پژوهش های شیمیایی و نانومواد
Chemical Research & Nanomaterials(CRN)
https://sanad.iau.ir/journal/crn

مروری کوتاه بر سنتز نانومواد با حرارت دهی به کمک امواج مایکروویو در حضور مایعات یونی

امیرحسین قنبری، مریم توحیدی*

بخش نانومهندسی شیمی، دانشکده فناوری های نوین، دانشگاه شیراز، شیراز، ایران

چکیده: نانوساختارهای فلزی با توجه به کاربرد بالقوه آنها مورد توجه زیادی قرار گرفته اند. سنتز سریع با استفاده از امواج مایکروویو یک فناوری مناسب است که پتانسیل زیادی برای استفاده در صنعت را دارا میباشد که به دلیل کاهش زمان واکنش، افزایش بازدهی و استفاده از منابع حرارتی دهی ایمن می باشد. روش حرارت دهی با کمک مایکروویو به عنوان یک روش مناسب برای سنتز های نانوساختار های فلزی در فاز محلول توجه زیادی را به خود معطوف کرده است. از این روش برای سنتز نانوساختارهایی مانند Au ،Ag ، Pt ،Pd و Au-Pd استفاده شده است. نه فقط نانوذرات کروی، بلکه نانوساختارهای صفحه‌ای، میله ای، سیمی، تیوبی و دندریتی در بازه زمانی چند دقیقه تهیه می شوند. در این روش،عموماً نانوساختارهایی با اندازه کوچکتر، توزیع اندازه ای باریک تر و درجه بالاتری از بلورینگی در مقایسه با روشهای متداول حرارت دهی حمام روغن تهیه می شوند. از طرف دیگر، مایعات یونی دمای اتاق (RTILs) در سال های اخیر توجه زیادی را به خود معطوف کرده اند. ILs می توانند امواج مایکروویو را جذب کنند و باعث افزایش سرعت واکنش و کاهش زمان واکنش شوند. یونهای مثبت بزرگ با قابلیت پلاریزه شدن بالا در ILs باعث می شود که این دسته از مواد حلال های مناسبی برای جذب امواج مایکروویو باشند. بنابراین استفاده از امواج مایکروویو به عنوان منبع گرما در کنار ILs به عنوان کاتالیست، حلال، ماده افزودنی، حلال کمکی و قالب منجر به ایجاد روشی سریع و سازگار با محیط زیست (MAIL) برای سنتز نانوساختارهای مختلف می شود.

واژگان کلیدی: مایع یونی، امواج مایکروویو، نانوساختار، نانوفناوری.

matohidi@Shirazu.ac.ir

۱- مواد نانوساختار

مواد نانوساختار به دلیل کاربردهای گسترده شان در زمینه الکترونیک، اپتیک وکاتالیست‌ها در بین مواد دیگر توجه زیادی را به خود معطوف کرده اند[۱، ۲]. یکی از دلایل اهمیت قابل توجه این نانو مواد دارا بودن خواص فیزیکی جالبی شامل خواص ساختاری، الکترونیکی، مغناطیسی و نوری و همچنین خواص شیمیایی مانند خواص کاتالیستی می باشد. یک دسته از نانوذرات مهم نانومواد معدنی یا نانو کلاسترها هستند که به دلیل قابلیت کنترل در آماده سازی و همچنین تنوع در عامل دار کردن آنها بسیار مورد توجه هستند[۱، ۳، ۴].

۲-روش های سنتز مواد نانوساختار

کنترل اندازه، شکل و شیمی سطح نانوذرات معدنی منجر به خواص نوری، الکترونیکی، مغناطیسی، مکانیکی و کاتالیستی نوینی می‌شود[۳-۵]. این خواص معمولاً به طور قابل ملاحظه ای نسبت به انواع بالکی این مواد متفاوت است و با تغییر پارامترهایی که بر روی ساختار نانوذرات تاثیر می‌گذارد قابل تنظیم می باشد

