

فصلنامه سرامیک ایران

نشریه خیری تحلیلی، آموزشی، پژوهشی و صنعتی
انجمن سرامیک ایران

سال ششم، شماره بیست و هشتم و بیست و نهم

زمستان ۱۳۹۰ و بهار ۱۳۹۱

ISSN: ۱۷۳۵-۲۳۵۱

« با درجه علمی ترویجی »

صاحب امتیاز:

انجمن سرامیک ایران

مدیر مسئول:

دکتر واهاک کاسپاری مارقوسیان

سر دبیر:

دکتر حسین سرپولکی

مدیر اجرایی:

سعیده علیشاهی

گردآوری مطالب و سرپرست گروه مترجمین:

مهندس محمد ولاشجردی

نشانی:

تهران، نارمک، دانشگاه علم و صنعت ایران، دانشکده

مهندسی مواد و متالورژی، دفتر انجمن سرامیک

ایران

صندوق پستی: تهران، ۱۱۱-۱۶۸۴۵

تلفن:

۷۷۸۹۹۳۹۹

دورنگار:

۷۷۸۹۹۳۹۹

پست الکترونیکی: info@ICerS.org

نشانی سایت اینترنتی: www.ICerS.org

طراحی، گرافیک، صفحه آرای و نظارت بر

چاپ:

تمام طرح ۷۷۲۰۹۲۲۸

هیأت تحریریه

دکتر بیژن افتخاری یکتا

دکتر علیرضا آقایی

دکتر سعید باغشاهی

دکتر محمد علی بهره ور

دکتر علی بیت الهی

مهندس علیرضا سوری

دکتر مهران صولتی

دکتر احسان طاهری نساج

دکتر محمد علی فقیهی ثانی

مهندس حسین قصابی

دکتر عباس کیانوش

دکتر فرهاد گلستانی فرد

دکتر فتح ا... مضطرزاده

دکتر علیرضا میرحبیبی

دکتر علی نعمتی

دکتر رحیم نقی زاده

دکتر علی محمد هادیان

دکتر عباس یوسفی

دانشگاه علم و صنعت ایران

پژوهشگاه مواد و انرژی

دانشگاه بین الملل امام خمینی

پژوهشگاه مواد و انرژی

دانشگاه علم و صنعت ایران

دانشگاه ملایر

دانشگاه صنعتی امیرکبیر

دانشگاه تربیت مدرس

دانشگاه صنعتی شریف

دانشگاه علم و صنعت ایران

دانشگاه تبریز

دانشگاه علم و صنعت ایران

دانشگاه صنعتی امیرکبیر

دانشگاه علم و صنعت ایران

دانشگاه صنعتی شریف

دانشگاه علم و صنعت ایران

دانشگاه تهران

مرکز تحقیقات پرتاووس

گروه مشاوران

مهندس جلیل آربین پور

مهندس سیروس ارجمند نیا

دکتر علی اصغر بهنام قادر

دکتر جعفر جواد پور

مهندس نادر خلیلی

دکتر حمید رضا رضایی

مهندس سیروس روشنفکر فلاح

مهندس میر حسام الدین داعی نیایکی

مهندس محمود سالاربه

دکتر آرمان صدقی

دکتر احمد صفری

دکتر اسماعیل صلاحی

دکتر تورج عبادزاده

مهندس حسین عزیزبان

دکتر پروین علیزاده

مهندس مهران غفاری

دکتر عباس فاضلی

دکتر کاووس فلامکی

مهندس عباسعلی قصابی

دکتر کاظم قنبری

دکتر مهرداد کشمیری

دکتر علیرضا گنجی

مهندس یحیی ماله میرچگینی

دکتر امیر عباس نوربخش

مجله ایران سرام

شرکت بازرگانی گیتا

پژوهشگاه مواد و انرژی

دانشگاه علم و صنعت ایران

شرکت نسوز مهر

دانشگاه علم و صنعت ایران

شرکت تجهیز مواد پیشگام

شرکت گل سرخ گستر امل

شرکت آرمیناز

دانشگاه بین الملل امام خمینی

دانشگاه ایالتی نیوجرسی

پژوهشگاه مواد و انرژی

پژوهشگاه مواد و انرژی

صنعت سیمان

دانشگاه تربیت مدرس

صنعت چینی مطروف

سازمان زمین شناسی کشور

پژوهشگاه مواد و انرژی

شرکت چینی زرین ایران

دانشگاه شفیلد انگلستان

دانشگاه بریتیش کلمبیا

شرکت معدنی و صنعتی

سوراوجین عقیق

شرکت سینا کاشی

سرامیک نوین سپاهان

فهرست مطالب:

۱	افبار و تازه‌های سرامیک
۷	گزارش‌های علمی
۲۹	تاریخچه انجمن سرامیک اروپا
۳۴	گزارش جلسات هیئت مدیره و هیئت تحریریه انجمن سرامیک ایران
۳۷	گزارش گروه واژه‌گزینی فرهنگستان زبان و ادب فارسی
۳۸	گزارش مسابقه سرامیک
۴۰	نمایشگاه CEVISAMA 2012 - اسپانیا، والنسیا - ۷ الی ۱۰ فوریه ۲۰۱۲
۴۱	ممبران‌های فوتو کاتالیستی انواع، فواید، کاربرد
۵۵	مروری بر اثر فعال‌سازی مکانیکی و افزودنی در تشکیل مولایت در دو دهه گذشته
۶۴	بررسی فواید اپتیکی شیشه‌سرامیک‌های شفاف سیستم لیتیوم آلومینوسیلیکات
۷۴	تأثیر اتمسفر سینتر بر دیرگدازهای کاربرد سیلیسیم دارای بالکلی ایرانی
۸۲	مصاحبه (آقای دکتر علی نعمتی)
۸۶	معرفی پایان‌نامه‌های تمصیلات تکمیلی
۹۲	تازه‌های نشر
۹۵	تقویم همایش‌ها
۹۷	لیست اعضای مقوقه انجمن سرامیک

اصلاح و خلاصه کردن مطالب با نظر مترجمان و نویسندگان انجام می‌شود. مسئولیت محتوای مقالات به عهده نویسندگان و مترجمان است. مطالب ارسالی برگردانده نمی‌شود.

با همکاری:

خانم‌ها مهناز سادات محسنی، مهسا پهلوان، رعنا یگانی، سعیده تفضلی، فریبا حمیدی و آقایان متین سائسی، حسین اسفندیار و نوید صولتی



توضیح عکس روی جلد:

طرح شماتیک گرمایی یک شاتل فضایی در حال عبور از اتمسفر

توضیح عکس پشت جلد:

نانو پولکی‌های نقره

اخبار و تازه‌های سرامیک

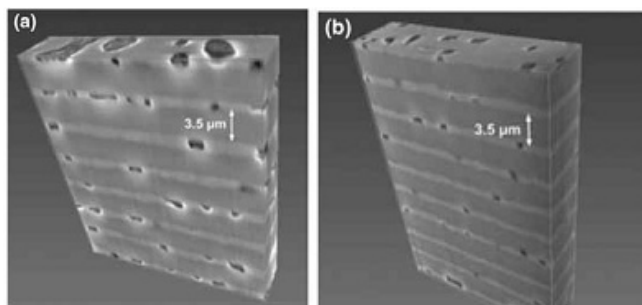
برپایی هفتمین نمایشگاه تخصصی کاشی و سرامیک در اهواز

هفتمین نمایشگاه تخصصی کاشی، سرامیک، چینی‌آلات و سنگ‌های تزئینی در اهواز برگزار شد. به گزارش خیرگزاری فارس از اهواز، هفتمین نمایشگاه تخصصی کاشی، سرامیک، چینی‌آلات و سنگ‌های تزئینی از ۲۴ تا ۲۸ بهمن ماه در محل دائمی نمایشگاه‌های خوزستان برگزار گردید. مدیرعامل شرکت نمایشگاه‌های بین‌المللی خوزستان در حاشیه افتتاحیه این نمایشگاه در گفت‌وگو با خبرنگاران گفت: همزمان با این نمایشگاه دو نمایشگاه با موضوع صنعت ساختمان شامل چهارمین نمایشگاه تخصصی حمام، سونا، جکوزی و استخر و سومین نمایشگاه تخصصی تزئینات و دکوراسیون داخلی نیز برپا شده است. رحیم جلیلی اظهار داشت: ۲۵ واحد از استان‌های اصفهان، تهران، خوزستان، یزد، کرمانشاه و گیلان در این نمایشگاه حضور دارند. به گفته وی، ۳ هزار و ۵۰۰ مترمربع فضای نمایشگاهی در اختیار شرکت‌کنندگان قرار گرفته است.

پخت سریع در ساخت خازن‌های سرامیکی چند لایه‌ای (MLCC) مفید است یا مضر؟

www.mri.PSU.edu/centers/CDS

گروهی از محققان به سرپرستی "کلیو راندبال" از دانشگاه Pen State اخیراً مقاله‌ای تحت عنوان "تأثیرات سرعت پخت بر مورفولوژی الکترودها و خواص الکتریکی خازن‌های سرامیکی چند لایه‌ای" در مجله American Ceramic Society به چاپ رساندند. (به دلیل پیشرفت فرآیند طی دهه اخیر، ظرفیت خازن‌های سرامیکی چند لایه‌ای به طور قابل توجهی افزایش یافته است. با این حال با کوچکتر شدن اندازه دستگاه‌ها، کاربرد آن‌ها به خاطر نداشتن خواص الکتریکی ذوب که می‌تواند ناشی از مورفولوژی سطح مشترک الکترودها-دی‌الکتریک و عیوب ریز ساختاری آن‌ها مانند تخلخل و ناهمگنی این دو باشد، محدود می‌شود.



زیر ساختار سه بعدی یک MLCC نمونه، ساخته شده توسط محققان Pen State در حالت (a) پخت آهسته (b) پخت سریع.

یکی از مشکلات پخت MLCCها این است که باریم و تیتانیوم (از لایه‌های $BaTiO_3$ دی‌الکتریک) و نیکل (از لایه‌های الکترودها) باعث تشکیل آلیاژی از Ba-Ti-Ni با نقطه ذوب پایین می‌شود که منجر به بی‌ثباتی الکترودها می‌گردد. یکی از راه‌های جلوگیری از مشکلات حاصل از تشکیل آلیاژ پخت سریع و یا به عبارت دیگر استفاده از سرعت بالای حرارت‌دهی تا رسیدن به دمای پخت، می‌باشد. با این حال حتی با پخت سریع، سطح مشترک پیوسته و مسطحی بدست نخواهد آمد که این مسأله خود باعث محدود کردن کارایی دستگاه می‌شود.

آزمایشات نشان می‌دهند که تفاوت در سرعت پخت باعث ایجاد مور فولوژی‌هایی بسیار متنوع می‌شود. دو بچ از MLCC در دمای تقریباً 1280°C به مدت دو ساعت تحت فشار یکسان ولی با دو سرعت پخت متفاوت ۱۵۰ و ۳۰۰۰ درجه سانتی‌گراد در ساعت با هم پخته شدند. تیم به منظور پیش‌بینی نتیجه، از فاکتورهای مقایسه‌ای محدود استفاده کردند.

همچنان که انتظار می‌رفت، پیوستگی الکترودها در بچ با سرعت پخت بالاتر، بیشتر بود و اندازه‌گیری‌ها نشان می‌دهند که ظرفیت دستگاه نیز در این حالت بیشتر است و همچنین سطح مشترک الکترودها - دی الکتریک و مرز دانه‌ها در افزایش ظرفیت MLCC مؤثر می‌باشد. (اگرچه در این مورد تأثیر سطح مشترک بسیار بیشتر از مرز دانه‌هاست). بچ دارای سرعت پخت پایین‌تر دارای تمرکز بالای عیول در الکترودها است که این خود باعث کاهش جریان می‌شود، چرا که پیش‌بینی تیم FEA نیز همین بود. این تیم معتقد است که سطح مشترک، نقش مهمی را در کارایی MLCC بازی می‌کند بطوریکه مور فولوژی الکترودها می‌تواند طوری کنترل شود که قابل پیش‌بینی گردد.

اجزاء سرامیکی، فیبرها و غضروف‌های پلیمری که در معرض اشعه گاما چقرمه می‌شوند.

American Ceramic Society Bulletin, Vol. 90, No. 9

پژوهشگران جامعه تکنولوژی صنعت کانگژو (CIT) درصدد یافتن راه حلی برای رفع مشکل خستگی دو ماده پلی اتیلن و پلی ترترکتون که به عنوان پوشش شبه غضروف برای اتصال پروتزها هستند.

آن‌ها با افزودن فیبر و اجزاء یک سری سرامیک‌های ناشناخته شروع به تغییر دادن غضروف‌های ساخته شده از UHMWPE و PEEK کردند که طبق گفته آن‌ها ساختار فضایی مواد را بهبود می‌بخشد (البته نه میزان که تمام خستگی را حذف کند. زمانیکه آن‌ها مخلوط را با انفجار اشعه گاما خاموش کردند تصادفاً به یک نمونه غضروفی با عملکرد خوب دست یافتند. آن‌ها می‌گویند که اشعه تابیده شده از ترکیب زنجیره اصلی پلیمر را می‌شکند



بدون آنکه ساختار کلی غضروف مصنوعی گسیخته شود. رادیکال‌های آزاد ایجاد شده خواص مکانیکی و خواص تریبولوژیکی را بهبود می‌بخشد.

بر طبق اخبار منتشر شده، این گروه معتقدند که غضروف‌های کامپوزیتی تولید شده می‌توانند مفاصل پلاستیکی را طی عملیات جابجایی سفت کنند تا برای مدت طولانی مقاوم باشند. بنابر ادامه اخبار، در اثر انفجار گاما چون در پلیمرها کشش زیادی موجود نیست هیچ راهی برای شکستگی‌های ریز جهت انتقال در طول ماده وجود ندارد.

زو و دیگر افراد گروه می‌گویند که کامپوزیت نسبت به پوشش مفاصل مصنوعی مثل نایلون و پلیمرهای تفلون مزیت دارد، علت این مزیت این است که پلیمرها ضایعات تولید می‌کنند که سرانجام باعث التهاب و درد می‌شود. همچنین معتقدند کامپوزیت‌ها از لحاظ زیستی سازگارترند و احتمالاً میزبان

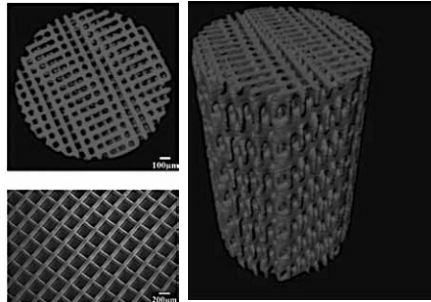
(زمینه) خوبی برای افزودن سلول‌های تولید استخوان می‌باشند. کارهای انجام شده در نشریه بین‌المللی Biomedical Engineering & Technology منتشر شده است.

پیشرفت‌های اخیر در زمینه داربست‌های شیشه‌ای با استحکام بالا در ترمیم استخوان

WWW.als.Lbl.gov

محققان زمینه شیشه و سرامیک به دنبال مواد و روش‌های ساختی هستند که بتوانند داربست با استحکام بالا، تحمل خوب و قابلیت تغییر شکل و هزینه پایین برای جایگزینی و بازسازی استخوان‌ها ارائه دهند. محصول نهایی باید به گونه‌ای باشد که بتواند یک میزبان موقت برای بافت‌های طبیعی باشد تا قالب مناسبی را تشکیل

داده (که بتواند رشد سلول‌ها، انتقال مواد غذایی، عرق کردن را پشتیبانی کند) به وسیله بدن دوباره جذب گردد. با نگاه به استخوان‌ها، متوجه خواهیم شد که هیچ یک از آن‌ها به یک روش عمل نمی‌کنند. برای مثال استحکام بافت در مفصل و استخوان‌های نگهدارنده بار باید خیلی بالا است (حداقل در محور طولی استخوان‌ها) محققان در آزمایشگاه بین‌المللی Lawrence Berkeley اخیراً کارهای جالبی انجام داده‌اند و نتایج آن را گزارش کرده‌اند. به علاوه محققان دانشگاه Imperial مواد سبک و پیشرفته‌ای با استفاده از شیشه‌های مخصوص بیواکتیو (6P53B) و روش ریخته‌گری مصنوعی برای ساخت نمونه‌های با تخلخل زیاد و محکم در مقابل استحکام فشاری ارائه کرده‌اند. حال چگونه می‌توان شیشه‌های کامپوزیتی و شیشه‌های شناخته شده 45S5 (بیوشیشه‌ها) را که توسط سری هنس توسعه یافته‌اند، مقایسه کرد مهم‌ترین تفاوت در این است که 6P53B



شامل MgO , K_2O است که بیوشیشه‌ها فاقد آن هستند، همچنین SiO_2 بیشتری نیز دارند. به عبارت دیگر، بیوشیشه‌ها CaO, Na_2O بیشتری دارند. آزمایشگاه دانشگاه برکلی از حدود سال ۲۰۰۶ روی استفاده از ریخته‌گری مصنوعی^۱ داربست 6P53B و انجام تست‌ها در شرایط مختلف، فعالیت کرده‌اند.

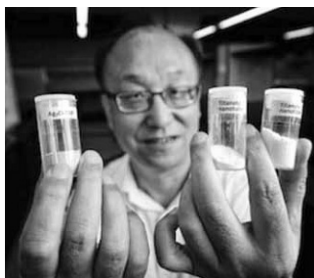
ریخته‌گری مصنوعی روش رسوب سه بعدی به چاپ با استفاده از دوغابی که پودر شیشه در آن به حالت معلق

(سوسپانسیون) قرار دارد و توسط رایانه کنترل می‌شوند اطلاق می‌شود. رایانه ساختار سه بعدی را به صورت لایه-لایه می‌سازد. گروه‌های دیگر نیز از روش مشابه استفاده می‌کنند که برای مواد زیستی قابل کاشت می‌باشند. در مورد ریخته‌گری مصنوعی، پژوهشگران اعتقاد دارند این روش اجازه ساخت کنترل شده بافت را می‌دهد و داربست‌هایی را تولید می‌کند که از مدل کامپیوتری پیروی می‌کند و شیشه با ترکیب و شکل مطلوب و دلخواه پخته می‌شود. بنابراین امکان طراحی داربست‌های شیشه‌ای با سرعت‌های متغیر از هم پاشیدگی وجود دارد تا با رشد استخوان‌ها و تغییر وضع آن‌ها برهم منطبق شوند. این دانشمندان اظهار می‌کنند موفقیت ساخت داربست با استحکام فشاری در محدوده‌ای مورد نیاز برای استخوان‌های متراکم (تقریباً در حدود 136Mpa)، زمانی به دست می‌آید که به اندازه کافی تخلخل جهت تحریک جابجایی رشد سلول و یون وجود داشته باشد. بر طبق گزارش منتشر شده: "در داربست‌های با تخلخل‌های یکسان، استحکام داربست‌های متخلخل شیشه‌ای در حدود ۱۰۰ برابر داربست‌های پلیمری و ۴-۵ برابر داربست‌های شیشه‌ای و سرامیکی می‌باشد". اعمال زیستی داربست‌های شیشه‌ای در حیوانات کوچک مثل موش و همچنین حیوانات بزرگ مثل خوک‌های مینیاتوری در حال حاضر در دانشگاه‌های کالیفرنیا، سن فرانسیسکو تحت ارزیابی است.

تعویض یونی باعث به دام افتادن رادیو ایزوتوپ‌ها در نانو فیبرهای زمینه تیتانی می‌شود.

American Ceramic Society Bulletin, Vol. 90, No. 9

رها شدن مواد رادیو اکتیو به دلیل صدماتی که سونامی اخیر به کارخانه تولید انرژی هسته‌ای "دای ایچ" فوکوشیما



وارد آورد، باعث افزایش هشجاری عمومی نسبت به مسأله زباله‌های هسته‌ای شده است. در این زمینه تشعشعات در مقیاس کوچک از کارخانه‌های تولید انرژی هسته‌ای و زباله‌های رادیو اکتیوی حاصل از آزمایشات و تحقیقات پزشکی، شایع‌ترند و باید تحت کنترل بیشتری قرار گیرند. نگهداری مواد رادیواکتیو چالش بزرگی است چرا که نتایج یک تحقیق جدید نشان می‌دهد که نشر زباله‌های اندازه کوچک (کوچک حتی در

¹ Robo Casting

مقیاس نانو) هم می‌تواند چالش برانگیز باشد. محققان دانشگاه صنعتی کویین اسلند استرالیا با همکاری گروهی از دانشگاه پنسلوانیا، با استفاده از نانو فیبرهای زمینه تیتاناتی و نانو تیوب‌ها، به روشی ارزان، مؤثر و برگشت‌ناپذیر برای دفع زباله سزیم رادیو اکتیو دست یافته‌اند. یک تیم بین‌المللی چند مؤسسه‌ای، به سرپرستی پروفیسور هایونگ ژو در مقاله‌ای نشان داده‌اند که نانو فیبرهای $\text{Na}_2\text{Ti}_3\text{O}_7$ و نانو تیوب‌ها می‌توانند در گرفتن و نگهداری یون‌های Cs^+ و I مؤثر باشند. تیتانات سدیم این مزیت را دارد که سنتزی آسان و اقتصادی در حین فرایندهای هیدروترمال دارد. ایزوتوپ‌های سزیم می‌توانند توسط جایجایی کاتیون‌های غیرآلی به وسیله موادی چون سیلیکا و تیتانات‌ها با ژئولیت‌ها، میزآل‌های رسی، زیرکونیوم فسفات‌های لایه‌ای و یا سولفیدهای لایه‌ای، به دام می‌افتند. این مواد می‌توانند در برابر تشعشعات بسیار قوی و دماهای بالا مقاومت کنند و دارای ظرفیت بالایی برای تعویض یونی می‌باشند. متأسفانه، فرآیند تعویض یونی برگشت‌پذیر است که این بدین معناست که یون‌های رادیواکتیو در صورت در معرض آب قرار گرفتن، می‌توانند به محلول برگرداند.

از طرف دیگر، تیتانات سدیم ساختاری لایه‌ای دارد و TiO_6 ، واحدهای پایه را با یون‌های Na^+ در بین لایه‌ها شکل می‌دهد. ایزوتوپ رادیواکتیو $\text{Cs}^+ \text{B6}$ در یک جایجایی یونی ساده گرفتار می‌شود. تیم، ویژگی‌های جذب سطحی شیمیایی دو شکل نانو فیبر نانو تیوب‌های تیتانات سدیم را با هم مقایسه می‌کند. به ترتیب، نانوتیوب‌های ظرفیت جذب بسیار بالاتری دارند و قادرند حدود ۸۰٪ یون‌ها را از محلول خارج کنند و در مقایسه این مقدار برای نانو فیبرها حدود ۳۶٪ می‌باشد.

نانو فیبرها و نانو تیوب‌ها، یون‌های I را از طریق مکانیزم دیگری جذب می‌کنند. چون I^- آنیون است، تعویض یونی مستقیم با سدیم ممکن می‌نماید. به وسیله نانو فیبرها و نانو تیوب‌های تیتانات سدیم با ریز ذرات اکسید نقره (OAg_2)، یون‌های I^- می‌توانند به وسیله واکنش‌های شیمیایی اعم از تشکیل ترکیبات میانی، هیدراسیون و یا دهیدراسیون، در نانو فیبرها یا نانو تیوب‌ها انباشته شوند. مطالعات شیمی و کریستالوگرافی ترکیب به منظور فراهم آوردن خواص مناسب برای جذب، مورد استفاده قرار می‌گیرند.

آزمایش‌ها نشان می‌دهند که نرخ استخراج یون‌های I^- در محلول بسیار پایین است. لذا نانو فیبرها و نانوتیوب‌های تیتانات سدیم با OAg_2 ، به عنوان عواملی مؤثر در گرفتار کردن یدهای رادیواکتیو مطرح می‌شوند. در این مقاله به امکان دسترسی به نانو فیبرها و نانو تیوب‌ها پس از تکمیل فرآیند گرفتار شدن با استفاده از تعویض یونی، اشاره‌ای نشده است.

در بیانیه‌ای از طرف QUT، یکی از مؤلفین مقاله، "ژو"، اذعان داشت که "یک گرم از این نانو فیبرها می‌تواند در حد قابل توجهی در تخلیص دست کم یک تن آب آلوده شده مؤثر واقع شود." اگر چنین باشد ماده باید افزودنی‌ای اقتصادی باشد و به توان به آسانی با آن کار کرد تا موجب سهولت در مدیریت و کار کردن با زباله‌های هسته‌ای که شامل ایزوتوپ‌های ید و سزیم می‌شوند، گردد.

در عکس پروفیسور "ژو" از دانشگاه صنعتی کوئین اسلند، ظرف‌های حاوی نانو فیبرها و نانو تیوب‌های تیتانات سدیم را که ایزوتوپ‌های رادیواکتیو سزیم و ید را با تعویض یونی از آب آلوده خارج می‌سازد، نشان می‌دهد.

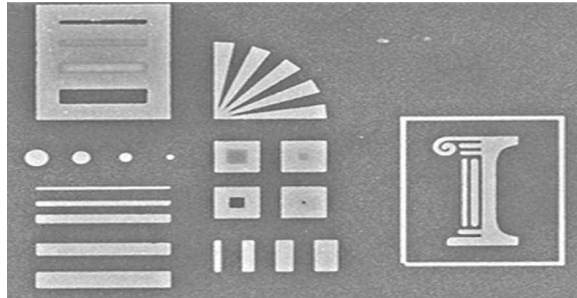
شیشه‌های فسفاتی سوپر یونی برای ساخت LOC

American Ceramic Society Bulletin, Vol. 90, No. 9

با پیشرفت تکنولوژی آزمایشگاهی بر روی یک قطعه^۱، استفاده از شیشه‌های کوچک خون‌گیری جهت تشخیص به تاریخ خواهد پیوست. LOC دستگاه‌هایی خاص از سیستم میکروالکترو مکانیکی هستند که آن‌ها را یک ردیف از سنسورهای تشخیص‌دهنده، تشکیل می‌دهند. به عنوان مثال امکان این وجود دارد که LOC‌ها بتوانند سلول‌های سرطانی را تنها از یک قطره خون تشخیص دهند. کاربردهای دیگر LOC‌ها شامل ایمنی

¹ lab-on-a-chip (LOC)

سنجی، سنجش زیست شیمیایی، واکنش‌های زنجیره‌های پلیمری (که در مورد رشته‌های DNA مورد استفاده قرار می‌گیرند) و... می‌باشند. در کنار کاهش ترس از خون‌گرفتن، LOCها انتخاب خوبی برای مسئولین سلامت در مناطقی با کمبود ذخایر دارویی و تجهیزات آزمایشگاهی به حساب می‌آیند. جهت دستیابی به مزایای این کاربردها، لازم است که صنعت LOCها قابل تولید و همچنین تجدیدپذیر باشند. هر کدام از روش‌های ساخت موجود مثلاً لیتوگرافی اشعه الکترونی و استفاده از تکنولوژی نانو معایب خود را دارند این عیوب برای این دو روش به ترتیب هزینه بالا و دقت کم است. اگرچه، روش جدید که از بسته شیشه‌ای جهت تکرار مدل‌ها روی لایه بنیادی در آن استفاده می‌شود آینده‌ای روشن به عنوان یک راه مقرون به صرفه جهت ایجاد یک مدل با قدرت تفکیک بالا که یک فاکتور کلیدی در ساخت LOCها را نوید می‌دهد.



مدل LOC شیشه‌ای ساخته شده با اتصالات نقره که با دقت بالا و در مقیاس نانومتری عمل می‌کند. قطر این مدل در حدود ۱۰ میکرون (یک چهارم طر موی انسان)

یک گروه در MIT مقاله‌ای را در زمینه نانو تکنولوژی تهیه کرده‌اند که استفاده از شیشه‌های متا فسفات نقره سوپر یونی را جهت بالا بودن دقت و طرح‌های روی نقره در مقیاس نانو را توصیف می‌کند. این کار به وسیله دمنده‌های شیشه‌ای و قابگیری و شکل‌دهی سریع و یکنواخت مذاب شیشه انجام می‌گیرد. نیکولاس فانگ در اخبار منتشر شده در رابطه با ریخته‌گری شیشه می‌گوید: این روش در مقیاس کوچک نیز به خوبی و سرعت بالا کار می‌کند.

شیشه‌ای که فانگ روی آن مطالعه کرده $AgI-AgPO_3$ یک جامد الکترولیتی است که در دمای اتاق انتقال یونی بالایی دارد و یون Ag^+ آن بسیار بالا است. اجزا با ترکیب‌های دارای نقطه ذوب پایین در یک سرنگ کوچک در دمای کمتر از ۲۰۰ درجه سانتیگراد ذوب شدند و به داخل مدل نمونه فلزی فشرده شدند. سپس مدل‌ها به جزء نقره متصل شده و یک ولتاژ بالا به لایه نقره اعمال شد. این ولتاژ یون‌ها را در شیشه و صفحه نقره تحریک کرد. بنا به گزارش این گروه مدل‌ها با خصوصیات هندسی متنوع به وسیله قدرت تفکیک ۳۰nm و سرعت تحریک حدود ۳۰nm/s ساخته شدند. مدل نمونه‌های فلزی هنوز باید با استفاده از تکنیک‌های لیتوگرافی گران ساخته شوند اما مدل‌های شیشه‌ای دروازه‌ای را رو به تولید انبوه و مقرون به صرفه LOCها باز کرده‌اند. فانگ می‌گوید: با ما می‌توانم صدها نوع از این سنسورها را دوباره تولید کنم که تقریباً همه آن‌ها یکسان باشند.

نمایشگاه آثار سفال و سرامیک در نگارخانه سیمرغ گشایش یافت.



به گزارش خبرگزاری موج با تلاش انجمن سفال و با حمایت اداره فرهنگ و ارشاد اسلامی شهرستان سمنان نمایشگاه حجم و نقش در نگارخانه سیمرغ سمنان گشایش یافت. به گزارش خبرگزاری موج به نقل از روابط عمومی اداره کل فرهنگ و ارشاد اسلامی استان سمنان؛ در افتتاحیه نمایشگاه حجم و نقش سمنان رییس انجمن سفال سمنان گفت: ۸۰ اثر از ۲۶ هنرمند این انجمن در این نمایشگاه به نمایش گذاشته شده که اکثریت کارها در

دوسالانه سفال و سرامیک امسال پذیرفته شده بود. فتح‌الله زیارتی افزود: در این آثار از تکنیک‌های مختلف، لعاب‌های خاص، نقش روی حجم، نقاشی روی کاشی و... استفاده شده است. وی در ادامه خاطرنشان کرد: علاقه‌مندان می‌توانند همه روزه تا ۱۸ اسفندماه از ساعت ۱۷ تا ۲۰ جهت بازدید به نگارخانه سیمرغ فرهنگسرای کومش مراجعه نمایند. لازم به ذکر است در مراسم افتتاحیه این نمایشگاه مدیر کل فرهنگ و ارشاد اسلامی استان سمنان و جمعی از هنرمندان استان حضور داشتند.

یافتن بهترین جوهر برای چاپ قسمت‌های سرامیکی

تکنیک چاپ جوهر افشان بر مواد بسیار زیادی اعمال می‌شود. اما روش‌های ساخت شکل‌های پیچیده با استفاده از این روش برای سرامیک‌ها توجه زیادی را در سال‌های اخیر به خود جلب کرده است. روش‌هایی چون استریو لیتوگرافی، لیزر زینترینگ انتخابی و چاپ سه بعدی به منظور تولید اشکال هندسی پیچیده و یا بخش‌هایی متشکل از مواد با جنس‌های مختلف، مستقیماً از یک مدل دیجیتالی، مورد استفاده قرار می‌گیرند. خطی مشی این روش‌ها را می‌توان به دو دسته تقسیم کرد: چاپ جوهر افشان مستقیم سرامیک و چاپ سه بعدی.

در مورد اول، جوهری متشکل از ذرات سرامیکی روی یک لایه چاپ شده و در میان انبوهی از لایه‌های چاپ شده صورت می‌گیرد. در مورد دوم، محلول چسب روی بستری از پودر چاپ شده و باعث چسبیدن ذرات پودر به یکدیگر می‌شود.

هم اکنون، "د.آ. پلسا کیویز" و "دبلیو. کلنبرگ" از دانشگاه علمی کاربردی بن - راین - سیگ در آلمان، به جوهرهایی برای استفاده در هر چاپ با ظرفیت بالای دست یافته‌اند و برای این کار از جوهرهای آلومینایی استفاده کردند و اثر بارگذاری، تمرکز ذرات پخش شده و عامل چسبیده شدن را در جامدهای گوناگون آزمایش نمودند.

"پلسا کیویز" و "کلنبرگ" به این حقیقت دست یافتند که یک ترکیب دوتایی از آب و اتیلن گلیکول می‌تواند به عنوان حلال برای ذرات آلومینایی به کار رود و نیز ویژگی‌ای حلال می‌تواند با ترکیبات متنوعی سازگار شود. با در نظر گرفتن این مسأله، ویسکوزیته با افزایش میزان جامد افزایش یافت. ژئولوژی جوهرها متأثر از تغییرات کوچک اندازه ذرات و یا سطح مخصوص نبود. با این حال میزان تنش سطحی بسته به میزان پودر مصرف شده تغییر کرد. البته به منظور تأیید صحت این نتایج به آزمایش‌های بیشتری نیاز است. علاوه بر این، آزمایش‌های چاپ بیشتری نیز برای تأیید صحت این فرضیه فوق‌العاده لازم می‌باشد. محققان بر این باورند که بارگذاری بالای جامد می‌تواند بدون افزایش میزان ویسکوزیته نیز ممکن باشد.

به اطلاع می‌رساند

شرکت‌های سارا کاشی سپاهان، تهیه و تولید خاک نسوز آباده، کاشی طوس،
مهندسين مشاور کاوشگران، صنایع سرامیک بهرنگ، چینی بهداشتی ارس و
صنایع کاشی زرین خراسان

در سال ۱۳۹۱ به اعضای حقوقی انجمن سرامیک ایران پیوستند.

امید است با گسترش اعضای حقوقی انجمن و همکاری‌های متقابل این اعضا با انجمن سرامیک ایران، شاهد توسعه فعالیت‌های انجمن باشیم.

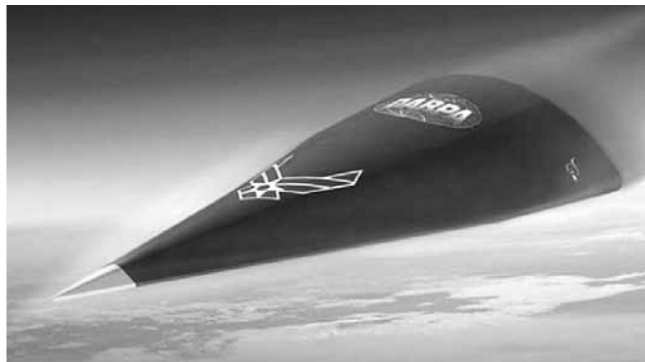


گزارش‌های علمی

کامپوزیت‌های UHTC برای کاربردهای هایپرسونیک

منبع: 1. Acers Bulletin Vol 91 No 1

نسوزهای غیر اکسیدی از لبه‌های جلویی وسایل نقلیه‌ی هایپرسونیک در طول پرواز حفاظت می‌کنند. رویای بسیاری دانشمندان، مهندسان وسیله‌ی نقلیه‌ی هوا فضایی است که می‌تواند از فرودگاه بلند شده در فضا به



پرواز در آید و به مناطق دیگر زمین با سرعت هایپرسونیک سفر کند و دوباره به همان فرودگاه یا در فرودگاه دیگری بنشیند. این رویا با استفاده از برنامه‌هایی مانند برنامه‌ی وسیله‌ی نقلیه با تکنولوژی هایپرسونیک به حقیقت می‌پیوندد.

وسایل نقلیه‌ی هایپرسونیک به

لبه‌های جلویی تیزی نیاز دارند تا بتوانند توانایی مانور دادن در خارج یا وارد شدن به اتمسفر را داشته باشند، این لبه‌ها با دماهایی بالاتر از ۲۰۰۰ درجه‌ی سانتی‌گراد هم رو به رو می‌شوند و در اثر برخورد با پلاسمای اتمسفر در همان سرعت‌های هایپرسونیک گرم شوند. چالش‌های دیگری مانند اکسیداسیون شدید، فلاکس گرمایی بسیار زیاد و تنش‌های مکانیکی بالا نیز وجود دارند. بنابراین اجزاء لبه‌های جلویی هواپیما، کامباسترها و سیستم هدایت حرارتی به موادی نیاز دارند که بتوانند در اثر حرارت بالا، بار گذاری‌های ناشی از فشارهای هوایی و فشارهای مکانیکی که این هواپیما در طول پرواز تجربه می‌کند مانند مواد سرامیکی با تحمل بالا ایستادگی کنند. به طور نمونه انواع غیر اکسیدی که دمای ذوب و تجزیه آنها در بالاتر از ۳۰۰۰ درجه‌ی سانتی‌گراد است مانند بوریدها، نیتریدها و کاربیدهای گروه فلزهای IV-V در جدول مندلیف مانند HfB_2 , ZrC , HfC , HfN و ZrB_2 .

پیشرفت و توسعه‌ی سرامیک‌های غیر اکسیدی همگام با دیگر سرامیک‌ها رشد نکرده است زیرا این مواد به ندرت در طبیعت یافت می‌شوند و به پروسه‌ای که در آن کاهش اتمسفر و تمایل به اکسید شدن حتی در دمای اتاق، (مخصوصاً در پودرهای از نوع ریز دانه) کنترل شده باشد نیاز دارند. در نتیجه فهم شیمی بلور و نسبت خواص آماده سازی (میکروساختار) آنها برخلاف اکسیدهای ساده، سیلیکات‌ها، فسفات‌ها و سیستم‌های پیچیده‌ی اکسیدی مشکل است. به نتیجه رسیدن این رویا به یک انقلاب هوانوردی و راه حلی برای حل چالش سیستم حفاظتی حرارتی وسیله نیاز دارد که در این امر UHTC¹ ها نقش موثری دارند.

این تحقیق بر روی بهبود اکسیداسیون و خواص ترمومکانیکی سرامیک‌های دما بالا تمرکز دارد، اما بعضی از این تحقیق‌ها نیاز به گسترش مرزهای اندازه‌گیری مواد دارند. زیرا دماها و فلاکس‌های حرارتی بسیار بالا

¹ Ultra high temperature ceramic

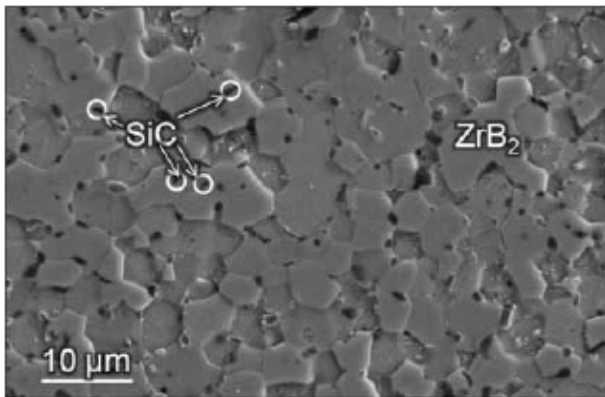


هستند. راه‌های مختلف ساخت قطعات شامل پرس گرم، زینتر بدون فشار، سنتزهای دما بالای خود پختی و فشار گرم واکنشی و زینتر پلاسمای جرقه‌ای تحت بررسی قرار گرفت تا روش‌های تولید و عملکرد UHTCها را بهینه کنند. سیستم‌های کامپوزیتی UHTC با افزودنی‌های دارای ذرات ریز، به طور خاص افزودنی SiC با درصد حجم تقریبی ۲۰ درصد توسعه زیادی یافته است زیرا این ماده به شدت مقاومت به اکسیداسیون را در دماهای بالاتر از ۱۵۰۰ درجه‌ی سانتی‌گراد به وسیله‌ی یک پوشش بوروسیلیکات مایع و آمورف افزایش می‌دهد.

تلاش‌هایی از قبل صورت گرفته است تا مقاومت به اکسیداسیون ZrB₂-HfB₂ را افزایش دهد به عنوان مثال با افزایش ویسکوزیته‌ی لایه‌ی مایع سیلیکا، افزایش عدم اختلاط‌پذیری فازهای مختلف مایع مختلف و یا به وسیله‌ی افزایش چگالی لایه‌های ZrO₂ از طریق زینتر در حضور فاز مایع برای کاهش نفوذ اکسیژن و ضریب نفوذ مقاومت به اکسیداسیون این ترکیبات به میزان قابل توجهی افزایش یافته است. در کاربردهای هایپرسونیک دما اغلب بالاتر از ۲۰۰۰ درجه‌ی سانتی‌گراد و همراه با جریان شدید هوا است در این شرایط وخیم هر مایع ذوب شده‌ای که دمیده می‌شود به سرعت لایه‌ی زیری را به سمت اکسیداسیون بیشتر سوق می‌دهد.

