

مقدمه‌ای بر تولید نانوذرات به روش انفجار الکتریکی سیم

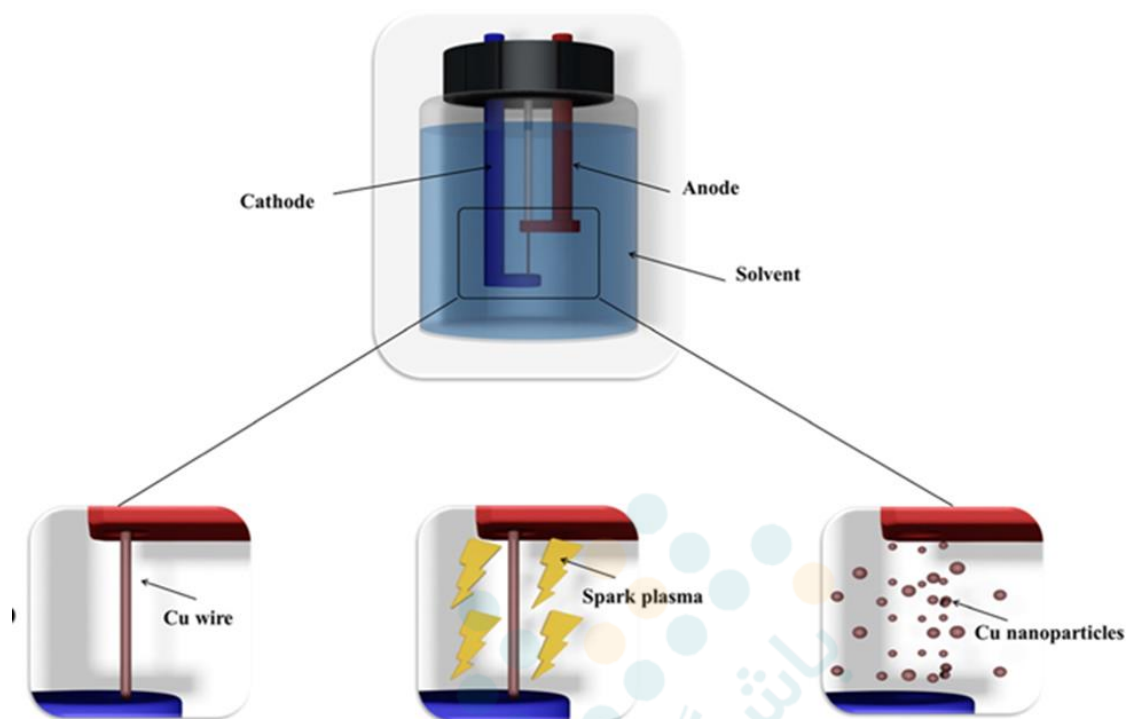
نویسنده: مرضیه شیرازی

۱-مقدمه

نانوذرات یکی از ساختارهای مهم و پر کاربرد در دنیای فناوری نانو محسوب می‌شوند. نانوذرات ساختارهای صفر بعدی هستند که هیچ بعد آزادی ندارند و همه ابعادشان بین ۱ تا ۱۰۰ نانومتر است. نانوذرات به دلیل کوچک بودن ابعادشان اثرات سطحی و اثرات کوانتومی زیادی از خود نشان می‌دهند که خواص آنها را نسبت به ابعاد میکرونی تغییر می‌دهد. به دلیل خواص منحصر به فرد نانوذرات، امروزه این مواد کاربردهای متنوعی در حوزه‌های پزشکی، دارورسانی، ساخت محصولات آنتی‌باکتریال، تصفیه آب و پساب‌های صنعتی، حسگرهای زیستی، ابزارهای الکترواپتیکی و افزایش کیفیت تصویربرداری در روش‌های تصویربرداری پزشکی نظیر MRI وسی‌تی اسکن دارند. تاکنون روش‌های مختلفی نظیر سل-ژل، میکرو امولسیون، هیدرو ترمال، سونو شیمیایی و روش انفجار الکتریکی سیم برای تولید نانوذرات استفاده شده است. از میان روش‌های موجود روش انفجار الکتریکی سیم فرآیندی تک مرحله‌ای با بازدهی بالا، غیر مضر برای محیط زیست است که برای تولید نانو ذرات فلزی و سرامیکی با خلوص بالا مناسب می‌باشد. در این مقاله روش انفجار الکتریکی سیم بعنوان یک روش برای تولید نانوذرات معرفی شده و عوامل موثر بر ویژگی‌های نانوذرات تولیدی مورد بررسی قرار خواهند گرفت.

