نانو و صنعت

مجموعه گزارش‌های صنعتی فناوری نانو • گزارش شماره ۲۶۰

صنعت برق و الکترونیک

# صنعت باتری‌های لیتیومی ارتقایافته با نانوذرات سیلیکونی

INDnano.ir

ستاد توسعه فناوری‌های نانو و میکرو • www.nano.ir

## شناسنامه

**ستاد توسعه فناوری‌های نانو و میکرو**

گروه رصد و تولید محتوای بخش ترویج صنعتی

طراحی و اجرا: توسعه فناوری مهرویژن

نظارت: داود قرایلو

صندوق پستی: ۳۴۴-۱۴۵۶۵

پست الکترونیک: IND@nano.ir

سال انتشار: ۱۴۰۳

نویسنده: نشمیل کریمیان؛ شرکت توسعه مهندسی الماس‌واره دانش

تلفن: ۶۳۱۰۰-۰۲۱

نمابر: ۶۳۱۰۶۳۱۰-۰۲۱

پایگاه اینترنتی: www.nano.ir

www.INDnano.ir

اینستاگرام نانو و صنعت: @INDnano.ir

محتواهای صنعتی و فناورانهٔ خود را از طریق پست الکترونیک و پایگاه اینترنتی نانو و صنعت (INDnano.ir) ارسال نمایید.

## فهرست مطالب

- مقدمه ..... ۳
- نگاهی به عملکرد نانومواد سیلیکونی در باتری‌های لیتیومی ..... ۳
  - استفاده از نانوذرات سیلیکونی در باتری‌های لیتیومی ..... ۴
  - استفاده از نانولوله‌های سیلیکونی در باتری‌های لیتیومی ..... ۴
  - استفاده از نانوسیم‌های سیلیکونی در باتری‌های لیتیومی ..... ۴
- شرکت‌های خارجی و ایرانی فعال در تولید باتری‌های لیتیومی ..... ۵
- نتیجه‌گیری ..... ۶
- پی‌نوشت‌ها ..... ۷
- منابع ..... ۷

## مقدمه

درحال‌حاضر ۸۰ درصد از مصرف انرژی جهانی متکی به استفاده از سوخت‌های فسیلی تجدیدناپذیر است که می‌تواند باعث ایجاد مشکلات جدی محیط زیستی، آب‌وهوایی و بهداشتی شود. استفاده از انرژی سبز از جمله انرژی‌های خورشیدی و بادی یکی از امیدوارکننده‌ترین گزینه‌ها برای حمایت از رشد اقتصادی پایدار است [۱-۵]. از سویی، رانندگی با وسایل نقلیه الکتریکی می‌تواند به‌طور قابل‌توجهی آلودگی محیط زیست را کاهش دهد [۶]. برای استفاده از انرژی خورشیدی، بادی و همچنین خودروهای الکتریکی به دستگاه‌های ذخیره‌سازی انرژی بسیار کارآمد نیاز است. در این رابطه، باتری‌های لیتیوم‌یونی می‌توانند نقش بسیار مهمی ایفا کنند [۷]. باتری‌های لیتیومی به دلیل چگالی انرژی بالا و چرخه عمر طولانی به‌طور گسترده‌ای در دستگاه‌های الکترونیکی قابل‌حمل مانند لپ‌تاپ، تلفن‌های همراه و دستگاه‌های میکروالکترونیک پزشکی استفاده شده‌اند. با این وجود، هنوز چالش‌های جدی زیادی برای کاربردهای گسترده و عملی آن‌ها در ذخیره‌سازی انرژی ثابت و وسایل نقلیه الکتریکی وجود دارد. این چالش‌ها شامل افزایش بیشتر چگالی انرژی، بهبود ایمنی و کاهش هزینه‌هاست. در باتری‌های لیتیوم فعلی درصد بسیار بالایی از ماده گرافیت خام استفاده می‌شود. گرافیت خالص برای ساخت الکترود آند استفاده می‌شود که محل ذخیره شارژ باتری هستند. تقاضا برای تولید باتری‌های لیتیومی روزبه‌روز در حال افزایش است و با کمبود گرافیت و هزینه بالای آن، مشکلی بزرگ روی دست‌سازندگان این باتری‌ها قرار داده است.