توسعه و پیشرفت UHTC: شیمی خواص و نحوه‌ی تولید

تحقیقات اولیه در دانشگاه امپریال لندن منجر به ابداع لایه‌ی محافظ اکسید نسوز به وسیله‌ی افزودن بوریدهای کمیاب یا اکسیدها به ZrB₂ با ۲۰ درصد حجمی SiC (ZS20) شد. یک برنامه‌ی مشترک بین دانشگاه Loughborough و Imperial برای یافتن این گام‌های رو به جلو شروع شده است. این کار در کالج Imperial روی یک پارچه کردن سیستم‌های UHTC با استفاده از SPS و اندازه‌گیری خواص در دماهای

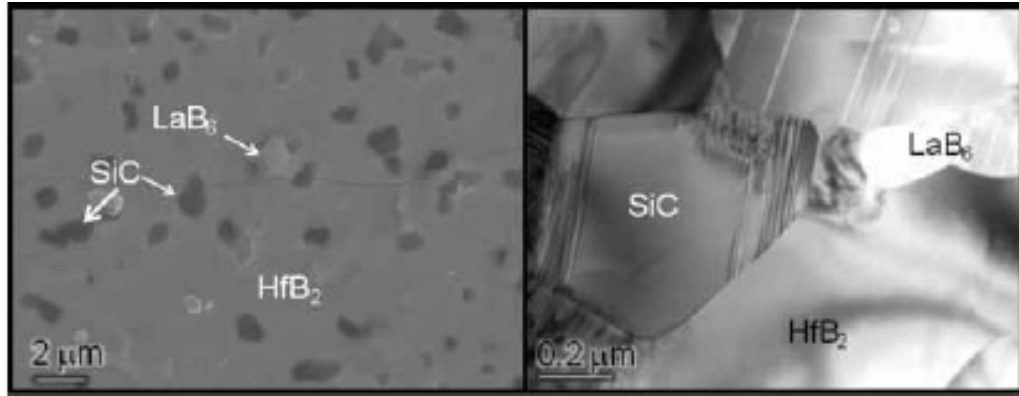


بالایی که در حال افزایش هستند متمرکز شده است، در حالی که در دانشگاه Loughborough آمیختن پودرهای UHTC در فیبرهای کربن و همچنین ارزیابی عملکرد اکسیداسیون در دمای بالا در حال انجام است. در حال حاضر این کار بر روی گسترش سیستم‌های مرکب با استفاده از هر دو سیستم و همراه با ساخت لایه‌ای برای محافظت اکسیدی متمرکز

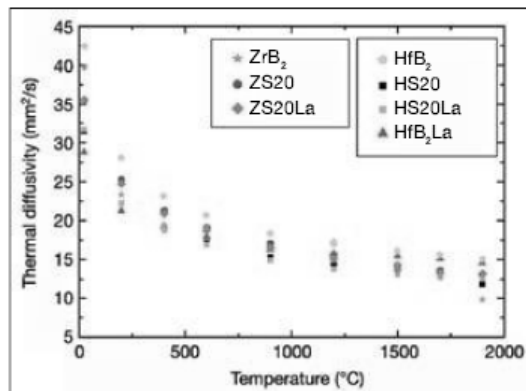
شده است. در نیروی هوایی آمریکا تحقیقات UHTC بر گسترش مکانیسم‌های اکسیداسیون سرامیک‌های هافنیم و زیرکونیوم‌های دی بورید شده و توسعه‌ی کامپوزیت‌های UHTC تقویت شده با فیبر سیلیکون کاربرد شروع شده است. یک سری از ZrB₂ و HfB₂ با چگالی کامل و کامپوزیت‌های UHTC اساس یافته بر TaC ساخته شدند. با استفاده از SPS در دانشگاه Queen Mary در لندن. شکل روبرو یک زیر ساختار خاص را از یک کامپوزیت ZrB₂ تقویت شده با ۵ درصد حجمی SiC زینتر شده در ۱۹۰۰ درجه‌ی سانتی‌گراد یک میکرو ساختار متراکم را بدون هیچ‌گونه ترک قابل مشاهده یا تخلخل را نشان می‌دهد.

دانه‌های خاکستری که زمینه را تشکیل می‌دهند ZrB₂ هستند. اندازه دانه‌ی اصلی کمتر از ۵ میکرو متر است و دانه‌ها لبه‌دار هستند. دانه‌های تیره SiC هستند و گرانول‌هایی با اندازه‌ی کمتر از ۱ میکرومتر می‌باشند. سرامیک‌ها با پایه‌ی HfB₂ در برابر چگال شدن بسیار مقاوم هستند و باید در دمای ۱۰۰ درجه‌ی سانتی‌گراد بیشتر از همتای ZrB₂ زینتر شوند. شکل زیر تصویرهای SEM و TEM از HfB₂ دارای ۲۰ درصد وزنی SiC و ۵ درصد وزنی LaB₆ (LaB₆ ۵٪ حجمی - HS20) ترکیب زینتر شده در ۲۰۰۰ درجه‌ی سانتی‌گراد را نشان می‌دهد.





اندازه‌گیری ضرایب توسعه‌ی حرارتی از دمای اتاق تا ۲۰۰۰ درجه‌ی سانتی‌گراد نشان داده است که یکپارچگی ZrB_2 بیشترین CTE را با اندازه $7/8 \times 10^{-6}$ بر درجه‌ی کلونین داراست. این مقدار کمی بالاتر از یکپارچگی $7/6 \times 10^{-6}$ است. SiC و سایر افزودنی‌ها مقدار CTE کمتری از مقادیر UHTC را دارا هستند. با اینکه برای همه‌ی ترکیب‌های UHTC، CTE از $5/5 \times 10^{-6}$ در ۲۰۰ درجه‌ی سانتی‌گراد به $7/6 \times 10^{-6}$ در ۲۰۰۰ درجه‌ی سانتی-گراد افزایش می‌یابد. مقدار زیاد CTE باعث کاهش مقاومت مواد در برابر شوک حرارتی می‌شود، از این رو طراحی اجزاء مختلف با فرمول‌های مختلف CTE برای جلوگیری از ترک‌هایی که به دلیل گرما تولید می‌شوند

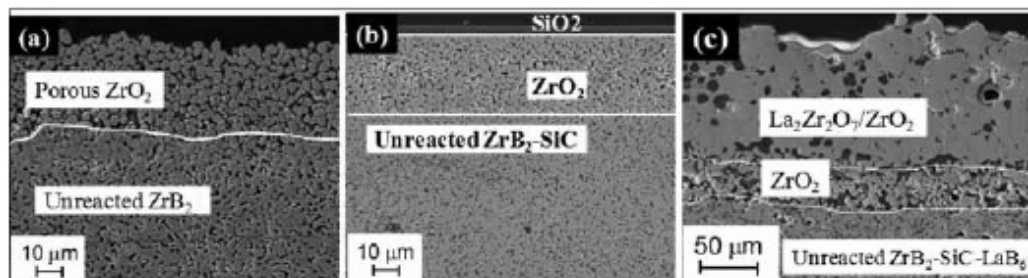


مشکل می‌گردد. ضریب پخش گرمایی در طول گرمایش با استفاده از روش لیزر تابشی نفوذی اندازه‌گیری شدند در شکل روبرو نشان داده شده‌اند. HfB_2 و ZrB_2 بیشترین میزان ضریب نفوذ را دارند (تقریباً ۴۰ میلی‌متر مربع در هر ثانیه در دمای اتاق) در حالی که کمترین میزان آن به ترتیب ۱۰ و ۱۵ میلی‌متر مربع در هر ثانیه در ۱۹۰۰ درجه‌ی سانتی‌گراد رخ می‌دهد. بالاترین دمایی که اندازه‌گیری‌ها انجام شده است، افزودنی SiC و La_2O_3 ضریب

حرارتی را تا حداقل ۱۰ درصد کاهش می‌دهد در این محدوده احتمال دارد میکرو ترک‌هایی بین دانه‌ها شکل بگیرد. همانطور که در مواد پلی کریستالین در دمای بالا در فرآیند زینترینگ رخ می‌دهد. وقتی که توسعه‌ی حرارتی با دانه‌های مجاور نامتناسب است تا بتوانند تنش‌ها را در سرد کردن رها کنند.

میکروتورک‌ها عامل تنزل خواص حرارتی در سرامیک‌های دما بالا هستند. نکته‌ای که مشاهده شده است این است که در دمای اتاق ضرایب هدایت حرارتی UHTC‌ها به مقدار زیادی متفاوت بود و در دماهای بالا به هم نزدیک شدند.

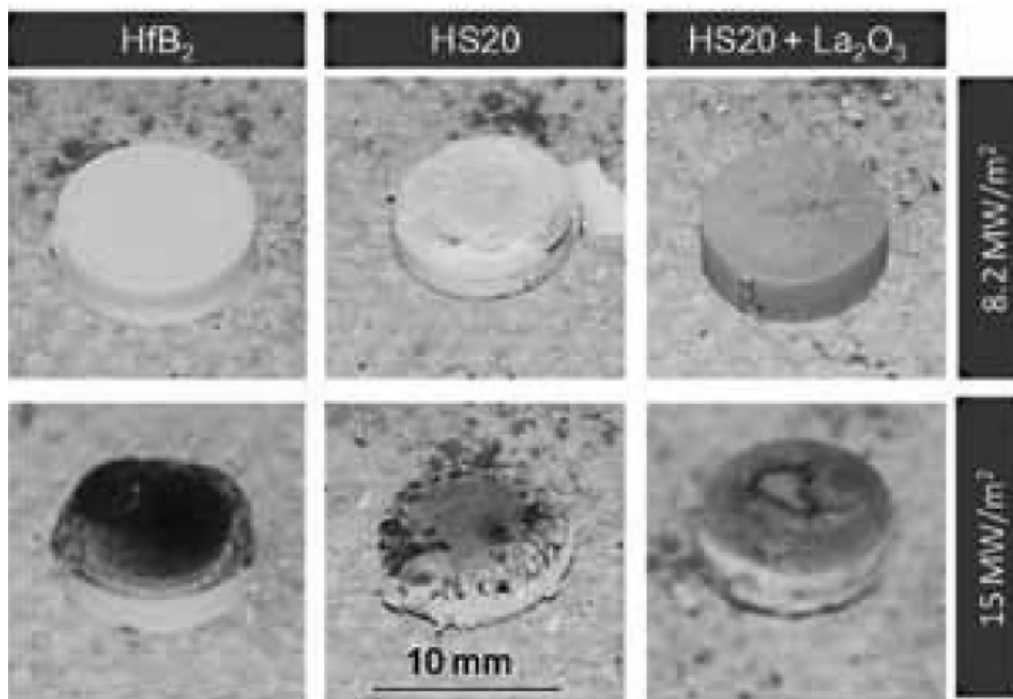
شکل زیر سطوح متقاطع میکرو ساختارهای ZrB_2 و ZS20 و $ZS20-LaB_6$ را نشان می‌دهد. در مکان مناسب مقاومت به اکسیداسیون، پوشش‌های دیرگداز روی UHTC‌های زینتر شده با استفاده از SPS و افزودنی‌های کمیاب مربوطه مانند LaB_6 , La_2O_3 , Gd_2O_3 حاصل شد.



اکسیداسیون $ZS20-LaB_6$ برای یک ساعت در 1600 درجه‌ی سانتی‌گراد در هوای ایستا باعث تشکیل لایه‌ی سطحی متراکم (تا ضخامت 250 میکرومتر) از ZrO_2 و عناصر کمیاب در زمینه زیرکونیایی شد. با دمای خروجی نزدیک 1600 هر دو فاز در فرایند اکسیداسیون جامد باقی می‌مانند. بر عکس سطح اکسید شده‌ی $ZS20$ بدون افزودنی‌های کمیاب شامل یک لایه‌ی متخلخل ZrO_2 (تا 10 میکرومتر ضخامت) می‌شود که با سیلیکای آمورف پوشیده شده است که در دمای 1600 درجه‌ی سانتی‌گراد مایع می‌شود. نفوذپذیری کم اکسیژن از مایع سیلیکا مانع از افزایش بیش از اندازه‌ی اکسیداسیون $ZS20$ در هوای ایستا در دمای 1600 درجه‌ی سانتی‌گراد می‌شود. اگرچه در یک جریان هوای هایپرسونیک این برتری حفاظتی می‌تواند سریع از دست برود زیرا مایع سیلیکا با ویسکوزیته‌ی بالا جدا می‌شود. نفوذپذیری اکسیژن در زیرکونیای RE با اینکه به کم بودن سیلیکای مایع نیست اما هنوز از ZrO_2 کمتر است. این مورد که با دمای ذوب بالای زیرکونیای RE همراه است به ما پیشنهاد می‌کند که اضافه کردن افزودنی‌های RE می‌تواند برای بهبود مقاومت UHTC در دماهای میانی در جریان‌های هوایی هایپرسونیک مفید واقع شود.

بررسی روش‌ها و چالش‌ها

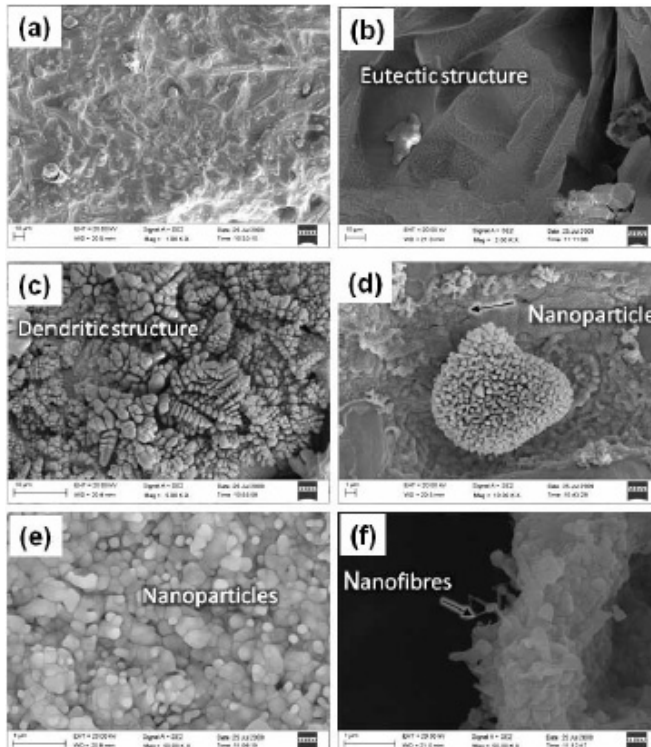
تعداد زیادی از آزمایش‌ها برای اندازه‌گیری کارایی مواد UHTC در دمای بالا مناسب‌اند. اغلب ذوب کردن/گرمايش لیزری برای مطالعه‌ی UHTC‌ها و سایر سرامیک‌ها در دمای بسیار بالا استفاده شده است. عکس‌های لیزر نمونه‌های UHTC بر پایه HfB_2 تحت شرایط متفاوت که در شکل زیر نشان داده شده است.



سطرهای بالا و پایین به ترتیب مربوط به نمونه‌های فلاکس گرما $8/2$ و 15 مگاوات در هر متر مربع در 60 ثانیه هستند. برای نمونه‌ی قبلی (HS20) اندازه و شکل به مقدار زیادی حفظ شده است اما پوششی سفید با ضخامت 100 میکرومتر روی سطح به وجود آمد که از لایه‌ی اکسیدی میانی که حاوی ترک‌ها یا تخلخل است. نمونه‌های HS20 دارای درصد وزنی از HfB_2 و La_2O_3 سایز و شکل اصلی خود را با همان ایجاد پوشش اکسیدی نازک و یک پوشش ضخیم‌تر دومی روی سطح‌ها حفظ می‌کنند. برای $15/2$ مگاوات در هر متر مربع نمونه‌ها تست شدند. HfB_2 و HS20 دارای 2 درصد وزنی La_2O_3 در مقایسه با حباب‌ها و حفره‌های زیادی که در HS20 مشاهده شده تقریباً به طور کامل بی‌نقص باقی ماندند.

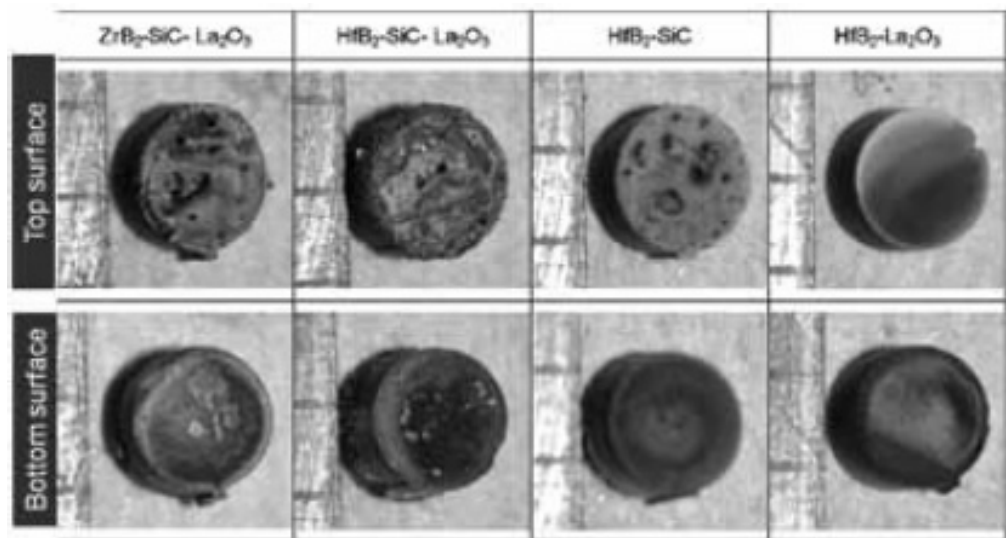


میکرو ساختار و سطح نوعی La_2B-HfB_2 برای ۶۰ ثانیه در ۱۵/۲ مگاوات در هر متر مربع با لیزر حرارت داده شد در شکل روبرو نشان داده شده‌اند. تصویر a یک میکرو ساختار متراکم (با فلاکس گرمایی بسیار بالا که

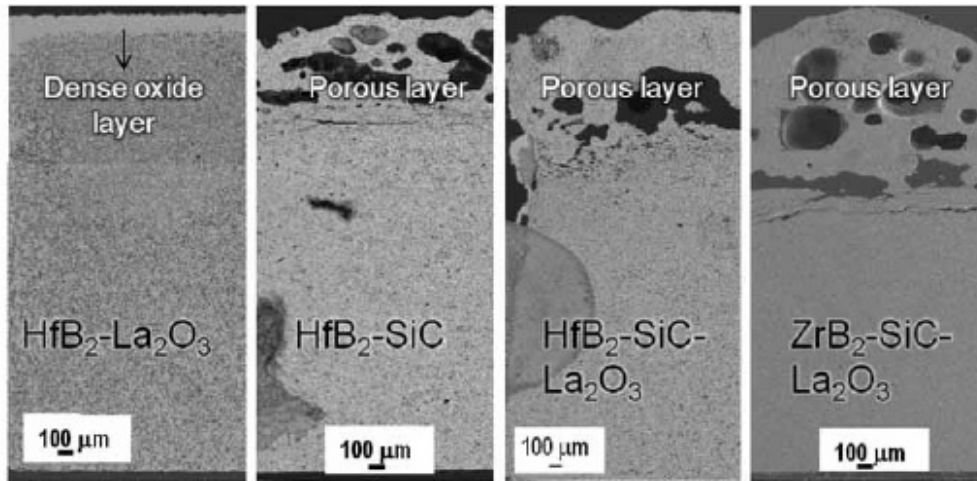


ساختار و مرفولوژی سطح به طور عمده اصلاح شده است. تصویر b ناحیه‌ای را از سطح اکسید شده با یک ساختار یوتکتیک نشان می‌دهد که احتمالاً مخلوطی از HfB_2 و HfO_2 است. آنالیز EDS حضور بور، اکسیژن و هافنیوم را تصدیق می‌کند. از آنجایی که هیچ دیگرام فازی برای این سیستم وجود ندارد دمای هر یک از این یوتکتیک‌ها ناشناخته است. تصویر c یک ساختار کاملاً دندریتی را نشان می‌دهد که هر کدام از آنها خود ثابت می‌کند که حجم زیادی از مذاب در سطح حضور دارند. احتمالاً به دلیل پس رفت سرعت استحکام یافتن و نفوذ و تاثیر

فاز بخار ذرات روی سطح شکل گرفته‌اند. برای محاسبه ی کارایی نمونه‌های UHTC حتی در دماهای بالاتر روش آزمون با لیزر با استفاده از فلاکس گرمایی بسیار بالا در حدود ۴۴ مگاوات در هر متر مربع برای ۱ تا ۵ ثانیه دوباره در هوا انجام شد. شکل زیر عکس‌هایی را ۱ ثانیه بعد از آزمون نشان می‌دهند. به جز نمونه‌ی HfB_2 دارای ۲ درصد وزنی La_2O_3 سایر نمونه‌ها دچار آسیب دیدگی بسیار زیادی شدند و فرم خود را از دست دادند. همه‌ی نمونه‌ها سطح‌های خاکستری تیره یا سیاه رنگ داشتند. این لایه‌ی سیاه رنگ به دلیل شکل‌گیری غیر هم وزن اکسید، به خصوص در سیستم‌های اکسیدی زیرکونیوم و هافنیوم تشکیل شده که سودمندی افزودن $TaSi_2$ به UHTCها برای شکل‌گیری اکسید سیاه رنگ برای افزایش نشر، کاملاً مشخص می‌کند.



شکل زیر تصویر میکروسکوپ الکترونی روبشی را از سطح مقطع نمونه‌های تست شده با لیزر در ۴۴ مگاوات در هر متر مربع برای ۱ ثانیه نشان می‌دهد. این تصویر حاکی از آن است که نمونه‌ی HfB_2 با ۲ درصد وزنی La_2O_3 با یک پوشش نازک تقریباً ۱۰۰ میلی متر شکل گرفته و بدون سایر عیوب مثل ترک‌ها و تخلخل‌ها بهتر از بقیه در ایفا نمودن نقشش ظاهر می‌شود.

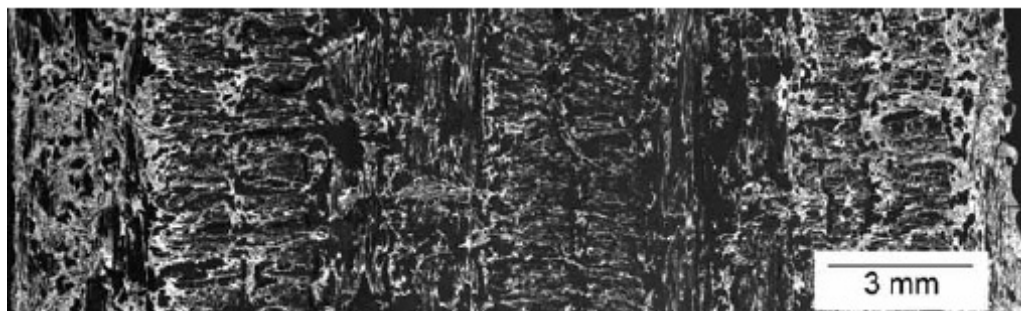


در فلاکس گرمایشی تا ۱۵/۲ مگاوات در هر متر مربع سرامیک‌های با پایه‌ی HfB_2 در مقایسه با سرامیک‌های اساس یافته بر ZrB_2 بهتر شکل ساختاری خود را حفظ می‌کنند. به علاوه تقویت‌کننده‌ی SiC و افزودنی‌های حاوی لاتتانیوم برای شکل‌گیری لایه‌های متوسط با قابلیت نفوذ اکسیژن کمک می‌کنند تا پروسه‌ی اکسیداسیون کندتر شود. اگرچه در فلاکس‌های بسیار بالا مانند ۴۴ مگاوات در هر متر مربع، مشاهدات ریز ساختاری نشان می‌دهد که تقویت‌کننده‌ی SiC و افزودنی‌های حاوی لاتتانیوم کمکی نمی‌کنند زیرا این ترکیبات گازهایی را تولید می‌کنند که کارایی نمونه‌ها را خراب می‌کند.

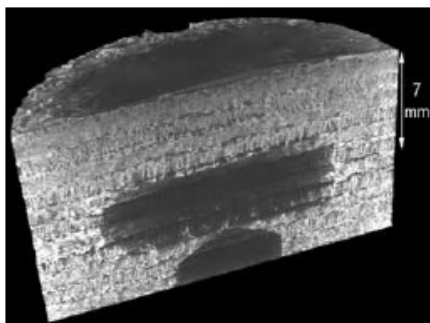
کامپوزیت‌های فیبر کربن - UHTC و کامپوزیت‌های هیبریدی

در دانشگاه Loughborough بر روی سیستم‌های حاوی فیبر کربن و پودرهای UHTC تمرکز شده است. فیبرهای کربن جالب توجه هستند زیرا می‌توانند به آسانی به وسیله سیم‌پیچی، بافتن، کشفافی، قیطانی و روی یک قالب شکل بگیرند. کوشش‌های زیاد توسط محققان برای آماده‌سازی کامپوزیت‌های بر پایه‌ی فیبر کربن برای کاربردهای با دمای بسیار بالا انجام گرفته است. برای مثال در یک مطالعه کامپوزیت‌های بر پایه‌ی HfB_2 و SiC که به بررسی کارایی در دمای بالا برای ZrB_2 با ۲۰ درصد حجمی SiC و تقویت شده با فیبر SiC در دمایی بالاتر از ۱۹۲۷ درجه‌ی سانتی‌گراد و برای ۱۰۰ دقیقه پرداخته شده است. این کامپوزیت‌ها به وسیله‌ی روش رشته‌های سیم پیچ شده و روش اشباع سازی دوغاب همراه با پرس گرم ساخته شده‌اند و نتایج با کامپوزیت‌های ZrB_2 با ۲۰ درصد حجمی SiC و ZrB_2 با ۱۴ درصد حجمی SiC و ۴۰ درصد حجمی کربن بدون فیبر تقویت کننده مقایسه شده است. کامپوزیت‌های مختلف پودر UHTC با فیبر کربن دو بعدی از قبل شکل گرفتند و پودرهای آبدار UHTC حاوی HfC ، ZrB_2 ، TaC و SiC که نفوذ کردند با استفاده از روش بدون فشار ساخته شدند. کامپوزیت‌های اشباع شده از قبل به وسیله‌ی پایرو کربن، در ۱۰۰۰ تا ۱۱۰۰ درجه‌ی سانتی‌گراد با استفاده از پروسه‌ی نفوذ از طریق بخار متراکم شدند. پودرهای UHTC بر یک لایه به عمق ۲ میلی‌متری بر سطح تمرکز یافتند. عملکرد اکسیداسیون دما بالای کامپوزیت‌ها توسط یک شعله‌ی اکسی استیلن اندازه‌گیری شد. بهترین مقاومت را بعد از ۳۰ ثانیه در ۳۰۲۰ کیلو وات در هر متر مربع و در ۲۷۰۰ درجه‌ی سانتی‌گراد به نمایش گذاشت. افزودن SiC برای بهبود مقاومت به اکسیداسیون تنها تحت شرایط طاقت فرسای ۲۳۸۰ کیلو وات در هر متر مربع و در ۱۸۰۰ درجه‌ی سانتی‌گراد یافت شد، اگرچه آنها برای ۳۰۰ ثانیه باقی می‌مانند.

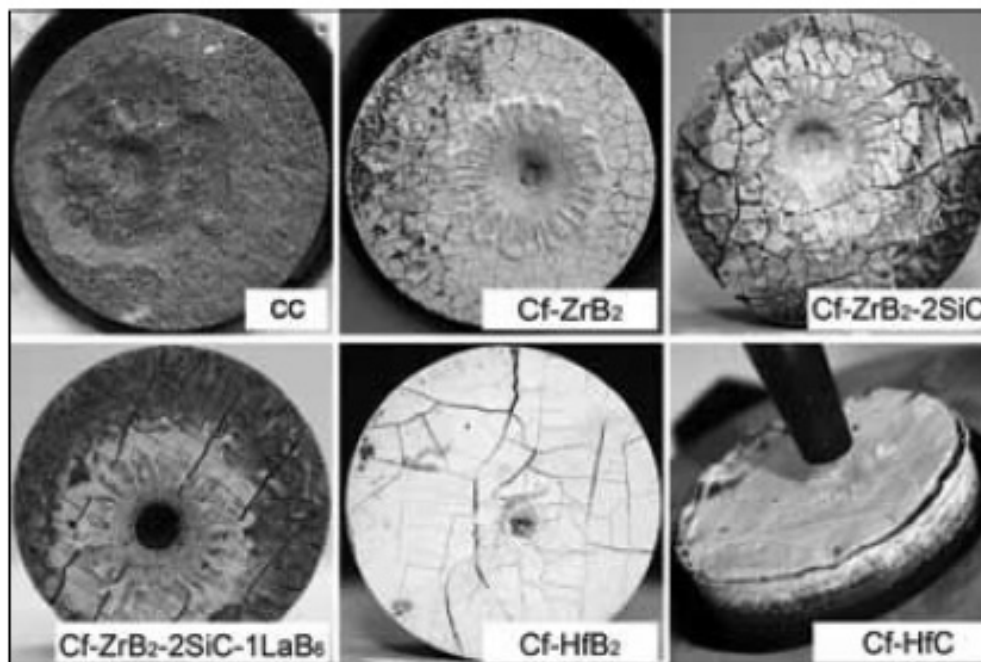
کامپوزیت های UHTC هیبریدی در دانشگاه Loughborough از فیبر کربن با قطر ۳۰ میلی‌متر در ضخامت ۲۰ میلی‌متر که حاوی ۲۳ درصد حجمی فیبرها هستند، به وسیله‌ی تغییر شکل‌های سطحی Ltd ساخته می‌شوند. پودر UHTC/رزین فنولیک/دوغاب استون در بال میل با استفاده از گلوله‌های آلومینایی در ۴۸ ساعت آماده شد. کامپوزیت‌های UHTC بر پایه‌ی ZrB_2 حاوی ۲۰ درصد حجمی SiC و ۱۰ درصد حجمی HfC, LaB₆ و HfB₂ هستند در حالی که زین فنولین حاوی ۴۵/۵ درصد کربن است. فیبر کربن به طور جداگانه با دوغاب با استفاده از هر دو روش فشردن یا اشباع تحت خلاء اشباع شد و سپس در یک آون در ۷۵ درجه‌ی سانتی‌گراد در مدت ۴ ساعت خشک شد و به دنبال آن در ۱۲۵ تا ۱۵۰ درجه‌ی سانتی‌گراد برای ۲ ساعت عملیات حرارتی گردید. این چرخه ۳ بار دیگر تکرار شد تا مقدار UHTC برای هر کامپوزیت ماکسیمم شود. بعد از سومین بار، نمونه‌ها در ۹۰۰ درجه‌ی سانتی‌گراد تحت دمش گاز آرگون (با خلوص ۹۹/۹۹۸) پلارایز می‌شوند و با استفاده از نفوذ شیمیایی بخار بیشتر متراکم می‌شوند. کربن مینا یا کامپوزیت‌های کربن هم چنین با استفاده از اشباع نفوذ شیمیایی بخار روش‌های شکل‌گیر های بدون پودر UHTC، تهیه شدند. اندازه‌گیری‌ها با استفاده از تکنیک‌هایی مثل SEM, TEM و میکرو CT برای اندازه‌گیری عمق اشباع سازی، توزیع و کارایی پودر، مخلوط سازی و دانسیته‌ی بالک کامپوزیت با استفاده از روش‌های هندسی انجام شد. توزیع پودر در یک کامپوزیت HfB₂-فیبر کربن UHTC، از قبل تشکیل شده، در شکل زیر نشان داده شده است که حاکی از اشباع کامل از بالا تا پایین است.



آنالیز میکرو CT روی قسمت از قبل اشباع شده برای اندازه‌گیری عمق نفوذ انجام شد. یک نمایشگر سه بعدی قطعه که در شکل روبرو نشان داده شده است یکی از کامپوزیت‌های ZrB_2 فیبر کربنی است. عمق اشباع از بالای سطح حدود ۷ میلی‌متر برآورد شده است که بیشتر از ۲ تا ۳ میلی‌متر نفوذ بدست آمده است. توزیع پودر نتیجه شده از مشاهدات آنالیز EDS در سطح مقطع کامپوزیت‌های ZrB_2 -2SiC-فیبر کربنی مخلوط و توزیع یکنواختی از پودر کامپوزیت نشان داد. عموماً در روش اشباع خلاء نسبت به روش اشباع در فشار نتایج بهتری بدست می‌آید.



کارایی در دمای بالای کامپوزیت‌ها با استفاده از یک مشعل اکسی استیلن ساده‌ی ساخته شده در دانشگاه Loughborough تعیین شد. در ابتدا هدف رتبه بندی ساده‌ای از کامپوزیت‌های UHTC طبق کارایی اکسیداسیون آنها بود، اگرچه متعاقباً تست برای کمک به پیشرفت کامپوزیت‌های برتر استفاده شد. تصاویر کامپوزیت‌های اولیه بعد از ۶۰ ثانیه آزمون مشعل اکسی استیلن در شکل زیر مقایسه شد. همانطور که انتظار می‌رفت کامپوزیت کربن-کربن در سطح زیادی آسیب دید تقریباً قطر ناحیه‌ی آسیب دیده ۲۰ میلی‌متر بود. در حالی که کامپوزیت‌های فیبر کربنی- ZrB_2 و کربن فیبری- ZrB_2 ۲۰ درصد حجمی SiC که عملکردشان به هم نزدیک بود تقریباً تا قطر ۵ میلی‌متری آسیب دیدند.



فرسایش بیشتری برای کامپوزیت‌های مبتنی بر LaB_6 با سایر کامپوزیت‌های مبتنی بر ZrB_2 مقایسه شد. شعله‌ی دما بالای نفوذ کرده در لایه‌ی اشباع شده و لایه‌ی پایین‌تر کربن-کربن را مورد حمله قرار داد. افزودن LaB_6 به منظور بهبود مقاومت در برابر اکسیداسیون در شکل‌گیری ساختار پایرو کلر $\text{La}_2\text{Zr}_2\text{O}_7$ در دماهای بالاتر بود. کامپوزیت‌های فیبر کربن- HfB_2 و فیبر کربن- HfC به عنوان بهترین مقاومت کننده به فرسایش (محافظت در برابر فرسایش) ارائه شدند، اگر چه پودرهای UHTC مبتنی بر HfO_2 همانطور که انتظار می‌رفت اکسید شدند. حضور فازهای ذوب شده می‌تواند در تمام کامپوزیت‌های اشباع شده بسته به تایید دمای شعله دیده شود. میزان ذوب در کامپوزیت‌های مبتنی بر HfB_2 به دلیل دمای بالاتر ذوب آن (تقریباً ۲۸۰۰) بسیار کمتر از کامپوزیت‌های مبتنی بر ZrB_2 بود لایه‌ی اکسیدی شکل گرفته کامپوزیت فیبر کربن- HfC طرفدار کمتری نسبت به آن‌ها در سایر کامپوزیت‌ها داشت و بعد از آزمون نیز این میزان کاهش یافت، احتمالاً دلیل آن فقدان فاز شیشه‌ای در طول آزمون و ساخته شدن گاز CO/CO_2 در زیر لایه‌ی اکسیدی است. بر اساس تست‌های اولیه، تحقیقات قبلی روی دو کامپوزیت مبتنی بر هافنیوم تمرکز کرده بود زیرا آنها بالاترین عملکرد دمایی را داشتند. تلاش‌ها باعث بهبود اشباع دوغاب UHTC شد و نبود توانایی پودرهای HfC و HfB_2 با استفاده از سل ژل که هم اکنون بدست آمده است.

کامپوزیت‌ها همچنین با مخلوط کردن پودرها با دانه‌بندی مختلف آماده شدند. میانگین دانسیته‌ی بالک کامپوزیت‌ها به ترتیب ۲/۴ و ۲۲۰ گرم بر سانتی متر مکعب برای کامپوزیت‌های مبتنی بر HfB_2 و HfC بود. که از دانسیته‌ی بدست آمده در پودرهای تجاری بالاتر است. با مخلوط کردن پودر و با استفاده از اشباع خلاء اکنون تهیه‌ی کامپوزیت‌های فیبر کربن- HfB_2 که در ۶۰ ثانیه هیچ فرسایشی نشان نمی‌دهند در ۲۷۰۰ درجه‌ی سانتی‌گراد امکان‌پذیر است و بعد از ۱۴۰ ثانیه نیز در همان دما مینیمم فرسایش را دارند. بنابراین پودر کامپوزیت‌های اشباع یافته UHTC فیبر کربنی محافظت بسیار بالای اکسیداسیونی دردمای بالا ارائه می‌دهند که با استفاده از یک شعله‌ی اکسی استیلن آزموده شد. این ارائه‌های اخیر بر روی اندازه‌گیری خواص مکانیکی کامپوزیت‌های UHTC در دمای اتاق و بالاتر در فراهم سازی آزمون عملکرد کامپوزیت‌های لبه‌ی تیزهواپیما تمرکز کرده‌اند. آزمون‌ها هم اکنون به زینتر کامپوزیت‌های اشباع شده با استفاده از روش SPS می‌پردازند. یک دست آمد جدیدی که در حال ارزیابی شدن است، آماده‌سازی کامپوزیت‌های هیبریدی UHTC وابسته به یک لایه‌ی UHTC یکپارچه برای بهبود بیشتر مقاومت به اکسیداسیون در دمای بالا است.

منابع اطلاعاتی آنلاین برای صنعت دیرگداز

منبع: Acers bulliten vol99 No1

نویسنده: چارلز ای سملر



شکل ۱- نمای درونی یک کوره گرمایش مجدد فولاد شرکت TFL واقع در هیوستون امریکا که در آن سازه‌های خارجی جهت آزاد کردن بار قسمتی از سقف از یک طرف قرار داده شده تا اجازه دهد دیوار فولادی و دیرگداز به طور کامل در یک زمان جایگزین گردد.

اینترنت به گونه‌ای مملو از وبسایت‌ها نشریه‌ها و اطلاعات مربوط به صنعت دیرگداز است که می‌توان گفت به حالت انفجار رسیده است. این راهنمای کوچک منابع اطلاعاتی آنلاین همچنین نمونه‌هایی از چگونگی استفاده از اینترنت برای دنبال نمودن روند تجارت و کسب و کار جهانی را ارائه می‌دهد.

میزان اطلاعات آنلاین موجود که به واقع به سرعت در هر مکانی یافت می‌شود به طور پیوسته و دائمی با روندی نمایی در حال گسترش است. دسترسی مداوم به اطلاعات بیشتر و بیشتر، روندها، امکانات، تسهیلات، خدمات، ارتباطات و از این قبیل موارد از تمامی نقاط دنیا فرصت‌های فزاینده‌ای را برای بهره‌وری و تولید بیشتر فراهم می‌آورد. در گذشته برنامه‌ریزی برای یک سفر کوتاه و یا جلسه‌ای در خارج از کشور روزها یا هفته‌ها زمان می‌برد اما در حال حاضر این گونه فعالیت‌ها و بسیاری دیگر از این نوع به طور معمول می‌تواند به سرعت در هر جایی از دنیا به پیش رود. اطلاعات و ارتباطات پا به پای یکدیگر در رقابتند و اینترنت می‌تواند هردوی آنها را فراتر از محدودیت‌های زمانی و زبانی و جغرافیایی ارائه دهد.

صنایع دیرگداز به بسیاری از صنایع بزرگ همچون صنایع مربوط به فرآیندهای متالورژیکی مانند فولادسازی و تولید فلزات غیر آهنی صنایع سیمان و شیشه و همچنین عملیات و فرآیندهای مربوط به بعد از تولید مانند تابکاری (آنیل) و عملیات حرارتی خدمت رسانی می‌نماید و همگام با این گونه صنایع صنایع دیرگداز نیز جهانی شده و منابع آنلاین برای تمامی این صنایع شامل منابعی مختص صنایع دیرگداز در سال‌های اخیر رشد چشمگیری یافته است. این نوشته مقالاتی مربوط به سال‌های ۲۰۰۰، ۲۰۰۳ و ۲۰۰۹ را در زمینه اطلاعات آنلاین مواد دیرگداز به روز نموده و اطلاعات فعلی موجود را مرور نموده و نشانه‌ای کلی از وضعیت صنعت دیرگداز توسط سنجش و بررسی اطلاعات مربوط به عملکرد صنعت فولاد و کارخانه‌های متعدد دیرگداز ارائه می‌نماید.

روند به روز رسانی در موتورهای جست و جو

رشد منابع آنلاین صنایع دیرگداز توسط مقایسه نمودن نتایج کلیدهای برگردانده شده از یک موتور جست و جو و تعدادی از موتورهای جست و جوی مشهور شرح داده شده است.

تعداد نتایج جست و جوی موفقیت آمیز برای چهار کلمه کلیدی دیرگداز در سایت اینترنتی گوگل ثابت می‌کند که میزان اطلاعات به طور انفجاری در سال‌های متوالی همانگونه که در جدول ۱ نشان داده شده است ادامه داشته است.