۲-روش انفجار الکتریکی سیم

یکی از روش‌های نوین در تولید نانوذرات با حجم بالا روش انفجار الکتریکی سیم است، که یک روش بالا به پایین محسوب می‌شود. در این روش یک جریان الکتریکی با شدت بالا (10^4-10^6 A/mm^2) از یک سیم نازک عبور می‌کند. این جریان با شدت بالا معمولاً توسط یک مجموعه خازن به صورت ناگهانی تخلیه می‌شود. عبور جریان با شدت بالا از سیم نازک موجب گداخته شدن و انفجار ناگهانی سیم می‌شود. در شکل (۱) بطور شماتیک روش انفجار الکتریکی سیم و تولید نانوذرات در اثر انفجار سیم نشان داده شده است. همان‌گونه که در شکل (۱) نشان داده شده است، اعمال جریان الکتریکی در بازه زمانی کوتاه به سیم سبب انتقال انرژی به سیم با چگالی انرژی بالا می‌شود و یک پلاسمای موضعی ایجاد می‌شود. چگالی انرژی بسیار بالایی که به سیم وارد می‌شود از انرژی پیوند بین اتم‌های سیم بیشتر بوده و به دلیل تاخیر در انبساط سیم، سیم به‌طور ناگهانی به جوش آمده و سیم منفجر می‌شود. این فرآیند با جرقه‌های پرنرژی همراه است که حاصل آن بخار فوق داغ و قطرات فلزی سیم منفجر



شکل (۱) طرح شماتیکی از تولید نانوذرات مس به روش انفجار الکتریکی سیم

شده است. در صورتی که انرژی کافی در حین تخلیه خازن ها به سیم تزریق شود، بخار فلزی ایجاد شده تشکیل پلازما خواهد داد. موج شوک حاصل از انفجار، بخارات و قطرات تولیدی را به محیط اطراف پراکنده می کند. فرآیند انفجار الکتریکی سیم در دمای محیط یا در دماهایی بسیار پایین تر از نقطه ذوب سیم فلزی صورت می گیرد و محصولات انفجار بلافاصله بعد از پراکنده شدن به اطراف، با کاهش دمای بسیار بالایی روبرو می شوند که حاصل آن ایجاد فوق اشباع بسیار بالایی می شود. بنابراین فرآیند هسته زایی با نرخ بسیار بالایی رخ می دهد که منجر به تولید نانوذرات با ابعاد نانومتری می شود.

۳- عوامل موثر در روش انفجار الکتریکی سیم

همان طور که پیش از این بیان شد، نانوذرات در فرآیند انفجار الکتریکی سیم در اثر عبور جریان الکتریکی با شدت بالا از سیم و انفجار سیم تولید می شوند. ویژگی های نانوذرات تولید شده به عواملی چون ولتاژ و جریان الکتریکی عبوری از سیم، محیط انفجار، قطر سیم و نرخ تزریق سیم بستگی دارد. یکی از پارامترهای مهم در روش انفجار الکتریکی سیم که روی شکل و اندازه نانوذرات تولید شده موثر است، ولتاژ اعمالی در فرآیند انفجار است. در روش انفجار الکتریکی سیم، جریان الکتریکی با شدت بالا از یک سیم نازک عبور می کند که