تاریخ دریافت : ۱۴۰۲/۱۰/۱۳
تاریخ پذیرش : ۱۴۰۲/۱۰/۲۶

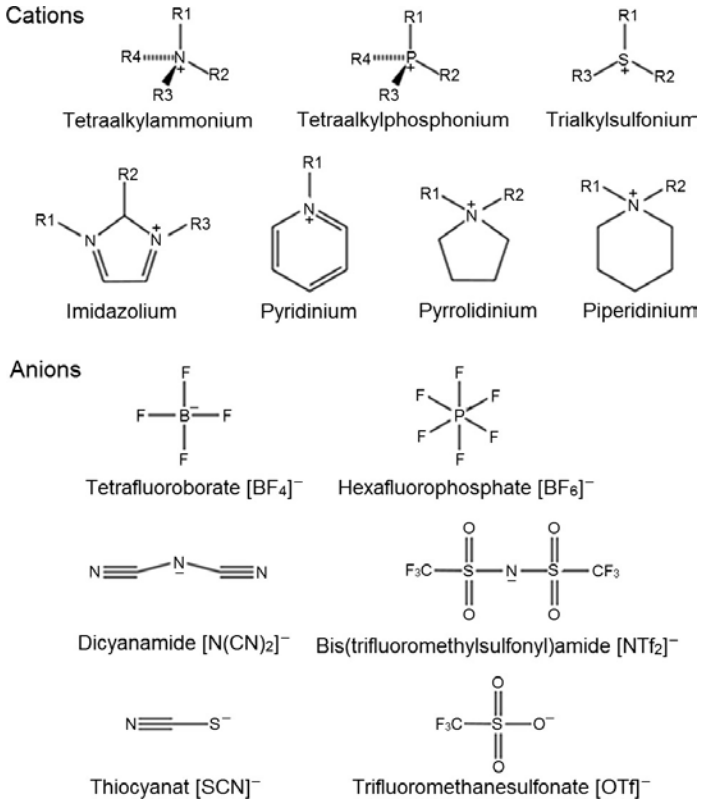
[۵]. در نتیجه، توسعه روش‌های سنتز که منجر به کنترل اندازه و شکل ذرات می‌شود، یکی از زمینه های تحقیقاتی مهم می باشد. امروزه نانوذرات معدنی با استفاده از روش های مختلفی مانند رسوب دهی الکتروشیمیایی[۸-۶]، رسوب دهی بخار [۹]، تکنیک های لیتوگرافی[۱۰]، تکنیک های شیمیایی و حرارت دادن سریع به کمک امواج مایکروویو به وجود می آیند[۲، ۱۱، ۱۴-۱۲].

۳- مایعات یونی

۳-۱-خواص و کاربردهای مایعات یونی

کلمه مایع یونی (Ionic liquid; IL) به طور متداول برای نمکهای مذابی که شامل کاتیون ها و آنیون ها می باشد به کار می رود که دارای نقطه ذوب پایین تر از ۱۰۰ درجه سانتی‌گراد می‌باشند[۱۵، ۱۶].,به طور محسوس نمک هایی که در دمای اتاق مایع هستند مایعات یونی دمای اتاق نامگذاری می کنند. اولین IL شناخته شده اتیل آمونیوم نیترات می باشد که نقطه ذوب آن ۱۲ درجه سانتیگراد است[۱۵، ۱۶]. در مایعات یونی، به طور معمول کاتیون ها، مولکول های متقارن و یا نامتقارن حجیم آلی مانند ایمیدازولیوم، پیریدینیوم و پیرولیدینیوم و آنیون ها، مولکول های معدنی مانند فسفات، تری فلامید و ترا فلوئوروبورات می‌باشند (شکل ۱)[۱۶]. با تغییر کاتیون ها و آنیون ها، خواص فیزیک ILs شامل نقطه ذوب، ویسکوزیته، دانسیته و هیدروفوبیسیتی قابل تغییر می باشد[۱۶]. ILs در بسیاری از زمینه‌های شیمی و صنعتی توجه بسیار زیادی را به خود معطوف کرده اند، که به دلیل قابلیت آن به عنوان حلال سبز قابل بازیافت می باشد که می تواند جانشین مناسبی برای حلالهای آلی متداول باشند[۱۵، ۱۷]. به دلیل داشتن خواصی مانند قطبش پذیری بالا، فشار بخار جزئی، هدایت یونی بالا و پایداری حرارتی، ILs در زمینه های کاتالیزوری[۱۸]، به عنوان حلال در الکتروشیمی[۱۹]، برای سنتز پلیمرها[۲۰] و برای انطباق واکنش های آنزیمی به محیط های آلی می توانند به کار برده شوند[۱۵، ۱۷، ۲۱].