جدول ۱- میزان نتایج جست و جو برای تعدادی کلمه کلیدی دیرگداز در سال‌های مختلف

Word searched	2003	2009	2012	Change '09 to '12
Refractory	313,000	8,290,000	18,300,000	120%
Alumina	234,000	1,020,000	3,290,000	222%
Alumina refractory	15,100	923,000	2,200,000	138%
Fused alumina	8,900	208,000	737,000	254%

اطلاعات مربوط به دیرگدازها را می‌توان از موتورهای جست‌وجوی بسیاری به دست آورد. مقایسه نتایج جست‌وجوی موفق چندین کلمه کلیدی دیرگداز برای تعدادی از موتورهای جست‌وجوی متداول در جدول ۲ آمده است.

جدول ۲- مقایسه نتایج جست و جوی موفق چندین کلمه کلیدی دیرگداز برای تعدادی از موتورهای جست و جوی متداول

Word Searched	Google.com		Bing.com		Ask.com	AOL.com
	2009	2012	2009	2012	2009	2012
Refractory	8,290,000	18,300,000	1,750,000	16,600,000	1,350,000	21,900,000
Castable	272,000	1,150,000	182,000	1,220,000	46,600	1,640,000
Spinel castable	179,000	366,000	8,070	10,000	11,300	473,000
Alumina brick	3,710,000	1,610,000	186,000	923,000	345,000	1,240,000
Magnesia brick	171,000	500,000	464,000	470,000	16,600	451,000
Bauxite	2,540,000	7,370,000	549,000	8,830,000	433,000	8,920,000

می‌توان مشاهده کرد که برای هر کدام از موارد بالا تعداد پاسخها از سال ۲۰۰۹ تا به امروز افزایش یافته است و نیز پاسخها همچنان با سرعتی بسیار بالا در زمانی کمتر از یک ثانیه دریافت می‌شوند. در مقایسه‌ی منابع اینترنتی در سال ۲۰۱۲ منبع Ask.com آورده نشده است چرا که این سایت دیگر تعداد کل جست و جوهای موفق را ارائه نمی‌داد. این نکته را باید متذکر شد که بالا بودن تعداد جست و جو برای واژه "Refractory" مربوط به کاربرد این واژه هم در دیرگدازهای صنعتی (Industrial Refractories) و هم به مفهوم سرسختی و پایداری و مقاومت عمدتاً در زمینه‌های پزشکی و طبی بر می‌گردد.

اینکه کدام موتور جست و جو می‌تواند روندهایی را طی کند تا در نظر شخص اهمیت و برتری یابد را می‌توان در اطلاعات جدول ۲ جست و جو نمود. جدول ۲ نتایج بسیاری را که از هر کدام از موتورهای جست و جو برگردانده شده است را نشان می‌دهد. با این وجود، تفاوت‌های میان دو موتور جست و جوی گوگل و بینگ (Google.com & Bing.com) برای برخی از واژه‌های تخصصی دیرگداز مانند جرم ریختنی اسپینلی (Spinel Castable) نشان می‌دهد که استفاده‌ی بیش از یک موتور جست و جو برای تضمین آن که هر کاوشی بتواند تا حد امکان، کامل به نتیجه برسد می‌تواند بی‌ثمر باشد.

علاوه بر نوشته‌های در دسترس و موجود یک موتور جست و جو همچنین تصاویر، عکس‌ها، ویدئوها و موارد دیگری را نیز ارائه می‌دهد. برای نمونه یک مثال محدود از تعداد تصاویری که توسط دو موتور جست و جوی گوگل و بینگ ارائه شده‌اند در جدول ۳ آورده شده است.

جدول ۳- نتایج تعداد تصاویر برگردانده شده برای برخی کلمات کلیدی خاص مورد استفاده در دیرگدازها

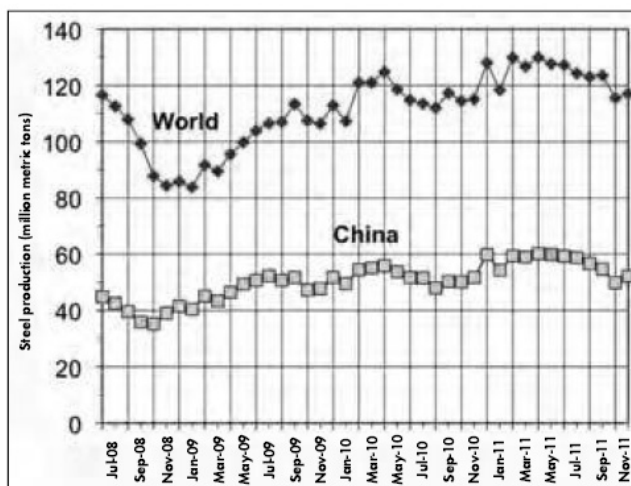
Images/photos	Google.com	Bing.com
Refractory brick	164,000 (0.46 sec.)	28,700
Refractory castable	69,800 (0.42 sec.)	9,800
Refractory bauxite	40,000 (0.35 sec.)	2,720
Refractory microstructure	23,400 (0.36 sec.)	370
Alumina	472,000 (0.21 sec.)	147,000
Magnesia	689,000 (0.23 sec.)	51,200

تصاویر لحظه‌ای از تولید فولاد در سراسر دنیا

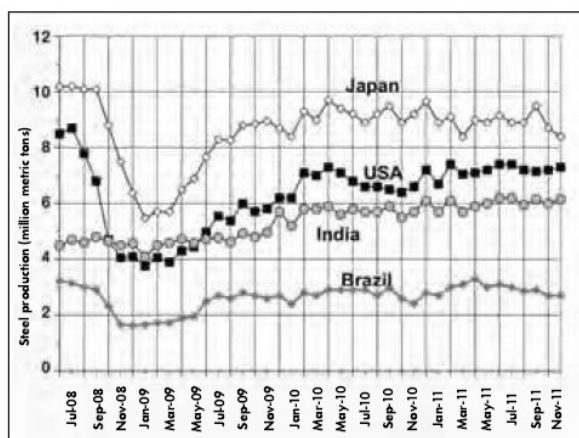
منابع اطلاعاتی آنلاین جهت جلب نظر کسب و کارها و آگاهی صنایع وابسته به صنعت دیرگداز و صناعی که موقعیتشان مدام در تب و تاب و نوسان است اهمیت بسیاری دارد برای مثال هرساله صنعت فولاد و به همراه آن صنعت سیمان، دو بازار برجسته برای دیرگدازها (به ترتیب بیش از ۶۰٪ و در حدود ۱۰٪) هستند. داده‌های منتشر شده از سازمان جهانی فولاد www.worldsteel.org نشان می‌دهد که تولیدات کشورهای اصلی تولید کننده فولاد از نیمه سال ۲۰۰۸ تا سال ۲۰۱۱ (شکل‌های ۱ و ۲) کاهش یافته و لذا نشانه‌ای کلی از وضعیت اقتصادی و بازرگانی کارخانه‌های تولید مواد دیرگداز را در این مدت ارائه می‌دهد.

شکل ۲ تولید ماهانه فولاد در دنیا را به همراه روند کاهشی تولیدات بزرگترین کشور تولید کننده فولاد در دنیا، چین از نیمه سال ۲۰۰۸ تا سال ۲۰۱۱ مقایسه نموده است. تولید جهانی در اول سال ۲۰۰۹ با بهبود و افزایش تولید آغاز شد و تا ماه اکتبر ادامه یافت و از آن به بعد تا ماه می ۲۰۱۱ با نوساناتی در تولید همراه بود تا این که پس از آن روندی کاهشی به خود گرفت.

اوج تولیدات جهانی در این مدت، ۱۳۰ میلیون تن در ماه می ۲۰۱۱ بود و پس از آن کاهش یافت تا در دسامبر ۲۰۱۱ به رقم ۱۱۷ میلیون تن رسید. در سال ۲۰۱۱ ظرفیت تولید جهانی فولاد از ۸۲/۸٪ در ماه ژوئن به ۷۱/۷٪ در ماه دسامبر رسید. شکل ۳ روند مشابهی را برای دیگر کشورهای بزرگ تولید کننده فولاد (به غیر از چین) نشان می‌دهد.



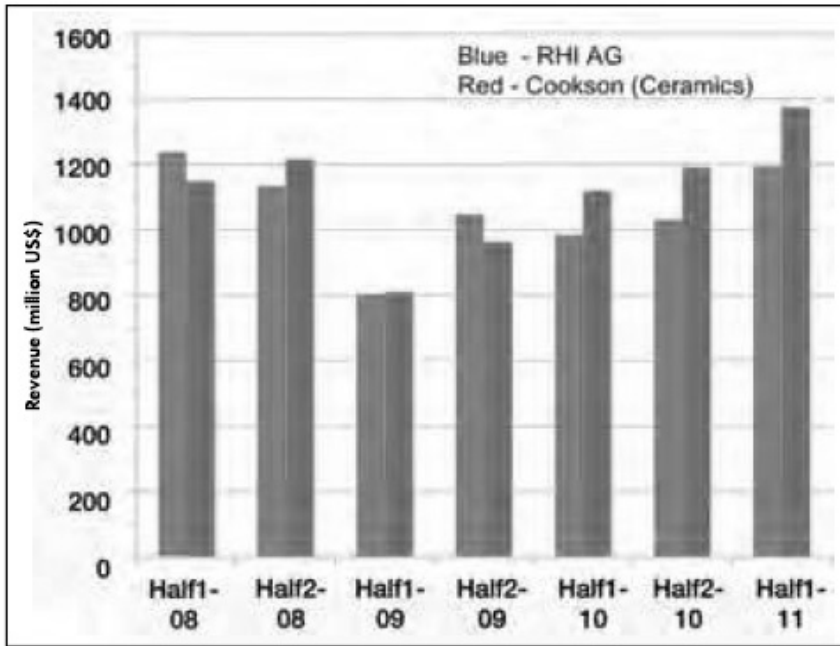
شکل ۲- تولید ماهانه فولاد در دنیا و چین (بزرگترین تولید کننده) از نیمه سال ۲۰۰۸ تا سال ۲۰۱۱.
منبع: سازمان جهانی فولاد.



شکل ۳- کاهش روند تولید ماهانه فولاد دیگر کشورهای بزرگ تولید کننده (به غیر از چین) از نیمه سال ۲۰۰۸ تا سال ۲۰۱۱. ایالات متحده و روسیه (روسیه نشان داده نشده است) از نیمه سال ۲۰۱۱ روند صعودی ناچیزی داشته‌اند درحالی که هند روندی تقریباً ثابت داشته و برزیل و ژاپن روند نزولی ناچیزی داشته‌اند. (منبع: سازمان جهانی فولاد)

وضعیت کارخانه‌های تولید کننده دیرگداز

برپایه‌ی داده‌های مربوط به تولید فولاد در جداول ۱ و ۲ این علاقه‌مندی وجود دارد که نتیجه عملکرد دو کارخانه بزرگ تولید کننده دیرگداز توسط داده‌های آنلاین RHI AG (www.rhi-ag.com) و نیز گروه کوکسون Cookson Group [ceramics] (www.cooksongroup.co.uk) از نیمه سال ۲۰۰۸ تا نیمه سال ۲۰۱۱ نشان داده شود. (نتایج سالانه برای سال ۲۰۱۱ هنوز موجود نیست). منحنی‌های درآمد این کارخانه‌ها که در شکل ۴ نشان داده شده است اثبات می‌کند که کاهش تولید فولاد بین اواخر سال ۲۰۰۸ تا ۲۰۰۹ تأثیر مستقیم و قابل توجهی بر کارخانه‌های تولید کننده دیرگداز گذاشته است. از زمانی که این روند کاهش در تولید فولاد به پایان رسید، هردوی این کارخانه‌های تولید کننده دیرگداز افزایش درآمد پیوسته‌ای داشته‌اند.



شکل ۴- نتایج درآمد نیمسال‌های مختلف برای کارخانه‌های اصلی تولید کننده دیرگداز توسط RHI & AG از سال ۲۰۰۸ تا نیمه سال ۲۰۱۱ (اطلاعات مربوط به کل سال ۲۰۱۱ موجود نیست).
 ضررها و ضربه‌های اقتصادی ناشی از کاهش تولید فولاد بین اواخر سال ۲۰۰۸ تا سال ۲۰۰۹ به وضوح قابل مشاهده است. پس از اتمام این روند کاهشی در تولید فولاد هردوی این کارخانه‌های تولید کننده دیرگداز افزایش درآمد پیوسته‌ای داشته‌اند. تبدیل واحدهای پولی توسط یک وسیله قدیمی تبادل نرخ‌های پولی در سایت www.oanda.com انجام گرفته است.

کارخانه RHI با توجه به وضعیت بازرگانی و اقتصادی‌اش بر نیروی کار خود نظارت دارد. جدول ۴ تعداد کارکنان این کارخانه را در هر فصل در محدوده زمانی نموداری که در شکل ۴ آمده است نشان می‌دهد. توجه داشته باشید که در فصل سوم سال ۲۰۱۱ بالاترین نیروی کار از زمان رکود بازارها در اواخر سال ۲۰۰۸ گزارش شده است.

جدول ۴- روند تغییرات تعداد نیروی کار در کارخانه RHI از سال ۲۰۰۸ تا ۲۰۱۱

Table 4 – Employment trends at RHI from 2008-2011

Q1-08	7,334	Q1-09	7,567	Q1-10	7,279	Q1-11	7,344
Q2-08	7,860	Q2-09	7,062	Q2-10	7,258	Q2-11	7,790
Q3-08	7,845	Q3-09	7,078	Q3-10	7,370	Q3-11	8,001
Q4-08	7,766	Q4-09	6,963	Q4-10	7,266	Q4-11	N.A.



بازبینی خبرها و پیشرفت‌های صنعت دیرگداز

دولت ایالات متحده گزارش‌هایی را منتشر کرده است که به صورت آنلاین در دسترس بوده و حاوی اطلاعات ارزشمندی از صنایع دیرگداز می‌باشد. سازمان بازرسی زمین شناختی ایالات متحده برای نمونه سالنامه‌ای با نام "مختصری درباره کالاهای معدنی" (Mineral Commodity Summary) منتشر می‌کند که اتفاقات روندها آمار و ارقام تولید تعرفه‌ها و مواد معدنی‌ای که در دیرگدازها اهمیت دارند مانند بوکسیت، گرافیت، کروم، منیزیم، کوارتز و از این قبیل را گزارش می‌کند. این سالنامه به صورت آنلاین در سایت <http://minerals.usgs.gov> قابل مشاهده است.

وضعیت و اعتبار بازارهای دیرگداز در ایالات متحده در یک گزارش سالانه توسط بخش آمارگیری این کشور بررسی می‌گردد. (سایت اینترنتی www.census.gov و آخرین گزارش‌های صنعتی به شماره MA327C) داده‌های جدول ۵ وضعیت بازارهای دیرگداز در ایالات متحده را براساس پنج گزارش اخیر منتشر شده توسط این ارگان نشان می‌دهد.

جدول ۵- ارزش بازار دیرگداز در ایالات متحده

Table 5 Value of US refractories market

Year	US market value (billion US\$)
2010	\$2.143
2009	\$2.063
2008	\$2.523
2007	\$2.269
2006	\$2.127

مجلات و نشریات منتشر شده انحصاری در ایالات متحده نیز منبع اطلاعاتی مناسبی برای بررسی وضعیت و میزان توسعه فناوری در دیرگدازها می‌باشد. دفتر اطلاعات و اختراعات انحصاری ایالات متحده US Patent Office (www.uspto.gov) و گوگل (www.google.com) دو منبع مهم جهت کاوش مقالات و اختراعات انحصاری در ایالات متحده می‌باشند که می‌توان با وارد کردن نام‌ها موضوعات، اختراعات و مقالات انحصاری (پتنت‌ها) شماره‌ها، تاریخ و این گونه موارد به اطلاعات ارزشمندی دست یافت. در جدول ۶ تعدادی از نتایج جست و جوی موفق از بررسی سریع این قبیل منابع آمده است.

جدول ۶- نتایج جست و جو برای اطلاعات انحصاری (پتنت‌ها) در ایالات متحده

Table 6 US patent search results

Website	Hits per word searched	
	Refractory	Castable
USPTO – 2003	49,911	-----
USPTO – 2009	65,853	5,331
USPTO – 2012	74,150	5,842
Google – 2012	31,000	13,500

سایت‌های تخصصی بسیار زیاد و در عین حال مجله‌ها گزارشات روزنامه‌ها و خبرنامه‌های محدودی در زمینه دیرگدازها موجود است. اغلب این موارد به صورت آنلاین قابل دسترسی است. نمونه‌هایی از این دست در زیر آورده شده است:

Publication	Website
- <i>Refractories Applications & News</i> (US)	www.ranews.info
- <i>The Refractories Engineer</i> , Institute of Refractory Engineers Journal (UK)	www.ireng.org
- <i>Refractories Worldforum</i> (Germany)	www.refractories-worldforum.com
- <i>Refractories Manual</i> (Interceram)	www.interceram-refractories.info
- <i>IRMA Journal</i> , India Refractory Makers Association	www.irmaindia.org
- <i>China's Refractories</i>	www.china-refract.org
- "Refractories Window" E-Magazine (China)	www.refwin.com
- <i>Taikabutsu Overseas - Journal of the Technical Association of Refractories</i> (Japan)	www.tarj.org
- The Refractories Institute (US) publishes brochures & product directories.	www.refractoriesinstitute.org

در کشور ژاپن دو کارخانه تولید کننده مواد دیرگداز کروساکی - هاریما (www.krosaki.co.jp) و شیناگاوا (www.shinagawa.co.jp) هرکدام گزارش فنی سالانه ای را در مورد موضوعات متداول مربوط به دیرگدازها و نیز فعالیت‌های سالانه خود در زمینه تحقیقات و توسعه (R&D activities) منتشر می‌نمایند. نشریه اسرس (ACerS) نیز به طور معمول حاوی اطلاعاتی در زمینه دیرگدازها می‌باشد و حاوی مطالب بایگانی شده خبرنگارها (از سال ۱۹۱۸ تاکنون) پژوهش‌نامه‌ها (از سال ۱۹۹۸ تا به امروز) و خبرنگارها فناوری‌های سرامیک‌های کاربردی (از سال ۲۰۰۴ تا به امروز) می‌باشد و دسترسی آزاد آنلاین به این نشریه‌ها از طریق سایت این نشریه به آدرس www.ceramics.org امکان‌پذیر است. علاوه بر آن افرادی از گروه‌ها و صنف‌ها و انجمن‌های دیگر نیز می‌توانند به این مجموعه غنی اسناد بایگانی شده در زمینه موضوعات مرتبط با دیرگدازها مانند فولاد، سیمان، شیشه، مواد پتروشیمیایی و همچنین تحقیقات و توسعه و آزمون‌های استاندارد مرتبط دسترسی یابند. در این گونه سایت‌ها به طور معمول افرادی که عضو سایت به حساب نمی‌آیند می‌توانند مقاله‌ها و اسناد آنلاین را خریداری و به سرعت به کامپیوتر خود منتقل نمایند.

نشریات دیگری نیز به مانند گستره‌ای متنوع از نشریات و خبرنگارهای مختص صنایع دیگر نظیر صنایع فولاد، ریخته‌گری، سیمان، شیشه، صنایع پتروشیمیایی و شیمیایی وجود دارند که به طور متداول حاوی اطلاعاتی در زمینه دیرگدازها هستند از جمله نشریه امریکایی "صنعت سرامیک" (Ceramic Industry)، نشریه آلمانی "اینترسرام" (Interceram) و نشریه بریتانیایی "مواد معدنی صنعتی" (Industrial Minerals). کاوش توسط کلمات کلیدی پیشنهادی یا کلماتی شبیه به آن چه در جداول ۱ و ۲ آمده است ارتباط با این گونه خبرنگارها و منابع و نشریات را مقدور می‌سازد.

خدمات و اطلاعات آنلاین منبعی برای به دست آوردن داده‌ها و نقشه‌های ایمنی مواد، محاسبات مربوط به جریان حرارتی اعمالی، تخمین زدن اندازه مناسب ذرات در یک مخلوط (بیچ)، تبدیل واحدها و نرخ‌های ارزی و پولی و بسیاری دیگر از مطالب می‌باشد. برای نمونه گوگل علاوه بر یک منبع سرشار و ارزشمند از اطلاعات توانایی‌های دیگری را نیز مانند ابزاری جهت تبدیل داده‌های علمی و مهندسی و یک ابزار ترجمه نوشتاری و کلامی شامل ۵۸ زبان ارائه می‌دهد.



هر ساله محافل بسیاری در زمینه دیرگدازها در سراسر دنیا برگزار می‌گردد که در آنها موضوعات علمی فنی و عملی مورد بحث و بررسی قرار می‌گیرند و محصولات و خدمات متنوعی نمایش داده می‌شوند و راهکارهایی برای تجارت و بازرگانی و جلب توجه بیشتر جوامع مختلف ارائه می‌شوند. سالنامه‌های منتشر شده و تقویم آنلاین این جلسات توجهی چشمگیر را به این گونه محافل معطوف می‌کنند که امکان برنامه‌ریزی‌های مناسب را در یک گستره زمانی طولانی میسر می‌سازد. اگر حضور در این گونه جلسات مقدور نباشد، اکثر این جلسات کتاب‌ها و سی‌دی‌های موضوعات و مقالات ارائه شده را از طریق سایت‌های مسئولین برگزاری این جلسات در دسترس قرار می‌دهند.

برخی نمونه‌ها از این گونه جلسات سالانه و برنامه‌ریزی شده متداول در زیر آورده شده است. اطلاعات و جزئیات بیشتر در مورد برنامه‌های تخصصی ثبت‌نام و تدارک هتل برای این جلسات به صورت آنلاین قابل پیگیری می‌باشد.

- IREFCON (Kolkata, India) – alternating even years, about 60–70 papers (www.irmaindia.org/irefcon)
- International Conference on Refractory Experts & Metallurgists (Russia) – March (l.sorkin@imet.ru)
- St. Louis Refractories Symposium (US) – late March, 15–20 papers (www.ceramics.org/sections/st-louis-section)
- Annual TARJ Meeting (Japan) – April, about 50–60 papers (www.tarj.org)
- Aachen Kolloquium (Germany) – September, 60–80 papers (info@ecref.eu)
- Meeting of Refractory Experts (Germany) – Fall (www.more-freiberg.de)
- Association of Latin American Refractory Manufacturers – ALAFAR (Various cities in Latin/South America) – late Fall, about 20–25 papers (www.alafar.org)
- Unified International Technical Conference on Refractories – UNITECR (various cities worldwide) – late Fall, alternating odd years, next UNITECR meeting Victoria, British Columbia, September 2013, 200–250 papers (www.ceramics.org).



شکل ۵- سقف یک کوره گرمایش مجدد فولاد با ابعاد ۵۰ × ۳۰ فوت که توسط آجرهای پیش ساخته و پیش گرم شده دیرگداز ترمیم شده است

استدلال و اندیشه نهایی

نقش اینترنت نقشی عمیق و ژرف بوده است و بر روی تمامی بخش‌های جامعه مانند بخش‌های بازرگانی، تجارت و صنعت در تمام دنیا تاثیر می‌گذارد و در تمام این متن فواید عظیم این مقوله در صنعت دیرگداز ارائه شده است. این موضوع که چه تغییر و تحولاتی در آینده اتفاق می‌افتد جالب است همچنین در طول سال‌ها اثراتی منفی مانند مزایده‌ها و رقابت جهانی شدیدتر برای گرفتن سفارش و ایجاد دلالی یا شغل‌های کاذب به وجود آمده است.

اطلاعات و منابع آنلاین و در دسترس بسیار وسیع بوده و روز به روز در حال گسترش است و در این متن کوتاه و اجمالی اشاره به تمامی این منابع و اطلاعات مقدور نیست و فقط می‌توان اشاره‌ای سطحی به این مقوله داشت. تعداد بیشماری دیگر نیز از سایت‌های مفید در زمینه دیرگدازها موجودند و خوانندگان باید بتوانند به آسانی به این گونه منابع اطلاعاتی و خدمات مفید و مطلوب و نیز گزارش‌های موفقیت‌های جالب حاصل شده در این زمینه‌ها دسترسی و ارتباط یابند لذا این گونه موارد می‌توانند در مقاله‌های بعدی انجمن دیرگدازها به اشتراک گذاشته شده و به چاپ برسند.

باتری‌های حالت جامد، به آینده‌ای مطمئن برای کاربردهای ذخیره انرژی نوید می‌دهد.

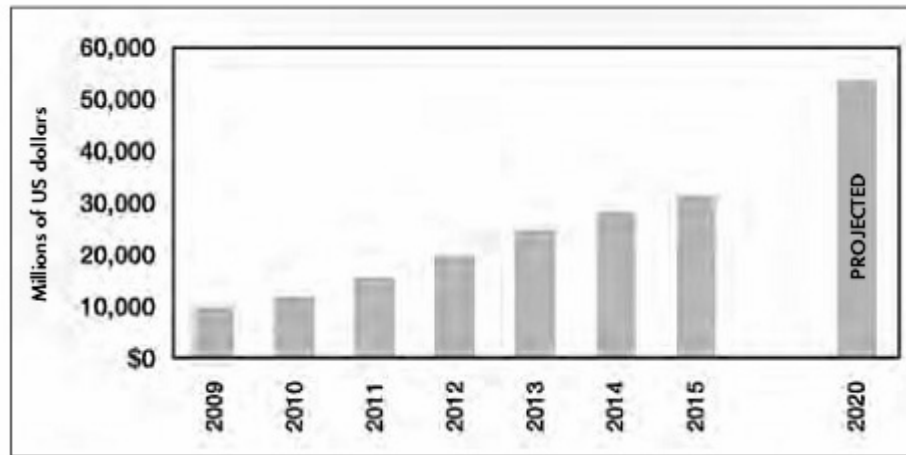
American Ceramic Society Bulletin, Vol. 91, No. 2



باتری‌های الکترولیت حالت جامد، سبک، مطمئن، قابل بازیافت و مطابق شکل در مقایسه صفحه بسیار کوچک هستند.

فراهم کردن انرژی کارآمد، مهم‌ترین چالش این قرن است. یکی از بخش‌های مهم این چالش، مهیا کردن شرایطی برای ذخیره انرژی برای تمامی فعالیت‌های بشر است به گونه‌ای که استفاده از این انرژی کارآمد باشد. ذخیره شیمیایی انرژی به در باتری در کاربردهای گوناگون، از سنسورهای قدرتی گرفته تا دستگاه‌های شخصی، حمل و نقل و بسیاری کاربردهای دیگر، نقش بسزایی در ذخیره انرژی دارد. ما به عنوان یک جامعه، روز به روز در حال وابسته شدن بیشتر به باتری‌ها سیستم به عنوان مثال اخیراً با افزایش توجه نسبت به افزایش اثر گازهای گلخانه‌ای و متأثر از آن گازهای بیرونی، توجه زیادی به باتری‌های بهتر برای وسایل نقلیه با جریان الکتریکی بالاشده است. امروزه اکثر مردم تلفن‌های هوشمند دارند که بخاطر محدودیت شارژ باتری روزانه آنها را شارژ می‌کنند. باتری‌ها در سایزهای متنوع، از میکروباتری‌ها با ظرفیت انرژی میلی وات ساعت تا باتری‌های ظرفیت بالا در مقیاس مگاوات ساعت موجودند. چالش این است که چگونه می‌توان ظرفیت شارژ انواع باتری‌ها را افزایش داد به نحوی که ایمن و اقتصادی باشد.

باتری‌های لیتیومی بالاترین انرژی مخصوص و دانسیته انرژی را در بین تمام باتری‌های شیمیایی شناخته شده دارند که لذا بازار بسیار خوب و مطمئنی را برای آنها ایجاد کرده است. (شکل ۱) با این حال این تکنولوژی با چالش‌های بسیاری در امنیت، هزینه، عمر و دانسیته انرژی بهینه، مواجه است. بسیاری از این چالش‌ها مرتبط با استفاده از یک الکترولیت مایع بسیار فعال می‌باشد.



شکل ۱- پیش بینی می‌شود سهام جهانی باتری لیتیوم دار تا سال ۲۰۲۰ به بیش از ۵۰ میلیارد دلار برسد که بیشتر آن مربوط به بازار باتری‌های وسایل نقلیه الکتریکی می‌باشد. درصد برآورد شده برای باتری‌های حالت جامد چیزی کمتر از ۱٪ از بازار LIB است. منبع: IHS isuppli، آگوست ۲۰۱۱.

برای رویارویی با این مشکلات، پیشنهادی برای LIB (باتری‌های لیتیومی) های مایع معمول، در طی ۲۰ سال گذشته، مورد پیگیری قرار گرفته است، به این دلیل که در آن از یک الکترولیت حالت جامد استفاده می‌شود تحت عنوان باتری حالت جامد و یا باتری غشایی نازک مطرح است. اگرچه این طرح هنوز در ابتدای امر به باتری‌های مایع وابسته است ولی پیشرفت‌های اخیر و علاقمندی‌های نشان داده شده در این زمینه، آینده‌ای مطمئن را برای باتری‌های حالت جامد در بسیاری از کاربردهای ذخیره انرژی، در نظر دارد.

ساختار باتری‌های لیتیوم‌دار، محدودیت‌هایی به دنبال دارد

برای دانستن مشکلات مواجه با تکنولوژی LIB های مایع، درک ساختار یک باتری الزامی است. هر باتری معمولاً از این بخش‌های اصلی تشکیل می‌شود: آند (الکتروود منفی)، الکترولیت و کاتد (الکتروود مثبت). در طی دشارژ شدن، یون‌های لیتیوم از طریق الکترولیت مایع، از آند به کاتد می‌روند. یک جداکننده پلیمری، از نظر الکتریکی کاتد و آند را از هم جدا نگه می‌دارد. الکترولیت مایع معمولاً LiPF_6 حل شده در مخلوطی از حلال‌های مایع (مثل دی متیل کربنات، دی اتیل کربنات، اتیلن کربنات) می‌باشد. کارایی یک باتری وابسته به کارایی الکترولیت آن است. اگر الکترولیت هدایت یونی بسیار بالایی داشته باشد یون‌های لیتیوم بین الکتروودها توزیع شده و قدرت تسلیم یون‌ها به مقدار بیشینه نود می‌رسد، در حالی که هدایت یونی بسیار پایین، دشارژ را محدود و self-life را طولانی می‌کند. به علاوه، داشتن کارایی موثر الکترولیت در بازه وسیعی از داده‌ها، برای بسیاری کاربردها ضروری است. الکترولیت‌های مایع باید تمام این معیارها را رعایت کند، هدایت یونی لازم، مقاومت الکتریکی بسیار بالا و دمای کاری موثر از چند ده درجه زیر صفر تا حدود ۱۰۰ درجه سانتیگراد را داشته باشد.

با این حال نگرانی‌های ایمنی جدی مورد توجه مصرف باتری‌های مایع است. استفاده از حلال‌های پایه آلی اغلب باعث افزایش فرار الکترولیت‌های مایع در بسیاری از شرایط مثل دماهای بالا، سرعت شارژ-دشارژ بالا، شکست و... می‌شود.

این مسأله به نوبه خود، نگرانی‌های ایمنی راجع به اشتعال‌زایی در هر چیز از وسایل شخصی گرفته تا وسایل نقلیه الکتریکی، به دنبال خواهد داشت.

یکی دیگر از جنبه‌های کلیدی در کارایی باتری‌ها، میزان یون لیتیومی است که می‌تواند در الکترولیت ذخیره شود. هر چه میزان لیتیومی که الکترولیت می‌تواند ذخیره و رها کند بیشتر باشد، ظرفیت بیشتر خواهد بود و از انرژی بیشتری بهره‌برداری می‌شود. اگرچه الکترولیت مایع می‌تواند با سطوح کاتد و آند واکنش داده و باعث

تشکیل یک لایه میانی جامد-الکترولیت شود که محافظی برای الکترودها به شمار می‌رود ولی همچنین با افزایش مقاومت به جریان شارژ، تأثیر منفی برای کارایی الکترودها خواهد داشت.

این مسأله می‌تواند باعث خشک شدن باتری شود. این امر بدین معنا است که ظرفیت باتری با افزایش تعداد چرخه‌های شارژ و دشارژ شدن کاهش می‌یابد. چرخه عمر کاهش یافته به همراه مصرف مداوم، اتفاقی رایج است و اغلب در باتری‌های موبایل و لپ‌تاپ این مسأله دیده می‌شود. این واکنش‌های ثانویه همچنین می‌تواند با افزایش دما باعث کاهش عمر باتری شود.

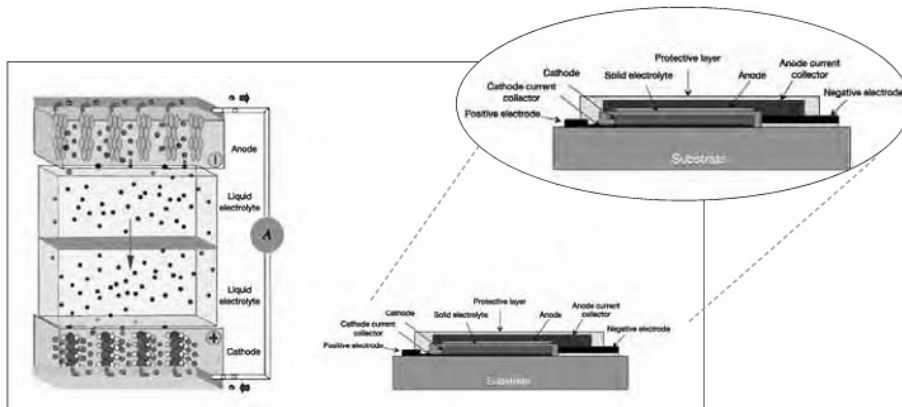
در باتری‌ها علاوه بر الکترودهای فعال، تعدادی افزودنی چون کربن و چسب وجود دارد که باعث تقویت هدایت الکترونی می‌شود و مواد درون باتری را در طی ساخت کنار هم نگه می‌دارد. این امر نه تنها باعث افزایش وزن و حجم مجموعه می‌شوند بلکه سطح بیشتری در اختیار الکترولیت قرار می‌دهد تا هنگام وقوع واکنش‌های ناخواسته، کارایی باتری و عمر آنرا محدود کند.

کاتدهای استفاده شده در LIBهای موجود کاملاً تجربی تشکیل شده‌اند از بین نشین‌هایی چون LiCoO_2 ، LiMn_2O_4 و LiFePO_4 . رایج‌ترین کاتد LiMn_2O_4 فرایند ماده افزایی^۱ در بردارنده جاگذاری و ذخیره سازی لیتیوم در مواضع بین نشینی کاتد می‌باشد بدون آنکه ساختار کریستالی ماده تغییر کند. ظرفیت ویژه این مواد معمولاً کمتر از ۲۰۰ میلی آمپر ساعت بر گرم می‌باشد. رایج‌ترین آند مورد استفاده، گرافیت است که ظرفیت ویژه‌ای معادل ۳۷۲ میلی آمپر ساعت بر گرم را داراست که در اینجا نیز بین نشینی جهت ذخیره لیتیوم برای شارژ مجدد باتری بکار می‌رود. اختلاف پتانسیل بین لیتیوم موجود در کاتد و آند معرف ولتاژ باتری است که به نوبه خود بر کل مقدار انرژی که باتری می‌تواند ذخیره کند تأثیر دارد.

به منظور دستیابی به بیشترین توان و انرژی در باتری، می‌بایستی کارکرد در بالاترین ولتاژ ممکن انجام گیرد. با این حال به دلیل بی ثباتی ذاتی الکترولیت‌های مایع، استفاده از موادی مطمئن برای الکترودها که ولتاژ بیشتری تولید می‌کنند مورد بحث است.

توسعه الکترولیت حالت جامد

به منظور قائق آمدن بر این مسائل، چندین سال است که توجه زیادی به توسعه باتری‌هایی که از الکترولیت‌های حالت جامد استفاده می‌کنند نشان داده شده است. طی مراحل اولیه توسعه SSE (الکترولیت حالت جامد) ها، بدیهی بود که چالش‌های اصلی ماده‌ای با حالت جامد را که بطور کارآمد دارای هدایت یون لیتیوم بالا، مقاومت الکتریکی بالا، استحکام دمایی مطلوب و استحکام مناسب در تماس با الکترودهای LIB معمول باشد، فراهم کند. شکل ۲ بطور شماتیک نشان دهنده تفاوت بین باتری‌های با الکترولیت مایع LIB و غشای نازک SSE است.



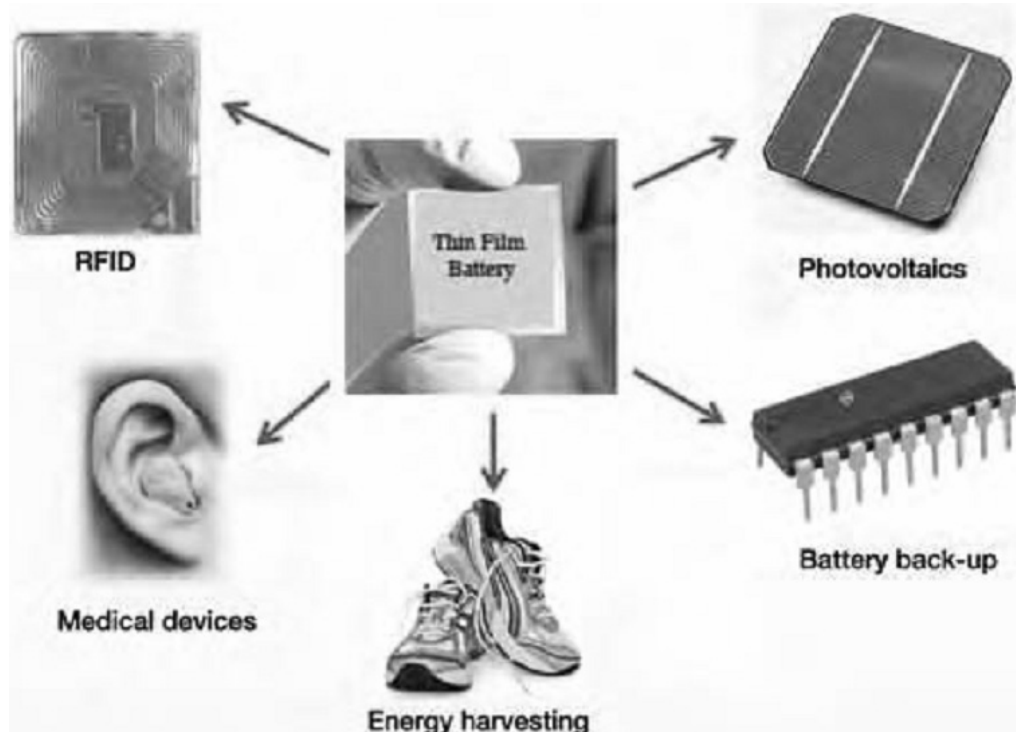
شکل ۲- مقایسه وجه به وجه باتری‌های لیتیوم‌دار با الکترولیت مایع و باتری‌های با الکترولیت حالت جامد غشای نازک

^۱ intercalation

بررسی‌های اولیه، LiN_3 را به عنوان ماده‌ای با هدایت یونی مناسب در مقایسه با الکترولیت‌های مایع معرفی کرد اما مقاومت الکتریکی آن کمتر از حدی بود که دوام یک SSE کارآمد را داشته باشد. همچنین محققان به چندین هادی یون لیتیوم شامل شیشه‌های منفسیلیکات لیتیوم، شیشه‌های کاسکوژناید لیتیوم و ترکیبات شیشه سرامیک، دست یافتند. برخی از این مواد، هدایت یونی‌های خوبی در مقایسه با الکترولیت‌های مایع عرضه می‌کنند اما دارای مقاومت الکتریکی بسیار پایین، استحکام دمایی ضعیف و یا استحکام پایین الکتروود LIB نیز می‌باشند.

در دهه ۱۹۹۰ کارکنان آزمایشگاه ملی اگ ریج، نسل جدیدی از SSE ها را با قرار دادن Li_3PO_4 در معرض نیتروژن تولید کردند تا به LI PON (لیتیوم اکسی نیتريد فسفري) دست یابند. بیشترین هدایت یونی گزارش شده LI PON چیزی حدود 2×10^{-6} زیمنس بر سانتی متر است که حدوداً در حجم ۳ بار کمتر از همین مقدار برای الکترولیت‌های مایع می‌باشد. با این حال LIPON به عنوان ماده‌ای با مقاومت الکتریکی بسیار بالا، استحکام دمایی خوب و استحکام عالی در تماس با لیتیوم و سایر الکتروودها، مطرح شد. به علاوه در LIPON ثبات لازم برای استفاده به عنوان یک SSE در باتری‌های فلز لیتیوم غشای نازک موجود است چرا که به لایه‌های الکترولیت این اجازه را می‌دهد که کمتر از $2 \mu m$ ضخامت داشته باشد (که باعث حداقل شدن تأثیر هدایت یونی کم مرتبط می‌گردد).

به دنبال کشف LIPON، شرکت‌های بسیاری دست به توسعه میکرو باتری‌های حالت جامد غشای نازک زدند. تاکنون دست کم هفت شرکت به فروش باتری‌های تجارتي حالت جامد یا غشای نازک براساس تکنولوژی غشای نازک، می‌پردازند. همانطور که در شکل ۳ نشان داده می‌شود، بازار این باتری‌ها معمولاً در حد سنسورهای قدرتی، تراشه‌های (RF11)، دستگاه‌های پزشکی، on.chip battery back-up و حتی ذخیره انرژی از دستگاه‌های جمع‌آوری انرژی مثل فوتو ولتائیک و پیزوالکتریک‌ها می‌باشد.