موجب انفجار سیم می‌شود. که در طی این انفجار، سیم به ذرات ریز تبدیل می‌شود. در حقیقت چون این جریان الکتریکی در مدت زمان بسیار کوتاهی به سیم وارد می‌شود، توان الکتریکی زیادی به سیم منتقل می‌شود که موجب تکه تکه شدن سیم می‌گردد. تغییر ولتاژ دستگاه روی انرژی الکتریکی منتقل شده به سیم موثر است. اگر ولتاژ اعمالی کم باشد، انتقال توان الکتریکی کم بوده و سیم به تکه‌های بزرگ تقسیم می‌شود. برعکس اگر ولتاژ اعمالی بزرگ باشد، توان الکتریکی بالاتری به سیم وارد شده و سیم به تکه‌های ریزتری تبدیل می‌شود. بنابراین انتظار می‌رود که با افزایش ولتاژ اعمالی اندازه نانوذرات تولیدشده کوچک‌تر شود.

قطر سیم و نرخ تغذیه سیم نیز بر روی اندازه ذرات و غلظت محلول کلوئیدی نانوذرات موثر است. هرچه نرخ تغذیه سیم بیشتر باشد، مقدار سیمی که در هر ثانیه در ناحیه انفجار قرار می‌گیرد بیشتر خواهد بود، بنابراین مقدار نانوذرات تولیدی افزایش یافته و غلظت محلول کلوئیدی نانوذرات افزایش می‌یابد.

کاهش سایز ذرات، نسبت سطح به حجم نانو ذرات را افزایش می‌دهد این مسئله باعث می‌شود که اتم‌های واقع در سطح اثر بسیار بیشتری نسبت به اتم‌های درون حجم ذرات داشته باشند. این ویژگی واکنش‌پذیری نانو ذرات را به شدت افزایش می‌دهد، به گونه‌ای که این ذرات به شدت تمایل به آگلومره یا کلوخه‌ای شدن دارند. در واقع به دلیل وجود نیروی جاذبه و اندروالس میان نانوذرات، آنها تمایل دارند به سمت هم جذب شده و به هم بچسبند. در چنین شرایطی، تعیین مشخصات نانوذرات دچار خطا می‌شود. همچنین با تجمع ذرات، نسبت سطح به حجم در نانوذرات کاهش می‌یابد، که این مسئله موجب تنزل برخی از ویژگی‌های آنها می‌شود. برای نمونه، فعالیت کاتالیستی نانوذرات در اثر کلوخه شدن به شدت کاهش می‌یابد.

در تولید نانوذرات به روش انفجار الکتریکی سیم، آگلومره شدن نانوذرات یکی از چالش‌هایی است که لازم است حل شود. نانوذرات تولید شده بعد از مدتی آگلومره شده و بهم می‌چسبند. سوالی که در اینجا مطرح می‌شود این است که چگونه می‌توان نانوذرات کلوخه شده را از هم جدا کرد؟ عوامل متعددی در جداسازی نانوذرات موثر است که از آن جمله می‌توان به اولتراسونیک کردن، افزودن سورفکتانت مناسب، تغییر قدرت یونی محلول و تغییر دما اشاره کرد. معمولاً در سنتز نانو ذرات در محلول‌های کلوئیدی از یک پلیمر یا سورفکتانت مناسب برای جلوگیری از به هم چسبیدن ذرات استفاده می‌شود. در انفجار الکتریکی سیم، این سورفکتانت به محلول افزوده می‌شود. البته غلظت مناسب سورفکتانت یا پلیمر مورد استفاده برای ایجاد پایداری محلول کلوئیدی مهم می‌باشد.

استفاده از یک پلیمر و یا یک سورفکتانت، که روی سطح نانو ذرات جذب شده و موجب باردار شدن ذرات (معمولاً بار منفی) می‌گردد که با این عمل ذرات یکدیگر را دفع کرده و مانع از کلوخه شدن می‌شود. افزودن یک پلیمر که گاهی از پلیمرهای آلی، دارای گروه‌های باردار در زنجیره پلیمری هستند، می‌تواند کلوئید پایداری را بدست آورد. اگر پلیمر مورد استفاده، به خوبی بر روی سطح ذرات قرار گیرد، می‌تواند موجب افزایش پایداری و کاهش کلوخه‌ای شدن شود.