با تحقیقات انجام گرفته از سیلیکون به‌عنوان یک جایگزین مناسب برای گرافیت نام برده‌اند که در دسترس و فراوان است اما مشکل سیلیکون این است که رسانایی کمتری نسبت به گرافیت دارد و نمی‌تواند شارژ باتری زیادی در خود نگه دارد. برای رفع این مشکل محققان دریافته‌اند که اگر سیلیکون به‌صورت ذرات نانومتری به کار گرفته شود هدایت آن خیلی بالا می‌رود و قدرت شارژ و دشارژ خیلی خوب و حتی ظرفیت بیشتری نسبت به گرافن پیدا می‌کند.

## نگاهی به عملکرد نانومواد سیلیکونی درباتری‌های لیتیومی

ذرات سیلیکونی ۳ نانومتری وقتی در فرایند ساخت باتری‌های لیتیومی استفاده می‌شوند؛ ظرفیتی ۱۰ برابری نسبت به آندهای گرافیتی تولید می‌کنند. پیشرفت‌های قابل‌توجهی با استفاده از فناوری نانو از نظر افزایش عمر چرخه و افزایش عملکرد سرعت هر چرخه به‌دست‌آمده است. چندین عامل کلیدی وجود دارد که منجر به رفتارهای متفاوت قابل‌توجهی در نانومواد می‌شود: نانومواد در مقابل تغییرات حجم قابل‌انعطاف هستند و از آسیب به باتری‌ها تا حد زیادی جلوگیری می‌کنند، ظرفیت و طول عمر باتری‌ها را به‌طور قابل‌توجهی افزایش می‌دهند و همچنین به دلیل کاهش فاصله انتقال الکترون، سطح رسانای بالاتری را فراهم می‌کنند و منجر به بهبود عملکرد می‌شوند.

**استفاده از نانوذرات سیلیکونی در باتری‌های لیتیومی**

نانوذرات سیلیکونی به دلیل ویژگی‌هایی که دارند یکی از بهترین جایگزین‌های گرافیت در باتری‌های لیتیومی هستند. آن‌ها دارای ویژگی‌های منحصربه‌فرد زیادی هستند از جمله اینکه سیلیکون دارای ظرفیت تئوری بالایی است (۴۲۰۰ میلی‌آمپر ساعت بر گرم) و دومین عنصر فراوان زمین است که منجر به تولید باتری‌های لیتیومی با هزینه نسبتاً کم می‌شود. دومین ویژگی آن‌ها این است که روش‌های سنتز نانوذرات سیلیکون به‌صورت مستند و کامل موجود است و حتی نانوذرات سیلیکون به‌صورت تجاری در دسترس هستند [۸]. سومین ویژگی آن‌ها این است که نانوذرات سیلیکونی با فرایند تولید فعلی باتری‌های لیتیومی کاملاً تطبیق دارند [۹]. در نهایت و مهم‌تر از همه، کاهش اندازه ذرات سیلیکون به آزاد شدن تنش و جلوگیری از ترک خوردن سیلیکون در حین وارد کردن لیتیوم کمک می‌کند که به‌طور قابل توجهی عملکرد چرخشی الکترود را بهبود می‌بخشد [۱۰].