ILs همچنین می‌توانند در فرآیندهای شیمیایی نوینی جایگزین آب شوند و علاوه بر این می‌توانند برای سنتز نانوساختارهای جدید مورد استفاده قرار گیرند[۱۵ و ۱۷].



شکل۱. نمونه هایی از کاتیون ها و آنیونها ی تشکیل دهنده IL های متداول.

۳-۲ - سنتز نانومواد با استفاده ازILs

استفاده ازILs در سنتزهای معدنی دارای مزایای زیادی می باشد [۱۵، ۱۷ و ۲۲]. این مواد با فشار بخار پایین می توانند به عنوان محیط واکنش سبز برای سنتز نانومواد معدنی به جای حلال های متداول مورد استفاده قرار گیرند[۲۲]. همچنین ILs می توانند نقش قالب را در سنتز های نانومواد معدنی ایفا کنند. بر اساس گزارشات این مواد دارای ساختار منظمی می باشند که تاثیر زیادی بر روی شکل و ساختار محصول بدست آمده دارند. عملکرد آنها بر پایه مکانیسم های مختلفی شامل پیوندهای هیدروژنی و بر هم کنش های π-π،مکانسیم خود آرایه، جاذبه الکتروستاتیک و غیره می باشد[۲۲]. این مواد بر خلاف ماهیت قطبی شان دارای کشش سطحی کمی می باشند که منجر به افزایش پایداری نانوذرات ساخته شده و سرعت هسته زایی بالا می شود[۱۵، ۱۷ و ۲۲]. ILs قابلیت امتزاج با بسیاری از حلال های آلی را دارا می باشند و همچنین می توانند جایگزین خوبی برای حلال های غیرآبی در سیستم های دو فازی مانند

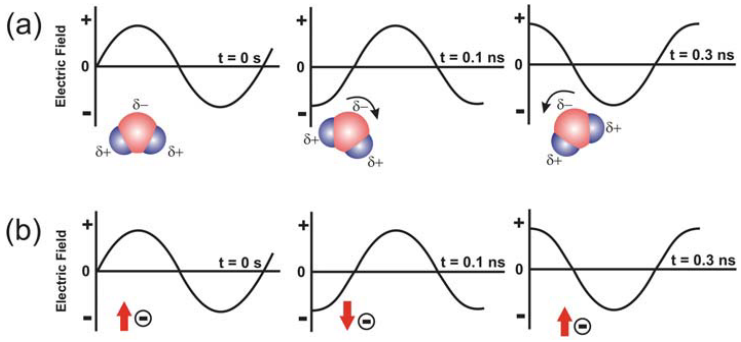
میکروامولسیون ها باشند[۲۰، ۲۲]. این مواد همچنین می توانند به عنوان پیش ماده و واکنشگر در سنتز نانومواد مورد استفاده قرار گیرند[۲۲].

بر اساس موارد ذکر شده، ILs می توانند به عنوان یک گزینه مناسب برای سنتز نانومواد مختلف مورد استفاده قرار گیرند[۱۷ و ۲۲]. گروه‌های تحقیقاتی متفاوتی توانسته اند نانومواد را با مورفولوژی های خاص ساختارهای نوین و خاص بهبود یافته در ILs سنتز کنند. که به عنوان مثال می‌توان سنتز نانوذرات طلا (Au)، مواد مزوپروس، نانو ورقه های CuCl، نانومیله های CoPt و غیره را نام برد[۲۶-۲۳].