شکل ۳- کاربردهایی برای باتری‌های حالت جامد غشای نازک

طول و ضخامت رایج این باتری‌ها به ترتیب ۲ تا ۶ سانتیمتر و ۱ میلیمتر است که انعطاف را افزایش داده و کاربرد پتانسیلی در الکترونیک‌های پوشش پذیر را ممکن می‌سازد. میزان انرژی ذخیره شده در این باتری ا

معمولاً ۰/۰۲ تا ۰/۱۵ میلی آمپر ساعت بر سانتیمتر مربع با ظرفیت کل ۱ تا ۲ میلی آمپر ساعت می‌باشد. (برای درک بهتر، یک باتری معمولی موبایل دارای ظرفیت کلی معادل ۱ آمپر ساعت است که در حجم ۳ بار بزرگتر از همین مقدار برای باتری‌های حالت جامد غشای نازک می‌باشد.)

اندازه کوچک، مزایای بزرگ

با وجود کوچک بودن، مزایای زیادی برای یک باتری حالت جامد در مقایسه با باتری با الکترولیت مایع وجود دارد. از آنجا که باتری‌های حالت جامد هیچ ماده اشتغال‌زایی ندارند و نمی‌توانند داخل خود گاز هیدروژن تولید کنند، کارکرد این باتری‌ها از ایمنی بالایی برخوردار است. همچنین خنثی بودن SSE ها امکان استفاده از کاتدهای ولتاژ بالا را می‌دهد که دانسیته انرژی را بهبود می‌بخشند.

اما با وجود شانس استفاده از کاتدهای ولتاژ بالا، هنوز چالش‌هایی وجود دارد. لذا اکثر تولیدکنندگان باتری‌های حالت جامد غشای نازک هنوز از کاتدهای سنتی چون LiCoO_2 و LiMn_2O_4 استفاده می‌کنند. اگرچه بسیاری هم، لیتیوم را به عنوان آند بکار می‌برند. به علاوه، تشکیل لایه میانی جامد-الکترولیت و سایر واکنش‌های ثانویه تحلیل می‌یابند و یا حتی وقوع نمی‌یابند که این امر منجر به بسیار پایین بودن سرعت خود دشارژ و لذا ذخیره چندین ساله با حداقل از دست دادن توان، می‌شود.

علاوه بر اینها، بررسی‌های اولیه نشان داده‌اند که باتری‌های حالت جامد می‌توانند از نظر پتانسیل، چرخه‌ای ۱۰ تا ۱۰۰ برابر طولانی‌تر نسبت به باتری‌های مایع داشته باشند بدون آنکه تحلیل برود.

استحکام SSE ها همچنین این امکان را می‌دهد که باتری‌های حالت جامد در سرعت‌های بالایی شارژ و دشارژ شوند بدون آنکه واکنش‌های ناخواسته رخ دهند که این امر به کاربردهای بیشتری آزادی عمل می‌دهد. در آخر، SSE ها در بازه وسیعی از دماها طبقه‌بندی می‌شوند و لذا SSE ها می‌توانند نسبت به باتری‌های لیتیوم دار رایج با الکترولیت مایع، در دماهای بیشتری کاربرد داشته باشند.

تولید و موانع اقتصادی

با در نظر گرفتن این امتیازات، اگر واحدهای ظرفیت بالاتری را بتوان بطور اقتصادی ساخت، باتری‌های حالت جامد پتانسیل بالایی برای دستگاه‌های شخصی (دستگاه‌های ضبط صوت، موبایل، تبلت، لپ تاپ) خواهند داشت و انتخابی عالی برای کاربردهای نیازمند به توان بالاتر مانند وسایل نقلیه الکتریکی و برخی کاربردهای مربوط به ذخیره سازی خواهد بود. علاوه بر اینها، بازار این پیش بینی را دارد که در طی ۸ سال آینده باتری‌های وسایل نقلیه الکتریکی هم جنبه و فراگیر شوند. با این حال برای عملی شدن چنین کاربردهایی برای باتری‌های حالت جامد، فاکتورهای متعددی باید رعایت شود.

اولین نگرانی، هزینه تولید است اما مشکلاتی نیز بر سر راه توسعه ظرفیت‌ها و کاتدهای با ولتاژ بالاتر، آندهای بهتر و غشاهای نازک‌تر برای هندسه شکل در حالت جامد وجود دارد.

امروزه باتری‌های تجاری غشای نازک حالت جامد در دسترس با استفاده از تکنیک‌های رسوب‌دهی مینی بر خلاء مانند RF و Dc Magnetron Sputtering تولید می‌شوند. پیش از این باتری‌های با طول بیشتر به رسوب‌دهی‌های مرسوم‌تر همچون پوشش‌دهی دوغابی وابسته بودند.

لذا از آنجا که در حال حاضر تجهیزات پیچیده بیشتری مورد نیاز در تولید باتری‌های حالت جامد است، هزینه ساخت بسیار بالاست. به عنوان مثال استفاده از تکنولوژی‌های معاصر به منظور ارتقا از میلی آمپر ساعت در میکرو باتری‌ها به ۱ آمپر ساعت در باتری‌های معمولی در موبایل‌ها، هزینه‌ای معادل هزاران دلار به ازای هر باتری در بر خواهد داشت، که مشخصاً عملی نخواهد بود. لذا می‌بایست چاره دیگری برای فرآیندهای رسوب‌دهی مینی بر خلاء اندیشید.

علاوه بر هزینه‌های تولید یافتن مواد مناسب برای الکترودها ممکن است مشکل ایجاد کند. تاکنون تحقیقات



بسیاری در زمینه جنس آندها و کاتدها صورت گرفته است. اساساً، دو دسته برای این مواد وجود دارد: بین نشین‌ها که در آنها اتم‌های لیتیوم بدون آنکه ساختار کریستالی الکتروود (به عنوان مثال CoO_2) را تغییر دهند، در مواضع بین نشینی جایگذاری می‌شوند و دسته دوم جانشین‌ها که در آنها لیتیوم با الکتروود واکنش می‌دهد تا ترکیبی با ساختار کریستالی سازد که با مواد فاقد لیتیوم متفاوت است (به عنوان مثال سیلیکون). ترکیبات جانشینی، پیشرفت‌های چشمگیری در تئوری ظرفیت ویژه ایجاد می‌کنند ولی همچنین می‌توانند تغییرات حجم قابل ملاحظه‌ای را در طی شارژ شدن (لیتیون دهی) و دشارژ شدن (لیتیوم زدایی) تجربه کنند. در باتری‌های سنتی تر، الکترودهای سنتز شده در مقیاس نانو، توانایی سازگاری با تغییرات حجمی بالایی از خود بروز داده‌اند. در باتری‌های حالت جامد، سازگاری کرنشی مرتبط با ترکیبات جانشینی پتانسیل بیشتری برای ایجاد مشکل دارند. به علاوه، با افزایش مقیاس نتیجه از کنار هم قرار دادن تکنولوژی‌های سنتی و غشای نازک، کارایی به حداکثر و هزینه‌ها به حداقل می‌رسد.

مهندسی و کاربردها

یکی از بهترین فرصت‌های آینده‌دار برای باتری‌های حالت جامد، بازار وسایل نقلیه الکتریکی است. نمایندگی پروژه‌های تحقیقاتی پیشرفته در انرژی (ARPA-E: Advanced Research Projects Agency in Energy)، تعدادی از اهداف ویژه که به منظور دستیابی به نیازهای آینده درباره وسایل نقلیه الکتریکی، باید به آنها دست یابیم را مشخص کرده است. دو مورد از این اهداف این است که هزینه باتری‌ها باید کمتر از ۲۵۰ دلار به ازای هر کیلووات ساعت و انرژی ویژه یک باتری کامل باید بیش از ۲۰۰ وات ساعت بر کیلوگرم باشد. پیش از آنکه باتری‌های حالت جامد بتوانند به این اهداف دست پیدا کنند باید مشکلات عظیمی را پشت سر گذاشت. Planar Energy (اورلاندو، فلورا) امتیاز توسعه سلول‌های حالت جامد برای استفاده در باتری‌ها به عنوان نیروی محرکه وسایل نقلیه الکتریکی را از ARPA-E گرفت.

فعالیت‌های انجام شده در این پروژه، ۳ نیاز اساسی برای طراحی این سلول‌ها مشخص کرد:

* کاتد باید ماده‌ای کامپوزیتی باشد.

* الکتروولیت حالت جامد باید هدایتی معادل حداقل 10^{-4} زیمنس بر سانتی‌متر داشته باشد.

* مواد باید در ساختار و فعال و انفعالات شیمیایی با یکدیگر سازگار باشند.

که این ۳ مورد به کمی توضیحات نیاز دارند:

* هیچ کاتد حالت جامد به تنهایی نمی‌تواند هم حجم زیادی از لیتیوم را ذخیره کند و هم هدایت یونی و الکترونیکی خوبی داشته باشد لذا سلول‌های حالت جامد به کاتدهایی نیاز دارند که ساختار کامپوزیتی داشته باشند، که در اینجا چالش بر سر سازگاری مواد درون کامپوزیت با هم خواهد بود.

* در سلول‌های حالت جامد، الکتروولیت به عنوان یک جداکننده عمل می‌کند. به منظور سازگاری با کاتدهای ضخیم و ظرفیت بالا الکتروولیت باید غلیظ تر از آنی باشد که در باتری‌های غشای نازک موجود است. لذا الکتروولیت باید هدایت یونی بیشتری نسبت به LIPON داشته باشد. براساس نتایج تجربی بدست آمده، الکتروولیت باید دست کم هدایت یونی ای معادل 10^{-4} زیمنس بر سانتی‌متر داشته باشد، و باید به نحوی قرار گیرد که مقاومت داخلی سلول را به حداقل برساند. بسیاری از الکتروولیت‌های با هدایت یونی بالاتر انتخاب مناسبی برای رسوب دهی غشای نازک نیستند. Planer Energy به توسعه الکتروولیت LISICON-گوگردی حالت جامد پرداخته است که هدایت یونی خوب و مقاومت الکتریکی بالایی دارد.

* مشکل سطح مشترک بین کاتد/الکتروولیت/آند، یافتن الکتروولیت حالت جامد مناسب است که دارای ۳ ویژگی مذکور باشد، با کاتد یا آند آلیاژ نشود، در طی شارژ و دشارژ شدن از نظر ساختار با کاتد و آند سازگار باشد، و هیچ تخلخلی در محل اتصال کاتد/الکتروولیت «و یا» الکتروولیت/آند نداشته باشد تا معضلی ناشی از نفوذ یون‌های لیتیوم به درون تخلخل بوجود نیاید.



در حال حاضر گروه‌های متعددی برای برطرف کردن این مسائل و ساخت باتری لیتیوم دار حالت جامد با ظرفیت بالا می‌کوشند. یکی از حالت‌های ممکن، ترکیب تکنولوژی‌های باتری‌های حالت جامد و لیتیوم‌دار مایع است. به عنوان مثال برخی از محدودیت‌های هدایت یونی در کاتدهای ضخیم و مسائل مرتبط با ناهمگونی ساختار در سلول‌های حالت جامد با طور زیاد با ساختار «SSE/Li / کاتد»، می‌تواند با استفاده از یک ساختار به اصطلاح سلول هیبریدی، برطرف شود.

سلول هیبریدی الزاماً یک سلول حالت جامد با مقداری کمی الکترولیت مایع می‌باشد. علاوه بر بررسی ابعاد بزرگ برای همه باتری‌های حالت جامد، Planer Energy در حال ابداع یک سلول هیبریدی مناسب می‌باشند (رجوع شود به Sidebar). در اینجا آند و کاتد مانند سلول‌های سنتی تر به یکدیگر وابسته نیستند اما هر یک به منظور تشکیل ساختارهای «SSE / کاتد» و «SSE/Li»، با الکترولیت حالت جامد پوشش داده شده‌اند. این ساختارها در کنار هم ساختار سلول هیبریدی «SSE/کاتد مشتق شده از SSE/Li / مایع» را می‌سازند.

چنین سلولی دارای الکترولیتی مایع برای اتصال آند به کاتد (از نظر یونی) می‌باشد. سلول هیچ جداکننده پلیمری ندارد. SSE روی آند و نیز کاتد جداکننده‌ای معدنی تشکیل می‌دهد. پوشش‌های SSE روی الکترودها از تشکیل لایه SEI جلوگیری می‌کند و با این کار چرخه عمر طولانی‌تری ایجاد می‌کند. از آنجا که تمام مواد درون سلول به جز الکترولیت مایع، معدنی‌اند، هیچ واکنش یک طرفه‌ای مشاهده نشده و خود دشارژی نیز ناچیز است. کم بودن مقدار مایع باعث افزایش امنیت سلول می‌شود. سلول دارای ظرفیتی معادل ۱۵ میلی آمپر ساعت بر سانتیمتر مربع و ظرفیت ویژه‌ای معادل ۲۴۵ میلی آمپر ساعت بر گرم می‌باشد. به دلیل میزان LiCoO_2 موجود در کاتد که در یک فوم نیکلی قرار داده شده است.

این ظرفیت بیشتر از حالت LiCoO_2 معمول است و نیز افزایش ظرفیت ناشی از افزودنی‌های کاتیونی اضافه شده به LiCoO_2 ، ممکن می‌باشد. مطالعات بیشتری برای درک و حداکثر کردن این حالت نیاز است. با ترکیب یک الکترولیت حالت جامد با راکتیویته پایین تر و الکترولیت مایع با اتصالات سطحی قوی تر می‌توان شروع به درک باتری‌های حالت جامد با طول بیشتر نمود. این خط مشی چاره‌ای برای ساخت باتری‌های حالت جامد ظرفیت بالا می‌باشد. این نتایج می‌توانند پلی بین میکروباتری‌ها و باتری‌های بزرگتر باشند و به عبارت صریح‌تر، نیاز به روش هیبریدی وجود دارد. این روش این مزیت را دارد که با در دست داشتن بهترین ویژگی‌های سیستم‌های باتری‌های مایع و حالت جامد، به اهداف از پیش ذکر شده دست یابیم.



با نهایت تأثر باطلاع می‌رساند که خانم پریسا آزمانی دانشجوی
سرامیک ملایر و عضو انجمن سرامیک که بدلیل بیماری در
سال ۸۴ به دانشگاه علم و صنعت ایران انتقال یافت، با اتمام
تحصیل در شرایط سخت، سرانجام پس از طی یک دوره
طولانی بیماری، زندگی را بدرود گفت. از خداوند بزرگ برای
ایشان آمرزش و برای بازماندگان صبر و سلامتی آرزومندیم.

تاریخچه انجمن سرمایه‌های اروپا

مقدمه

به کار بردن کلمه "تاریخچه" برای توضیح پیشرفت یک سازمان مستلزم رخ دادن اتفاقات ویژه‌ی متعدد در طول دوران حیات آن سازمان و یا سابقه بلندمدت و قابل تحسین آن موسسه می‌باشد. در مورد انجمن سرمایه‌های اروپا (ECeRS)، حالت دوم بیشتر خود نمایی می‌کند. چرا که امسال بیست و پنجمین سالگرد تاسیس آن جشن گرفته خواهد شد. این انجمن اولین بار در سال ۱۹۸۷ در شهر کانتربری انگلستان تشکیل شد. شایان ذکر است که نویسندگان این مقاله اولین رئیس انجمن سرمایه‌های اروپا است که پس از پشت سر گذاشتن سال‌های نخست تاسیس آن، چشم‌انداز این انجمن را تهیه کرده و در اولین جلسه عمومی آن که در سال ۱۹۸۹ در هلند ارائه داده است.

در حالی که در روزهای نخست این انجمن توسط ۷ عضو مؤسس تشکیل شد، هم اکنون بالغ بر ۲۴ عضو دارد. این انجمن به صورت واحدی مشابه و دارای وضعیتی یکسان با انجمن سرمایه‌های آمریکا فعالیت می‌کند و مفتخر است که در جلسات فدراسیون بین‌المللی سرمایه‌های اروپا در کنار انجمن سرمایه‌های آمریکا قرار می‌گیرد. البته از طرفی این انجمن تفاوت‌های اساسی با انجمن سرمایه‌های آمریکا دارد. چراکه از ۲۴ عضو ملی تشکیل شده که بسیاری از آنها ساختارهای درونی خاص، نحوه عضوگیری ویژه و نیز راهبردهای متفاوتی دارند. البته در این میان انجمن سرمایه‌های اروپا با برگزاری جلسات دو سالانه سعی می‌کند این اعضای جدا را به هم نزدیک کند. هدف اصلی این جلسات گردهمایی محققان دانشگاهی و صنعتی و نیز مبادله و به اشتراک‌گذاری جدیدترین یافته‌ها در طیف عظیمی از فعالیت‌های مربوط به علم سرمایه‌های اروپا است.

بنابراین به خاطر این رشد و گسترش انجمن سرمایه‌های اروپا باید به گذشته ۲۵ ساله خود با افتخار بنگرد. نگاشتن تاریخچه وظیفه‌ای اساسی است که نشان می‌دهد اتفاقات مهم فراموش نمی‌شوند. آقای رودی متسلار (Rudi Metselaar) تاریخچه انجمن را با سبک خاص خود و با جمع‌آوری اطلاعات مربوط به حوادث، تغییرات و مهم‌تر از همه افراد نگاشته است. همزمان با مرور حوادث رخ داده، به یادآوری افرادی که در طول این سال‌ها حمایت‌ها و کمک‌های شایانی به انجمن سرمایه‌های اروپا کرده‌اند تا مراحل مختلف پیشرفت آن طی شود ضروری است. لذا جا دارد از آقای متسلار به خاطر جمع‌آوری این مجموعه استنادانه و البته خلاصه‌وار تشکر کنیم. چرا که این مجموعه را به شکلی جمع‌آوری کرده است که نه تنها می‌تواند به عنوان متنی دل‌چسب مطالعه شود بلکه می‌تواند به عنوان مجموعه‌ای مفید از خاطرات انجمن سرمایه‌های اروپا، زینت بخش کتابخانه‌های شخصی خوانندگان باشد.

"درک تامسون رئیس انجمن سرمایه‌های اروپا"

معرفی

خاطرات یک انجمن معمولاً به خاطر تغییرات مستمر آن کاملاً خلاصه می‌باشد. بنابراین بررسی وضعیت اولیه‌ی انجمن سرمایه‌های اروپا و وضعیت پیشرفت کرده و متحول شده آن پس از ۲۵ سال مناسب دیده می‌شود.

تحولات شاخص در تاریخچه انجمن سرمایه‌های اروپا

در بررسی تاریخچه همکاری کشورهای اروپایی در زمینه‌ی سرمایه‌های اروپا (AEC) بر می‌خوریم. این اتحادیه شامل تولیدکنندگان آجر بود. گرچه این اتحادیه گردهمایی‌های سه سالانه‌ای را

برگزار می‌کرد اما محققان تمایل چندانی برای شرکت در این جلسات نداشتند. لذا از سال ۱۹۶۱ جلسات متناوبی (با تاکید بر زمینه علمی) توسط انجمن سرمایه انگلستان و هلند تحت عنوان علم سرمایه برگزار شد. در پنجمین گردهمایی که در سال ۱۹۶۹ در سوئد برگزار شد، با اضافه شدن انجمن‌های سرمایه بلژیک، فرانسه، آلمان، ایتالیا، اسپانیا و سوئد این مجموعه به صورت نهادی اروپایی درآمد. هم چنین در سال ۱۹۷۷ کشورهای لهستان و یوگوسلاوی نیز به این مجموعه اضافه شدند. از این پس دیگر اتحادیه سرمایه اروپا جلسات خود را تشکیل نداد و به صورت غیر فعال درآمد. در نهایت در جلسه‌ای که در ۱۸ دسامبر ۱۹۸۷ در آمستردام هلند برگزار شد همه‌ی اعضای اتحادیه سرمایه اروپا با منسوخ شدن این اتحادیه و واریز شدن باقیمانده سرمایه این اتحادیه به حساب مجموعه‌ی علم سرمایه موافقت کردند. در این سال‌ها با اینکه جلسات علم سرمایه با حضور جامعه سرمایه اروپا و با حمایت مالی اتحادیه سرمایه اروپا برگزار می‌شد، اما هنوز انجمن سرمایه اروپایی به صورت مشخص وجود نداشت.

ضرورت تشکیل انجمن به خاطر اتفاقات رخ داده در خارج از انجمن بوجود آمد. در سال ۱۹۸۷ اعضای انجمن سرمایه آمریکا خواهان تشکیل شعبه‌ای از این انجمن در اروپا شدند. در ۲۴ فوریه ۱۹۸۷ هیات نمایندگانی از سوی انجمن سرمایه آمریکا به بروکسل که محل برگزاری نشست علم سرمایه بود، آمدند. همه اعضا موافقت کردند که از این موقعیت باید برای تشکیل انجمن سرمایه اروپا متشکل از کشورهای حاضر در نشست استفاده شود.

تاریخچه انجمن سرمایه اروپا

در ۱۹ می ۱۹۸۷ در جلسه‌ای که در بروکسل برگزار شد، انجمن‌های ملی کشورهای مختلف با طرح پیشنهادی و تشکیل انجمن موافقت کردند و مقرر شد که جلسه‌ی پایانی برای تصمیم‌گیری در این خصوص همزمان با ۱۴امین جلسه‌ی علم سرمایه که قرار بود در سپتامبر همان سال در کانتربری انگلستان برگزار شود، تشکیل گردد. لذا در ۹ سپتامبر همان سال انجمن سرمایه اروپا پایه‌ریزی شد و نمایندگان کشورهای انگلستان، فرانسه، آلمان، ایتالیا، اسپانیا و هلند به عنوان اعضای موسس مشخص شدند. در این جلسه، طرح پیشنهادی رئیس اتحادیه سرمایه اروپا، آقای لمن برای انحلال این اتحادیه با اکثریت آرا به تصویب رسید. ساختار جدید دربرگیرنده چند تصمیمی مهم بود:

- ۱- گردهمایی‌های علم سرمایه به صورت دوسالانه و تحت عنوان کنفرانس انجمن سرمایه اروپا ادامه خواهد داشت.
- ۲- زبان این جلسات انگلیسی خواهد بود.
- ۳- هر کشور در جلسات شورا دارای یک حق رای بوده و باید رئیس انجمن آن کشور به همراه یک فرد دیگر در جلسات شرکت کند.
- ۴- رئیس انجمن سرمایه کشور برگزار کننده‌ی دوره بعدی کنفرانس، رئیس دوره‌ای انجمن سرمایه اروپا خواهد بود.
- ۵- هر کشور فقط تحت عنوان یک انجمن سرمایه می‌تواند عضو انجمن سرمایه اروپا باشد (و امکان حضور انجمن‌های سرمایه متعدد از یک کشور وجود ندارد) و عضویت در این انجمن‌های سرمایه کشوری باید برای تمام افراد آزاد باشد.

انجمن سرمایه هلند مسوولیت برگزاری اولین کنفرانس را در سال ۱۹۸۹ بر عهده گرفت و لذا آقای دکتر متسلاو به عنوان اولین فرد، رئیس انجمن سرمایه اروپا شد. هم چنین مقرر شد که یک هیات رئیسه‌ی دائم متشکل از رئیس انجمن، رئیس سابق انجمن و منشی تشکیل گردد. این کمیته با هدف تصمیم‌گیری در زمینه‌هایی که امکان به تعویق انداختن آنها تا جلسه‌ی بعدی انجمن وجود نداشت تشکیل شد.

مراحل پیشرفت و تکامل در انجمن به صورت گام به گام طی شد. در اولین دوره، کشور میزبان کنفرانس ریاست انجمن و نیز مسوولیت منشی هیات رئیسه را بر عهده داشت. به خاطر زمان بر بودن مسوولیت برگزاری کنفرانس برای رئیس انجمن از سال ۲۰۰۰ این دو مسوولیت از هم جدا شدند. لذا دکتر نیکول بایینی به عنوان رئیس جدید انجمن انتخاب و کشور ترکیه به عنوان میزبان دوره بعدی کنفرانس در سال ۲۰۰۳ انتخاب شد. هم



چنین در سال ۱۹۹۵ انجمن سرامیک بلژیک به عنوان منشی دائمی انجمن سرامیک اروپا انتخاب شد. یکی دیگر از مهم‌ترین تصمیمات در جلسه اول شورا گرفته شد. جایی که اعضا موافقت خود را با پایه‌ریزی و چاپ نشریه‌ای علمی اعلام کرده و رئیس انجمن مسوول مذاکره با شرکت الزویر (Elsevier) شد. یک سال بعد قراردادی با این شرکت به امضا رسید و آقای دکتر ریچارد بروک (Richard Brook) به عنوان سر دبیر این نشریه انتخاب شدند. انتشارات الزویر تصمیم گرفت برای جلوگیری از بوجود آمدن رقابت، چاپ نشریه‌ی بین‌المللی سرامیک‌های پیشرفته را متوقف کند. اولین شماره از نشریه انجمن سرامیک در ژوئن سال ۱۹۸۹ به چاپ رسید. در طول این سال‌ها کمیته‌های مختلفی تشکیل شده و تغییراتی در ساختار انجمن صورت گرفته است. در ۱۹۹۱ کمیته‌های علمی و کمیته‌ی تحقیق و توسعه تشکیل شدند. هم‌چنین در سال ۱۹۹۵ کمیته‌ی ارتباطات با هدف افزایش حضور انجمن در مجامع مختلف و ایجاد وب سایت انجمن تشکیل شد. در سال ۲۰۰۵ اقدامات لازم برای تشکیل دو کار گروه انجام شد. کار گروه صنعت و وظیفه استحکام بخشیدن به جایگاه سرامیک‌های سنتی در انجمن را بر عهده دارد و کار گروه هنر، طراحی و سنت بایستی ارتباطاتی را با سرامیست‌هایی که در زمینه‌ی سفالگری فعالیت می‌کنند برقرار کند.

گسترش روز افزون انجمن و نیز تلاش برای ارتباط هر چه بیشتر با اعضا باعث بوقوع پیوستن برخی ابتکارات و تغییرات در سال ۲۰۰۲ شد. در جلسه‌ی شورا که در دسامبر همان سال در آتن برگزار شد با طرح کمک مالی هر یک از اعضا در جهت اجرای طرح‌های جدید موافقت شد. اولین تغییر، چاپ و ارائه‌ی آگهی‌نامه‌ی رسمی انجمن (بولتن) بود. اولین شماره‌ی این بولتن در ژوئن ۲۰۰۳ چاپ شد. مسوولیت سر دبیری این بولتن بر عهده خانم کرین شارر (Karin Scharrer) می‌باشد. در همین راستا و با هدف افزایش میزان ارتباط با اعضا، آقای پائولو زانینی (Paolo Zannini) موظف به ایجاد وب سایت تخصصی‌تری برای انجمن شد. طبق اساسنامه‌ی جدید انجمن سرامیک اروپا به صورت قانونی به عنوان یک اتحادیه‌ی اروپایی غیرانتفاعی شناخته می‌شود.

عضویت

تعداد اعضای این انجمن به صورت مداوم در حال افزایش است. اعضای موسس این سازمان، انجمن‌های سرامیک کشورهای بلژیک، فرانسه، آلمان، ایتالیا، اسپانیا، انگلستان و هلند بودند. با اینکه نماینده‌ای از سوئد در اولین جلسه در کاتربری حاضر نبود اما این کشور نیز از همان سال ۱۹۸۷ عضو انجمن می‌باشد. در جلسه شورا در سال ۱۹۸۸ پرتغال و یوگوسلاوی نیز به عضویت انجمن درآمدند. به دنباله‌ی آن در سال ۱۹۸۹ نروژ، در سال ۱۹۹۰ لهستان و در سال ۱۹۹۱ چک اسلواکی و ترکیه به عنوان اعضای انجمن شناخته شدند. بعد از فروپاشی یوگوسلاوی، کشورهای رومانی و مجارستان به عضویت درآمدند. اسلونی در سال ۱۹۹۲ وارد انجمن شد و کشورهای دانمارک، لتونی، یونان و اسلواکی در سال ۱۹۹۵ به جمع اعضای انجمن اضافه شدند. در نهایت در سال ۲۰۰۲ گرجستان و صربستان و در سال ۲۰۰۳ روسیه به عضویت انجمن سرامیک اروپا درآمد.

کنفرانس‌های انجمن سرامیک اروپا

همان طور که قبلاً نیز اشاره شد، از سال ۱۹۸۹ به بعد جلسات دو سالانه‌ای به میزبانی یکی از کشورهای عضو انجمن برگزار شد. از همان کنفرانس نخست که در آمستردام برگزار شد شاهد مشارکت بین‌المللی حتی از کشورهای خارج از ناحیه اروپا بوده‌ایم. خلاصه مقالات فرستاده شده برای هر کدام از گردهمایی‌ها به چاپ رسیده است. در حاشیه‌ی کنفرانس نمایشگاهی از تجهیزات علمی نیز دایر گردید. در جریان نخستین جلسه که در کاتربری برگزار شد مقرر گردید در هر دوره از یکی از سرامیست‌های متعلق به کشورهای عضو انجمن به خاطر خدمات شایان به علم سرامیک در زمینه‌ی تکنولوژی، فعالیت‌های آموزشی و تولیدی تقدیر به عمل آید. این پیشنهاد از سوی پروفیسور مالکولم مک لارن (Malcolm McLaren) داده شد. لذا برای یادبود پروفیسور استویجز، جایزه‌ای تحت عنوان "جایزه‌ی استویجز" در نظر گرفته شد. در جلسه‌ی شورا در سال ۱۹۹۴ تصمیم بر آن شد تا

از آن پس در کنفرانس‌های دو سالانه جایزه‌ای تحت عنوان "جایزه‌ی بین‌المللی سرامیک" به سرامیستی از یکی از کشورهای خارج از منطقه اروپا داده شود تا بدین طریق از زحمات شایسته‌ی این افراد تقدیر گردد.

کمیته‌های موجود

کمیته‌ی تحقیق و توسعه:

آقای هانس هاسنر (Hans Hausner) در سال ۱۹۸۹ شروع به فعالیت در این زمینه کرد. در آن زمان انجمن سرامیک هنوز کار گروهی را در این زمینه تشکیل نداده بود. او کار خود را با آماده سازی لیستی از آزمایشگاه‌های موجود در اروپا و فعالیت‌های آن‌ها آغاز کرد. پرسشنامه‌هایی که حاوی اطلاعات زیادی بود به انجمن‌های عضو فرستاده شد. در سال ۱۹۹۰ این فعالیت‌ها به فدراسیون بین‌المللی سرامیک منتقل شده و با اطلاعات موجود از موسسات کشورهای ژاپن و آمریکا ادغام شد. در سال ۱۹۹۱ به منظور ادامه کمک کشورهای اروپایی برای تکمیل این پایگاه اطلاعاتی کار گروهی در انجمن سرامیک اروپا تشکیل شد. سه ماموریت دیگر برای این کار گروه در نظر گرفته شد که عبارتند از:

جمع‌آوری و انتشار دستورالعمل مربوط به کنفرانس‌های انجمن و سمپوزیوم‌های برگزار شده توسط انجمن‌های عضو. جذب مشارکت برای پروژه‌های حمایت شده از سوی اتحادیه‌ی اروپا و نهایتاً مشارکت در طرح‌های صورت گرفته برای ایجاد سیستم طبقه‌بندی مناسب برای سرامیک‌ها. پس از برگزاری همایشی تحت عنوان "پیشرفت‌هایی در زمینه‌ی شناسایی سرامیک‌ها" چندین جلسه تخصصی با همکاری کمیته‌ی تحقیق و توسعه برگزار شد.

کمیته‌ی ارتباطات:

در سال ۱۹۹۵ وب سایتی توسط آقای رودی متسلار و با استفاده از امکانات دانشگاه آیندهوون ایجاد شد. در سال ۲۰۰۴ به منظور استفاده از سایت به عنوان وسیله‌ای موثر برای ارتباطات انجمن، ایجاد وب سایتی مستقل برای انجمن با استفاده از نرم‌افزاری قدرتمند تصویب شد. دکتر پائولو زانینی مسوولیت ایجاد و مدیریت سایت را بر عهده گرفت. آدرس کنونی این وب سایت www.ecers.org می‌باشد.

کمیته‌ی نشریات:

یکی از بزرگترین دست‌آوردهای انجمن چاپ نشریه‌ای علمی و با کیفیت می‌باشد. از همان اول آقای ریچارد بروک به عنوان سردبیر این نشریه انتخاب شدند و تحت رهبری ایشان این نشریه به عنوان یکی از معتبرترین نشریات در زمینه سرامیک شناخته شد. در طول این سال‌ها شاهد افزایش تعداد مقالات فرستاده شده به این نشریه و همچنین افزایش فاکتور فشرده‌ی نشریه از ۰/۷ در سال ۱۹۹۸ به ۱/۶ در سال ۲۰۰۵ بوده‌ایم که این امر باعث قرار گرفتن نشریه در رتبه دوم رده‌بندی ISI در بخش "علم مواد، سرامیک" شده است.

کمیته آموزشی:

فعالیت‌های انجمن در زمینه‌ی آموزشی از سال ۱۹۹۱ و با تشکیل دوره تابستانی در زمینه فعالیت‌های مربوط به علم سرامیک در هلند آغاز شد. برای اطمینان از ادامه فعالیت‌ها در این زمینه، کمیته‌ی آموزش در همان سال تشکیل شد. این کمیته‌ی جلسات متعددی را تحت عنوان "Euroforum" برای دانش‌آموزان برگزار کرد. از سال ۱۹۹۷ به بعد طبق مصوبه‌ی انجمن این جلسات در کنار کنفرانس انجمن سرامیک اروپا و همزمان با آن برگزار شد. در جهت تشویق برای مشارکت در کنفرانس، یک مسابقه سخنرانی دانش‌آموزی ترتیب داده شد. لذا هر کدام از انجمن‌های عضو یک نماینده از کشور خود را به کنفرانس اعزام کرده و هزینه‌های آن را تقبل کرد. همچنین مسابقه‌ای در زمینه‌ی پوستره‌های ارائه شده نیز برای دانش‌آموزان برگزار گردید.

کمیته صنعتی:

در سال ۲۰۰۵ و با هدف نزدیک کردن فعالیت‌های انجمن سرامیک اروپا به زمینه‌ی صنعت، کارگروه صنعتی

تشکیل شد. از جمله برنامه‌هایی که تا به امروز برای این کارگروه تعیین شده‌اند می‌توان به تلاش برای برپایی همایش‌های دوره‌ای در زمینه‌ی تحقیق و توسعه در بخش سرامیک‌های سنتی و نیز گردآوری و تالیف مجموعه اطلاعاتی و پایگاه داده‌ای در زمینه‌ی صنعتی و با هدف استفاده از آن در سرمایه‌گذاری‌های آتی اشاره کرد.

کمیته هنر، طراحی و سنت:

این کمیته فعالیت‌های خود را از سال ۲۰۰۵ و با هدف توزیع و تعمیم دانسته‌های اروپاییان در زمینه‌ی میراث فرهنگی خودشان، آغاز کرد. با توجه به این هدف‌گذاری، فعالیت‌های این کمیته شامل برگزاری نمایشگاه‌ها و کنفرانس‌ها، گردآوری مجموعه‌ی اطلاعاتی راجع به هنرمندان عرصه‌ی سرامیک، جمع‌آوری فهرست کتابخانه‌های بین‌المللی در زمینه‌ی سرامیک و گردآوری و تالیف فرهنگ جامع و لغت‌نامه چند زبانه سرامیک می‌شود.

روابط بین‌المللی:

از اولین دوره کنفرانس انجمن سرامیک اروپا که در ماستریخت برگزار شد، اولین اقدامات در زمینه‌ی پایه‌ریزی یک نهاد بین‌المللی برای گردهمایی منظم نمایندگان کشورهای مختلف صورت پذیرفت. این اقدامات باعث تشکیل فدراسیون بین‌المللی سرامیک (ICF) گردید که انجمن سرامیک اروپا نیز یکی از اعضای منشور آن می‌باشد. تا به امروز چندین نفر از اعضای شورا انجمن سرامیک اروپا به عنوان رئیس فدراسیون بین‌المللی اروپا انتخاب شده‌اند که از آن جمله می‌توان به آقای متسلار (۹۳-۱۹۹۱)، آقای هاسنر (۹۵-۱۹۹۳)، آقای فریر (۰۶-۲۰۰۳) و آقای بابینی (از سال ۲۰۰۶) اشاره کرد. همچنین انجمن سرامیک اروپا در کمیته‌های مختلف فدراسیون بین‌المللی سرامیک نمایندگان دارد. علاوه بر این روابط نزدیکی با انجمن سرامیک آمریکا نیز برقرار گشته است. در نتیجه‌ی مذاکرات صورت گرفته با انجمن سرامیک آمریکا، ژاپن و چین، تغییراتی در ساختار فدراسیون بین‌المللی سرامیک بوجود آمد و مقرر شد کنفرانس بین‌المللی سرامیک به صورت دو سالانه برگزار گردد که اولین دوره‌ی آن در سال ۲۰۰۶ در تورنتو کانادا و سپس در سال ۲۰۰۸ در ورونا ایتالیا و بدنبال آن در سال ۲۰۱۰ در ژاپن برگزار گردید.

کشورهای عضو انجمن سرامیک اروپا

بلژیک	نروژ	جمهوری چک	لهستان	دانمارک
پرتغال	فنلاند	رومانی	فرانسه	روسیه
یونان	صربستان	جمهوری اسلواکی	آلمان	گرجستان
اسلونی	مجارستان	اسپانیا	ایتالیا	سوئد
لیتوانی	ترکیه	هلند	انگلستان	

اسامی روسای انجمن سرامیک اروپا

۱۹۸۹-۱۹۸۷	R. Metselaar	متسلار
۱۹۹۱-۱۹۸۹	H. Hausner	هاسنر
۱۹۹۳-۱۹۹۱	M.A. Delgado-Mendez	دلگادو مندز
۱۹۹۵-۱۹۹۳	G.N. Babini	بابینی
۱۹۹۷-۱۹۹۵	J.F. Baumard	بامرد
۱۹۹۹-۱۹۹۷	J.E. Bailey	بیلی
۲۰۰۳-۲۰۰۱	P.H. Duvigneaud	دووینگند
۲۰۰۵-۲۰۰۳	G.N. Babini	بابینی
۲۰۰۷-۲۰۰۵	D.P. Tompson	تامپسون
۲۰۰۷ تا زمان نگارش مقاله	J.G. Heinrich	هانریخ

گزارش جلسات هیئت مدیره و هیئت تحریریه انجمن سرمایه ایران

پنجمین جلسه هیات مدیره دوره هشتم در تاریخ ۹۰/۹/۷ ساعت ۱۴ در محل انجمن سرمایه ایران در دانشکده مهندسی مواد دانشگاه علم و صنعت ایران تشکیل گردید. اهم موارد تصویب شده به شرح زیر می باشد:

- ۱- فرم فعالیت‌های انجمن در سال ۸۹ در جلسه مطرح گردید و قرار شد بر اساس جداول جدید و امتیازبندی تعیین شده کمیسیون انجمن‌های علمی فعالیت‌های سال ۹۱ برنامه‌ریزی گردد.
- ۲- موافقت گردید سمینار یک روزه تخصصی الکتروسرامیک‌ها توسط کمیته تخصصی الکتروسرامیک در سال ۱۳۹۱ برگزار گردد. آقای دکتر محبی و دکتر آقایی مسئولیت برگزاری این سمینار را به عهده گرفتند.
- ۳- قرار شد مقدمات تشکیل کمیته تخصصی چینی و سرامیک‌های ساختمانی توسط مهندس غفاری برنامه‌ریزی گردد.

ششمین جلسه هیات مدیره دوره هشتم در تاریخ ۹۰/۱۰/۲۱ ساعت ۱۴ در محل انجمن سرمایه ایران در دانشکده مهندسی مواد دانشگاه علم و صنعت ایران تشکیل گردید. موارد مهم مطرح شده به این شرح می باشد:

- ۱- همایش ملی مهندسی مواد در دانشگاه ملایر در تاریخ ۲۲ تیر ۱۳۹۱ برگزار می‌گردد و موافقت گردید انجمن با این همایش همکاری نماید.
- ۲- کانون هماهنگی دانش و صنعت شیشه در قزوین با همکاری صنایع قزوین و استانداری این شهر تشکیل گردیده است و موافقت گردید که انجمن سرمایه ایران آمادگی خود را جهت تشکیل جلسه مشترک و همکاری با این کانون اعلام نماید.
- ۳- اولین همایش ملی صنعت شیشه ایران در تاریخ ۱۷ و ۱۸ خرداد ۱۳۹۱ تشکیل خواهد شد، مقرر گردید انجمن طی نامه‌ای حمایت خود را از این همایش اعلام نماید.