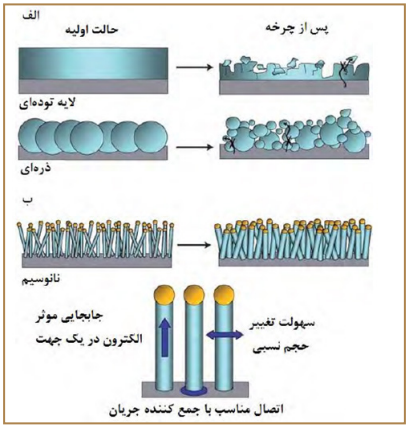
**استفاده از نانولوله‌های سیلیکونی در باتری‌های لیتیومی**

اخیراً نانولوله‌های سیلیکونی (SiNT) توجه تحقیقات گسترده‌ای را به خود جلب کرده‌اند، زیرا پتانسیل زیادی برای استفاده در باتری‌های لیتیومی [۱۱]، ترانزیستورهای اثرمیدانی [۱۲]، ذخیره‌سازی هیدروژن [۱۳] و دستگاه‌های الکترونیکی در مقیاس نانو دارند [۱۴]. نانولوله‌های سیلیکونی توخالی یک جایگزین ایدئال برای گرافیت در آند باتری‌های لیتیومی هستند زیرا فضای محوری کافی را برای فرایند انبساط در زمان ورود و خروج لیتیوم به داخل آند فراهم می‌کنند و از پودر شدن سیلیکون جلوگیری می‌کنند [۱۵]. علاوه بر این، مسیر نفوذ لیتیوم به میزان قابل توجهی کوتاه می‌شود زیرا دیواره‌های داخلی و خارجی نانولوله‌ها بسیار نازک هستند و در معرض الکترولیت قرار دارند. هنگام طراحی نانولوله‌ها به‌عنوان آند در باتری‌های لیتیومی، شعاع، ضخامت و طول نانولوله‌ها مهم‌ترین پارامترهایی هستند که باید بهینه شوند [۱۶]. همچنین لازم به ذکر است که ساخت نانولوله‌های سیلیکونی در مقایسه با نانوذرات سیلیکونی، گران‌تر و پیچیده‌تر است.

**استفاده از نانوسیم‌های سیلیکونی در باتری‌های لیتیومی**

یکی از مشکلاتی که در باتری‌های لیتیومی با آند سیلیکونی به وجود می‌آید این است که باتری بعد از مدتی استفاده متورم می‌شود و تورم گاهی مواقع آنقدر زیاد است که آند پوسته‌پوسته شده و ترک می‌خورد و باعث می‌شود باتری توانایی نگهداری شارژ را از دست داده و در نهایت خراب شود.

یون‌های لیتیوم واحد انرژی موجود در باتری‌های لیتیوم‌یونی هستند که بین دو الکترود از طریق مایعی به نام الکترولیت به این‌سو و آن‌سو حرکت می‌کنند. وقتی یون‌های لیتیوم وارد آندی ساخته‌شده از سیلیکون می‌شوند، با ساختاری منظم روبه‌رو می‌شوند و اتم‌های سیلیکون را به سمت عقب هل می‌دهند. این «فشار لیتیوم» باعث می‌شود که آند سه یا چهار برابر اندازه اولیه خود متورم شود و زمانی که لیتیوم خارج می‌شود آند به حالت عادی برنمی‌گردد و فضاهای خالی در آند باقی می‌ماند. در طولانی‌مدت فضاهای خالی در آند سیلیکونی با هم ادغام می‌شوند و خلأ یا شکاف بزرگی ایجاد می‌کنند. این شکاف‌ها به خرابی باتری و پودر شدن آند منجر می‌شوند. دانشمندان برای رفع این مشکل، نانوسیم‌های سیلیکونی را پیشنهاد داده‌اند. استفاده از نانوسیم‌ها که در شکل ۱ نشان داده شده است، نسبت به مواد نانوذره‌ای و توده‌ای، چندین نکته مثبت دارد که باعث بهبود قابلیت الکتریکی باتری می‌شود [۱۷].