٤- سنتز با کمک امواج مایکروویو

٤-١- تئوری مایکروویو

امواج مایکروویو شکلی از تابش های الکترومغناطیس با طول موج در محدوده یک میلیمتر تا یک متر و فرکانس بین ۳۰۰ گیگاهرتز تا ۳۰۰ مگاهرتز می باشد. انرژی امواج مایکروویو فقط می‌تواند منجر به چرخش های مولکولی شود. امواج مایکروویو مانند امواج ناحیه مرئی و مادون قرمز بر روی پیوندهای مولکولی یا ابرهای الکترونی اثری ندارند. روش‌های مبتنی بر امواج مایکروویو از اصول نظری خاصی پیروی می‌کند و یکی از مهم‌ترین کاربردهای آن‌ها، در صنایع گرمایشی است که منجر به گرم شدن کارآمد مولکولها می شود. از آن‌جایی‌که مبنای این روش‌ها بر اساس انجام واکنش‌های شیمیایی است، بنابراین موجب پدیدار شدن شاخه‌ای از علم شیمی به نام شیمی مایکروویو شده است. فرکانسی که در کاربردهای حرارتی مورد استفاده قرار می‌گیرد معمولاً ۲/۴۵ گیگاهرتز (طول موج۱۲/۲ سانتی متر) می باشد[۱۶]. فرآیند گرمایش با استفاده از امواج مایکروویو از طریق چند مکانیزم کلی انجام می‌گیرد که اساس همه آن‌ها عبارت است از برهم‌کنش میان مؤلفه الکتریکی امواج مایکروویو با ترکیبات قطبی و یونی. این مؤلفه با دو مکانیسم اصلی شامل چرخش دو قطبی و هدایت یونی باعث انتقال انرژی از امواج مایکروویو به مولکول ها و در نهایت گرم شدن محیط می شود (شکل ۲)[۲۷ و ۲۸]. تابش نمونه با امواج مایکروویو منجر به صف‌آرایی یون ها و مولکول ها در میدان الکتریکی



شکل ۲. (بالا) چرخش دو قطبی و (پایین) هدایت یونی از طریق تابش امواج مایکروویو

می شود[۲۹]. به دلیل اینکه تابش های الکترومغناطیس یک میدان نوسان کننده ایجاد می‌کنند، یونها و دوقطبی ها تمایل دارند که خودشان را با میدان الکتریکی همراستا کنند. بسته به مقیاس های زمانی پدیده جهت‌گیری و عدم جهت‌گیری نسبت به فرکانس تابش، مقادیر متفاوتی گرما در اثر اصطکاک های مولکولی و اتلاف دی الکتریک تولید می شود[۲۹].

چرخش دو قطبی برهمکنشی می باشد که مولکول های قطبی(دو قطبی یا یون) تلاش می‌کنند تا خودشان را با میدان الکتریکی مایکروویو که به سرعت در حال تغییر هست همراستا کنند. وقتی که میدان اعمالی نوسان می‌کند، دوقطبی ها تلاش می‌کنند تا خودشان را با میدان همراستا کنند و بنابراین انرژی به علت اصطکاک های مولکولی و اتلاف دی الکتریک به گرما تبدیل می‌شود[۲۷ و ۲۸].

مکانیسم هدایت یونی منجر به فوق گرمایش لحظه‌ای یک ماده یونی به علت حرکت یونها به جلو و عقب تحت تاثیر میدان الکتریکی تابش های مایکروویو می‌شود که به علت برخوردهای مولکولهای همسایه ایجاد حرارت می کند. نکته مهم این است که مکانیسم هدایت یونی اثر بیشتری را نسبت به پلاریزاسیون دو قطبی برای تولید حرارت ایفا می کند[۲۹]. به دلیل ماهیت یونی ILsجذب تابش های مایکروویو توسط این مواد به صورت کارآمد انجام می‌شود و منجر به انتقال سریع انرژی در اثر هدایت یونی می‌شود[۲۷ و ۲۸]. با توجه به ویژگی‌های منحصربه‌فرد این امواج در هنگام ایجاد گرمایش طی واکنش‌های شیمیایی، استفاده از روش مایکروویو کاربرد گسترده‌ای در سنتز نانومواد مختلف پیدا کرده است.

٤-٢- سنتز نانوذرات معدنی با کمک امواج مایکروویو

سنتز سریع با استفاده از امواج مایکروویو یک فناوری مناسب می باشد که پتانسیل زیادی برای استفاده در زمینه های صنعتی را دارا می باشد که به دلیل کاهش قابل توجه زمان واکنش، افزایش بازدهی محصول و استفاده از منابع حرارت دهی ایمن می باشد[۲۷ و ۲۸].

