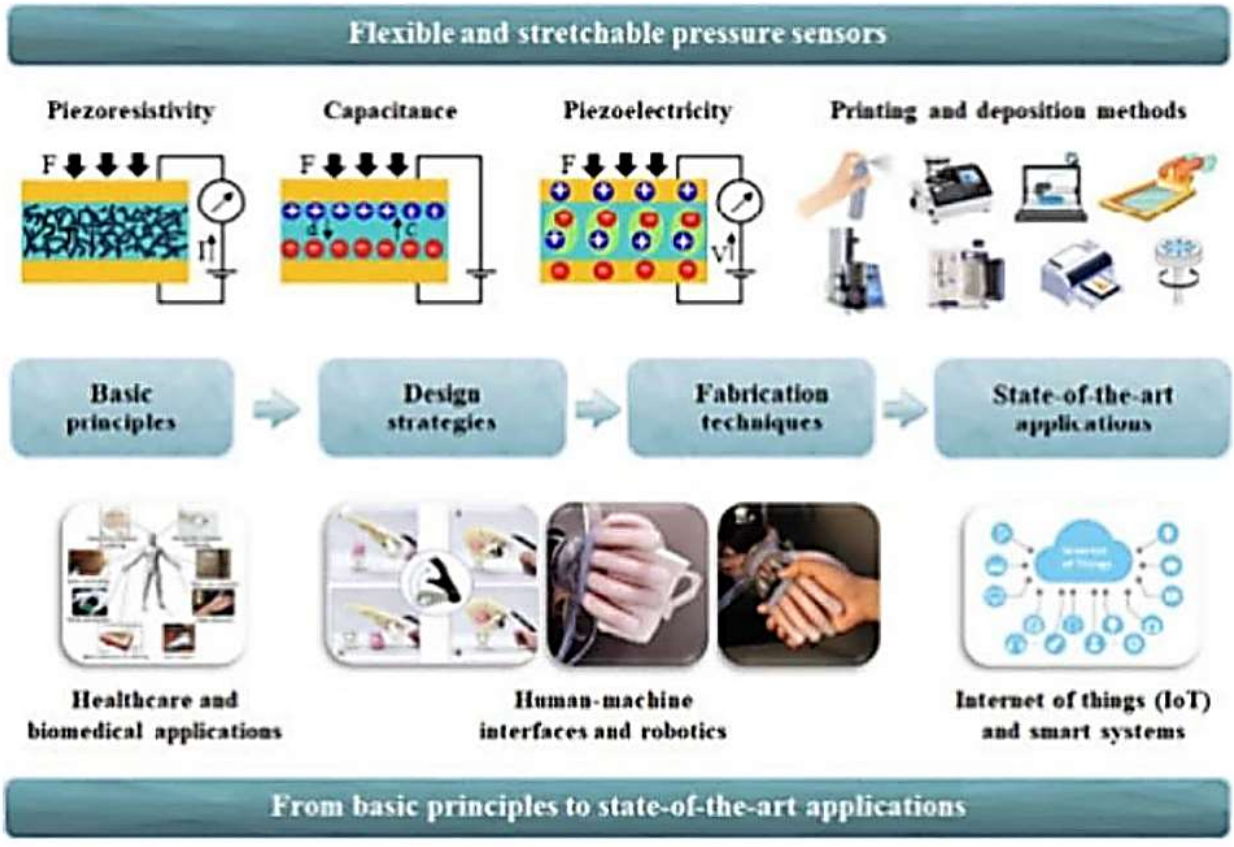
Reference

Kumar, V., Parvin, N., Park, S. S., Joo, S. W., & Mandal, T. K. (2024). Review on Cutting-Edge Innovations in Carbon Nanomaterials Reinforced Silicone Rubber Composites for Flexible Electronics and Healthcare Devices. ACS Applied Polymer Materials.

DOI: https://doi.org/10.1021/acsapm.4c02511

ترجمه و ویرایش: جواد برزوئی


RTV silicone Rubber solution
Added GNPs
Homogenization
Mixed thoroughly
Homogenous mixture
Placed in vacuum
Vacuum
Added Hardener for 3 min
Poured into mold
Uniform phase
Kept for 24 h in ambient conditions (curing)
Removed and then kept in open air for 24 h
RTV silicone Rubber
GNPs
Specimen
N = 6, 9, and 21 layers
Entangled GNPs with rubber chains


Flexible and stretchable pressure sensors
Piezoresistivity
Capacitance
Piezoelectricity
Printing and deposition methods
F
I
C
V
Basic principles
Design strategies
Fabrication techniques
State-of-the-art applications
Healthcare and biomedical applications
Human-machine interfaces and robotics
Internet of things (IoT) and smart systems
From basic principles to state-of-the-art applications