هفتمین جلسه هیات مدیره دوره هشتم در تاریخ ۹۰/۱۱/۱۲ ساعت ۱۴ در محل انجمن سرامیک ایران در دانشکده مهندسی مواد دانشگاه علم و صنعت ایران تشکیل گردید. در این جلسه نیز موارد بسیاری مطرح گردید که اهم آنان به شرح زیر می باشد:

- ۱- مقرر گردید جلسه کمیته دانشجویی در بهار ۹۱ برگزار گردد و هماهنگی‌های لازم توسط دفتر انجمن سرامیک ایران صورت خواهد پذیرفت. نامه نگاری برای مراکز دانشگاهی برای معرفی نماینده دانشجویی جهت شرکت در این جلسه به عمل آمد.
- ۲- تفاهم‌نامه همکاری با مرکز نشر دانشگاهی جهت چاپ فصلنامه سرامیک توسط آن مرکز به امضای انجمن سرامیک ایران رسید.

هشتمین جلسه هیات مدیره دوره هشتم در تاریخ ۹۰/۱۲/۱۶ ساعت ۱۴ در محل انجمن سرامیک ایران در دانشکده مهندسی مواد دانشگاه علم و صنعت ایران تشکیل گردید:

- ۱- موافقت گردید حق عضویت اعضای حقوقی در سال ۹۱، به مبلغ ۲۵۰۰۰۰ تومان افزایش یابد. در ضمن حق عضویت اعضای حقیقی در سال ۹۱ به این شرح موافقت گردید: اعضای دانشجویی ۱۰۰۰۰ تومان- اعضای وابسته ۲۰۰۰۰ تومان- اعضای پیوسته ۳۰۰۰۰ تومان و اعضای حقیقی و حقوقی که حق عضویت دو سال پیاپی خود را پرداخت نمایند، از ۲۰ درصد تخفیف بهره‌مند گردند.
- ۲- نامه رسمی کمیسیون نشریات مبنی بر اعطای امتیاز مجله علمی-پژوهشی که به مدت ۱ سال با عنوان نشریه علم و مهندسی سرامیک به انجمن ابلاغ گردیده است، مورد بررسی قرار گرفت. مقرر گردید اولین جلسه هیأت تحریریه با مدیریت آقای دکتر سرپولکی تشکیل و مقدمات چاپ این مجله فراهم گردد.

نهمین جلسه هیات مدیره دوره هشتم در تاریخ ۹۱/۱/۲۳ ساعت ۱۴ در محل انجمن سرامیک ایران در دانشکده مهندسی مواد دانشگاه علم و صنعت ایران تشکیل گردید.

- ۱- در رابطه با جایزه شرکت ساکمی که در هشتمین کنگره سرامیک تعیین گردید قرار شد جهت انتخاب سه دانشجو جهت اعزام به ایتالیا برای ۱ هفته فرمی جهت ارزیابی تهیه گردیده و اطلاع‌رسانی گردد و واجدین شرایط از بین متقاضیان انتخاب گردند.



- ۲- موافقت گردید اولین سمینار تخصصی الکتروسرامیک در پژوهشگاه مواد و انرژی توسط کمیته تخصصی الکتروسرامیک برگزار گردد. طبق تصمیم این کمیته دکتر بهره‌ور به عنوان دبیر این سمینار انتخاب شده‌اند. زمان برگزاری در ماه اسفند تعیین شده که طبق نظر اعضا در صورت امکان به ماه آذر تغییر یابد.

دهمین جلسه هیات مدیره دوره هشتم در تاریخ ۹۰/۲/۱۲ ساعت ۱۴ در محل انجمن سرامیک ایران در دانشکده مهندسی مواد دانشگاه علم و صنعت ایران تشکیل گردید.



۱- در مورد نهمین کنگره سرامیک قرار گردید دو پیشنهاد یزد و دانشگاه صنعتی شریف توسط مهندس فتوحی و دکتر نعمتی بررسی گردیده و با ایمیل به اعضا اطلاع داده شود و تصمیم‌گیری نهایی در جلسه بعدی صورت پذیرد.

۲- در مورد دوره‌های آموزشی قرار شد با افراد شاخص صنعت که قابلیت برگزاری این دوره‌ها را دارند مکاتبه گردیده و نظرات آنان جمع‌آوری گردد.

اولین جلسه هیات تحریریه مجله علم و مهندسی سرامیک در تاریخ ۹۰/۲/۱۸ ساعت ۱۵ در محل انجمن سرامیک ایران در دانشکده مهندسی مواد دانشگاه علم و صنعت ایران تشکیل

گردید:



حاضرین در جلسه به ترتیب حروف الفبا: دکتر محمد علی بهره‌ور- دکتر علی بیت‌الهی- دکتر جعفر جوادپور- دکتر حسین سرپولکی- دکتر مهران صولتی- خانم سعیده علیشاهی- دکتر فرهاد گلستانی‌فرد- دکتر واهاک مارقوسیان- دکتر رحیم نقی‌زاده- دکتر علی نعمتی

در این جلسه هماهنگی‌های اولیه برای تهیه زمینه‌های مورد نظر برای پذیرش مقالات و فرمت مقالات و آئین نامه مجله انجام گردید و مقالات رسیده و داوری شده بررسی نهایی گردید.



گزارش گروه واژه‌گزینی فرهنگساز زبان و ادب فارسی

گروه واژه‌گزینی فرهنگستان زبان و ادب فارسی انجمن سرمایه ایران با حضور اساتید محترم آقایان دکتر واهاک کاسپاری مارقوسیان، دکتر حسین سرپولکی، دکتر مهران صولتی، دکتر محمود ربیعی، دکتر مسعود محبی و مهندس مهران غفاری از انجمن سرمایه و ۲ نفر نماینده فرهنگستان آقای حشمت‌الله صباغی و خانم پروانه فخام‌زاده در دی ماه سال ۹۰ تشکیل گردیده است. در واژه‌گزینی، انتخاب زبان فارسی معیار، اصلی مهم است و منظور صرفاً گذاشتن معادل فارسی برای واژه‌های بیگانه نیست. این که منشأ واژه از چه زبانی باشد چندان مهم نیست بلکه هدف آن است که واژه پیشنهادی فارسی باشد و فارسی‌زبانان آن را به کار ببرند. تاکنون نه جلسه در این خصوص تشکیل گردیده است. هدف از تشکیل این گروه تصویب ۷۵ واژه معادل فارسی در زمینه علم سرمایه می‌باشد. تاکنون پیکره اولیه این واژگان مشخص گردیده است.



گزارش مسابقه سرامیک

سومین دوره مسابقات سرامیک با عنوان سرامیک‌های مترکم با خواص فشاری برتر با حمایت انجمن سرامیک ایران و دفتر همکاری‌های ریاست جمهوری و نهادهای دیگر در تاریخ ۲۶ و ۲۷ اردیبهشت در دانشگاه صنعتی شریف برگزار گردید.

اولین دوره این مسابقات در دانشگاه آزاد اسلامی واحد شهر میند با عنوان "فنجان‌های سرامیکی مستحکم" و دومین دوره نیز در دانشگاه علم و صنعت ایران با موضوع "ساخت مواد متخلخل سرامیکی با خواص مکانیکی بهینه" برگزار گردیده است.

اهداف مد نظر این دوره عبارتند از:

- ۱- آشنایی هر چه بیشتر دانشجویان با سرامیک‌ها و روش‌های فرآوری آنها
 - ۲- تأکید بر اهمیت استفاده از مواد نو
 - ۳- حل یکی از مشکلات صنایع در طراحی، فرآوری یا استفاده از سرامیک‌ها با مطرح شدن به عنوان سؤال مسابقه
 - ۴- یافتن راه‌حلهای مناسب برای استفاده بهتر از سرامیک‌ها
 - ۵- ایجاد نشاط و تحرک علمی در دانشجویان
 - ۶- ایجاد انگیزه رقابت سالم علمی در دانشجویان
- هر تیم نمونه خود را آماده کرده و برای کمیته اجرایی مسابقات ارسال نمودند. در روز مسابقه تمام تیم‌های شرکت کننده در محل مسابقات حاضر شده و در حضور آنها توسط تیم داوران مسابقات به سرپرستی دبیر علمی مسابقه آقای دکتر علی نعمتی عضو هیات مدیره انجمن سرامیک جهت بررسی خواص و ویژگی‌های خواسته شده تست‌های مورد نظر انجام گردید. نمونه‌ها تحت ۳ تست (دقت ابعادی، تست استحکام، تست دانسیته) مورد ارزیابی قرار گرفته و تیم‌های برتر انتخاب گردیدند.
- ۲۳ تیم از دانشگاه‌های مختلف کشور در این مسابقات ثبت نام کردند که از این میان ۲۱ تیم در مسابقه حضور داشتند. در این دوره تیم‌های پژوهشگاه مواد و انرژی، آلومینای شیراز، تیم هدف از دانشگاه‌های شیراز و صنعتی بابل، تیم پایا سرامیک از دانشگاه آزاد شهر مجلسی و تیم آتراسرام دانشگاه علم و صنعت، به ترتیب رتبه‌های اول تا پنجم را کسب کردند. به تیم‌های برتر در اختتامیه با حضور آقای دکتر نقی‌زاده ریاست انجمن سرامیک و مدیر عامل شرکت فیبرونا آقای مهندس شاهپوری و مهندس شهبازی مدیر طرح و توسعه این شرکت لوح تقدیر و جوایز از طرف انجمن سرامیک با حمایت شرکت فیبرونا اهدا شد.



حامیان
سومین دوره
مسابقات سراسری سرمایه

معاونت علمی و فناوری دفتر ریاست جمهوری اسلامی ایران
وزارت علوم تحقیقات و فناوری جمهوری اسلامی ایران

دانشکده مهندسی و علم مواد دانشگاه صنعتی شریف
انجمن سرمایه ایران
معاونت فرهنگی دانشگاه صنعتی شریف

شرکت چینی زرین ایران
شرکت ایران ذوب

IRANICC.com

نمایشگاه P&P - CEVISAMA اسپانیا - نمایشگاه P&P

این نمایشگاه که هر سال در بهمن ماه در شهر والنسیا اسپانیا برگزار می شود در این دوره میزبان ۷۸۰ شرکت مختلف فعال در زمینه کاشی، سرامیک از بیش از ۱۴۰ کشور جهان بوده است. در طی ۴ روز برپایی این نمایشگاه بیش از ۷۰۰۰۰ نفر از آن بازدید کردند که بیش از ۱۲۰۰۰ نفر آن از کشورهای دیگر آمده بودند. این رخداد از لحاظ ایجاد تبادلات تجاری، انتقال دانش فنی و ایجاد رقابت در بازار اروپا سهم بسیار با اهمیتی دارد. در این نمایشگاه معرفی محصولات و خدمات مختلف این صنعت در بخش‌های مجزا انجام شد:

۱- کاشی‌های سرامیکی، تجهیزات حمام، سنگ‌های طبیعی

۲- کاشی‌های سقف و بلاک‌های شیشه‌ای

۳- مواد خام، فریت‌ها، لعاب و رنگ

۴- مواد و تجهیزات کاشی دیواری و کف

۵- ماشین آلات



یکی از مهمترین ویژگی‌های نمایشگاه این دوره تمرکز بر ارایه راهکارهای صرفه جویی در مصرف انرژی و گسترش محصولات دوستدار محیط زیست بود. همچنین بسیاری از شرکت کنندگان در این نمایشگاه به دنبال کسب دانش فنی در زمینه چاپ دیجیتال کاشی بودند.

کنفرانس Qualicer 2012 - ۱۳ و ۱۴ فوریه



کنفرانس دو سالانه Qualicer با "شعار طبیعت در حال گسترش است" در روزهای ۱۳ و ۱۴ فوریه ۲۰۱۲ (۲۵ و ۲۶ بهمن) در شهر Castellon در نزدیکی شهر والنسیا برگزار شد. این کنفرانس که از سال ۱۹۹۰ برگزار می شود در این دوره میزبان بیش از ۶۰۰ نفر از سراسر جهان بود. در این دو روز

در مجموع، ۱۱۶ مقاله به صورت شفاهی و یا پوستری از کشورهای مختلف ارایه شد.

در این دوره، دو مقاله از ایران به صورت شفاهی و پوستری ارایه شد. خانم مینا ضرابیان از طرف انجمن سرامیک ایران با حمایت شرکت ساکمی در این کنفرانس شرکت نمودند و مقاله خود را با عنوان " بررسی آماری ترک در کاشی های لعابدار و بدون لعاب از طریق توزیع آماری وایبول " ارائه نمودند.

ممبران‌های فوتوکاتالیستی انواع، خواص، کاربرد

سپیده پورهان‌شم، وحیده تاجر کجینه‌باف، حسین سرپولکی

گروه سرامیک، دانشکده مواد و متالورژی، دانشگاه علم و صنعت ایران

hsarpoolaky@iust.ac.ir

چکیده: ممبران‌ها نقش مهمی را در تصفیه آب، ضد عفونی کردن فاضلاب‌ها و پساب‌های صنعتی، نمک‌زدایی آب و ریشه‌کنی بیماری‌های ایجاد شده از طریق آب، بازی می‌کنند. در سال‌های اخیر نیز تلاش‌های زیادی در زمینه گسترش تکنولوژی فوتوکاتالیست‌ها به منظور استفاده در فرآیندهای حفاظت از محیط زیست مانند ضد عفونی کردن آب و تصفیه هوا با روش‌های مختلف و بخصوص استفاده از ممبران‌ها صورت گرفته است. این تکنولوژی دوستدار محیط زیست و کم هزینه بوده و روشی مناسب برای تصفیه آب و هواست. با استفاده از روش ممبران‌های فوتوکاتالیست می‌توان محیط مورد نظر را از آلاینده‌های آلی و میکروارگانیسم‌ها پاک‌سازی کرد و محصولات و مواد جانبی واکنش فوتوکاتالیستی را نیز از محیط خارج نمود. در مقاله حاضر، نگاهی اجمالی به ممبران‌های فوتوکاتالیست، خواص و کاربرد آن‌ها شده و چگونگی عملکرد چنین سیستمی به تفصیل مورد بحث و بررسی قرار گرفته‌است. همچنین پس از بررسی نحوه عملکرد انواع راکتور ممبران‌های فوتوکاتالیست، به تعدادی از کارهای پژوهشی صورت گرفته در این راستا توسط سایر محققین و گروه حاضر اشاره شده است.

کلمات کلیدی: ممبران، فوتوکاتالیست، ممبران‌های فوتوکاتالیست، راکتور ممبران‌های فوتوکاتالیستی، تیتانیا، تصفیه آب.

۱ - مقدمه

افزایش بی‌رویه جمعیت از مهمترین مشکلات فزاینده در قرن بیست و یکم است و بی شک آب یکی از مهمترین کلیدهای زنده ماندن بشریت در این قرن خواهد بود. میزان دسترسی به آب سالم و بهداشتی در نقاط مختلف دنیا متفاوت است. در کشورهایی مانند کانادا که از نظر منابع آبی غنی هستند، سالانه بیش از $۱۰^۳$ لیتر آب آشامیدنی برای هر نفر در سال وجود دارد؛ این در حالی است که در مالت، لیبی و دیگر کشورهای فقیر این مقدار به سختی به حدی می‌رسد که بتواند یک وان حمام را پر کند. حال این سوال مطرح است که آب مورد نیاز نسل‌ها و جمعیت‌های آینده از کجا بایستی تامین شود؟ راه‌های گوناگونی برای رسیدن به این مهم در چشم‌انداز دولت‌های مختلف جهان قرار گرفته است. بی شک استفاده صحیح از آب در بخش‌های مختلف صنعتی، کشاورزی و ... می‌تواند اساسی‌ترین گام برای رسیدن به این هدف باشد؛ اما این راهکار به تنهایی در دراز مدت کافی نخواهد بود. با توجه به اینکه دو سوم کره زمین را آب شور غیر قابل استفاده فراگرفته، تصفیه و جداسازی یک راه حل مفید و نهایی برای مشکل مذکور است؛ ممبران‌های نیمه‌نفوذپذیر و پوشش‌های آنتی باکتریال از جمله موضوعات ارزشمند این قرن هستند [۱].

به طور کلی ممبران را می‌توان به عنوان سدی نیمه تراوا و یا یک الک ریز تعریف کرد که از ارتباط نزدیک دو فاز هموزن جلوگیری کرده و اجازه عبور فاز خاصی را فراهم می‌کند. امروزه ممبران‌ها جایگاه مهمی را در تکنولوژی شیمیایی به دست آورده‌اند؛ به گونه‌ای که در محدوده وسیعی از کاربردها، به کار گرفته می‌شوند. ویژگی کلیدی و مهم ممبران‌ها، توانایی آن‌ها در کنترل سرعت نفوذ گونه‌های شیمیایی هنگام عبور است. ممبران‌ها گذشته از جداسازی، از طریق فراهم ساختن سطح مخصوص بالا می‌توانند در فرآیندهای

کاتالیستی به کار گرفته شوند و انجام فرآیندهایی مانند واکنش شیمیایی و نفوذ را فراهم سازند. انتخاب یک ممبران توسط چندین پارامتر تعیین می‌گردد که این فاکتورها شامل وزن مولکولی و نوع ماده مورد حذف، خواص و ویژگی‌های کیفی منبع مصرفی، کیفیت لازم برای محصولات جداسازی شده، اندازه حفره‌های ممبران، دما، فشار و پیکربندی سیستم ممبران است. از لحاظ اقتصادی این تکنولوژی در مقایسه با اکثر فرآیندهای مرسوم تصفیه جایگاه مناسبی دارد و همچنین، کاهش هزینه‌های انرژی، امکان بازیابی مواد، کاهش تأثیرات زیست‌محیطی و تحقق یک فرآیند پیوسته از عواملی هستند که قابلیت رقابت روش جداسازی ممبرانی در برابر روش‌های دیگر جداسازی را فراهم می‌کنند؛ اما، یکی از مشکلات ممبران‌های فیلتراسیون تجاری، تمایل زیاد آن‌ها به رسوب‌گیری توسط آلاینده‌هاست [۶-۲].

از سوی دیگر با استفاده از خواص ارزشمند فوتوکاتالیستی مواد، امکان تخریب آلاینده‌ها و یا تبدیل آن‌ها به موادی که توسط میکروارگانیسم‌ها تجزیه می‌شوند، فراهم می‌شود. در تکنولوژی فوتوکاتالیست‌ها، از تابش فرابنفش و یا نور خورشید برای تجزیه و متلاشی کردن مواد آلی استفاده می‌شود. از روش‌های فوتوکاتالیستی برای پاک‌سازی محلول‌ها از مواد رنگی، فنول‌ها، ترکیبات حاوی کلر، باکتری‌های بیماری‌زا، مواد سمی و نیترات‌ها در شرایط آزمایشگاهی استفاده می‌گردد. اما استفاده از روش‌های فوتوکاتالیستی برای تصفیه باعث تشکیل مولکول‌هایی از آلاینده‌ها می‌گردد که تحت تخریب کاتالیستی قرار نگرفته‌اند و همچنین محصولات میانی و فرآورده‌های جانبی اکسیداسیون کاتالیستی در محلول تصفیه شده باقی می‌ماند و راندمان تصفیه را کاهش می‌دهد. به علاوه، مشکل جداسازی کاتالیست برای استفاده مجدد نیز وجود خواهد داشت [۹-۶].

در این شرایط، استفاده همزمان از دو فرآیند جداسازی ممبرانی و فوتوکاتالیستی راهی برای حل مشکلات مذکور خواهد بود که کاربرد آن در اروپا و آمریکا موفقیت‌آمیز گزارش شده است. این سیستم مرکب، از خواص فوتوکاتالیستی برای تجزیه مواد آلی و از خواص جداسازی ممبرانی به عنوان سدی در برابر مواد سمی تجزیه نشده و محصولات فرعی تخریب کاتالیستی بهره می‌برد و در نتیجه، جداسازی کامل مواد آلی را تضمین می‌کند. لازم به ذکر است که جداسازی این مواد از طریق ترکیب فرآیند فوتوکاتالیستی با سیستم ممبرانی میکروفیلتراسیون، اولترافیلتراسیون، نانوفیلتراسیون، اسمز معکوس و تراوش تبخیری^۱ می‌تواند به دست آید [۶، ۷، ۱۰].

بررسی‌ها نشان می‌دهد بازار صنعتی برای تجهیزات تصفیه و استفاده مجدد آب در اروپا و خاورمیانه به بیش از ۲۷۹ میلیون دلار در دوره سه ساله ۲۰۰۳ تا ۲۰۰۵ رسیده است. با تخمین رشد سالانه به میزان ۷٪، این بازار دارای پتانسیل ۵۳۱ میلیون دلار از سال ۲۰۱۲ تا ۲۰۱۴ خواهد بود. سهم بازار تجهیزات تصفیه فاضلاب ایالات متحده در سال ۲۰۰۴ بالغ بر ۷۷۴/۴ میلیون دلار بوده و تخمین زده می‌شود در سال ۲۰۱۱ به ۱۳۲۴/۱ میلیون دلار برسد. علاوه بر رشد جمعیت، افزایش هزینه آب سالم و آگاهی عمومی در زمینه حفظ منابع آب همگی سبب افزایش تقاضای تجهیزات تصفیه فاضلاب شده‌اند. در ایالات متحده بازار ممبران‌های مورد استفاده در کاربردهای جدایش و غیرجدایش در حال حاضر ۵ میلیارد دلار تقریب زده می‌شود که با متوسط رشد سالانه ۶/۶٪ و مطابق با گزارش شرکت ارتباطات تجارت (BCC) انتظار می‌رود به ۶/۹ میلیارد دلار در سال ۲۰۰۹ برسد. سیستم ممبران‌های جدایش مایع و گاز با ارزش فعلی ۲/۲ میلیارد دلار پیش‌بینی می‌شود در سال ۲۰۰۹ به ۹/۹ میلیارد دلار برسد. بازار ممبران‌های غیرجدایش مورد استفاده با کارایی بالا نیز دارای ارزش ۲/۸ میلیارد دلار است. ارائه این ارقام نشان‌دهنده اهمیت بسیار زیاد ممبران‌ها و توجه روز افزون به آن‌ها در صنایع تصفیه و پالایش است. بر این اساس می‌توان پیش‌بینی نمود ممبران‌های فوتوکاتالیست به دلیل دارا بودن ویژگی‌های برتر تقاضای بیشتری را به خود اختصاص دهند [۱۱].

¹ Pervaporation

۲- انواع ممبران‌ها

ممبران‌ها را بر اساس معیارهای مختلفی از قبیل جنس، ترکیب شیمیایی و ساختار فیزیکی، اندازه حفرات و نوع مدول طبقه‌بندی می‌کنند. ممبران‌ها از لحاظ جنس به دو دسته آلی (پلیمری) و غیر آلی (سرامیکی، فلزی) تقسیم‌بندی می‌شوند. ممبران‌ها از نظر فعالیت کاتالیستی، فعال یا خنثی، از نظر تخلخل، متخلخل یا متراکم و از دید ساختاری، متقارن یا نامتقارن هستند. ممبران‌های متقارن دارای ترکیب شیمیایی و خواص فیزیکی یکسان در طول سطح مقطع خود بوده؛ در حالی که ممبران‌های نامتقارن در طول سطح مقطع خود یکنواخت نبوده و شامل لایه‌هایی هستند که از لحاظ ساختار و یا ترکیب شیمیایی با یکدیگر تفاوت دارند. با توجه به نوع ماده ممبران، شکل‌های موجود برای ممبران متفاوت خواهد بود. در انواع ممبران‌های پلیمری با چهار شکل مواجه هستیم: تخت، لوله‌ای شکل، حلزونی شکل و الیاف توخالی؛ ولی در نوع سرامیکی امکان تهیه نوع ماریچی وجود ندارد. گرا دیان فشار، پتانسیل الکتریکی، غلظت و دما از انواع نیروهای محرکه برای فرآیندهای ممبرانی هستند. ممبران‌ها با نیروی محرکه فشاری بر اساس اندازه حفره خود به اسمز معکوس، نانوفیلتراسیون، اولترافیلتراسیون و میکروفیلتراسیون تقسیم‌بندی می‌شوند؛ در ترتیب ذکر شده اندازه حفره‌های ممبران افزایش می‌یابد [۵، ۱۱، ۱۲].

۳- ممبران‌های فوتوکاتالیستی

۳-۱- معرفی

ممبران‌های فوتوکاتالیست در حقیقت سیستم‌هایی هستند که امکان استفاده از خواص فوتوکاتالیستی و فرآیند جداسازی ممبران‌ها را به طور همزمان فراهم می‌کنند. در این سیستم‌ها، از ممبران‌های فعال کاتالیستی که به طور مستقیم در فرآیند تخریب مواد به علت خواص فوتوکاتالیستی‌شان حضور دارند، استفاده می‌شود. ممبران‌های کاتالیستی فعال از طریق تشکیل یک لایه دینامیک از ذرات یک ماده که از نظر کاتالیستی فعال است، بر زیرپایه‌ای متخلخل و نیمه‌نفوذپذیر و یا به وسیله غیر متحرک کردن کاتالیست بر زیرپایه‌ای مناسب و متخلخل ساخته می‌شوند و برای جداسازی مواد آلی مختلف از محلول و یا هوا به کار گرفته می‌شوند [۷، ۱۰، ۱۹-۱۴].

۳-۱-۱- خواص ممبران‌های فوتوکاتالیست

- از مهمترین خواص ممبران‌های فوتوکاتالیست می‌توان به موارد زیر اشاره کرد [۷، ۱۰، ۱۹-۱۴]:
- عملکرد فوتوکاتالیستی و جداسازی ممبران در یک سیستم یکپارچه که به طور پیوسته قابل استفاده است، صورت می‌گیرد.
 - استفاده موثر از نور فرابنفش و فعالیت فوتوکاتالیستی با محدود کردن فوتوکاتالیست به محیط واکنش با استفاده از ممبران انجام‌پذیر است.
 - زمان باقی ماندن مولکول‌ها در سیستم تصفیه قابل کنترل است.
 - فرآیندهای اضافه مانند کوآگولاسیون، فلوکولاسیون و رسوب‌گیری جهت جداسازی کاتالیست از محلول تصفیه‌شده، لازم نبوده و از مزایای آن، صرفه‌جویی در هزینه‌ها و کاهش ابعاد تاسیسات است.
 - امکان استفاده مجدد از فوتوکاتالیست در دفعات بعدی تصفیه وجود داشته و در واقع، مشکل جداسازی ذرات معلق فوتوکاتالیست از سوسپانسیون حذف می‌شود.
 - به دلیل کاهش مقاومت در برابر انتقال جرم بین حجم سیال و سطح فوتوکاتالیست، سرعت واکنش افزایش می‌یابد.

۳-۱-۲- کاربرد ممبران‌های فوتوکاتالیست

آلودگی‌های محیط زیست که در جهان و زندگی روزمره در حال رشد است، مشکلی جدی است که نباید

نسبت به آن بی‌توجه بود. نمونه‌هایی از این آلودگی‌ها به شرح زیر است:

- آلودگی‌های آب در اثر فاضلاب‌های صنعتی و خانگی
 - بیماری‌های تنفسی به وسیله آلاینده‌های هوا مانند SO_x و NO_x
 - آلاینده‌های هوای اتاق به وسیله ترکیبات آلی خارج شده از مواد جدید ساختمانی
 - خروج دیوکسین هنگام سوختن مواد رزینی
- در چنین شرایطی نیازمند موادی هستیم که بتوانند با استفاده از انرژی طبیعی و ارزان قیمت، به آرامی محیط زیست آلوده را اصلاح کرده و به حالت اول برگردانند [۲۰]. در تکنولوژی فوتوکاتالیست‌ها، از تابش فرابنفش برای تجزیه و متلاشی کردن مواد آلی استفاده می‌شود. عملکرد فوتوکاتالیست‌ها را می‌توان به ۵ دسته اصلی تقسیم نمود [۲۱]:
- پاک‌سازی آب
 - جلوگیری از آلودگی
 - خواص آنتی‌باکتریال
 - از بین بردن بوی نامطلوب
 - پاک‌سازی هوا

ممبران‌های فوتوکاتالیست کاربرد گسترده‌ای در کنترل و بهبود محیط زیست دارند و آلاینده‌هایی که توسط ممبران‌های فوتوکاتالیست تخریب می‌شوند، گستره وسیعی از ترکیبات آلی و غیرآلی و حتی عوامل بیماری‌زا مانند ویروس‌ها و باکتری‌ها را شامل می‌شوند.

محیط کاربرد ممبران‌های فوتوکاتالیست به دو دسته کلی تقسیم می‌شود: (۱) محیط‌های گازی و (۲) محیط‌های آبی [۲۱]. در محیط‌های گازی، از ممبران‌های فوتوکاتالیست برای تصفیه هوای اتاق، پاک‌سازی محیط‌های آلوده و اتمسفرهای صنعتی و در محیط‌های آبی برای تصفیه فاضلاب‌های صنعتی، تصفیه آب آشامیدنی، کاربردهای خانگی و تولید آب‌های فوق‌العاده تمیز استفاده می‌شود [۲۲].

هوای داخل اتاق یکی از عوامل موثر در سلامتی است و راه‌های جلوگیری از آلودگی هوای اتاق به سه دسته تقسیم می‌شود: (۱) از بین بردن منبع آلودگی و یا کنترل مواد خروجی از آن، (۲) تهویه و (۳) پاک‌سازی هوا. اگرچه روش سوم را نمی‌توان جایگزین روش اول و دوم دانست؛ ولی روش پاک‌سازی، راه حل مناسبی برای حل مشکلات است. معمولاً پالایند‌های هوا درون دریچه‌ها و منافذ هواکش قرار می‌گیرند و یا به صورت یک دستگاه قابل حمل در داخل اتاق قرار داده می‌شوند. سیستم‌هایی که استفاده تجاری دارند، شامل فیلتراسیون، رسوب‌گیری الکترواستاتیکی، تولیدکننده ازن، تبادل‌گرهای یونی و میکروپوش‌های فرابنفش هستند. تکنولوژی فوتوکاتالیست‌ها دارای محصولات تجاری در حال رشدی است که تمایل به استفاده از آن‌ها در سال‌های اخیر افزایش چشم‌گیری داشته‌است [۲۳].

لازم به ذکر است با توجه به سرعت بالای صنعتی شدن در دهه‌های گذشته، تامین آب آشامیدنی با کیفیت به عنوان منبعی گران‌بها مورد توجه قرار گرفته است. همچنین، آلودگی منابع آب با مواد شیمیایی آلی خطرناک که در صنعت و کشاورزی استفاده می‌شوند، یک مشکل جدی است. صنایع غذایی، داروسازی، رنگرزی پارچه، آفت‌کشی و غیره حجم زیادی از فاضلاب‌ها را تولید می‌کنند و از بزرگترین آلاینده‌های صنعتی به شمار می‌آیند. کمیابی منابع طبیعی آب در جهان زمینه‌ساز گسترش روش‌های تصفیه آب شده است تا این منابع حفظ و نگهداری شوند [۲، ۲۴، ۲۵].

۳-۱-۳- خواص فوتوکاتالیستی

فوتوکاتالیست به موادی گفته می‌شود که به منظور تشدید سرعت یک واکنش نوری به عنوان یک کاتالیست استفاده می‌شوند و یا به موادی گفته می‌شود که به نور حساس هستند و در اثر تابش نور، دگرگونی فیزیکی

یا شیمیایی نوری در ذرات مولکولی آنها اتفاق می‌افتد. یک کاتالیست نوری، انرژی اکتیواسیون واکنش‌ها را کم کرده و در نتیجه با اعمال نور، ذراتی با توانایی اکسیداسیون و احیاء قوی ایجاد می‌گردد. در تکنولوژی فوتوکاتالیست‌ها، از تابش فرابنفش برای تجزیه و متلاشی کردن مواد آلی استفاده می‌شود و خواص سوپراکسیدوسی که فوتوکاتالیست روی سطح مواد ایجاد می‌کند، باعث ایجاد خواص ضد مه، ضد عفونی‌کنندگی، بوزدایی، پاک‌سازی، تصفیه آب و هوا می‌گردد [۲۶]. بطور کلی ۵ مرحله اساسی در واکنش‌های فوتوکاتالیستی وجود دارد:

۱- انتقال واکنش‌کننده‌ها از محیط به سطح فوتوکاتالیست

۲- جذب واکنش‌کننده

۳- انجام واکنش شامل:

i. جذب فوتون توسط کاتالیست

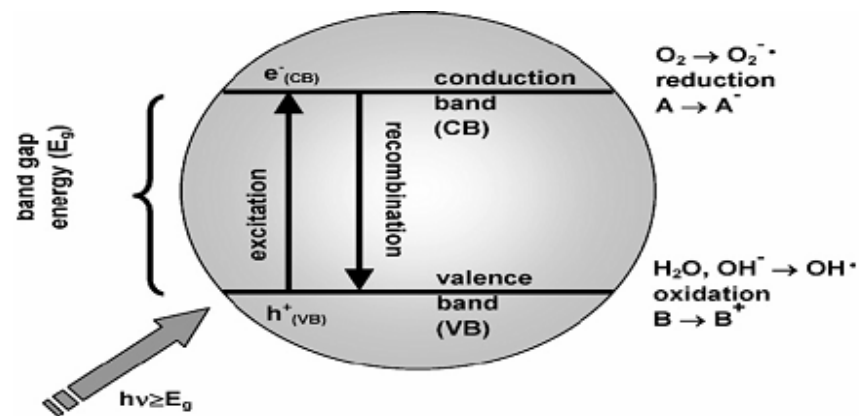
ii. تولید الکترون - حفره

iii. واکنش‌های انتقال الکترون

۴- واجدیی محصولات

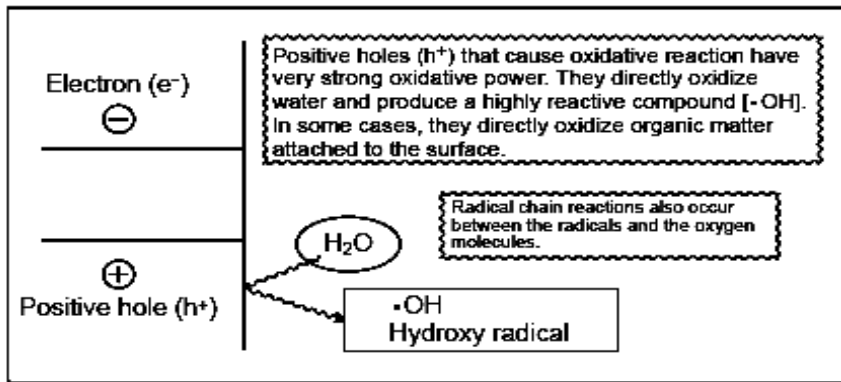
۵- جدایش محصولات از سطح جدایش کاتالیست محیط [۲۷].

بطور کلی برای اینکه واکنش فوتوکاتالیستی صورت پذیرد لازم است ابتدا نور با طول موج معینی متناسب با نوار ممنوعه به کاتالیست مورد نظر برخورد کرده و با ایجاد یک جریان الکتریکی در سطح آن، شرایط لازم برای انجام واکنش‌های اکسیداسیون- احیا را فراهم کند. نتیجه این برخورد، پیدایش جفت الکترون (e^-) و حفره (h^+) است که حرکت آنها در داخل ماده، جریان الکتریکی مورد نیاز برای انجام واکنش را به ارمغان خواهد آورد. شکل ۱ شماتیک چگونگی انجام فرایند فوتوکاتالیستی را نمایش می‌دهد. رسیدن این بارها به سطح ماده و انجام واکنش‌های اکسایش- احیا منطبق با نوع بارها منجر به تجزیه مواد آلی و معدنی خواهد شد. بنابراین انجام این واکنش مستلزم مراحل مختلفی است که عوامل ساختاری به شکل‌های گوناگون بر روی آن تأثیرگذار هستند [۲۸-۳۰].

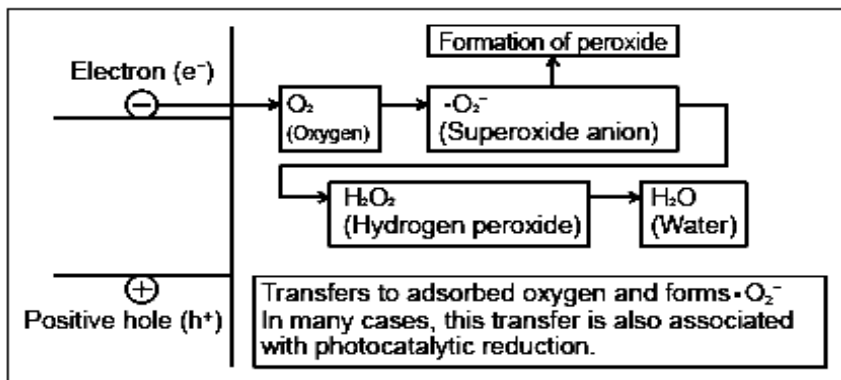


شکل ۱- واکنش‌های اکسایش- احیا روی سطح فوتوکاتالیست [۲۹]

گروه‌های هیدروکسیل موجود در سطح نقش مهمی را در فرآیند تخریب فوتونی ایفا می‌کنند؛ بنابراین در طی یک واکنش اکسایشی حفره‌های تولید شده با فوتون واکنش داده و باعث تولید رادیکال‌های بسیار واکنش‌پذیر OH[·] می‌شوند که بسیاری از آلودگی‌ها خصوصاً ترکیب‌های آلی را به ترکیب‌های معدنی بی‌ضرر مانند آب، CO₂ و یون‌های دیگر تبدیل می‌کنند. همچنین نقش غیرمستقیم در تولید رادیکال‌های اکسیژن داشته و از جفت شدن مجدد الکترون- حفره جلوگیری می‌کنند [۳۱]. مکانیزم‌های اکسایش و احیا به صورت شماتیک در شکل ۲ نشان داده شده است [۲۹ و ۳۲].



Oxidation mechanism



Reduction mechanism

شکل ۲- مکانیزم‌های اکسایش- احیا [۲۹]

۲-۳- انواع رآکتور ممبران‌های فوتوکاتالیستی

ترکیب فرآیند جداسازی ممبران‌ها و فوتوکاتالیستی در یک سیستم "رآکتور ممبران‌های فوتوکاتالیستی"^۱ نامیده می‌شود که به اختصار آن را PMR می‌نامند. البته واژه‌های دیگری نیز از جمله رآکتور شیمیایی ممبران^۲، رآکتور ممبران^۳، فوتورآکتور ممبرانی^۴ و رآکتور اولترافیلتراسیون-فوتوکاتالیست^۵ برای معرفی آن به کار برده می‌شود؛ ولی از آنجایی که همه این نام‌ها به معنای پیوند فرآیند ممبران با خواص فوتوکاتالیستی است، استفاده از واژه "رآکتور ممبران‌های فوتوکاتالیستی" مناسب‌تر از سایرین به نظر می‌رسد [۱۴].

"رآکتور ممبران‌های فوتوکاتالیستی" محتمل‌ترین نوع رآکتورهای قابل استفاده برای تصفیه هستند. رآکتور ممبران‌های فوتوکاتالیستی را می‌توان به دو گروه کلی تقسیم نمود [۷]:

- رآکتور ممبران‌های فوتوکاتالیستی متوالی^۶ که اکسیداسیون فوتوکاتالیستی آلاینده‌ها و جداسازی محلول مورد تصفیه توسط ممبران در گام‌هایی جداگانه انجام می‌گیرد.

- رآکتور ممبران‌های فوتوکاتالیستی مرکب^۷ که تخریب فوتوکاتالیستی و فرآیند ممبران همزمان در یک مکان صورت می‌گیرد.

¹ photocatalytic membrane reactor

² membrane chemical reactor

³ membrane reactor

⁴ membrane photoreactor

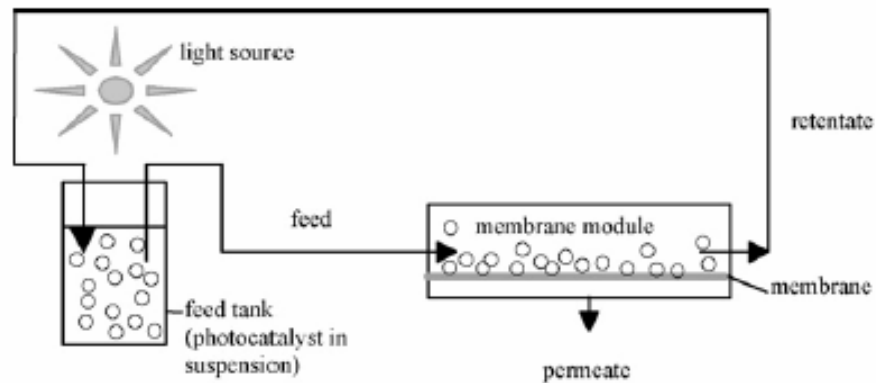
⁵ photocatalysis- ultrafiltration reactor

⁶ sequential PMRs

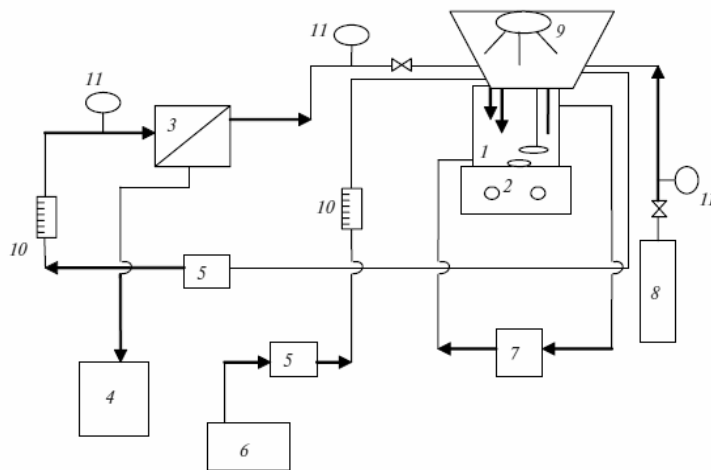
⁷ combined PMRs

۳-۲-۱- رآکتور ممبران‌های فوتوکاتالیستی متوالی

در این رآکتورها، ابتدا اکسیداسیون فوتوکاتالیستی آلاینده‌ها صورت گرفته و سپس محلول حاصل به قسمت تصفیه ممبران تغذیه می‌گردد. شکل ۳ و ۴ نمایشی از رآکتور ممبران‌های فوتوکاتالیستی متوالی را نشان می‌دهند. محلولی که باید از آلاینده‌های آلی پاک‌سازی گردد با کاتالیست‌هایی معلق مخلوط می‌شود و در شرایط مخلوط شدن پیوسته، این محلول تحت تابش نور فرابنفش قرار می‌گیرد تا فرآیند فوتوکاتالیستی جهت تخریب این مواد آغاز شده و در ادامه به مرحله جداسازی توسط ممبران‌ها منتقل گردد. محلول نفوذ کرده از ممبران و تصفیه شده، ذخیره می‌شود؛ در حالی که مواد پس‌زده شده توسط ممبران دوباره به سیستم رآکتور ممبران‌های فوتوکاتالیستی باز می‌گردد. به منظور فعال کردن فرآیند اکسیداسیون فوتوکاتالیستی، اکسیژن به سیستم وارد می‌شود [۷ و ۱۴].