محیط انفجار نیز تاثیر زیادی بر ویژگی‌های نانوذرات تولیدی دارد. فرآیند انفجار الکتریکی سیم می‌تواند در محیط مایع یا گاز انجام شود و انتخاب محیط به هدف نهایی از تولید نانوذرات بستگی دارد. به عنوان مثال برای تولید نانوذرات اکسیدی

فرآیند انفجار در محیط اکسیژن صورت می‌گیرد و برای تولید نانوذرات نیتریدی یا کاربیدی مانند TiN، TiC یا WN فرآیند در محیط نیتروژن انجام می‌شود. در صورتی که در برخی موارد برای تولید نانوذرات فلزی خالص و جلوگیری از اکسیداسیون فلزات، فرآیند انفجار در محیط بی‌اثر یا محیط بدون اکسیژن انجام می‌شود. باید توجه داشت که در صورت استفاده از محیط اکسیژن می‌بایست تمهیدات لازم را برای جلوگیری از انفجارهای شدید و خطرناک انجام داد. از فرآیند انفجار الکتریکی سیم می‌توان برای تولید نانوذرات کامپوزیتی و آلیاژی نیز استفاده می‌شود.

۴- کاربردهای نانوذرات تولیدی به روش انفجار الکتریکی سیم

با استفاده از روش انفجار الکتریکی سیم می‌توان طیف گسترده‌ای از نانوذرات فلزی خالص و یا اکسیدی را تولید نمود که کاربردهای زیادی در زمینه‌های مختلف دارند، از آن جمله می‌توان به موارد زیر اشاره نمود:

- تصفیه فاضلاب و پسابهای صنعتی
- درمان سرطان
- مواد افزودنی لوازم آرایشی و بهداشتی
- پوشش رسانا
- افزودنی روان کننده
- استفاده در ضد عفونی کننده معدنی
- باتریهای لیتیوم یون
- ترانزیستور اثر میدان
- سلول‌های خورشیدی
- دستگاه‌های ذخیره‌سازی مغناطیسی

۵- مراجع

- [1] H.R. Humud, A.S. Wasfi and A.M. Makia, "Preparation of Silver Nanoparticles by Exploding Wire in Different Liquids", *Asian Journal of Applied Science and Engineering*, 3, (2014) pp.23-32.
- [2] O.P. Siwach and P. Sen, "Synthesis and fluorescence properties of Ag nanoparticles", *Solid State Communications*, 148 (2008) pp.221–225.
- [3] T.K. Sindhu, R. Sarathi and S.R. Chakravarthy, "Understanding nanoparticle formation by a wire explosion process through experimental and modelling studies", *Nanotechnology* 19 (2008) pp.025703.
- [4] L.H. Bac, J.S. Kim and J.C. Kim, "Size, optical and stability properties of gold nanoparticles synthesized by electrical explosion", *Reviews on advanced materials science*, 28 (2011) pp.117-121.
- [5] M.I. Lerner, N.V. Svarovskaya, S.G. Psakhie and O.V. Bakina, "Production technology,

- characteristics, and some applications of electric explosion nanopowders of metals”, *Nanotechnologies in Russia*, 4, (2009) pp.741–757.
- [6] W. Kim, J.S. Park, C.Y. Suh, H. Chang and J.C. Lee, “Fabrication of alloy nanopowders by the electrical explosion of electrodeposited wires”, *Materials Letters*, 61 (2007) pp.4259–4261.
- [7] A.D. Bokare, R.C. Chikate, C.V. Rode and K.M. Paknikar, “Iron-nickel bimetallic nanoparticles for reductive degradation of azo dye Orange G in aqueous solution”, *Applied Catalysis B: Environmental*, 79, (2008) pp.270-278.
- [8] U. Rafique, A. Intiaz and A. K. Khan, “Synthesis, characterization and application of nanomaterials for the removal of emerging pollutants from industrial waste water, Kinetics and equilibrium model”, *Water Sustainability*, 2, (2012), pp. 233-244.