**شکل ۱- شکل شماتیک آند سیلیکونی در باتری‌های لیتیومی [۱۷]**

همان‌طور که در شکل مشاهده می‌شود قطر کوچک نانوسیم‌ها باعث تطبیق بهتر آند با تغییر حجم می‌شود و از تخریب و شکستگی همانند حالت توده‌ای و ذره‌ای جلوگیری می‌شود. همچنین هریک از نانوسیم‌های سیلیکونی با جمع‌کننده جریان، اتصال الکتریکی دارند؛ بنابراین همه نانوسیم‌ها به‌عنوان ماده فعال آند باعث افزایش ظرفیت آند می‌شوند. به علاوه نیاز به استفاده از چسب یا افزودنی‌های رسانا برای انتقال یون و افزایش هدایت نیست. آخرین مزیت نانوسیم‌ها این است که نانوسیم‌ها به‌صورت یک‌بعدی هستند و یک مسیر الکتریکی مستقیم برای انتقال شارژ/ باتری دارند.

## شرکت‌های خارجی و ایرانی فعال در تولید باتری‌های لیتیومی

شرکت سیلانانوتکنولوژیز[۱] یکی از شرکت‌های آمریکایی تولیدکننده ساخت باتری‌های لیتیومی با آند سیلیکونی است. استفاده از محصولات این شرکت منجر به ارتقای ۴۰ درصدی ظرفیت باتری‌های لیتیومی شده است. مشکل آندهای سیلیکونی، تورم آن است، به‌طوری که حجم آن در اثر استرس ۴۰۰ درصد افزایش‌یافته و ترک‌هایی روی آن ایجاد می‌شود. شرکت سیلا از نانوذرات متخلخل سیلیکونی به‌عنوان آند استفاده می‌کند که وجود حفره‌های درون این نانوذرات موجب می‌شود تا افزایش حجم در حین نفوذ یون لیتیم به حداقل برسد. درحال‌حاضر سیلا موفق به ساخت اولین محصول حاوی آند سیلیکونی شده است که ضمن داشتن عمر طولانی، تورم بسیار کمی را تجربه می‌کند و بدین ترتیب از تخریب باتری در طی چرخه‌های متوالی شارژ و دشارژ جلوگیری می‌کند.

در حال حاضر، چند شرکت در ایران در زمینه تحقیق و توسعه نانوذرات سیلیکونی در باتری‌ها فعالیت دارند. این شرکت‌ها عبارت‌اند از:

۱- **شرکت نانوصنعت‌پارس:** این شرکت در زمینه تولید، تحقیق و توسعه نانوذرات سیلیکونی در باتری‌ها و همچنین تولید باتری‌های لیتیومی فعالیت می‌کند.

**۲- شرکت پارسیان نانومواد:** این شرکت به‌عنوان یک تولیدکننده نانوذرات سیلیکونی در باتری‌های لیتیومی در زمینه تحقیق و توسعه فعالیت می‌کند.

**۳- شرکت نانوپایا:** این شرکت در زمینه تولید نانوذرات سیلیکونی برای استفاده در باتری‌های لیتیومی و سایر کاربردهای صنعتی فعالیت می‌کند.

**۴- شرکت نانوشیمی پارس:** این شرکت در زمینه تولید نانوذرات سیلیکونی و محصولات نانو برای باتری‌های لیتیومی فعالیت می‌کند.

**۵- شرکت نانوکاتالیست:** این شرکت در زمینه تحقیق و توسعه نانوذرات سیلیکونی در باتری‌های لیتیومی و سایر کاربردهای صنعتی فعالیت می‌کند.