شکل ۳- استفاده از رآکتور ممبران‌های فوتوکاتالیستی متوالی: تابش فرابنفش به مخزن محلول حاوی فوتوکاتالیست‌های معلق در آن [۱۴]



شکل ۴- نمایشی از رآکتور ممبران‌های فوتوکاتالیستی متوالی: (۱) مخزن گردان (۲) واحد اختلاط (۳) ممبران (۴) منبع ذخیره مواد نفوذ کرده از ممبران (۵) پمپ (۶) منبع تغذیه (۷) ترموستات (۸) مخزن اکسیژن (۹) لامپ UV (۱۰) جریان سنج (۱۱) فشار سنج [۷]

۳-۲-۲- رآکتور ممبران‌های فوتوکاتالیستی مرکب

تفاوت اصلی رآکتور ممبران‌های فوتوکاتالیستی مرکب با رآکتور ممبران‌های فوتوکاتالیستی متوالی این است که در نوع مرکب، فرآیند تخریب فوتوکاتالیستی و جداسازی ممبران در یک زمان و مکان انجام می‌گیرد. شکل ۵ و ۶ نمایش کلی از رآکتور ممبران‌های فوتوکاتالیستی مرکب را نشان می‌دهند. محلولی که باید تصفیه گردد به فضای بین ممبران و منبع تابش فرابنفش تغذیه می‌شود و به طور همزمان تحت تابش

۳-۲-۳- انواع ممبران‌های فوتوکاتالیست

هنگامی که از ممبران‌های فوتوکاتالیست استفاده می‌شود، باید ممبران تحت تابش نور فرابنفش قرار گیرد؛ ترکیبات آلی موجود در محلول تغذیه‌شده تحت تابش نور فرابنفش بر سطح و یا در داخل حفرات ممبران تجزیه می‌شوند و منبع نوری در سمت تغذیه قرار گرفته‌است. مواد نفوذ کرده از ممبران حاوی حلال، محصولات تجزیه، فرآورده‌های جانبی تجزیه و یا آلاینده‌های تجزیه نشده است. ترکیب مواد نفوذ کرده به خواص فیزیکی- شیمیایی آلاینده‌ها، راندمان تجزیه آن‌ها و خواص جداسازی ممبران بستگی دارد. مهمترین مزیت این روش، کاهش رسوب‌گیری ممبران و افزایش فلاکس مواد نفوذکننده است. در نتیجه، اگر از ممبران‌های پلیمری استفاده می‌شود، احتمال تخریب ممبران به وسیله نور فرابنفش و یا رادیکال‌های آزاد وجود دارد؛ در حالی که، ممبران‌های سرامیکی و یا فلزی پایداری بیشتری دارند. در راکتور ممبران‌های فوتوکاتالیستی که ممبران آن از لایه نشانی پوششی با خاصیت فوتوکاتالیستی بر زیرپایه ساخته شده‌است، ممبران به عنوان جایگاهی برای انجام واکنش‌های فوتوکاتالیستی و همچنین مانعی در برابر مولکول‌های موجود در مایع (ترکیبات اولیه، محصولات واکنش و فرآورده‌های جانبی تجزیه آن‌ها) عمل می‌کند. وقتی از ممبرانی با خواص فوتوکاتالیستی استفاده می‌شود، تجزیه نوری آلاینده‌ها بر سطح و یا در داخل حفرات ممبران صورت می‌گیرد؛ بنابراین، سیستم ممبران باید در برابر تابش نور قرار گیرد [۱۴ و ۲۹].

اغلب انواع عملی فوتوکاتالیست‌های نیمه‌هادی به صورت فیلم هستند که محکم به یک زیرپایه خنثی مثل شیشه یا سرامیک متصل شده‌اند [۲۴]. مشخصه اصلی فلزهای اکسیدی نیمه‌هادی، نیروی اکسیداسیون قوی حفرات آن‌ها است. در نتیجه الکترون‌ها در یک واکنش احیا با اکسیژن مولکولی موجود در محیط واکنش داده و رادیکال‌های آنیون سوپراکسید تولید می‌کنند. خواص رسانایی الکتریکی مواد نیمه‌هادی حد واسط فلزات و عایق‌هاست. بر خلاف فلزات که حالت الکترونی پیوسته دارند، نیمه‌هادی‌ها دارای یک ناحیه خالی از انرژی هستند که در آن هیچ سطح انرژی وجود ندارد. به عبارت دیگر نیمه‌هادی‌ها از نظر انرژی دارای ساختار نواری هستند. نیمه‌هادی‌ها دارای نوار ممنوعه (شکاف نواری) باریکی بین نوار ظرفیت پرشده و نوار هدایت هستند که تعیین‌کننده حساسیت آن‌ها به طول موج تابش است و فرآیندهای الکترونی و فوتوشیمیایی به دنبال تهییج شکاف نواری نیمه‌هادی رخ می‌دهند [۳۳].

ممبران‌های فوتوکاتالیستی از مواد و با روش‌های مختلف ساخته می‌شوند و معمولاً از همان فوتوکاتالیست‌های معمول در فرآیندهای فوتوکاتالیستی استفاده می‌شود که نیمه‌هادی‌های مختلفی از جمله اکسیدهای TiO_2 ، ZrO_2 ، ZnO ، WO_3 ، CeO ، V_2O_5 ، Fe_2O_3 و سولفیدهای ZnS ، CdS و غیره را شامل می‌شود. همچنین، گزارش‌هایی از فوتوکاتالیست‌های کامپوزیتی مانند $\text{V}_2\text{O}_5\text{-SiO}_2$ ، SrTiO_3 ، BaTiO_3 ، Ti/RuO_2 ، ZnO-ZnS ، $\text{K}_2\text{La}_2\text{TiO}_3$ و یا کامپوزیت‌های TiO_2 به همراه مواد افزودنی مانند SnO_2 ، WO_3 ، Fe^{3+} ، CeO_2 ، SiO_2 و ZrO_2 و غیره نیز ارائه شده است [۵، ۱۱، ۳۴، ۳۵].

۳-۲-۳-۱- تیتانیا؛ اعجازی در میان مواد فوتوکاتالیست

تیتانیا در میان نیمه‌هادی‌ها مزایایی چون پایداری فوتوشیمیایی زیاد، هزینه کم، غیر سمی بودن و امکان فعال شدن با نور خورشید را داراست. تیتانیا شاخص شکست و درجه شفافیت بالایی در محدوده طیف مرئی نور دارد. اگرچه TiO_2 فقط حدود ۵٪ از نور خورشید را جذب می‌کند، اما بهترین نیمه‌هادی تحقیق شده در زمینه تبدیلات شیمیایی و ذخیره‌سازی انرژی خورشید است [۴ و ۳۳]. برخی خواص تیتانیا به تفکیک عبارتند از [۳۳]:

۱- نیمه‌هادی نیمه شفاف در منطقه نور مرئی

۲- قابلیت تولید ماده بسیار متخلخل با سطح مخصوص زیاد

۳- قیمت ارزان جهت تولیدات صنعتی

۴- خنثی از نظر شیمیایی

۵- غیرسمی و زیست سازگار

۳-۳- بررسی برخی پژوهش‌های صورت گرفته در زمینه ممبران‌های فوتوکاتالیست

در ایران طی سال‌های اخیر تحقیقات بسیاری در خصوص سل‌ها، ذرات و پوشش‌های تیتانیایی و خواص فوتوکاتالیستی آن‌ها [۳۶-۵۱] و همچنین، انواع غشاها و ممبران‌های مختلف پلیمری و سرامیکی [۵۲-۶۷] صورت گرفته است. اما پژوهش‌های محدودی در زمینه ممبران‌های سرامیکی تیتانیایی با خواص فوتوکاتالیستی انجام شده است [۳۵-۶۸-۷۱]. رآکتور ممبران‌های فوتوکاتالیست دارای ممبران‌های فوتوکاتالیست برای جداسازی ترکیبات آلی مختلف مانند سدیم دو دسیل بنزووات، مواد رنگی، فنول‌ها، کلروفنول‌ها، ۴-نیتروفنول‌ها، تری‌کلراتیلن و مواد دیگر از آب هستند [۷، ۱۴، ۲۶]. ممبران‌های فوتوکالیست از مواد و بر اساس روش‌های مختلف قابل تولید است ولی از آنجا که در میان مواد مختلف تیتانیا از خاصیت فوتوکاتالیستی بسیار ارزنده‌ای برخوردار است، در سال‌های اخیر کاربرد چشمگیری از این ماده در صنعت ممبران‌های فوتوکاتالیست گزارش شده است. این موارد شامل ممبران‌های کامپوزیتی TiO_2/Al_2O_3 ، TiO_2 پوشش داده شده بر ممبران‌های پلیمری و فلزی و یا ممبران‌های پلیمری حاوی ذرات TiO_2 به دام افتاده در ساختار ممبران در طول فرآیند ساخت ممبران است [۱۹]. جدول ۱، خلاصه‌ای از نتایج برخی پژوهش‌های انجام شده در زمینه ممبران‌های فوتوکاتالیست تیتانیایی که در داخل و یا خارج از کشور انجام شده، نشان می‌دهد.

جدول ۱- نتایج برخی پژوهش‌های انجام شده در زمینه ممبران‌های فوتوکاتالیست

نوع ممبران	نتایج تحقیق
لایه‌نشانی تیتانیا بر زیرپایه‌ای آلومینایی با روش سل-ژل [۳۵، ۶۸ و ۶۹]	- عدم تخریب متیل با قرار گرفتن در برابر نور فرابنفش در بازه زمانی طولانی بدون حضور ممبران تیتانیایی - وابستگی خواص فوتوکاتالیستی تیتانیا به ساختار فازی، اندازه کریستال و سطح ویژه تیتانیا
لایه‌نشانی تیتانیای پلیمری دوپ شده با نقره با بر زیرپایه‌ای از آلومینا پوشش-داده شده با سل کلئیدی تیتانیا [۷۰]	- بهبود چشمگیر ویژگی‌های ساختاری و خواص فوتوکاتالیستی تیتانیا توسط نقره - افزایش ۲۹٪ فعالیت فوتوکاتالیستی ممبران تهیه شده نسبت به ممبران تیتانیایی دوپ نشده - افزایش راندمان جداسازی در ممبران دوپ شده - عدم گرفتگی و افزایش طول عمر ممبران دوپ شده
لایه‌نشانی سل کامپوزیتی تیتانیا-آلومینا بر زیرپایه آلومینایی [۷۱]	- تخریب ۹۵٪ مالاکیت سبز تحت تابش نور فرابنفش توسط ممبران‌های کامپوزیتی در طی ۳ ساعت - جبران عدم فعالیت فوتوکاتالیستی آلومینا از طریق افزایش سطح مخصوص (افزودن آلومینا به تیتانیا تا مقادیر خاص) بدون ایجاد تاثیر منفی بر فعالیت فوتوکاتالیستی تیتانیا - بالارفتن دمای کاربرد ممبران
ساخت ممبران‌های نانو سیم (nanowire) از تیتانیا با استفاده از روش جداسازی هیدروترمال hydrothermal- (filtration) [۲]	- عملکرد بسیار خوب در جداسازی و تجزیه فوتوکاتالیستی هیومیک اسید (humic acid) موجود در آب به صورت همزمان - کاهش گرفتگی ممبران ناشی از حضور هیومیک اسید به علت همزمان بودن تجزیه فوتوکاتالیستی و جداسازی ممبران
ساخت ممبران کامپوزیتی TiO_2/Al_2O_3 با روش سل-ژل کلئیدی [۲۴]	- عملکرد رفتار جداسازی و خواص فوتوکاتالیستی به طور همزمان - افزایش راندمان رآکتور ممبرانی - راه حلی برای تصفیه آب و رفع مشکلات آلودگی آب
ساخت میکرو کره‌های (microspheres) تیتانیا/آلومینا با روش سل-اسپری-کلسیناسیون (sol-spray-calcination) [۷۲]	- افزایش زمینه‌های کاربرد سیستم ممبران/ فوتوکاتالیست - پتانسیل کاربرد برای تصفیه آب و فاضلاب



سنتز ممبران TiO_2 و ممبران کامپوزیتی - تجزیه و تخریب متیل بلو (آبی) و کراتینین موجود در آب
 $TiO_2-Al_2O_3$ از طریق لایه‌نشانی سل - نفوذپذیری بالا
 تیتانیا بر زیر پایه آلومینا [۷۳]

۴- نتیجه‌گیری

راه‌اندازی سیستمی که فرایند فوتوکاتالیستی و جداسازی ممبرانی را به طور همزمان در یک مکان انجام می‌دهد، علاوه بر افزایش سرعت فرایند پالایش، منجر به کاهش فضای مورد نیاز سیستم‌های تصفیه می‌گردد. ممبران‌های فوتوکاتالیست، تکنولوژی مناسب و زیست‌سازگار برای تصفیه محیط‌های مختلف است که می‌تواند زمان باقی‌ماندن آلاینده‌ها در رآکتور ممبران‌های فوتوکاتالیست را کنترل کند؛ در نتیجه، راندمان تجزیه فوتوکاتالیستی افزایش یافته و امکان جداسازی کامل آلاینده‌ها از آب فراهم آمده و از گرفتگی ممبران جلوگیری می‌شود. در این راستا تحقیقات و پژوهش‌های زیادی بر روی مواد فوتوکاتالیست و روش تولید ممبران‌ها انجام شده است. مطالعه بر پژوهش‌های صورت گرفته نشان می‌دهد در میان مواد فوتوکاتالیست، تیتانیا و در بین روش‌های تولید، فرایند سل-ژل به عنوان بهترین انتخاب جهت تولید ممبران‌های فوتوکاتالیست گزارش شده است. ارائه گزارش‌های موجود در این مقاله نیز دلیلی بر صحت این ادعاست. این پژوهش‌ها نشان می‌دهد تیتانیا به صورت جداگانه و یا در قالب مواد کامپوزیتی، ترکیب مناسبی برای ممبران‌های فوتوکاتالیست بوده و به صورت پوشش بر سطح زیرپایه‌های مختلف علاوه بر ارائه خاصیت فوتوکاتالیستی، زمینه جداسازی مواد مختلف را نیز فراهم می‌آورد.

به‌منظور ارائه اندیشه‌ای نوین در این حوزه و تبیین راه در زمینه ممبران‌های پیشرفته لازم است نگاهی مجدد به اهمیت این نوع ممبران‌ها داشت. با توجه به اهمیت موضوع ممبران‌های فوتوکاتالیست، چشم‌انداز وسیع و روشنی را می‌توان در آینده نزدیک در راستای بهبود خواص این ممبران‌ها پیش‌بینی نمود. مطالعه مواد مختلف با خاصیت فوتوکاتالیستی، به‌کارگیری سایر تکنیک‌های تولیدی موجود، بهره‌گیری از مواد مختلف همچون سیلیکا و زیرکونیا جهت تولید ترکیبات کامپوزیتی، استفاده از انواع دوپنت‌های فلزی چون نقره و آهن و غیرفلزی مانند نیتروژن و کربن می‌تواند از جمله راه‌های بهبود خواص ممبران‌های فوتوکاتالیست باشد. تنوع پژوهش‌های در حال انجام مرتبط با این موضوع در دنیا نیز نشان از اهمیت بیش از پیش بحث ممبران‌های فوتوکاتالیست و پتانسیل کاربردی آن دارد. گروه حاضر در این مقاله نیز در راستای بهبود خواص ممبران‌های فوتوکاتالیست تیتانیایی، پروژه‌های متنوعی را انجام داده و هم‌اکنون بحث ممبران‌های فوتوکاتالیست کامپوزیتی از دیگر پژوهش‌های در حال انجام توسط یک گروه پژوهشی شامل نویسندگان این مقاله است. این تحقیقات به تازگی در ایران آغاز شده که همین تیم تحقیقاتی در گروه سرامیک دانشگاه علم و صنعت ایران به آن مشغول هستند. مقاله حاضر می‌تواند به‌عنوان راه‌گشایی برای طرح اهمیت موضوع پژوهش برای دانش‌جویان و محققین داخل کشور باشد.

مراجع

۱. حسین سرپولکی، "سرامیک‌ها در هزاره جدید از دیدگاه پروفسور R. E. Newnham"، خبرنگار سرامیک ایران، فصل ۶، شماره ۲۰، تابستان ۸۲، دانشگاه علم و صنعت ایران.
2. Xiwang Zhang, Alan Jianhong Du, Peifung Lee, Darren Delai Sun, James O. Leckie, "TiO2 nanowire membrane for concurrent filtration and photocatalytic oxidation of humic acid in water", Journal of Membrane Science 313 (2008) 44-51.
۳. علی عالم، حسین سرپولکی، حسین قصابی، "نقش و اهمیت کاربرد ممبران‌ها در صنعت تصفیه آب"، فصلنامه سرامیک ایران، سال سوم، شماره ۸ و ۹، صفحه ۳۵-۴۵، زمستان ۸۵ و بهار ۸۶.
4. Y. S. Lin, "Microporous and dense inorganic membranes: current states and prospective",

- separation and purification technology, 25 (2001) 39-55.
5. M. Mulder, Basic principles of membrane technology, 1996.
 6. R. Molinari, M. Mungari, E. Drioli, A. Di Paola, V. Loddo, L. Palmisano, M. Schiavello, "Study on a photocatalytic membrane reactor for water purification", *Catalysis Today*, 55 (2000) 71-78.
 7. V. M. Kochkodan, E. A. Rolya, and V. V. Goncharuk, "Photocatalytic Membrane Reactors for Water Treatment from Organic Pollutants", *Journal of Water Chemistry and Technology*, 31(4) (2009) 227-237.
 8. Walter A. Zeltner, PhD Dean T. Tompkins, PhD, PE, "Shedding Light on Photocatalysis", American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning, Engineers, Inc. (www.ashrae.org), 2005, Volume 111, Part 2.
 9. Dmitry G. Shchukin, Rachel A. Caruso, Inorganic macroporous films from preformed nanoparticles and membrane templates: synthesis and investigation of photocatalytic and photoelectrochemical properties. *J. Advanced functional materials* 13 (2003) 789.
 10. CUI Peng, ZHAO Xianzhi, ZHOU Minjie, WANG Longde, "Photocatalysis-Membrane Separation Coupling Reactor and Its Application", *Chinese journal of catalysis*, 27(9) (2006) 752-754.
 11. WWW.BCC.com
 12. Kang Li, *Ceramic Membranes for Separation and Reaction*, John Wiley & Sons, 2007.
 13. Anne Julbe, David Farrusseng, Christian Guizard, "Porous ceramic membranes for catalytic reactors-overview and new ideas", *Journal of Membrane Science* 181 (2001) 3-20.
 14. Sylwia Mozia, "Separation and Purification Technology", *Separation and Purification Technology* 73 (2010) 71-91.
 15. Sylwia Mozia, Maria Tomaszewska, Antoni W. Morawski, "Photocatalytic membrane reactor (PMR) coupling photocatalysis and membrane distillation—Effectiveness of removal of three azo dyes from water", *Catalysis Today* 129 (2007) 3-8.
 16. Sylwia Mozia, Antoni W. Morawski, "Hybridization of photocatalysis and membrane distillation for purification of wastewater", *Catalysis Today* 118 (2006) 181-188.
 17. Raffaele Molinari, Cesare Grande, Enrico Drioli, Leonardo Palmisano, Mario Schiavello, "Photocatalytic membrane reactors for degradation of organic pollutants in water", *Catalysis Today* 67 (2001) 273-279.
 18. Raffaele Molinari, Leonardo Palmisano, Enrico Drioli, Mario Schiavello, "Studies on various reactor configurations for coupling photocatalysis and membrane processes in water purification", *Journal of Membrane Science* 206 (2002) 399-415.
 19. Meng Nan Chong, Bo Jin, Christopher W.K. Chow, Chris Saint, "Recent developments in photocatalytic water treatment technology: A review", *water research* 44 (2010) 2997-3027.
 20. Amy L. Linsebigler, Guangquan Lu, John T. Yates, "Photo catalysis on TiO₂ surfaces: principles, mechanisms and selected results", *J. Chem. Rev.* 95 (1995) 735.
 21. J. Ryu, W. Choi, K.-H. Choo, "A pilot-scale photocatalyst-membrane hybrid reactor: performance and characterization", *Water Science & Technology*, 2005, 51(6-7), 491-497, QIWA Publishing.
 22. B. Kalweit, "Photocatalysis: an analysis of its application and market potential", USA, 1998.
 23. Michael Birnie, Saffa Riffat, and Mark Gillott, "Photocatalytic reactors: design for effective air purification", *International Journal of Low Carbon Technologies* 1/1.
 24. Haimin Zhang, Xie Quan, Shuo Chen, Huimin Zhao, Yazhi Zhao, "Fabrication of photocatalytic membrane and evaluation its efficiency in removal of organic pollutants from water", *Separation and Purification Technology* 50 (2006) 147-155.
 25. Ignazio Renato Bellobono, Franca Morazzoni, and Paola Maria Tozzi, "Photocatalytic membrane modules for drinking water purification in domestic and community appliances", *International Journal of Photoenergy* 7 (2005) 109-113.
 26. Daniela Lisi, Self- cleaning Glass, 2001/2002.
 27. Sarah M. Mercer, *Heterogeneous Photocatalysis*, Ottawa, Canada, 2006.
 28. A. L. Linsebigler, G. Lu, J. T. Yates, "Photocatalysis on TiO₂ Surfaces: Principles, Mechanisms, and selected results", *Chem. Rev* 95 (1995) 735-758.
 29. Harvey Malloy, "Environmentally friendly", ceramic tile, *Ceramic Industry*; Sep. 1999, 149, 10, Business Module.
 30. Umar Ibrahim Gaya, Abdul Halim Abdulla, "Heterogeneous Photocatalytic degradation Of Organic Contaminants Over Titanium Dioxide: A Review Of Fundamentals, Progress and Problems", *Journal of Photochemistry and Photobiology C: Photochemistry Reviews* 9 (2008) 1-12.
 31. U. Cernigoj, U. L. Stangar, P. Trebse, U. O. Krasovec, S. Gross, "Preparation and photoelectric properties of ordered mesoporous titania thin films" *Thin Solid Films* 495 (2006) 327-332.
 32. Richard J.Higgins, Bruce A.Bishop, Robert L.Goldsmith, "A Photocatalytic Membrane Reactor for Enhanced Destruction of Chloro-organics In Aqueous Media", CeraMen Corporation.
 33. Titanium-Oxide Photocatalyst, Three Bond Technical News Issued, 2004. Mechanisms,

- and Selected Results", Chem. Rev 95 (1995) 735-758.
34. Sylwia Moziaa, Antoni W. Morawska, Masahiro Toyodab, Michio Inagakic, "Application of anatase-phase TiO₂ for decomposition of azo dye in a photocatalytic membrane reactor", Desalination 241 (2009) 97-105.
35. Ali Alem, Hossein Sarpoolaky, Mehrdad Keshmiri, "Sol-gel preparation of titania multilayer membrane for photocatalytic applications", Ceramic international 35(5) (2009) 1837-1843.
۳۶. عالیه افضل القوم، تاثیر عملیات حرارتی بر خاصیت فوتوکاتالیستی تیتانیای مزوپوروس منظم، پایان نامه کارشناسی، دانشگاه علم و صنعت ایران، دانشکده مهندسی مواد و متالورژی، ۱۳۸۸.
۳۷. محمد مظلوم، تاثیر شرایط سنتز و افزودنی‌ها بر خواص فوتوکاتالیستی تیتانیای نانوساختار، پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه علم و صنعت ایران، دانشکده مهندسی مواد و متالورژی، ۱۳۸۸.
38. Mahshid Pourmand, Nima Taghavinia, "TiO₂ nanostructured films on mica using liquid phase deposition", Materials Chemistry and Physics 107 (2008) 449-455.
39. Houman Yaghoubi, Nima Taghavinia, Eskandar Keshavarz Alamdari, "Self cleaning TiO₂ coating on polycarbonate: Surface treatment, photocatalytic and nanomechanical properties", Surface & Coatings Technology 204 (2010) 1562-1568.
40. E. Ghadiri, P. Rohani, N. Taghavinia, M. R. Aghabozorg, A. Irajizad, "Self-standing hybrid hydroxyapatite/TiO₂ nanofibers for photocatalytic applications", Submitted to Appl. Catal. B.
41. R. Mohammadpour, A. Irajizad, M. M. Ahadian, N. Taghavinia, A. Dolati, "Comparison of various anodization and annealing conditions of titanium dioxide nanotubular film on MB degradation", Euro. Phys. J. In press.
42. S. Shadmehr, S. M. Mahdavi, N. Taghavinia, A. Azarian, "Growth of TiO₂ nanoparticles by pulsed laser ablation (PLA) in liquid media and study of photocatalytic properties", Int. J. Modern Phys. B 22 (2008) 3193-3200.
43. M. Kh. Aminian, N. Taghavinia, A. Irajizad, S. M. Mahdavi and M. Chavoshi, "Synthesis of Titania Nanofibers for Photocatalytic Applications", Synthesis and Reactivity in Inorganic, Metal-Organic, and Nano-Metal Chemistry 37 (2007) 457-460.
44. S. N. Hosseini, S. M. Borghei, M. Vossoughi and N. Taghavinia, "Immobilization of TiO₂ on perlite granules for photocatalytic degradation of phenol", Appl. Catal. B. 73 (2007) 327-336.
45. M. Khajeh Aminian, N. Taghavinia, A. Irajizad, S. M. Mahdavi, "Adsorption of TiO₂ nanoparticles on glass fibers", J. Phys. Chem. C. 194 (2007) 9794-9798.
۴۶. مژگان چاوشی و نیما تقوی، ساخت نانو ذرات TiO₂ جهت پوشش‌های خود تمیز شونده، مجموعه مقالات اولین کنفرانس فناوری نانو منطقه جنوب، ۲۰-۱۸ بهمن ۱۳۸۵، شیراز.
۴۷. محسن خواجه امینیان، نیما تقوی نیا، اعظم ایرجی زاد، سید محمد مهدوی، ساخت نانورشته های TiO₂ با ساختار فرتالی برای کاربردهای فوتوکاتالیستی، مجموعه مقالات کنفرانس سالانه فیزیک، ۱۳۸۵، شاهرود، صفحات ۵۴-۵۶.
۴۸. مهشید پورمند، مژگان چاوشی، نیما تقوی نیا، "ساخت و مشخصه‌یابی لایه‌های نازک در اکسید تیتانیوم"، مجموعه مقالات هفتمین سمینار مهندسی سطح و عملیات حرارتی، ۱۳۸۵، اصفهان، صفحات ۷۰۳-۷۰۸.
۴۹. محسن خواجه امینیان، نیما تقوی نیا، اعظم ایرجی زاد، سید محمد مهدوی، "تثبیت نانو ذرات TiO₂ بر روی الیاف شیشه‌ای جهت خواص فوتوکاتالیستی"، مجموعه مقالات هفتمین سمینار مهندسی سطح و عملیات حرارتی، ۱۳۸۵، اصفهان، صفحات ۱۰۱۹-۱۰۱۱.
۵۰. مژگان چاوشی، نیما تقوی نیا، "لایه‌نشانی نانو ذرات TiO₂ به روش الکتروفورسیس و بررسی خاصیت فوتوکاتالیستی آن"، مجموعه مقالات هفتمین سمینار مهندسی سطح و عملیات حرارتی، ۱۳۸۵، اصفهان، صفحات ۱۰۲۸-۱۰۲۱.
۵۱. رقیه قاسم پور، نیما تقوی نیا، اعظم ایرجی زاد و سید محمد مهدوی، "ساخت و بررسی لایه‌های TiO₂ به روش سل-ژل"، مجموعه مقالات کنفرانس فیزیک، ۱۳۸۳، تهران، صفحات ۳۷۴-۳۷۲.
52. Ehsan Saljoughi, Mohtada Sadrzadeh, Toraj Mohammadi, "Effect of preparation variables on morphology and pure water permeation flux through asymmetric cellulose acetate membranes", Journal of Membrane Science 326 (2009) 627-634.
53. Morteza Asghari, Toraj Mohammadi, Armin Samimi and Majid Fouladi, "Ion-exchanged zeolite X membranes: synthesis and characterization, Membrane Technology (2008) 9-11.

54. Mansoor Kazemimoghadam, Toraj Mohammadi, "Separation of water/UDMH mixtures using hydroxysodalite zeolite membranes", *Desalination* 181 (2005) 1-7.
 55. Mansoor Kazemimoghadam, Toraj Mohammadi, "Preparation of NaA zeolite membranes for separation of water/UDMH mixtures", *Separation and Purification Technology* 47 (2006) 173-178.
 56. Toraj Mohammadi, Afshin Pak, Mehrdad Karbassian, Masoud Golshan, "Effect of operating conditions on microfiltration of an oil-water emulsion by a kaolin membrane", *Desalination* 168 (2004) 201-205.
 57. Mansoor Kazemimoghadam, Toraj Mohammadi, "Chemical cleaning of ultrafiltration membranes in the milk industry", *Desalination* 204 (2007) 213-218.
 58. Mansoor Kazemimoghadam, Afshin Pak, Toraj Mohammadi, "Dehydration of water/1-1 dimethylhydrazine mixtures by zeolite membranes", *Microporous and Mesoporous Materials* 70 (2004) 127-134.
 59. Toraj Mohammadi, "Chemical cleaning of a polyamide membrane", *Desalination* 139 (2001) 381.
 60. Mansoor Kazemimoghadam, Toraj Mohammadi, "Synthesis of MFI zeolite membranes for water desalination", *Desalination* 206 (2007) 547-553.
 61. Toraj Mohammadi, Afshin Pak, "Making zeolite A membrane from kaolin by electrophoresis", *Microporous and Mesoporous Materials* 56 (2002) 81-88.
 62. Toraj Mohammadi, Ehsan Saljoughi, "Effect of production conditions on morphology and permeability of asymmetric cellulose acetate membranes", *Desalination* 243 (2009) 1-7.
 63. Mohammad Ali Alaei, Toraj Mohammadi, "Preparation and characterization of BaxSr1-xCo0.8Fe0.2O3-δ perovskite type membrane", *Membrane Technology* (2009) 7-11.
 64. Elham Gorouhi, Mohtada Sadrzadeh, Toraj Mohammadi, "Microfiltration of oily wastewater using PP hydrophobic membrane", *Desalination* 200 (2006) 319-321.
 65. M. Asghari, T. Mohammadi, R. F. Alamdari, F. Agend, "Thin-layer template-free polycrystalline mordenite membranes on cylindrical mullite supports", *Microporous and Mesoporous Materials* 114 (2008) 148-154.
 66. A. A. Jalali, F. Mohammadi, S. N. Ashrafizadeh, "Effects of Process Conditions on Cell Voltage, Current Efficiency and Voltage Balance of a Chlor-Alkali Membrane Cell", *Desalination* (2009)
 67. S. N. **Ashrafizadeh**, Z. Khorasani, "Amonia removal from aqueous solutions using hollow-fiber membrane contactors", *Chemical Engineering Journal*, Volume 162, Issue 1, 1 August 2010, Pages 242-249.
۶۸. علی عالم، بررسی و ساخت ممبران‌های تیتانیایی نانوساختار، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه علم و صنعت ایران، دانشکده مهندسی مواد و متالورژی، ۱۳۸۶.
69. Ali Alem, Hossein Sarpoolaky, Mehrdad Keshmiri, "Titania ultrafiltration membrane: preparation, characterization and photocatalytic activity". *J. European ceramic society* 29 (2009) 629- 635.
 70. Ali Alem, Hossein Sarpoolaky, The effect of silver doping on photocatalytic properties of titania multilayer membranes, *Solid State Sciences* 12 (2010) 1469-1472.
۷۱. علی اکبر حبیب‌پناه، ساخت و بررسی خواص ممبران‌های کامپوزیتی نانوساختار تیتانیا-آلومینا، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه علم و صنعت ایران، دانشکده مهندسی مواد و متالورژی، ۱۳۸۸.
72. Shiping Xu, Xiwang Zhang, Jiawei Ng and Darren Delai Sun, "Preparation and application of TiO₂/Al₂O₃ microspherical photocatalyst for water treatment", *water science and technology; water supply* 2009.
 73. Hyeok Choi a, Elias Stathatos b, Dionysios D. Dionysio, "Sol-gel preparation of mesoporous photocatalytic TiO₂ films and TiO₂/Al₂O₃ composite membranes for environmental applications", *Applied Catalysis B: Environmental* 63 (2006) 60-67.

مروری بر اثر فعال سازی مکانیکی و افزودنی در تشکیل مولایت در دو دهه گذشته

آرزو سیفاله زاده، تورج عبادزاده، مسعود علیزاده

پژوهشکده سرامیک، پژوهشگاه مواد و انرژی

seifolahzadeh@yahoo.com

چکیده: مولایت به عنوان یکی از سرامیک های ساختاری و الکترونیکی بسیار مورد استفاده قرار می گیرد. کاربرد گسترده آن به استحکام مکانیکی خوب، شوک پذیری حرارتی و مقاوت خزشی عالی، هدایت حرارتی کم و پایداری حرارتی در دماهای بالا نسبت داده می شود. همچنین ساختار مولایت به گونه ای است که در صورتیکه رشد دانه های مولایت بدون محدودیت رخ دهد، آنها به صورت آنیزوتروپ رشد می کنند. از روش های معمول تولید این گونه دانه ها سنتز بخار- جامد و فرآوری درجا است؛ که به علت معایب این روش ها پژوهشگران تلاش نموده اند تا با فعال سازی مکانیکی مخلوط پودرهای اولیه، تشکیل مولایت را بهبود بخشند. افزودنی های اکسیدی نیز دمای تشکیل مولایت را از مخلوط مواد اولیه کاهش می دهند. لذا در این مطالعه تلاش می شود تا با بررسی اثر فعال سازی مکانیکی و افزودنی ها به مواد اولیه تشکیل دهنده مولایت، بهبود خواص مولایت ذکر گردد.

کلمات کلیدی: فعال سازی مکانیکی، مولایت، افزودنی، رشد دانه.

۱- مروری بر منابع مطالعاتی

مولایت یک فاز سرامیکی مهم است که علاوه بر استفاده در سرامیک های سنتی به صورت ظروف رومیزی، سرامیک های ساختاری و دیرگذاها، در مواد پیشرفته دما بالا، جابجاکننده های حرارت، فیلترها، ابزار اپتیکی و غیره نیز استفاده می شود. همچنین کامپوزیت های مولایتی دارای پتانسیل بالایی برای استفاده در موتور توربین های گازی ثابت و هواپیماها هستند [۱].

مولایت و کامپوزیت های زمینه مولایتی به علت داشتن خواص مکانیکی عالی در دمای بالا، مقاوت شیمیایی خوب، ضریب انبساط حرارتی و ثابت دی الکتریک پایین، مقاومت خزشی بالا و غیره بسیار مورد توجه می باشند [۲]. در بسیاری از موارد از کاتولن به عنوان یک ماده کلیدی برای سنتز سرامیک های مولایتی استفاده شده است. تشکیل مولایت از کاتولن مستلزم گذراندن یکسری واکنش می باشد. در فرآیند گرمایش و در دماهای پایین، کاتولن آب پیوند فیزیکی خود را ازدست می دهد؛ در دماهای بالاتر به متاکاتولن آمورف تجزیه شده و در نهایت به مولایت تبدیل می شود [۳،۴].

مولایت با فرمول $3Al_2O_3 \cdot 2SiO_2$ دارای ساختار کریستالی منحصر به فردی است که در آن زنجیره هایی با پیوند قوی در امتداد محور c کریستالوگرافی قرار دارند؛ بنابراین دانه های آن امکان رشد آنیزوتروپ در یک محیط بدون محدودیت را دارند. در نتیجه الیاف مولایت می توانند به راحتی از سنتز بخار- جامد یا فلاکس نمک مذاب تولید شوند. اما تولید با این روش ها مقرون به صرفه نمی باشد؛ زیرا سنتز بخار- جامد نیازمند امکاناتی برای ایجاد خلاء است که هزینه بر بوده و از سوی دیگر واکنشی که شامل فازهای گازی باشد، فرآیند را پیچیده می کند. سرامیک های مولایتی مقاوم همچنین می توانند با روش فرآوری درجا تولید شوند. رشد دانه آنیزوتروپ درجا معمولاً در دماهای بسیار بالا اتفاق می افتد. سرامیک های مولایتی ساخته شده به این روش دارای چقرمگی مطلوبی نیستند. چقرمگی شکست کم این سرامیک ها به علت رشد بیش از حد دانه، در زمان رشد آنیزوتروپ می باشد. بنابراین توسعه روش هایی برای تولید الیاف مولایت در دماهای نسبتاً

پایین دارای اهمیت زیادی است [۹-۲،۵].

اخیراً kong و همکارانش [۱۰] ثابت کرده‌اند که ییاف مولایت می‌تواند به سرعت و در دماهای نسبتاً پایین در مخلوطی از Al_2O_3 و SiO_2 که با فرآیند آسیاب پرانرژی فعال شده‌اند (آلیاژسازی مکانیکی)، ایجاد شوند؛ چگالی ابزار خردایش، نوع مواد اولیه و زمان آسیاب در اندازه ییاف و دمای تبدیل به مولایت بسیار مؤثر است.

پژوهشگران [۱۱-۱۳] تشکیل مولایت در زینتر واکنشی جفت آلومینا و کوارتز را با مکانیزم انحلال-رسوب این گونه توضیح دادند. ابتدا در دمای خاصی یک فاز مایع غنی از SiO_2 تشکیل و سپس Al_2O_3 در فاز مایع حل می‌شود؛ با رسیدن غلظت Al_2O_3 به مقدار بحرانی، جوانه‌زنی مولایت رخ می‌دهد. بر طبق دیاگرام فاز $Al_2O_3-SiO_2$ فاز مایع در ترکیب غنی از SiO_2 در دمای بالای دمای یوتکتیک ($1590 \pm 10^\circ C$) تشکیل می‌شود. ولی به علت کاهش بسیار زیاد اندازه ذرات مواد اولیه در مخلوط‌های اکسیدی که با آسیاب پر انرژی آسیاب می‌شوند، فاز مایع در دماهای پایین‌تر تشکیل شده و سرعت انحلال Al_2O_3 در فاز مایع بیشتر می‌شود (سرعت انحلال Al_2O_3 وابسته به ویسکوزیته فاز مایع و اندازه ذرات Al_2O_3 است) که این دو عامل باعث کاهش دمای مولایتی شدن می‌شوند. علاوه بر آسیاب پرانرژی، افزودنی‌های اکسیدی نیز ویسکوزیته شیشه را کاهش داده و تحرک اجزا نفوذکننده را بیشتر می‌کنند.

با توجه به اینکه آسیاب پرانرژی مواد اولیه اثر بسزایی روی دمای تشکیل فاز مولایت و ابعاد دانه‌های مولایت داشته و اینکه افزودنی‌های اکسیدی دمای تشکیل فاز مولایت را از مخلوط Al_2O_3 و SiO_2 کاهش می‌دهند [۱۴، ۱۵]، در این گزارش چگونگی بهبود خواص مولایت در اثر آسیاب پرانرژی و افزودنی بررسی شد؛ به عبارتی کاهش دمای تشکیل و دانه‌بندی مواد اولیه اکسیدی تشکیل‌دهنده مولایت به همراه افزودنی‌های TiO_2 ، WO_3 ، CuO ، B_2O_3 و اکسیدهای واسطه که فعال‌سازی مکانیکی شدند، بررسی شد.