روش حرارت دهی با کمک امواج مایکروویو به عنوان یک روش مناسب برای سنتز های نانوساختار های فلزی در فاز محلول توجه زیادی را به خود معطوف کرده است[۱۲]. از این روش برای سنتز نانوساختارهای بسیاری مانند نقره(Ag)، طلا(Au)، پلاتین(Pt)، پالادیم(Pd) و Au-Pd استفاده شده است. نه فقط نانوذرات کروی، بلکه نانوساختارهای صفحه‌ای، میله ای، سیمی، تیوبی و دندریتی در بازه زمانی چند دقیقه در شرایط حرارت مایکروویو تهیه می شود[۱۲ و ۳۰]. عموماً نانوساختارهایی با اندازه کوچکتر، توزیع اندازه ای باریک تر و درجه بالاتری از بلورینگی با این روش سنتز در مقایسه با روشهای متداول حرارت دهی حمام روغن تهیه می شوند. بنابراین حرارت دهی با استفاده از امواج مایکروویو می‌تواند به عنوان راهکاری برای سنتز سبز ساختارهای مختلف مطرح شود[۱۲، ۳۰].

۳-٤- سنتز نانو ساختارها در حضورIL با کمک امواج مایکروویو

همانطور که گفته شد ILs می توانند امواج مایکروویو را به خوبی جذب کنند که به سرعت منجر به افزایش دما می‌شود و زمان واکنش را کاهش می دهد[۳۱، ۳۲]. یونهای مثبت بزرگی با قابلیت پلاریزه شدن بالا در ILs وجود دارد که باعث می شود این ترکیبات حلال های خیلی خوبی برای جذب امواج مایکروویو باشند و منجر به ایجاد روش سنتز حرارت دهی به کمک امواج مایکروویو در حضور ILs (MAIL) می شوند[۳۱ و ۳۲]. بنابراین استفاده از امواج مایکروویو به عنوان منبع گرما در کنار ILs به عنوان کاتالیزگر، حلال، ماده افزودنی، حلال کمکی و قالب، منجر به ایجاد روش سریع و سازگار با محیط زیست برای سنتز نانوساختارهای مختلفی مانند نانو سیم‌های تلوریوم[۳۳]، نانو ورقه طلا[۱۳، ۳۱] و ترکیبات دوتایی مانند Bi_2Se_3 و Sb_2S_3 می شود[۲۸، ۳۱، ۳۴].

۵- مروری بر برخی کارهای تحقیقاتی انجام شده در مورد سنتز نانومواد با حرارت دهی به کمک امواج مایکروویو در حضور مایعات یونی(MAIL)

فن آوری ها و روش های مختلفی ایجاد و ترکیب شده اند تا پروسه های مختلف سازگار با محیط زیست را برای سنتز در مقیاس آزمایشگاهی و تولید مواد شیمیایی خوب ایجاد کنند. در این زمینه، سنتز با کمک امواج مایکروویو با استفاده از ILs به عنوان حلال، کمک حلال، کاتالیزور و/ یا قالب یه طور وسیعی مورد استفاده قرار می گیرد[۲۸]. با توجه به طبیعت یونی ILs، برهم کنش های بسیار موثری بین این مواد با انرژی مایکروویو به وجود می آید که منجر به تولید سریع محصولات با بازدهی بالا می شود و در مورد سنتز مواد معدنی و آلی–فلزی، مواد جدید با مورفولوژی های جدید با این روش به دست می آید. ترکیب امواج مایکروویو با ILs می تواند به طور بالقوه برای پاسخگویی به تقاضای روزافزون برای فرایندهای شیمیایی سازگار با محیط زیست به کار گرفته شود[۲۸]. برخی از مواد نانوساختاری که با فناوری مایکروویو/IL سنتز شده اند در جدول ۱ توضیح داده شده اند.

٦- نتیجه گیری

امواج مایکروویو شکلی از تابش الکترومغناطیس با طول موجی در محدوده یک متر تا یک میلی‌متر هستند. استفاده از امواج مایکروویو در انجام واکنش ها باعث بهبود سینتیک (سرعت واکنش‌ها) و انتخاب‌پذیری واکنش‌ها می‌شود. استفاده از امواج مایکروویو کاربرد گسترده‌ای در سنتز نانومواد مختلف پیدا کرده است. به کار بردن این امواج در کنار ILs راه جدیدی را برای انجام فرآیندهای با راندمان بالا و سمیت کم باز کرده است (MAIL) که می تواند منجر به سنتز نانوذرات مختلف با اندازه، مورفولوژی و خصوصیات متفاوت شود. نقش ILs در این روش ها به عنوان جاذب امواج مایکروویو، حلال، افزودنی، قالب و واکنش دهنده می باشد. به عنوان رسانای یونی، ILها توانایی زیادی را در جذب امواج مایکروویو دارا می باشند که به فرآیندهای گرمایشی کمک می کند. به عنوان حلال، ILها