## نتیجه‌گیری

به طور خلاصه می‌توان گفت که باتری‌های لیتیومی که با آندهای سیلیکونی تولید می‌شوند، قیمت کمتری داشته و منجر به بهبود عملکرد خودروهای الکتریکی، گوشی‌ها و سایر قطعات الکترونیکی هوشمند می‌شوند. امروزه تحقیقات بسیاری با هدف بهبود آندهای سیلیکونی در حال انجام است که فناوری نانو می‌تواند راهکاری مفید و اثربخش برای ارتقای نسل نوین باتری‌های لیتیومی ارائه دهد. با کمک فناوری نانو می‌توان نسل جدید باتری‌های قابل شارژ را تولید کرد و پارامترهای اساسی و چالش‌زا نظیر هزینه، عمر مفید، دمای کاری و میزان دانسیته انرژی را بهینه‌سازی کرد. با این وجود، تحقیقات بیشتری هم به‌منظور بهبود دانسیته توان، افزایش طول عمر، بهبود روش ساخت و کاهش قیمت باتری‌های لیتیومی موردنیاز هستند تا در آینده شاهد افزایش رقابت در این عرصه و انقلابی چشمگیر در زمینه انرژی‌های تجدیدپذیر باشیم.

## پی‌نوشت

۱ Sila Nanotechnologies

## منابع


۱ A. Midilli, I. Dincer, M. Ay, Energy Policy. 2006, 34, 3623.

۲ M. Armand, J. M. Tarascon, Nature. 2008, 451, 652.

۳ M. M. Thackeray, C. Wolverton, E. D. Isaacs, Energy Environ. Sci. 2012, 5, 7854.

۴ V. Etacheri, R. Marom, R. Elazari, G. Salitra, D. Aurbach, Energy Environ. Sci. 2011, 4, 3243.

۵ J. B. Goodenough, Acc. Chem. Res. 2013, 46, 1053.

۶ T. H. Bradley, A. A. Frank, Renew. Sust. Energy Rev. 2009, 13, 115.

۷ N. S. Choi, Z. Chen, S. A. Freunberger, X. Ji, Y. K. Sun, K. Amine, G. Yushin, L. F. Nazar, J. Cho, P. G. Bruce, Angew. Chem. Int. Ed. 2012, 51, 9994.

۸ T. H. Hwang, Y. M. Lee, B. S. Kong, J. S. Seo, J. W. Choi, Nano Lett. 2011, 12, 802.

۹ G. Liu, S. D. Xun, N. Vukmirovic, X. Y. Song, P. Olalde-Velasco, H. H. Zheng, V. S. Battaglia, L. W. Wang, W. L. Yang, Adv. Mater. 2011, 23, 4679.

۱۰ Oumellal, N. Delpuech, D. Mazouzi, N. Dupre, J. Gaubicher, P. Moreau, P. Soudan, B. Lestriez, D.Guyomard, J. Mater. Chem. 2011, 21, 6201.

۱۱ X. y. Zhou, J. j. Tang, J. Yang, J. Xie, L. l. Ma, Electrochim. Acta 2013, 87, 663.

۱۲ J. K. Yoo, J. Kim, Y. S. Jung, K. Kang, Adv. Mater. 2012, 24, 5452.

۱۳ H. M. Fahad, C. E. Smith, J. P. Rojas, M. M. Hussain, Nano Let. 2011, 11, 4393.

۱۴ J. Ryou, S. Hong, G. Kim, Solid State Commun. 2008, 148, 469.

۱۵ K. J. Li, W. C. Wang, D. P. Cao, J. Phys. Chem. C. 2011, 115, 12015.

۱۶ U. Kasavajjula, C. S. Wang, A. J. Appleby, J. Power Sources. 2007, 163, 1003.

۱۷ N. Li, C. J. Patrissi, G. Che, C. R. Martin, the electrochemical Society. 2000, 147, 6.

## از مجموعه گزارش‌های صنعتی فناوری‌نانو در صنعت برق و الکترونیک منتشر شده است

■ گزارش صنعتی کاربرد فناوری نانو در گوشی‌های هوشمند

■ کاربرد فناوری نانو در باتری‌های خورشیدی

■ کاربرد فناوری نانو در قطعات پلیمری با هدایت الکتریکی بالا

■ کاربرد فناوری‌نانو در جوهرهای رسانا مورداستفاده در مدارهای الکتریکی