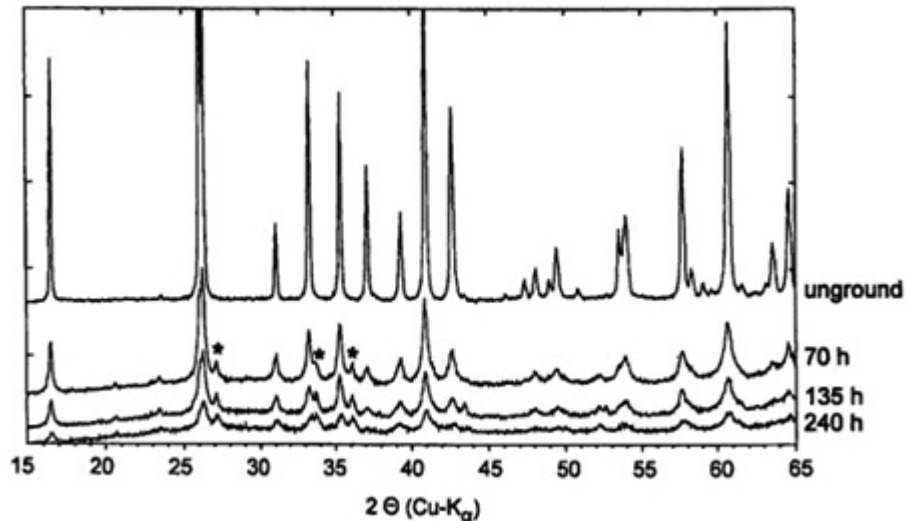
۱-۱-۱- فعال‌سازی مکانیکی

فعال‌سازی مکانیکی یک روش آسیاب پرانرژی است که در آن از انواع مختلفی آسیاب استفاده می‌شود. طی این فرآیند مخلوطی از پودرهای مختلف تحت نیروهای فشاری بسیار قوی قرار گرفته و امکان ایجاد آلیاژها با شکست و جوش سرد مکرر ذرات پودری که معمولاً قابل مخلوط شدن هستند، وجود دارد. این روش معمولاً برای تولید پودرهای فلزی ترکیبی با ریزساختار کنترل شده و ریز و همچنین آلیاژهایی که تولید آنها به روش‌های ذوب و ریخته‌گری معمول، سخت و یا غیر ممکن است، بکار می‌رود. همچنین به دلیل سادگی این روش در تولید مواد نانوبلوری در دمای اتاق، اخیراً برای سنتز مواد سرامیکی نیز از آن استفاده شده است [۱۶، ۱۷].

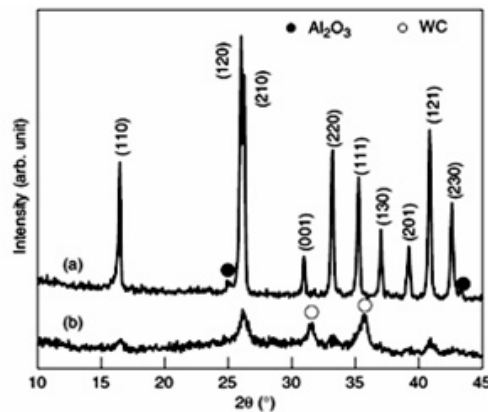
۱-۱-۱-۱ فعال‌سازی مکانیکی مولایت

مطالعات زیادی در مورد فعال‌سازی مکانیکی مولایت انجام شده است. Schmücker و همکارانش [۱۸] پودر فیوز مولایت را به عنوان ماده اولیه کریستالی در زمان‌های ۷۰، ۱۳۵ و ۲۴۰ ساعت با محفظه و گلوله‌هایی از جنس نیتريد سیلیکون با نسبت گلوله به پودر ۱:۱ در محیط ایزوپروپیل الکل آسیاب پرانرژی کردند. در شکل ۱ الگوهای اشعه X پودرهای آسیاب شده در زمان‌های مختلف آورده شده است که علاوه بر کاهش اندازه ذرات، یک فرآیند آمورفی‌شدن را نیز نشان می‌دهد.

در تحقیق دیگری [۲] پودر مولایت تجاری با محفظه و گلوله‌های کاربرد تنگستن با نسبت گلوله به پودر ۱/۴ به مدت ۱۰ ساعت، با سرعت ۲۰۰ rpm آسیاب سیاره‌ای شد. بعد از آسیاب، پیک‌های پراش شدیداً کوتاه و پهن شدند که علت آن ریزش و یا حتی آمورفی‌شدن ذرات مولایت در اثر آسیاب پر انرژی بیان شد (شکل ۲).



شکل ۱- الگوهای اشعه X مولایت آسیاب نشده و مولایت آسیاب شده در زمان های ۷۰، ۱۳۵ و ۲۴۰ ساعت [۱۸].



شکل ۲- الگوهای پراش اشعه X پودر مولایت (a) قبل و (b) بعد از ۱۰ ساعت آسیاب پراثری [۲].

نتایج نشان می دهند که چگالی بیشتر ابزار آسیاب و نیز بالاتر بودن نسبت گلوله به پودر، اثر قابل ملاحظه ای در رسیدن به نتایج مشابه در زمان های بسیار کمتر آسیاب دارد [۲، ۱۸].

۱-۱-۲- اثر فعال سازی مکانیکی در تشکیل مولایت

پژوهشگران نشان داده اند که می توان بسادگی الیاف مولایت را از فعال سازی مکانیکی مخلوط Al_2O_3 و SiO_2 تهیه کرد. ایجاد این الیاف به علت واکنش پذیری بالای اجزای اکسیدی بوده که در اثر آسیاب پراثری بدست می آید [۱۰]. همچنین به دلیل ساختار آنیزوتروپ مولایت، دانه های آن تمایل دارند در همان زمانی که مولایت در محیط بدون محدودیت (قبل از تراکم) تشکیل می شود، به صورت آنیزوتروپ رشد کنند در صورتیکه در واکنش های حالت جامد معمولی تراکم قبل از تشکیل مولایت انجام شده و امکان رشد دانه ها به صورت آنیزوتروپ وجود ندارد. به علت ایجاد اینگونه دانه ها بدنه های مولایتی تشکیل شده با این روش دارای چگالی بسیار کمی (۷۰٪ چگالی تئوری) هستند [۱۱، ۱۲].

۱-۱-۳- ایجاد مولایت کامپوزیت ساختاری با آسیاب پراثری

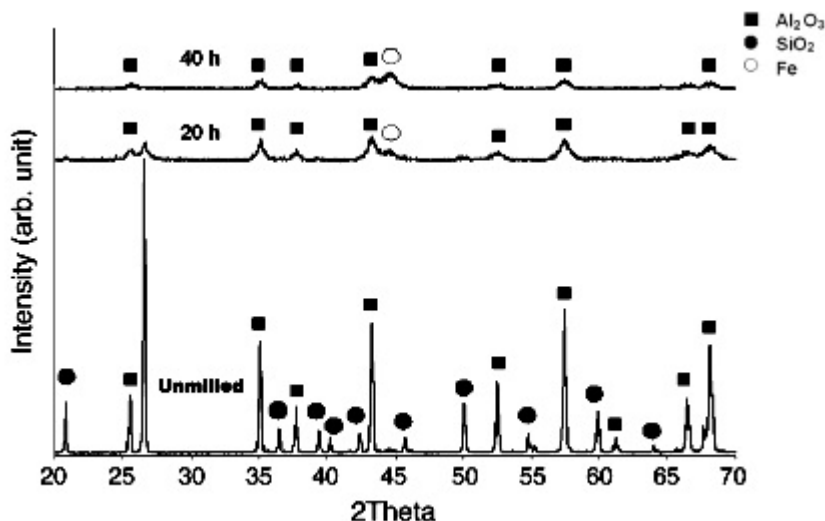
باتوجه به اینکه سرامیک های مولایتی با دانه های هم محور دارای چقرمگی شکست نسبتاً کم هستند، در کاربردهای عملی از سرامیک های مولایتی مقاوم که با افزودن الیاف مولایت به زمینه مولایت تک محوری ایجاد می شوند، استفاده می شود. ورود این الیاف فرآیند را پیچیده کرده و برای جلوگیری از شکست آنها، مراقبت و کنترل زیادی باید صورت گیرد. روش دیگر تولید سرامیک های مولایتی مقاوم، رشد دانه آنیزوتروپ

درجا می‌باشد که در مقایسه با روش قبل بسیار ساده‌تر است ولی به علت دمای بسیار زیاد برای القا رشد دانه آنیزوتروپ به زمینه مولایت تک محوری، رشد غیر عادی دانه مولایت صورت گرفته و چقرمگی شکست مطوب بدست نمی‌آید.

Kong و همکارانش [۱۹] سرامیک‌های مولایتی با ساختارهای آنیزوتروپ درجا که شامل مولایت با دانه‌های معمولی و الیاف مولایت بود، را تولید کردند. آنها برای این کار مواد اولیه اکسیدی آسیاب شده و مواد اولیه آسیاب نشده را با نسبت‌های وزنی $۲۵/۷۵$ ، $۵۰/۵۰$ و $۷۵/۲۵$ مخلوط کردند. پودرهای آسیاب‌نشده منبعی برای دانه‌های مولایت هم‌محور هستند درحالی‌که پودرهای آسیاب‌شده منجر به ایجاد دانه‌های مولایت آنیزوتروپ می‌شوند. رفتار خوب مولایتی‌شدن با مکانیزم جوانه‌زنی توجیه می‌شود؛ کریستال‌های مولایت تشکیل شده از پودر آسیاب شده در دمای پایین به عنوان جوانه عمل کرده و دمای مولایتی‌شدن پودر آسیاب‌نشده را کاهش می‌دهند. با افزایش نسبت پودر آسیاب‌شده به پودر آسیاب‌نشده، مولایتی‌شدن در دمای پایین‌تری اتفاق می‌افتد.

۱-۱-۴- تشکیل مولایت نانو ساختار در اثر فعال‌سازی مکانیکی

بهمنش و همکارانش [۱۲] مولایت با ساختار نانو را از پخت مواد اولیه اکسیدی (SiO_2 و Al_2O_3) که در زمان‌های ۲۰ و ۴۰ ساعت با نسبت گلوله به پودر $۱/۲$ و با سرعت چرخش ۳۰۰۰rpm آسیاب پرنرژی شدند، بدست آوردند. درالگوی اشعه X پودرهای آسیاب‌شده (شکل ۳) SiO_2 دیده نمی‌شود که علت آن ساختار آمورف SiO_2 است. با افزایش زمان آسیاب، پیک‌های Al_2O_3 در مقایسه با این پیک‌ها در نمونه آسیاب‌نشده به طور قابل توجهی پهن شدند که بیان‌کننده کاهش اندازه کریستالیت‌ها به ابعاد نانومتری و تجمع میکروکرنش‌ها در شبکه است. الگوهای اشعه X نمونه‌های پخته شده در $1450^{\circ}C$ فاز غالب مولایت را در نمونه‌ها نشان می‌دهند.



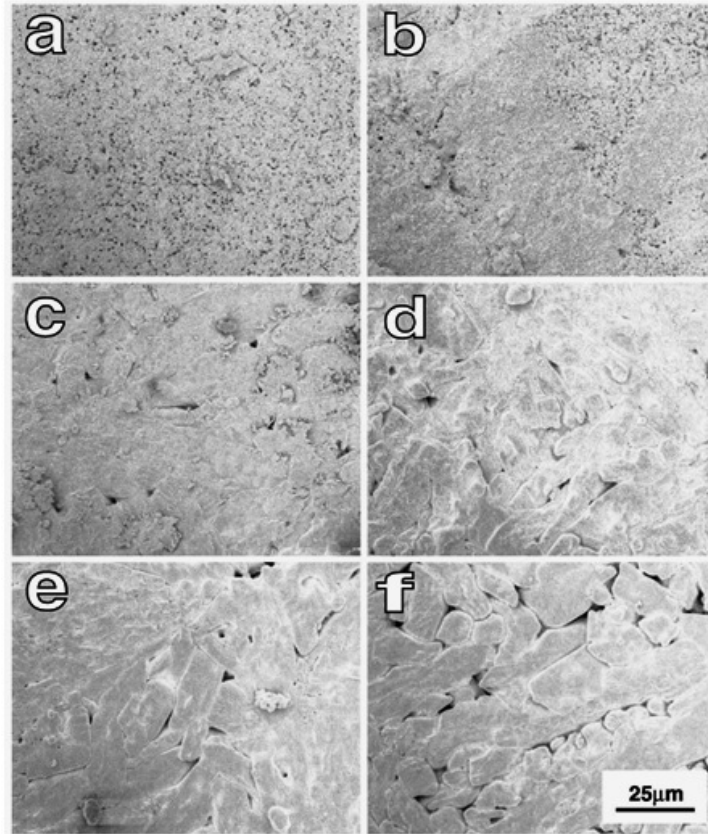
شکل ۳- الگوهای اشعه X نمونه‌های آسیاب‌شده در آسیاب سیاره‌ای [۱۲].

۱-۲- فعال‌سازی مکانیکی مخلوط اکسیدهای اولیه تشکیل دهنده مولایت و CuO

در تحقیقی که توسط Kong و همکارانش [۲۰] صورت گرفت، اکسیدهای اولیه Al_2O_3 و SiO_2 با ۲٪ وزنی CuO به مدت ۵ ساعت با محفظه و گلوله‌های فولاد ضد زنگ و کاربید تنگستن با نسبت گلوله به پودر $۱/۴$ ، آسیاب پرنرژی شدند. سپس نمونه‌ها به شکل قرص پرس شده و در دماهای بین $1500^{\circ}C$ – $1000^{\circ}C$ پخته شدند.

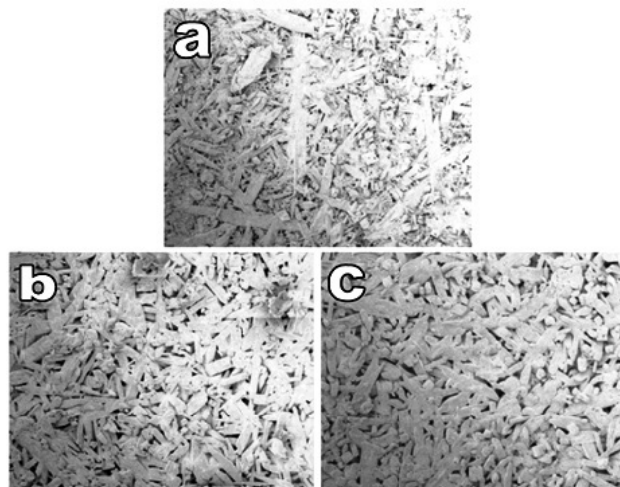
نتایج نشان می‌دهند که در کلیه نمونه‌های آسیاب شده، تشکیل مولایت در دمای $1200^{\circ}C$ کامل می‌شود

که این دما بسیار کمتر از دمایی است که برای همان نمونه‌ها و بدون آسیاب پراورزی لازم می‌باشد. در تصاویر SEM مربوط به پودرهای آسیاب شده با فولاد ضد زنگ و پخته شده در دماهای مختلف، تا دمای 1300°C رشد دانه آنیزوتروپ دیده نمی‌شود. با افزایش دمای پخت، هم ابعاد و هم آنیزوتروپی دانه‌ها بیشتر می‌شود (شکل ۴).



شکل ۴- تصاویر SEM نمونه‌های آسیاب شده با فولاد ضد زنگ و پخته شده در دمای (a) 1000°C (b) 1100°C (c) 1200°C (d) 1300°C (e) 1400°C (f) 1500°C [۲۰].

برخلاف نمونه‌های آسیاب شده با فولاد ضد زنگ، الیاف مولایت در پودرهای آسیاب شده با کاربید تنگستن (شکل ۵) تشکیل شده و در 1200°C همه دانه‌ها تبدیل به الیاف می‌شوند اما با بالا رفتن دمای پخت ابعاد این الیاف ثابت می‌ماند [۲۰].

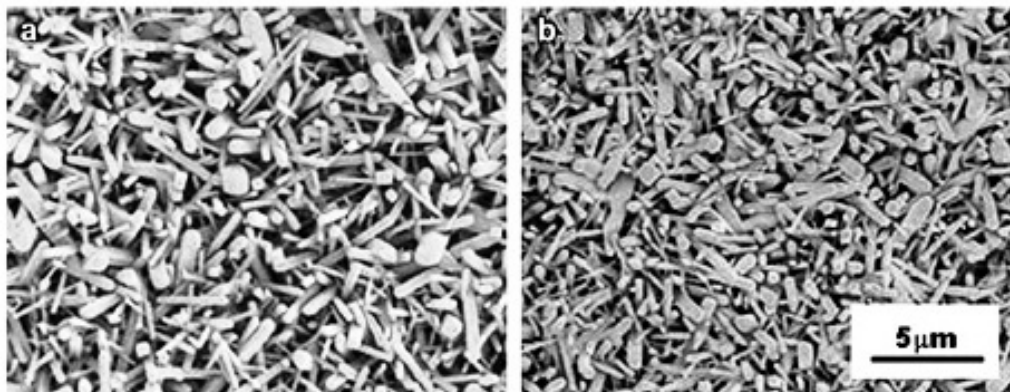


شکل ۵- تصاویر SEM نمونه‌های آسیاب شده با کاربید تنگستن و پخته شده در دماهای (a) 1100°C (b) 1100°C (c) 1200°C [۲۰].

۱-۳- فعال سازی مکانیکی مخلوط اکسیدهای اولیه تشکیل دهنده مولایت و B_2O_3

باتوجه به اینکه سازگار تشکیل فاز مولایت با واکنش انحلال- رسوب کنترل می‌شود و در بین اکسیدهای مختلف مؤثرترین اکسید B_2O_3 می‌باشد، در پژوهشی [۲۱] اکسیدهای اولیه و مقادیر مختلفی B_2O_3 (تا ۲۰٪ مولی) به مدت ۴ ساعت با محفظه‌ها و گلوله‌های فولاد ضد زنگ و کاربید تنگستن با نسبت گلوله به پودر به ترتیب $۱/۲$ و $۱/۴$ ، آسیاب پرانرژی شده و به صورت قرص‌هایی تهیه و در دماهای بین $1500-1000^\circ C$ پخته شدند. نتایج نشان می‌دهند که دمای تشکیل مولایت در مخلوط پودرهای اولیه و B_2O_3 بدون آسیاب پرانرژی کمتر از این دما برای مخلوط مواد اولیه بدون B_2O_3 و بدون آسیاب پرانرژی است که به نقطه ذوب پایین B_2O_3 و کمک به تشکیل فاز مایع غنی از SiO_2 و بهبود واکنش Al_2O_3 در SiO_2 نسبت داده می‌شود. دمای تشکیل مولایت در مخلوط آسیاب شده با کاربید تنگستن کمتر از این دما در مخلوط آسیاب شده با فولاد ضد زنگ است. مقادیر بالای B_2O_3 باعث ایجاد الیاف کوچکتر با توزیع اندازه یکنواخت‌تر می‌شود (شکل ۶).

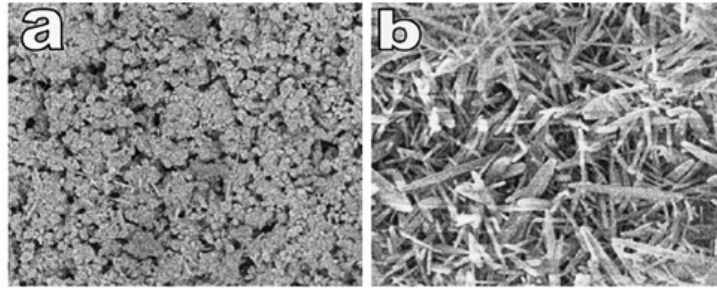
برخلاف ترکیبات آسیاب شده با فولاد ضد زنگ، در پودرهای آسیاب شده با کاربید تنگستن و پخته شده در دماهای مختلف، الیاف مولایت با شکل‌های منظم تشکیل شده و با افزایش دمای پخت ابعاد الیاف زیاد می‌شود.



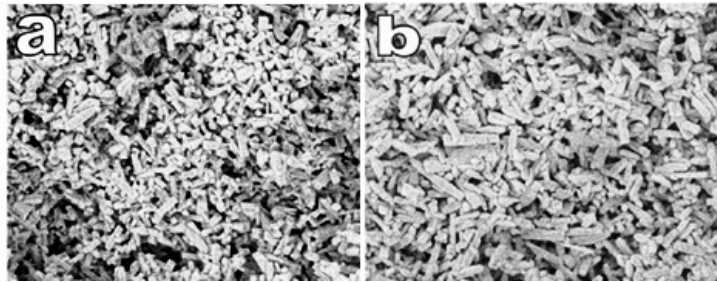
شکل ۶- تصویر SEM نمونه آسیاب شده با کاربید تنگستن و پخته شده در $1400^\circ C$ با (a) ۵٪ مولی و (b) ۲۰٪ مولی B_2O_3 [۲۱].

۱-۴- فعال سازی مکانیکی مخلوط اکسیدهای اولیه تشکیل دهنده مولایت و WO_3

در پژوهش صورت گرفته [۱۱] نشان داده شد که فعال سازی مکانیکی مخلوط اکسیدهای اولیه و WO_3 (تا ۲۰٪ مولی) با آسیاب سیاره‌ای به مدت ۵ ساعت، در محفظه و گلوله‌هایی از جنس کاربید تنگستن و با نسبت گلوله به پودر $۱/۴$ اثر بسزایی بر دمای تشکیل مولایت و نیز مورفولوژی دانه‌های مولایت دارد. در نمونه‌های با مقادیر مختلف WO_3 ، مولایتی شدن در دمای $1100^\circ C$ کامل شده و دانه‌های مولایت از ابتدا به صورت الیاف منظم و با ویژگی‌های تک کریستال ظاهر می‌شوند. همانطور که در بخش مقدمه به آن اشاره شد، افزودن اکسیدهایی مانند WO_3 می‌تواند باعث کاهش ویسکوزیته فاز مایع شده که کاهش ویسکوزیته فاز مایع به تشکیل مولایت کمک می‌کند. تصور می‌شود که WO_3 به عنوان مراکز هتروژن جوانه‌زنی عمل کرده و باعث ایجاد جوانه مولایت در دمای پایین‌تر می‌شود. افزودن مقدار بیشتر WO_3 ، موجب بیشتر شدن مراکز جوانه‌زنی و کاهش دمای تشکیل مولایت می‌شود. علت کوتاه شدن اندازه الیاف در مقادیر زیاد WO_3 ، تعداد زیاد مراکز جوانه‌زنی است (شکل‌های ۷ و ۸).



شکل ۷- تصویر SEM نمونه دارای ۵٪ مولی WO_3 پخته شده در دمای: (a) $1000^\circ C$ (b) $1100^\circ C$ [۱۱].

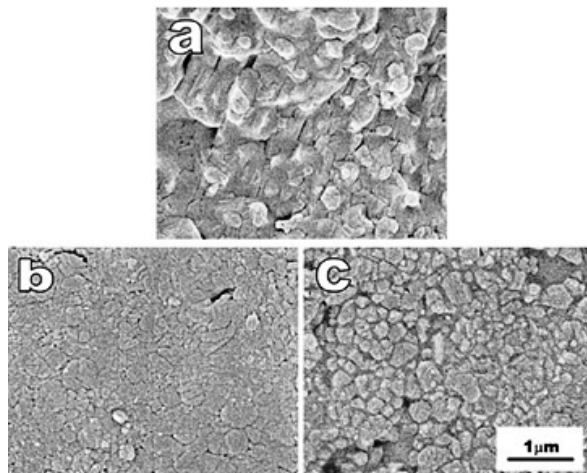


شکل ۸- تصویر SEM نمونه دارای ۲۰٪ مولی WO_3 پخته شده در دمای: (a) $1000^\circ C$ (b) $1100^\circ C$ [۱۱].

۱-۵- فعال سازی مکانیکی مخلوط اکسیدهای اولیه تشکیل دهنده مولایت و اکسید فلزات واسطه

در پژوهش دیگری که توسط Kong و همکارانش [۱۳] صورت گرفت، اکسیدهای اولیه (SiO_2 و Al_2O_3) به صورت جداگانه با مقادیر یکسان Fe_2O_3 ، CoO و NiO به مدت ۵ ساعت با محفظه و گلوله های فولاد ضدزنگ با نسبت گلوله به پودر $1/2$ آسیاب پرانرژی شدند. نمونه ها به شکل قرص هایی تهیه شده و در دماهای بین $1000-1400^\circ C$ پخته شدند. الگوهای پراش اشعه X نشان داد که آسیاب پرانرژی این اکسیدها با مخلوط مواد اولیه اثر مشابهی در تشکیل مولایت دارند و در هر سه مورد، دمای تشکیل مولایت $1200^\circ C$ گزارش شد که کمتر از آن دما در فرآیند حالت جامد معمولی است. تصاویر SEM نمونه های دارای افزودنی و آسیاب شده که در دماهای مختلف پخته شدند، نشان می دهد که در بالای دمای $1200^\circ C$ و همزمان با تشکیل مولایت، دانه ها به صورت آنیزوتروپ رشد می کنند؛ در صورتیکه در زیر این دما دانه ها هم محور هستند. حداکثر چگالی این بدنه ها قبل از تشکیل فاز مولایت است.

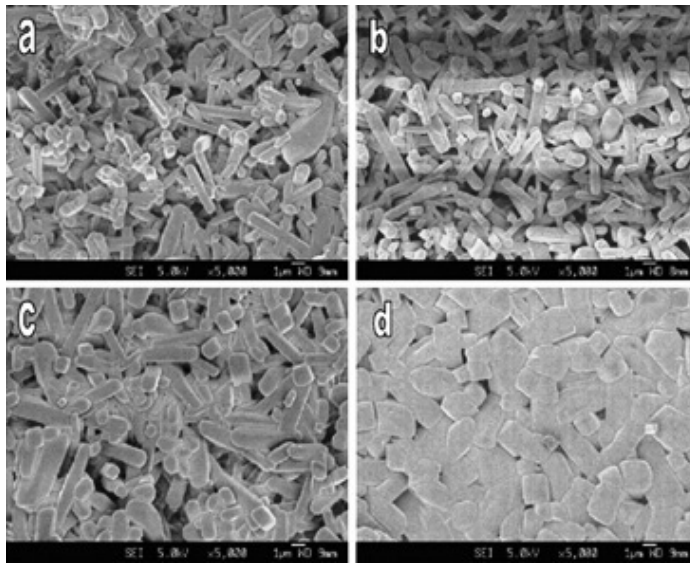
تصاویر SEM نمونه های دارای افزودنی، که آسیاب پرانرژی نشدند (شکل ۹)، نشان می دهند که علت رشد دانه آنیزوتروپ، افزودن اکسیدهای فلزی نیست؛ بلکه آسیاب پرانرژی باعث ایجاد این گونه دانه ها شده است [۱۳].



شکل ۹- تصاویر SEM مخلوط های آسیاب نشده و پخته شده در $1400^\circ C$: (a) Fe_2O_3 (b) CoO (c) NiO [۱۳].

۶-۱- فعال سازی مکانیکی مخلوط اکسیدهای اولیه تشکیل دهنده مولایت و TiO_2

محققین [۵] اکسیدهای اولیه Al_2O_3 و SiO_2 با ۱ تا ۱۰ درصد وزنی TiO_2 به مدت ۵ ساعت در آسیاب سیاره‌ای، با محفظه و گلوله‌های کاربید تنگستن و با نسبت گلوله به پودر $1/4$ آسیاب پرنرژی کردند و پودرهای بدست آمده را به شکل قرص پرس کرده و در دماهای بین $1500-1100^\circ C$ حرارت دادند. با توجه به الگوهای پراش اشعه X، افزودن ۱ درصد وزنی TiO_2 بیشترین تأثیر را بر تشکیل مولایت دارد؛ که به نظر می‌رسد با افزودن مقدار بیشتر TiO_2 ، از ترکیب Al_2O_3 و SiO_2 برای تشکیل مولایت جلوگیری شود. همچنین چگالی نمونه‌ها با افزایش غلظت TiO_2 بیشتر می‌شود. تصاویر SEM نمونه‌های دارای مقادیر مختلف TiO_2 پخته شده در $1500^\circ C$ در شکل ۱۰ آورده شده است. نمونه بدون افزودنی دارای دانه‌های سوزنی بوده و با افزودن ۱ درصد وزنی TiO_2 ابعاد دانه‌ها بیشتر می‌شود. دانه‌ها در نمونه با ۳ درصد وزنی TiO_2 نامنظم بوده و ابعاد آنها بیشتر می‌باشد.



شکل ۱۰- تصاویر SEM نمونه‌های بدست آمده از پودرهای آسیاب شده پخته شده در $1500^\circ C$ به مدت ۵ ساعت: (a) بدون TiO_2 (b) دارای ۱ درصد وزنی TiO_2 (c) دارای ۳ درصد وزنی TiO_2 (d) دارای ۵ درصد وزنی TiO_2 [۵].

۲- نتیجه گیری

باتوجه به مطالعات مختلف، الیاف‌های مولایت می‌توانند از مخلوط ترکیبات اکسیدی با آسیاب پرنرژی بدست آیند. آسیاب مواد اولیه به صورت قابل توجهی دمای تشکیل مولایت را کاهش می‌دهد. ابزار آسیاب با چگالی بالا (مانند کاربید تنگستن) برای ایجاد الیافی با کیفیت بالا ضروری است. آسیاب پرنرژی مخلوط اکسیدهای اولیه و CuO باعث کاهش دمای تشکیل مولایت می‌شود. افزودن B_2O_3 به ترکیبات اکسیدی اولیه و آسیاب پرنرژی آنها باعث بهبود رفتار مولایتی شدن مخلوط Al_2O_3 و SiO_2 می‌شود. فعال سازی مکانیکی مخلوط اکسیدهای اولیه و WO_3 به تشکیل فاز مولایت کمک کرده و با افزایش مقدار افزودنی دمای تشکیل مولایت کاهش می‌یابد ولی اندازه الیاف کم می‌شود. افزودن اکسیدهای فلزی Ni ، Co و Fe به همراه آسیاب پرنرژی، موجب تشکیل سرامیک مولایتی متراکم با ریزساختار آنیزوتروپ می‌شود. واکنش Al_2O_3 و SiO_2 با افزودن مقادیر مناسب TiO_2 و فعال سازی مخلوط، بیشتر شده و رشد دانه آنیزوتروپ در این ترکیب مشاهده شد.

مراجع

1. P. M. Souto, R. R. Menezes, R. H. G. A. Kiminami, "Sintering of Commercial Mullite Powder: Effect of MgO Dopant", J. Mater. Process. Technol. 209, pp 548-553 (2009).

2. L. B. Kong, T. S. Zhang, J. Ma, F. Y. C. Boey, "Anisotropic Grain Growth in Mullite Powders as a Result of High-energy Ball Milling", *J. Am. Ceram. Soc.* 90, pp 4058-4055 (2007).
3. T. Ebadzadeh, "Effect of Mechanical Activation and Microwave Heating on Synthesis and Sintering of Nano-Structured Mullite", *J. Alloy Compos.* 489, pp 125-129 (2010).
4. H. Schneider, J. Schreuer, B. Hildmann, "Structure and Properties of Mullite—A Review", *J. Eur. Ceram.Soc.* 28, pp 329-344 (2008).
5. T. S. Zhang, L. B. Kong, Z. H. Du, J. Mac, S. Li, "Tailoring the Microstructure of Mechanoactivated Al₂O₃ and SiO₂ Mixtures with TiO₂ Addition", *J. Alloys Compds.* 506, pp 777-783 (2010).
6. S. H. Hong, W. Cermignani, G. L. Messing, "Anisotropic Grain Growth in Seeded and B₂O₃-Doped Diphasic Mullite Gels", *J.Eur.Ceram.Soc.* 16, pp 133-141 (1996).
7. W. Yoon, P. Sarin, W. M. Kriven, "Growth of Textured Mullite Fibers Using a Quadrupole Lamp Furnace", *J.Eur.Ceram.Soc.* 28, pp 455-463 (2008).
8. I. Regiani, W. L. E. Magalhães, D. P. F. de Souza, C. O. Paiva-Santos, M.F. de Souza, "Nucleation and Growth of Mullite Whiskers from Lanthanum- Doped Aluminosilicate Melts", *J. Am. Ceram. Soc.* 85, pp 232-238 (2002).
9. M. D. Sacks, N. Bozkurt, G. W. Scheiffele, "Fabrication of Mullite- Matrix Composites by Transient Viscous Sintering of Composite Powders", *J. Am. Ceram. Soc.* 74, pp 2428-2437 (1991).
10. L. B. Kong, J. Ma, H. Huang, "Mullite Whiskers Derived from Oxide Mixture Activated by A Mechanochemical Process", *Adv. Eng. Mater.* 4, pp 490-494 (2002).
11. L. B. Kong, H. Huang, T. S. Zhang, J. Mab, F. Boey, R. F. Zhang, Z. H. Wang, "Growth of Mullite Whiskers in Mechanochemically Activated Oxides Doped with WO₃", *J. Eur. Ceram. Soc.* 23, pp 2257-2264 (2003).
12. N. Behmanesh, S. Heshmati-Manesh, A. Ataie, "Role of Mechanical Activation of Precursors in Solid State Processing of Nano-Structured Mullite Phase", *J. Alloys Compds.* 450, pp 421-425 (2008)
13. L. B. Kong, T. S. Zhang, J. Mab, F. Boey, "Anisotropic Grain Growth of Mullite in High-Energy Ball Milled Powders Doped with Transition Metal Oxides", *J. Eur .Ceram.Soc.* 23, pp 2247-2256 (2003).
14. C. Baudin, M. I. Osendi, J. S. Moya, "Solid Solution of TiO₂ in Mullite", *J. Mater. Sci. Lett.* 2, pp 185-187 (1983).
15. S. H. Hong, G. L. Messing, "Mullite Transformation Kinetics in P₂O₅-, TiO₂-, and B₂O₃-Doped Aluminosilicate Gels", *J. Am. Ceram. Soc.* 80, pp 1551-1559 (1997).
16. P. S. Gilman, J. S. Benjamin, "Mechanical Alloying", *Annual Review of Materials Science*, 13, pp. 279-300, (1983).
17. Duygu A˘gao˘gulları, Hasan Gökç,e, İsmail Duman, M. LütfiÖvec,o˘glu, "Characterization Investigations of ZrB₂/ZrC Ceramic Powders Synthesized by Mechanical Alloying of Elemental Zr, B and C Blends", *J. Eur. Ceram. Soc.* xxx, pp xxx–xxx (2011).
18. M. Schmücker, H. Schneider, K. J. D. MacKenzie, "Mechanical Amorphization of Mullite and Thermal Recrystallization", *J. Non-Cryst. Solids.* 226, pp 99-104 (1998).
19. L. B. Kong, T. S. Zhang, Y. Z. Chenb, J. Mab, F. Boey, H. Huang, "Microstructural Composite Mullite Derived from Oxides via a High-Energy Ball Milling Process" ,*Ceram. Int.* 30, pp 1313-1317 (2004).
20. L. B. Kong, J. Ma, H. Huang, T. S. Zhang, F. Boey, "Anisotropic Mullitization in CuO-Doped Oxide Mixture Activated by High-Energy Ball Milling", *Mater. Lett.* 57, pp 3660-3666 (2003).
21. L. B. Kong , T. S. Zhang, J. Mac, F. Y. C. Boey, "Mullitization Behavior and Microstructural Development of B₂O₃–Al₂O₃–SiO₂ Mixtures Activated by High-Energy Ball Milling", *Solid State Sciences.* 11, pp 133-1342 (2009).

بررسی خواص اپتیکی شیشه‌سرامیک‌های شفاف سیستم لیتیوم آلومینوسیلیکات

محمد صادق شاکری^۱، محمد رضوانی^۲

^۱ پژوهشگاه مواد و انرژی، ^۲ دانشگاه تبریز

ms.shakeri88@ms.tabrizu.ac.ir

چکیده: شیشه‌سرامیک‌ها که از تبلور کنترل شده شیشه پایه بدست می‌آیند، خواص شیشه‌ها و سرامیک‌ها را به طور همزمان دارا هستند و به همین دلیل امروزه کاربردهای بسیاری در زمینه‌های مختلف فن‌آوری پیدا کرده‌اند. در صورتی که شرایط تبلور به گونه‌ای کنترل شود که بلورهای نانومتری مناسب در زمینه‌ی شیشه‌ای متبلور شوند، شفافیت در شیشه سرامیک ایفا می‌شود. قطعات شیشه‌سرامیکی شفاف رفتاری مشابه رفتار تک‌بلورها دارند در حالی که روش تولید آن‌ها بسیار ساده‌تر و ارزان‌قیمت‌تر می‌باشد. تبلور بلورهای نانومتری فازهای محلول جامد β -کوارتز، β -ایوکریپتیت و β -اسپودومن باعث می‌شود که شیشه‌سرامیک‌های شفاف لیتیوم آلومینوسیلیکات قابل استفاده در سیستم‌های اپتیکی تولید شوند. همچنین حضور ناخالصی‌های فلزات واسطه و عناصر نادر خاکی باعث می‌شود تا ترازهای الکترونیکی به گونه‌ای تغییر یابند تا ویژگی‌های اپتیکی تحت تاثیر قرار گیرند. در این تحقیق سعی شده است تا علاوه بر بررسی رفتار تبلور فازهای مذکور به صورت نانومتری در زمینه شیشه لیتیوم آلومینوسیلیکات، تاثیر افزودنی‌های مختلف بر خواص اپتیکی از جمله جذب و نشر بحث شود.

کلمات کلیدی: شیشه‌سرامیک شفاف، شیشه‌سرامیک لیتیوم آلومینوسیلیکات، خواص اپتیکی، اسپکتروسکوپی.

۱- مقدمه

شیشه‌سرامیک‌ها مواد پیشرفته مهندسی هستند که امروزه در بسیاری از زمینه‌های حساس و مهم صنعتی، نظامی و پزشکی کاربردهای بسیاری یافته‌اند. در این زمینه می‌توان به شیشه‌سرامیک‌های لیتیوم آلومینوسیلیکات^۱ اشاره کرد که به دلیل داشتن ضریب انبساط حرارتی پایین و همچنین دارا بودن شفافیت مناسب با درصد عبور نور بالا به عنوان شیشه‌سرامیک‌های اپتیکی دقیق معرفی می‌شوند. این نوع شیشه‌سرامیک‌ها در کاربردهایی نظیر لیزرهای حالت جامد، فیبرهای نوری، شیشه‌های تلسکوپ و انواع دیگر مواد اپتیکی دقیق کاربرد دارند.

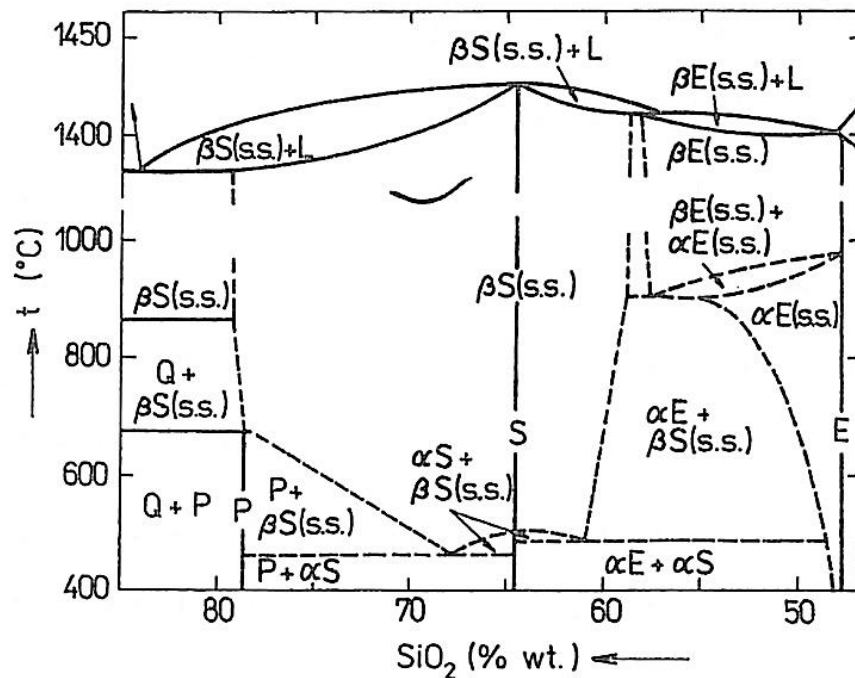
اپتیک و علوم مشابه آن نظیر فتونیک، الکترواپتیک و نانواپتیک جزء علوم به‌روز و پیشرفته به حساب می‌آیند که پایه پیشرفت‌های آتی بشریت را می‌سازند. استفاده از نور به جای الکترون برای انتقال اطلاعات به دلیل سرعت نسبی بیشتر و نیاز نداشتن به محیط مادی از عوامل تاثیر گذار در کاربرد مواد نوری در صنایع مختلف در سال‌های اخیر می‌باشد.

شیشه‌سرامیک‌ها که جزیی از مواد پیشرفته مهندسی هستند و خواص اپتیکی که جزء خواص پیشرفته مواد هستند، ما را بر آن داشت تا اطلاعات مربوط به یکی از انواع مهم و مناسب شیشه‌سرامیک‌های اپتیکی را ارائه دهیم. در پایان این مقاله و در بخش ۵ تلاش شده است تا نقاط ابهام تحقیقات گذشته و زمینه‌هایی که در آنها نیاز به تحقیقات کاملتر احساس می‌شود، بیان شود. امید است که این مقاله راهگشای پیشرفت‌های مفید و تاثیر گذار در پیشبرد هر چه بیشتر علم باشد [۱-۴].