جدول۱. تعدادی از نانو مواد ساخته شده با روش MAIL

مواد سنتز شده	مایع یونی استفاده شده	نقش مایع یونی	مرجع
نانو ورقه های بزرگ Au	$BMIMBF_4$	حلال، قالب، عامل پایدار کننده و عامل کاهنده	۱۳، ۳۱
نانومیله ها و نانوسیم هایTe	N-butylpyridinium tetrafluoroborate	حلال، قالب و عامل پایدار کننده	۳۳
نانوورقه های Bi_2Se_3	$BMIMBF_4$	حلال، قالب و عامل پایدار کننده	۳۴
نانومیله های Bi_2S_3و Sb_2S_3	$BMIMBF_4$	حلال، قالب و عامل پایدار کننده	۳۵
نانوذرات $GdF_3:Eu^{3+}$	$BMIMBF_4$	حلال و منبع فلوئورید	۳۶
نانوکریستال های $LaPO_4$:Ce ،Tb	MB_3NNTf_2	حلال	۳۷
نانوکریستال های InP	Different ILs	حلال و منبع فلوئورید	۳۸
نانوذراتCdSe	HMIMCl	حلال، پایدار کننده گونه های حد واسط و کاتالیست برای رشد	۳۹
نانوذرات Fe_3O_4	$BMIMBF_4$	حلال و پایدار کننده	۴۰
نانوذراتFe_2O_3	$BMIMBF_4$	حلال و عامل پایدار کننده	۴۱
نانوساختارهای میله مانند FeF_2, CoF_2, ZnF_2, LaF_3, YF_3andSrF_2	$BMIMBF_4$	حلال، قالب و منبع فلوئورید	۴۱
نانو ذرات WO_3	[EMIm]TFSA	حلال و قالب	٤٢
ناندرات ZnO	OMIMPF6	حلال، قالب و عامل پایدار کننده	۴۳
نانوذرات ZnS و CdS	$BMIMBF_4$	حلال و عامل پایدار کننده	۴۴
نانوورقه هایمس اکسید	$BMIMBF_4$	حلال و قالب	۴۵
$PbCrO_4$ و Pb_2CrO_5 با مورفولوژی میله ای	$BMIMBF_4$	حلال و قالب	۴۶
نانوذرات Cu و Ni پوشش دهی شده با کربن	$BMIMBF_4$	حلال، عامل پایدار کننده و منبع کربن	۴۷
نانوآلیاژAgPd	$BMIMBF_4$	حلال، قالب، عامل پایدار کننده و عامل کاهنده	۴۸
نانومواد Au، Ag، Pt و Pd	$BMIMBF_4$	حلال، قالب، عامل پایدار کننده و عامل کاهنده	۴۹
نانوذرات Ag	BMIMCl	حلال و عامل کاهنده	۵۰
نانوذرات Ag	$BMIMBF_4$	حلال و عامل کاهنده	۵۱

$BMIMBF_4$:۱-بوتیل-۳-متیل ایمیدازولیم تترافلوئورو بورات، BMIMCl:۱-بوتیل-۳-متیل ایمیدازولیم کلرید، MB_3NNTf_2:تری بوتیل متیل آمونیوم تریفلیمید،
$C_2OHMIMCl$:۱-(۲-هیروکسی اتیل)-۳-متیل ایمیدازولیم کلرید، HMIMCl: ۱-هگزیل-۳-متیل ایمیدازولیوم کلرید،[EMIm]TFSA 1-اتیل-۳-متیل آمیدازولیوم بیس (تری فلوئورومتیل سولفونیل) آمید و $OMIMPF_6$:-1 اکتیل-۳-متیل ایمیدازولیوم هگزا فلوروفسفات

سمیت کمی دارند و نسبت به حلال های آلی مزیت زیادی دارند. هنگامی که به عنوان افزودنی و قالب استفاده می شوند، می توانند منجر به کنترل مورفولوژی، اندازه و خواص نانوذره حاصل شوند. ILها در نقش پیش ماده می توانند به عنوان منابع کربن و نیتروژن عمل می کنند. علاوه بر این، برخی از محققان پیشنهاد کردند که IL ها قابل بازیافت هستند و می توانند بدون از دست دادن عملکردشان مجدداً مورد استفاده قرار گیرند. همه این موارد منجر به افزایش استفاده از روش MAIL در سنتز نانوساختارهای مختلف شده است که همچنان قابلیت پژوهش زیادی در این زمینه وجود دارد.

مراجع

1. S. Ramanathan, S. C. Gopinath, M. M. Arshad, P. Poopalan, V. Perumal, (2021). Nanoparticle synthetic methods: Strength and limitations. In Nanoparticles in Analytical and Medical Devices (pp. 31-43). Elsevier.

2. M. C.Daniel, D. Astruc, Chem. Rev., 104, 293 (2004).

3. M. A. El-Sayed, Acc. Chem. Res., 37, 326 (2004).

4. A. C. Templeton, M. P. Wuelfing, R. W. Murray, Acc. Chem. Res., 33, 27 (2000).

5. T. Takai, A. Shibatani, Y. Asakuma, A. Saptoro, C. Phan, Chem. Eng. Res. Des., 182, 714 (2022).

6. N. Maleki, A. Safavi, E. Farjami, F. Tajabadi, Anal. Chim. Acta, 611, 151(2008).

7. A. Safavi, N. Maleki, F. Tajabadi, E. Farjami, Electrochem. Commun. 9, 1963(2007).

8. A. Safavi, N. Maleki, E. Farjami, Electrocatalysis, 1533(2009).

9. X. Wang, J. Song, Z. L. Wang, J. Mater. Chem., 17, 711(2007).

10. Y. Xia, N. Halas, Mater. Res. Bull., 30, 338(2005).

11. P. D. Cozzoli, T. Pellegrino, L. Manna, Chem. Soc. Rev., 35, 1195(2006).

12. V. Polshettiwar, M. N. Nadagouda, R. S. Varma, Aust. J. Chem., 62, 16(2009).

13. L. Ren, L. Meng, Q. Lu, Z. Fei, P. J. Dyson, J. Colloid Interface Sci., 323, 260(2008).

14. M. Tsuji, M. Hashimoto, Y. Nishizawa, M. Kubokawa, T. Tsuji, Chem. Eur. J., 11, 440(2005).

15. M. Hassanpour, M. H. Shahavi, G. Heidari, A. Kumar, M. Nodehi, F. D. Moghaddam, E. N. Zare, J. Ionic Liq., 2, 100033(2022)..

16. Nanoscale Materials in Chemistry; Klabunde, K. J.; Richards, R. M., Eds.; Second Ed.; Wiley, 2009.

17. P. Ray, M. Pilania, Mater. Today: Proceed., 47, 2835(2021).

18. J. Dupont, De Souza, F. Roberto, P. A. Z. Suarez, Chem. Rev., 102, 3667(2002).

19. J. Fuller, Carkin, R. T.; Osteryoung, R. A. J. Electrochem. Soc. 1997, 144, 3881-3886.

20. Y. L. Zhao, J. M. Zhang, J. Jiang, C. F. Chen, F. Xi, J. Polym. Sci. Part A, 40, 3360(2002).

21. S. V. Dzyuba, R. A. Bartsch, Angew. Chem., 115, 158(2003).

22. X. Liu, J. Ma, W. Zheng, Rev. Adv. Mater. Sci., 27, 43(2011).

23. Y. Zhou, M. Antonietti, Adv. Mater., 15, 1452(2003).

24. A. Taubert, Angew. Chem. Int. Ed., 43, 5380(2004).

25. Y. Wang, H. Yang, J. Am. Chem. Soc., 127, 5316(2005).

26. F. Endres, M. Bukowski, R. Hempelmann, Natter, H. Angew. Chem. Int. Ed., 42, 3428(2003).

27. S. Głowniak, B. Szczęśniak, J. Choma, M. Jaroniec, Adv. Mater., 33, 2103477(2021).

28. R. Martínez-Palou, Mol. Divers., 14, 3(2010).

29. I. Bilecka, M. Niederberger, Nanoscale, 2, 1358(2010).

30. H. Barani, B. Mahltig, J. Cluster Sci., 1-11(2020).

31. Z. Li, Z. Liu, J.Zhang, B. Han, J. Du, Y. Gao, T. Jiang, J. Phys. Chem. B, 109, 14445(2005).

32. N. E. Leadbeater, H. M. Torenius, J. Org. Chem., 3145(2002).

33. Y. J. Zhu, W. W. Wang, R. J. Qi, X. L. Hu, Angew. Chem. Int. Ed., 43, 1410(2004).

34. Y. Jiang, Y. J. Zhu, G. F. Cheng, Cryst. Growth Des., 6, 2174(2006).

35. Y. Jiang, Y. J. Zhu, J. Phys. Chem. B, 109, 4361(2005).

36. C. Lorbeer, J. Cybinska, A. V. Mudring, Chem. Commun., 46, 571(2010).

37. G. Bühler, C. Feldmann, Angew. Chem. Int. Ed., 45, 4864(2006).

38. D. D. Lovingood, G. F. Strouse, Nano Lett., 8, 3394(2008).

39. J. A. Gerbec, D. Magana, A. Washington, G. F. Strouse, J. Am. Chem. Soc., 127, 15791(2005).

40. H. Hu, H. Yang, P. Huang, D. Cui, Y. Peng, J. Zhang, F. Lu, J. Lian, D. Shi, Chem. Commun., 46, 3866(2010).

41. D. S. Jacob, L. Bitton, J. Grinblat, I. Felner, Y. Koltypin, A. Gedanken, Chem. Mater., 18, 3162(2006).

42. S. Al Kiey, A. Asem, H. K. Farag, Egyptian J. Chem., 66(12), 397(2023).

43. S. H. Kavya, V. Vijaya Kumar, C. R. Kumar, Indian J. Chem. -Section A (IJCA), 57(8-9), 1112(2020).

44. Y. Jiang, Y. Zhu, J. Chem. Lett., 33, 1390(2004).

45. W. W. Wang, J. Y. Zhu, F. G. Cheng, Y. H. Huang, Mater. Lett., 60, 609(2006).

46. W. W. Wang, Y. Zhu, J. Cryst. Growth. Des., 5, 505(2005).

47. D. S. Jacob, I. Genish, L. Klein, A. Gedanken, J. Phys. Chem. B, 110, 17711(2006).

48. A. Safavi, S. Momeni, M. Tohidi, Electroanalysis, 24, 1981(2012).

49. A. Safavi, M. J. Tohidi, Nanosci. Nanotechnol., 14, 7189(2014).

50. H. Ullah, C. D. Wilfred, M. S. Shaharun, J. Chin. Chem. Soc., 64, 1164(2017).

51. J. R. Lee, J. C. Park, E. M., Han, T. W. KIM, (2020, November). Synthesis of Silver Nanocatalysts Using Microwave Irradiation in Ionic Liquid for Reduction of Carbon Dioxide to CO By Solar-Driven Electrochemical. In Electrochemical Society Meeting Abstracts prime2020 (No. 63, pp. 3224-3224). The Electrochemical Society, Inc..

پژوهش های شیمیایی و نانومواد
Chemical Research & Nanomaterials(CRN)
https://sanad.iau.ir/journal/crn

A short review on the synthesis of nanomaterials by microwave heating in the presence of ionic liquids

M. Tohidi*, A.H. Ghanbari

Department of Nanochemical Engineering, Faculty of Advanced Technologies, Shiraz University. Iran

Abstract: Metallic nanostructures have received a lot of attention. Rapid synthesis using microwaves is a suitable technology that has great potential for use in industrial fields due to the significant reduction in reaction time, increase in product yield, and the use of safe heating sources. The heating method with the help of microwaves has attracted a lot of attention as a suitable method for the synthesis of metal nanostructures in the solution phase. This method has been used to synthesize many nanostructures such as Ag, Au, Pt, Pd and Au-Pd. Not only spherical nanoparticles, but plate, rod, wire, tube and dendritic nanostructures are prepared in a few minutes. Generally, nanostructures with smaller size, narrower size distribution and higher degree of crystallinity are prepared method compared to conventional oil bath heating methods. On the other hand, room temperature ionic liquids (RTILs) have attracted much attention in recent years. ILs can absorb microwaves and increase the reaction speed and decrease the reaction time. The large cations with high polarizability in ILs make these materials suitable solvents for absorbing microwaves. Therefore, the use of microwaves as a heat source along with ILs as a catalyst, solvent, additive, co-solvent and template leads to the creation of a fast and environmentally friendly method (MAIL) for the synthesis of various nanostructures.

Keywords: Ionic liquid, Microwaves, Nanostructure, Nanotechnology

*Correspondent Author Email: *matohidi@Shirazu.ac.ir*