^۱ Li₂O- Al₂O₃- SiO₂(LAS)

۲- بررسی فازی سیستم LAS

شکل (۱) نمودار فازی سیستم $\text{SiO}_2\text{-Al}_2\text{O}_3\text{-SiO}_2\text{-Li}_2\text{O}$ را نشان می‌دهد. در این نمودار P نشان‌دهنده فاز پتالایت $(\text{LiAlSi}_4\text{O}_{10})$ ، S فاز اسپودومن $(\text{LiAlSi}_2\text{O}_6)$ ، E فاز ایوکریپتایت (LiAlSiO_4) ، Q کوآرتز (SiO_2) ، L فاز مذاب و s.s. نشان‌دهنده فاز محلول جامد می‌باشند. با استناد به این نمودار فازی مشخص است که در دماهای بالا انواع دما پایین α -ایوکریپتایت و α -اسپودومن به صورت برگشت‌ناپذیر به انواع دما بالای نوع β تبدیل می‌شوند. همچنین با افزایش میزان سیلیس فاز پتالایت به وجود می‌آید. در نواحی غیر استوکیومتریک محلول جامد بین فازی از سه فاز ذکر شده و کوآرتز تشکیل می‌شود. ترکیب شیمیایی فاز محلول جامد فراپایدار β -کوآرتز بین SiO_2 و ایوکریپتایت قرار گرفته است. این فاز هنگام تبلور شیشه‌پایه در محدوده تقریبی 800°C تا 900°C رسوب می‌کند. ساختار محلول جامد فراپایدار β -کوآرتز متشکل از چهار وجهی‌های SiO_4 است که در آن بخشی از یون‌های Si^{4+} توسط یون‌های Al^{3+} جایگزین شده و برای حفظ خنثایی الکتریکی، یون‌های Li^+ در حفره‌های چهاروجهی و هشت‌وجهی قرار می‌گیرند. گاهی به جای Li^+ یون‌های Zn^{2+} و Mg^{2+} در جاهای خالی ساختار قرار می‌گیرند. این جانشینی به علت افزایش تحرکات یونی سبب پایین آمدن دمای ذوب ساختار می‌شود، به همین دلیل در ساخت قطعات مهندسی افزودن مقداری جزیی از اکسیدهای روی و منیزیم تا هنگامی که فازهای جدید در ساختار تولید نشوند، امری مفید و معمول است. سازوکار تشکیل فازهای محلول جامد β -کوآرتز، β -ایوکریپتیت و β -اسپودومن حین تبلور شیشه‌ها، تحت تاثیر جدایش فازی فراپایدار صورت می‌گیرد. شایان ذکر است که به علت اختلاف پایین ضریب شکست بین فازهای ذکر شده و شیشه‌پایه، پراکنش داخلی نور بسیار جزیی است و شیشه‌سرامیک‌های تولیدی در صورت داشتن بلورهای نانومتری (کوچکتر از طول موج نور مرئی) شفاف می‌باشند [۵۰].

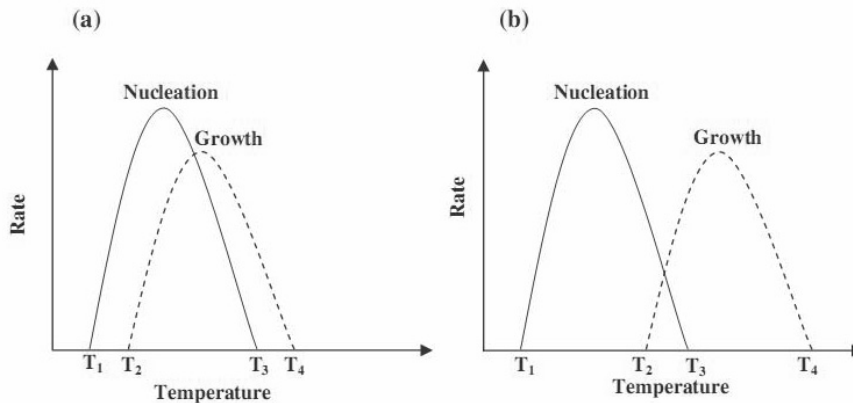


شکل ۱- نمودار فازی سیستم $\text{SiO}_2\text{-Al}_2\text{O}_3\text{-SiO}_2\text{-Li}_2\text{O}$ [۵]

۳- تبلور کنترلی

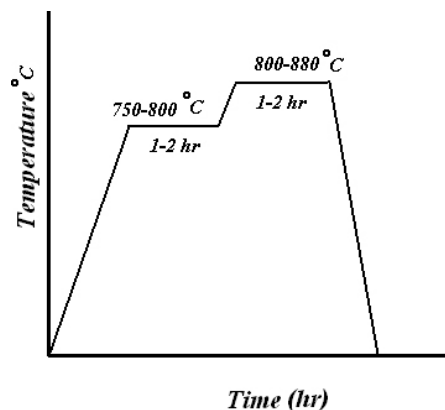
پس از تولید شیشه پایه یا در فرآیند تولید، عملیات حرارتی تبلور به منظور جدایش فازی و تولید بلور صورت می‌گیرد. شرایط عملیات حرارتی برای تولید بلورهای نانومتری مستلزم جوانه‌زنی مناسب و رشد کنترل شده

می‌باشد. شکل (۲) اختلاف بین دماهای جوانه‌زنی و رشد را در حالت‌های قابل کنترل و غیر قابل کنترل نشان می‌دهد.



شکل ۲- دماهای جوانه‌زنی و رشد بلور. (a) غیرقابل کنترل (b) قابل کنترل [۷]

ناکاگوا و همکارش [۷] فرآیند یک مرحله‌ای که در دماهای $750-840^{\circ}\text{C}$ را برای مدت زمان‌های مختلف انجام داده و ثوابت شبکه فازهای تولیدی را محاسبه کردند. به دلیل نداشتن کنترل مناسب و تولید جوانه‌های نسبتاً کم و رشد افراطی آنها، شیشه‌سرامیک شفافیت خود را از دست داد. در تحقیقات بعدی محققین دیگر روش دوم مرحله‌ای که شامل جوانه‌زنی در دمای پایین و رشد جوانه‌ها در دمای بالاتر بود را توسعه دادند. هالند و همکارانش [۷]، چندین ترکیب مختلف و نحوه کنترل دوم مرحله‌ای واکنش تبلور برای رسیدن به بلورهای نانومتری با بیش از ۵۰٪ حجمی شرح نمودند. شکل (۳) شماتیک فرآیند کنترلی تبلور و دماهای انجام آنها را در شیشه‌سرامیک سیستم LAS، نشان می‌دهد. در فرآیند کنترلی ابتدا و در مرحله‌ی جوانه‌زنی تعداد بسیار زیادی جوانه تولید می‌شوند و در مرحله رشد زمان کافی به آنها داده می‌شود تا به ابعاد زیر صد نانومتر برسند.



شکل ۳- شماتیک تبلور کنترلی برای فاز محلول جامد β -کوارتز [۷]

قابل ذکر است که محدوده دمایی یا زمانی شکل (۳) تابع ترکیب استوکیومتریک متفاوت مواد تشکیل دهنده می‌باشد [۱۲-۷].

۴- بررسی خواص اپتیکی شیشه و شیشه‌سرامیک LAS

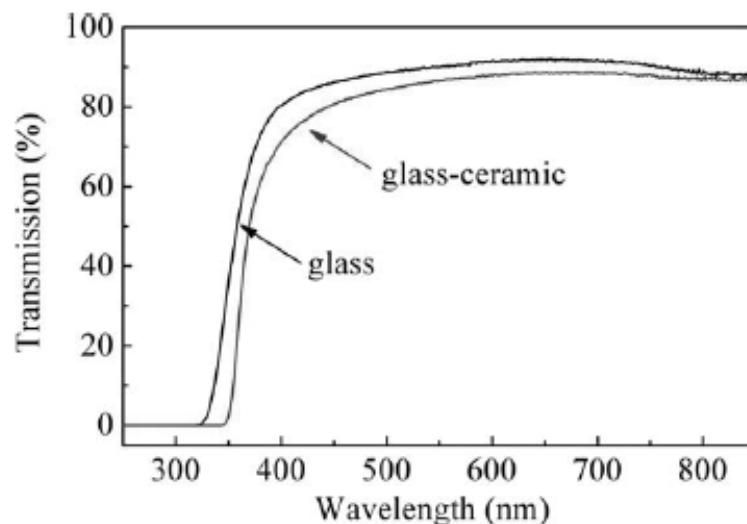
در این قسمت خواص اپتیکی شیشه‌سرامیک شفاف LAS حاوی بلورهای نانومتری شرح داده شده است. طیف‌های جذب، نشر و عبور در محدوده طول موج مرئی و در برخی از موارد بررسی طیف‌های رامان، IR و EPR آورده شده است. چنانچه قبلاً نیز اشاره شد، به علت اختلاف کم ضریب شکست بین شیشه‌ی پایه و فازهای محلول جامد β -کوارتز، β -ایوکریپتیت و β -اسپودومن، پراکنش داخلی نور در ماده ناچیز است.

تولید بلورهای کوچکتر از طول موج نور مریی باعث می‌شود تا شیشه‌سرامیک شفاف بدست آید. فاز محلول جامد بتاکوارتر در فصل مشترک فاز شیشه‌ای و فازهایی مانند اسپودومن و ایوکریپتیت قابلیت جدایش فازی و تشکیل را دارد. بر این اساس در ترکیبات مختلف سیستم LAS می‌توان با عملیات حرارتی مناسب فازهای مختلف را بر حسب نیاز به خواص مختلف اپتیکی، متبلور کرد. وجود عناصر مختلف از گروه فلزات واسطه و عناصر نادر خاکی در مکان‌های مختلف بین‌نشینی یا در فازهای مختلف و به دلیل انرژی وابستگی مختلف باعث تغییر در طیف نشری و جذبی این ماده خواهد شد [۱۷-۱۳].

۴-۱- بررسی اسپکتروسکوپی شیشه و شیشه‌سرامیک سیستم LAS

سیستم شیشه‌ای LAS با ترکیب مولی استوکیومتری $\text{Li}_2\text{O}:\text{Al}_2\text{O}_3:\text{SiO}_2 = 1:1:4$ که در آن یون لیتیوم به صورت جزئی با یون‌های منیزیم و روی جایگزین شده‌است، به منظور بررسی خواص اپتیکی با روش ذوب و ریخته‌گری بررسی شد. با انجام عملیات حرارتی دو مرحله‌ای در محدوده دمای بین $700-900^\circ\text{C}$ تبلور فاز β -کوارتز انجام شد. شکل (۵) آنالیز DSC و شکل (۶) الگوی XRD شیشه و شیشه‌سرامیک تولیدی را نشان می‌دهند. به راحتی و از روی نمودارها می‌توان دلیل انتخاب دماهای عملیات حرارتی و نوع فازهای تولیدی پس از انجام عملیات حرارتی را دانست.

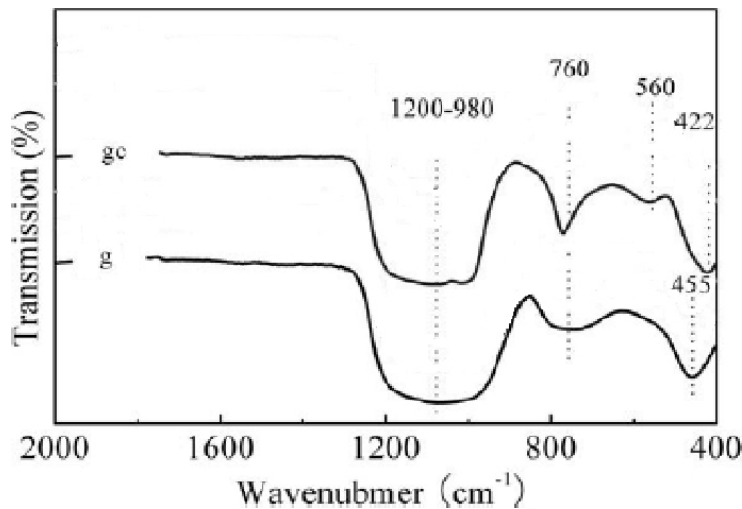
شکل (۴) طیف عبوری شیشه پایه LAS را در مقایسه با شیشه‌سرامیک همین سیستم مذکور نشان می‌دهد. چنانچه مشاهده می‌شود، شیشه و شیشه‌سرامیک LAS در تمامی طول‌موج‌های طیف مرئی عبوری بیش از ۸۰٪ را نشان می‌دهد. اختلاف جزئی در عبور نور و کاهش آن برای شیشه‌سرامیک به علت پراکنش جزئی در مرزهای دانه و همچنین فصل مشترک شیشه و بلور است. با مشاهده‌ی طیف EPR (Electron Magnetic Resonance) این مواد، هیچگونه پیکی مشاهده نشد. وجود نداشتن پیک در منحنی EPR به علت وجود نداشتن ناخالصی پارامغناطیس در شیشه LAS است [۱۸].



شکل ۴- طیف جذبی شیشه و شیشه‌سرامیک سیستم LAS [۱۸]

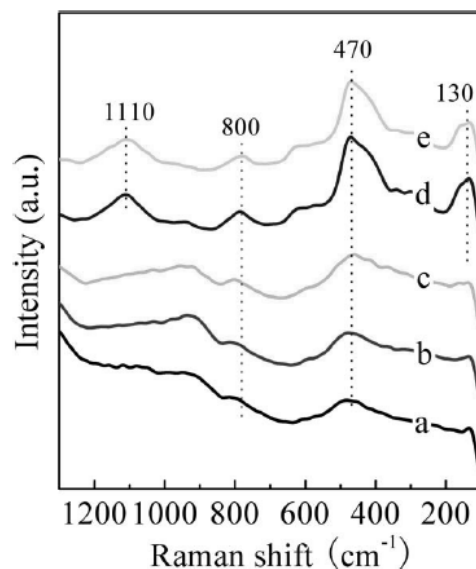
شکل (۵) طیف IR شیشه و شیشه‌سرامیک LAS را نشان می‌دهد. ۳ پیک در طول‌موج‌های مختلف IR مشاهده می‌شود. پیک اول که منطبق با عدد موج $980-1200\text{ cm}^{-1}$ که بسیار گسترده و پهن می‌باشد مربوط به پیوندهای نامتقارن Si-O-Si می‌باشد. به این دلیل که باندهای ذکر شده که با جایگزینی Al به جای Si بوجود می‌آیند (Si-O-Al) نیز در این محدوده طول‌موجی ارتعاش داشته و در نتیجه طیف IR را جذب می‌کنند. پیشبینی می‌شود قسمتی از جذب به علت حضور این نوع باندها باشد. جذب حاصل در طول‌موج 760 cm^{-1} که تیز است مربوط به ارتعاش حاصل از باندهای متقارن Si-O-Si می‌باشد. در نهایت جذب موجود در

طول موج 455 cm^{-1} مربوط به باند O-Si-O است که ویژگی سه بعدی شبکه را تکمیل می‌سازد. تفاوت بین طیف‌های مشخص شده در شیشه و شیشه‌سرامیک تنها به میزان پهن شدن آنها وابسته است. شیشه‌سرامیک به دلیل داشتن نظم بلورین بیشتر، جذب‌های تیزتری نسبت به شیشه دارد [13-15]. شکل (۶) طیف رامان شیشه و شیشه‌سرامیک سیستم LAS را در حالت بدون افزودنی و کمک ذوب TiO_2 و ZrO_2 نشان می‌دهد. حضور باندهای ضعیف در 800 cm^{-1} و 470 cm^{-1} نشان‌دهنده ساختار کاملاً تصادفی و بدون نظم آلومینوسیلیکات است. هنگامی که عملیات حرارتی در محدوده $750-850^\circ \text{C}$ در مورد این شیشه انجام می‌گیرد، پیوندهای بیشتری در طیف رامان مشاهده می‌شود. پیوند ضعیف در 1110 cm^{-1} مربوط به لرزش پیوندهای نامتقارن Ti^{4+} -O-Si $^{4+}$ است. مشاهده می‌شود که باند موجود در 470 cm^{-1} شدتش افزایش یافته است.



شکل ۵- طیف IR شیشه و شیشه‌سرامیک LAS [۱۵]

این پیوند نشان‌دهنده فاز اصلی زمینه یا همان فاز β -کوارتز می‌باشد. باندهای جدید که در طیف رامان نسبت به شیشه پایه بوجود آمده است، در 130 cm^{-1} و 800 cm^{-1} به ترتیب مربوط به فاز بلورین غیرمتقارن آنتاز و فاز شیشه‌ای آلومینایی می‌باشد [۱۸].



شکل ۶- طیف رامان شیشه و شیشه‌سرامیک LAS در دماهای عملیات حرارتی مختلف به مدت ۳۰ دقیقه (a) شیشه پایه (b) 700°C (c) 750°C (d) 800°C (e) 850°C [۱۸]

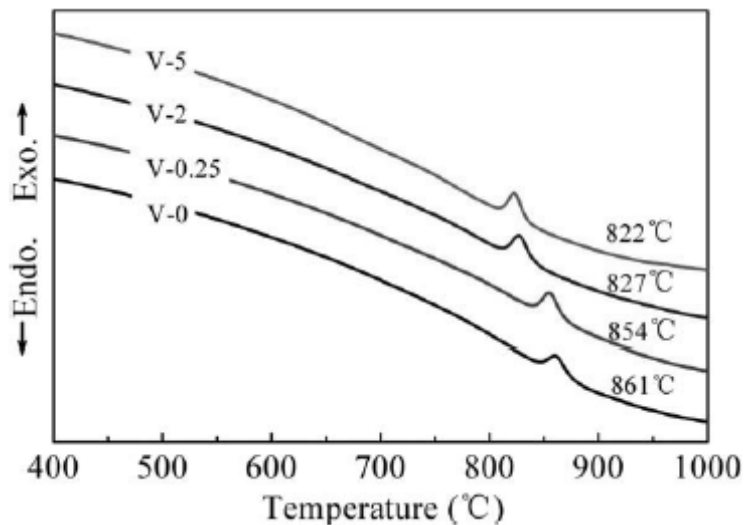


۴-۲- بررسی اسپکتروسکوپی شیشه‌سرامیک LAS در حضور ناخالصی

چنانچه مشخص است، شیشه و شیشه‌سرامیک LAS خواص اپتیکی مناسبی دارد. در صورتی که بخواهیم از این خواص اپتیکی استفاده کنیم، اضافه کردن افزودنی‌ها به منظور ایجاد ترازهای الکترونی اضافی در ماده ضروری است. در این حالت خواص جذبی، نثری و عبوری می‌تواند تحت تاثیر قرارگیرد. در این قسمت، رفتار اپتیکی LAS در حضور ناخالصی‌های مختلف بررسی خواهد شد [۱۷].

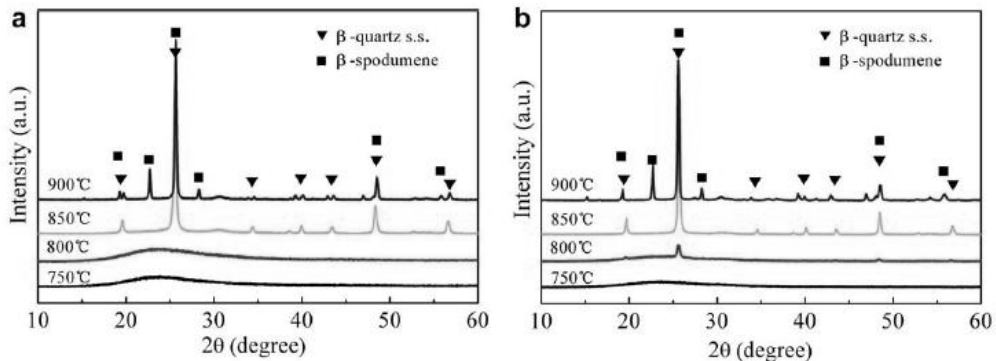
۴-۲-۱- تاثیر اکسید وانادیوم بر خواص اپتیکی LAS

شکل (۷) نمودارهای DSC شیشه‌سرامیک LAS را در حضور مقادیر مختلف اکسید وانادیوم نشان می‌دهد. چنانچه مشخص است، افزودن وانادیوم تا ۵٪ دمای T_g شیشه را از ۸۶۱ به ۸۲۲ °C کاهش می‌دهد. مشخص است که روند کاهش دمای تبلور در مقادیر بیش از ۲٪ به شدت کاهش می‌یابد.



شکل ۷- نمودارهای DSC شیشه‌سرامیک LAS در حضور مقادیر مختلف اکسید وانادیوم [۱۸]

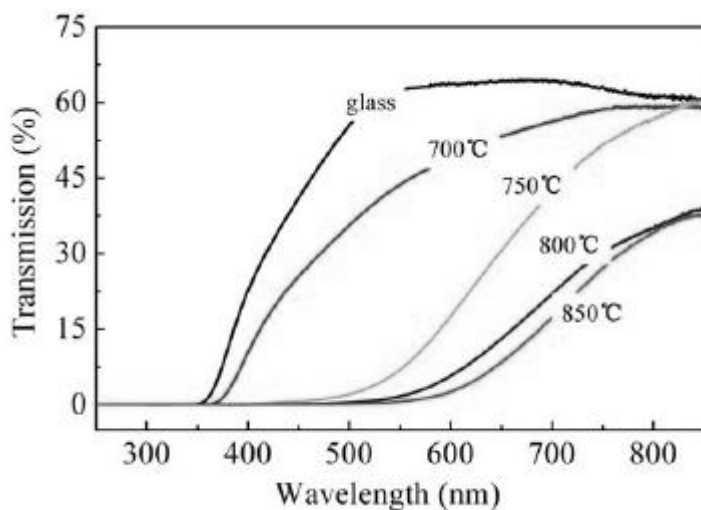
شکل (۸) نمودارهای XRD برای نمونه‌های عملیات حرارتی شده در دماهای مختلف را نشان می‌دهد. تمامی نمونه‌هایی که در دمای ۷۵۰ °C تحت عملیات حرارتی قرار گرفته‌اند، هیچگونه پیکی در الگوی XRD نشان مشاهده نمی‌شود. نمونه‌های حاوی اکسید وانادیوم از دمای ۸۰۰ °C پیک‌های فاز محلول جامد β -کوارتز را در الگوی خود نشان می‌دهند، در حالی که نمونه بدون افزودنی کماکان به صورت آمورف باقی می‌ماند. از دمای ۸۵۰ °C به بالا تمامی نمونه‌ها فاز β -کوارتز را در الگوی خود نشان می‌دهند.



شکل ۸- الگوهای XRD شیشه‌سرامیک سیستم LAS در دماهای عملیات حرارتی مختلف. (a) بدون حضور

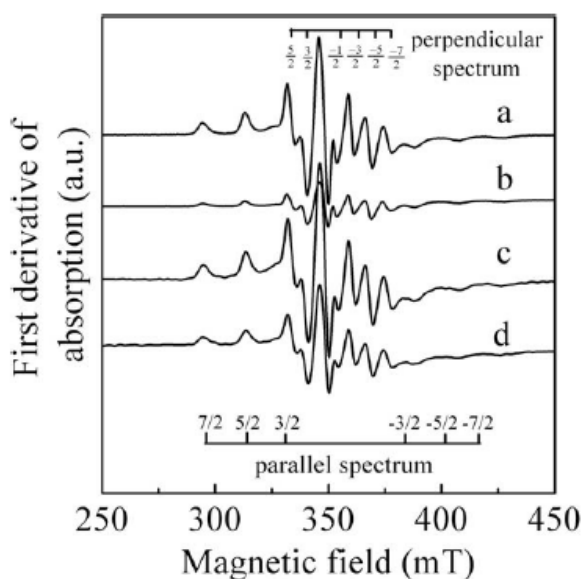
ناخالصی (b) در حضور ۲٪ V_2O_5 [۱۸]

شکل (۹) نمودار عبوری نمونه‌های LAS حاوی ۰/۲۵٪ اکسید وانادیوم که در دماهای مختلف تحت عملیات حرارتی قرار گرفته است را نشان می‌دهد. مشاهده می‌شود که افزایش دمای عملیات حرارتی باعث عبور انتخابی در برخی از طول‌موج‌های طیف مرئی خواهد شد. این خاصیت به علت حضور وانادیوم در جاهای خالی بین‌نشین فاز β -کوارتز و جذب انتخابی به علت تغییرات باند الکتریکی است. وانادیوم جزء عناصر عامل رنگ بوده و این رفتار قابل پیش‌بینی بود.



شکل ۹- نمودار طیف عبوری طول موج مرئی برای شیشه‌سرامیک‌های عملیات حرارتی شده در دماهای مختلف در حضور ۰/۲۵٪ V_2O_5 [۱۸]

شکل (۱۰) طیف EPR به منظور بررسی حالات ساختاری یون وانادیوم در شیشه پایه و شیشه‌سرامیک LAS را نشان می‌دهد. در نمونه بدون افزودنی، سیگنال پارامغناطیس مشاهده نشد، زیرا عنصر ناخالصی در ساختار وجود ندارد. در حضور ناخالصی وانادیوم، سیگنالی در محدوده ۳۰۰ تا ۴۰۰ میلی‌تسلا مشاهده شد. این سیگنال مشابه سیگنال موجود در مواد دیگر در حضور ناخالصی وانادیوم است. وجود این سیگنال به ماهیت وانادیوم و الکترون جفت‌نشده $3d1$ در زمینه بلور نسبت داده می‌شود.



شکل ۱۰- طیف EPR شیشه و شیشه‌سرامیک سیستم LAS. (a) شیشه حاوی ۰/۲٪ V_2O_5 (b) شیشه‌سرامیک حاوی ۰/۲٪ V_2O_5 (c) شیشه حاوی ۰/۵٪ V_2O_5 (d) شیشه‌سرامیک حاوی ۰/۵٪ V_2O_5 [۱۸]

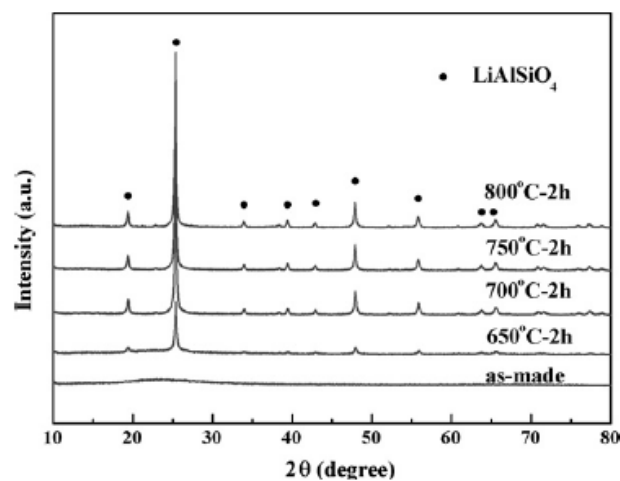


۴-۲-۲- تاثیر اکسید نیکل بر خواص اپتیکی LAS

سیستم شیشه‌ای LAS با ترکیب تقریبی استوکیومتریک $\text{Li}_2\text{O}:\text{Al}_2\text{O}_3:\text{SiO}_2 = 1:1:2$ به منظور بررسی خواص اپتیکی با روش ذوب و ریخته‌گری تهیه شد. با استفاده از DTA دمای شیشه‌ای شدن 585°C اندازه‌گیری شد و به همین دلیل عملیات حرارتی در محدوده $650-800^\circ\text{C}$ بررسی شد [۱۹].

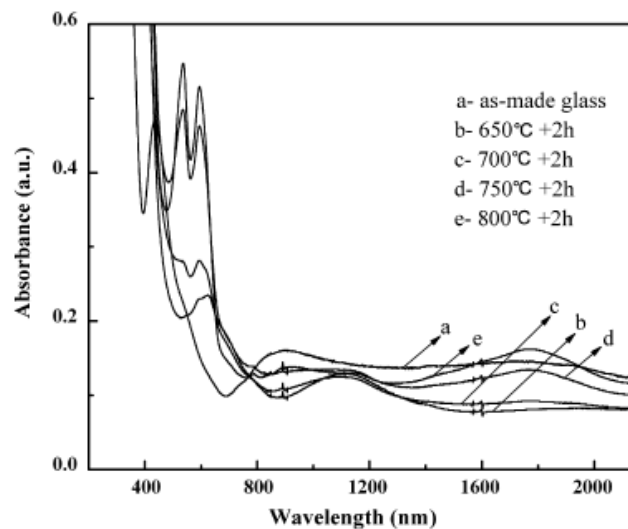
شکل (۱۱) الگوی XRD نمونه تحت عملیات حرارتی مختلف را نشان می‌دهد. جوانه‌های نانومتری β -اسپودومن به اندازه $30-40\text{ nm}$ در زمینه شیشه ایجاد شده‌اند.

شکل (۱۲) طیف جذبی نمونه‌های تحت عملیات حرارتی مختلف را نشان می‌دهد. طیف شیشه‌پایه، ۳ باند جذبی در محدوده‌های تقریبی 400 ، 900 و 1760 nm را نشان می‌دهد. در هنگام عملیات حرارتی، یون‌های Ni در مکان‌های هشت و چهاروجهی، جایگزین یون‌های Li می‌شوند. به همین علت و با تغییر سطح انرژی تهیجی، باندهای جذبی به صورت متناظر تغییر می‌یابند.



شکل ۱۱- الگوی XRD شیشه و شیشه‌سرامیک سیستم LAS در دماهای عملیات حرارتی مختلف [۱۹]

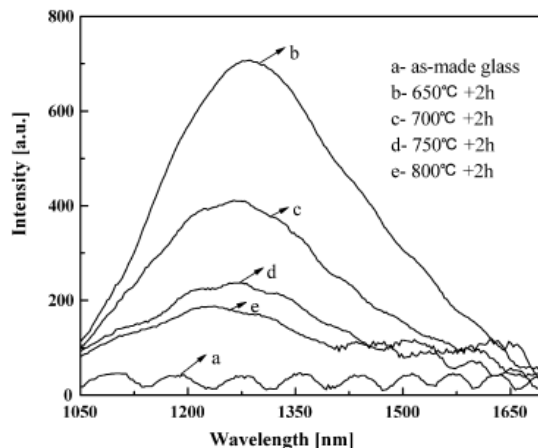
وقتی عملیات حرارتی در محدوده 650°C انجام گرفته باشد، باندهای جذبی در 685 و 1110 nm را می‌توان به گذارهای الکترونی ${}^3\text{A}_2(\text{F}) \rightarrow {}^3\text{T}_1(\text{F})$ و ${}^3\text{A}_2(\text{F}) \rightarrow {}^3\text{T}_2(\text{F})$ یون Ni^{2+} در مکان‌های اکتاهدردال شبکه بلوری نسبت داد. به همین طریق می‌توان علت بوجود آمدن باندهای جذبی مختلف در شیشه‌سرامیک را به قرار گرفتن یون Ni^{2+} در مکان‌های مختلف شبکه بلوری یا مکان‌های مختلف شیشه، نسبت داد.



شکل ۱۲- طیف جذبی شیشه و شیشه‌سرامیک LAS در حضور ناخالصی Ni و در دماهای عملیات حرارتی مختلف [۱۹]



شکل (۱۳) طیف نشری شیشه و شیشه‌سرامیک مذکور را در محدوده‌ی مادون قرمز، نشان می‌دهد. مشاهده می‌شود که شیشه‌پایه هیچگونه نشری در این ناحیه از خود نشان نمی‌دهد. اما پس از عملیات حرارتی، پیک پهن مادون قرمز مربوط به گذار الکترونی ${}^3T_2(F) \rightarrow {}^3A_2(F)$ یون Ni^{2+} در مکان‌های اکتاهدرال شبکه‌ای، مشاهده می‌شود. با افزایش دمای عملیات حرارتی، شدت لومینسنس به علت تغییر مکان‌های یون Ni کاهش می‌یابد و طول موج آن به مقادیر کمتر (از ۱۳۰۰ به ۱۲۲۵ nm) کاهش می‌یابد. در نتیجه در این مورد، دمای عملیات حرارتی ${}^\circ C$ ۶۵۰ به عنوان دمای مناسب عملیات حرارتی در نظر گرفته شد. ماده شفاف شیشه‌بلوری LAS که با یون‌های Ni^{2+} آلییده باشد، به عنوان تقویت کننده فیبر نوری و لیزر حالت جامد کاربرد دارد.

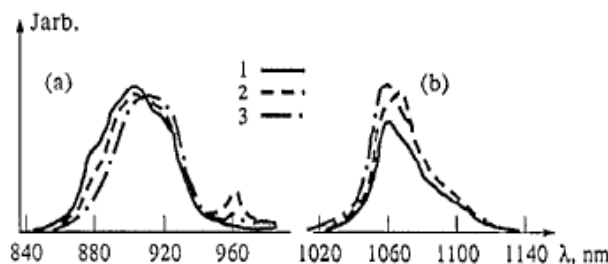


شکل ۱۳- طیف نشری شیشه و شیشه‌سرامیک LAS در حضور ناخالصی Ni و در دماهای عملیات حرارتی مختلف [۱۹]

۴-۲-۳- تاثیر اکسید نئودیمیوم بر خواص اپتیکی LAS

شیشه‌سرامیک با ترکیب شیمیایی شیشه‌پایه $73\%SiO_2-15\%Al_2O_3-12\%Li_2O$ و ZrO_2 و Nd_2O_3 ۰/۲-۱٪ به عنوان ناخالصی آماده شد. سپس عملیات حرارتی در محدوده ${}^\circ C$ ۸۳۰-۸۰۰ در زمان‌های ۵۰-۱ hr بر روی شیشه‌پایه انجام شد. با انجام عملیات حرارتی به ترتیب و با افزایش دما، فازهای محلول جامد β -ایوکریپتایت و β -اسپودومن تشکیل شدند. در طیف جذبی شیشه و شیشه‌سرامیک این سیستم تفاوتی مشاهده نشد. تنها در محدوده ماوراءبنفش طیف شیشه‌سرامیک نسبت به شیشه‌پایه، به شدت‌های بالاتر تغییر پیدا کرد. دلیل این تغییر افزایش میزان پراکنش حاصل از وجود بلورهای در محدوده طول موج فرابنفش می‌باشد [۲۰].

شکل (۱۴) طیف نشری شیشه و شیشه‌سرامیک این سیستم را نشان می‌دهد. ۲ پیک در منحنی لومینسنس این مواد مشاهده می‌شوند، که مربوط به گذارهای الکترونی ${}^4F_{3/2} \rightarrow {}^4I_{9/2}$ (۸۸۰-۹۳۰nm) و ${}^4F_{3/2} \rightarrow {}^4I_{11/2}$ (۱۰۴۰-۱۱۰۰nm) می‌باشند. این طیف‌ها به دلیل قرارگرفتن یون‌های Nd^{3+} در دو مکان مختلف شبکه یا ساختار بوجود می‌آیند.



شکل ۱۴- طیف لومینسنس یون Nd^{3+} . ۱- شیشه‌پایه، ۲- شیشه‌سرامیک بر پایه β -ایوکریپتایت، ۳- شیشه‌سرامیک بر پایه β -اسپودومن. ${}^4F_{3/2} \rightarrow {}^4I_{9/2}$ (a) و ${}^4F_{3/2} \rightarrow {}^4I_{11/2}$ (b) [۲۰]

۵- خلاصه

انجام عملیات حرارتی کنترل شده که در دو مرحله و به صورت جوانه زنی و رشد مجزا صورت می‌پذیرد، احتمال بوجود آمدن بلورهای نانومتری بیش از ۵۰٪ حجمی را فراهم می‌آورد. در این حالت و به دلیل اختلاف کم ضریب شکست بین شیشه پایه و فازهای بلوری حاصله (پراکنش جزیی نور)، شیشه سرامیک شفاف حاصل می‌گردد. حضور ناخالصی‌های مختلف در شیشه سرامیک و بین نشینی آنها در مکان‌های مختلف شبکه‌ای باعث بوجود آمدن گذارهای مختلف الکترونی و در نتیجه خواص مختلف جذبی و نشری در طول موج‌های IR و مرئی خواهد شد. از این نوع شیشه سرامیک‌ها می‌توان در کاربردهای مختلف اپتیکی نظیر لیزرهای حالت جامد و تقویت کننده‌های نوری استفاده کرد. پیش بینی می‌شود که با افزودن ناخالصی‌های دیگر از گروه‌های فلزات انتقالی و عناصر نادر خاکی همچنین افزودن همزمان چند نوع از آنها بتوان خواص کاملتر و جدیدتری را در زمینه اپتیک یافت. امید است که این مقاله راهگشای تحقیقات تکمیلی آینده در زمینه مواد پیشرفته اپتیکی باشد.

مراجع

1. D. A. Duke and G. A. Chase, Glass-Ceramics for High Precision Reflective-Optic Applications, May 1968 / Vol. 7, No. 5 / APPLIED OPTICS, p 813-823.
2. Peter Hartmann, et al., Optical glass and glass ceramic historical aspects and recent developments: a Schott view, 1 June 2010 / Vol. 49, No. 16 / APPLIED OPTICS, p 157-176.
3. Fouad El-Diasty, et al., Optical band gap studies on lithium aluminum silicate glasses doped with Cr³⁺ ions, JOURNAL OF APPLIED PHYSICS 100, 093511, 2006.
4. Pannhorst Wolfgang, Development and application of glass ceramics, Glastechn. Ber. Glass Sci. Technol. 73 C1 (2000).
5. Wolfram Holand, George Beall, Glass Ceramics Technology, Published by The American Ceramic Society, 735 Ceramic Place, Westerville, OH 43081.
6. Hans Bach, Dieter Krause, Low Thermal Expansion Glass Ceramics, Springer-Verlag Berlin Heidelberg 1995, 2005.
7. M. Guedes, et al., Nucleation and crystal growth in some commercial LAS compositions, Journal of European Ceramic Society 21 (2001) 1187-1194.
8. Wolfram Höland, Volker Rheinberger and Marcel Schweiger, Control of nucleation in glass ceramics, Philosophical Transaction, mathematical physical and engineering science, 2010.
9. A. W. A. El-shennavi, et al., Crystallization of some aluminosilicate glasses, Ceramics international 27 (2001) 725-730.
10. K. Nakagawa, et al., Metastable phase separation and crystallization of LAS glasses, Journal of non-crystalline solids 7 (1972) 168-180.
11. A. G. Afonin, Phase Composition of Lithium Aluminosilicate Glass-Ceramics, Inorganic Materials, 2006, Vol. 42, No. 5, pp. 562-566.
12. Sean J. O'Connor, et al., Synthesis, characterisation and thermal behaviour of lithium aluminosilicate inorganic polymers, J Mater Sci (2010) 45:3707-3713.
13. A. Buch, et al., Transparent glass ceramics: Preparation, characterization and properties, Materials Science and Engineering 71 (1985) 383-389.
14. P. A. Tick, et al., The relationship between structure and transparency in glass-ceramic materials, Optical Materials 15 (2000) 81±91.
15. M. Mortier, et al., New progress in transparent rare-earth doped glass ceramics, Optical Materials 16 (2001) 255-267.
16. M. Clara Gonçalves, et al., Rare-earth-doped transparent glass ceramics, C. R. Chimie 5 (2002) 845-854.
17. Kyu-Han Park, et al., The correlation between the crystalline phases and optical reflectance in glassceramics for IR reflector, Journal of Ceramic Processing Research. Vol. 3, No. 3, pp. 153~158 (2002).
18. Yaohui Li, et al., Spectroscopy and structural state of V⁴⁺ ions in lithium aluminosilicate glass and glass-ceramics, Journal of Non-Crystalline Solids 356 (2010) 502-508.
19. Gaofeng Feng, et al., Transparent Ni²⁺-doped lithium luminosilicate glass-ceramics with broadband infrared luminescence, Journal of Alloys and Compounds 457 (2008) 506-509.
20. A. A. Dymnikov, et al., The structure of luminescence centers of neodymium in glasses and transparent glass-ceramics of the Li₂Q--Al₂O₃-SiO₂ system, Journal of Non-Crystalline Solids 196 (1996) 67-72.</sub></sub>



تأثیر اتمسفر سینتر بر دیرگدازهای کاربرد سیلیسیم دارای بالکلی ایرانی

طاهره عارف عشقی^۱، اسماعیل صلاحی^۲، علی نعمتی^۳، مهران غفاری^۲

^۱ دانشکده مهندسی مواد، دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم و تحقیقات تهران،

^۲ دانشکده مهندسی مواد، پژوهشگاه مواد و انرژی،

^۳ دانشکده مهندسی و علم مواد، دانشگاه صنعتی شریف

tahere.aref@gmail.com

چکیده: هدف از این پژوهش بررسی اثر اتمسفر سینتر بر دیرگدازهای کاربرد سیلیسیم دارای بالکلی ایرانی و بررسی استحکام خمشی و ریزساختار آنها است. به این منظور نمونه‌هایی از مخلوط ۸۰ درصد وزنی کاربرد سیلیسیم با مش ۴۰۰، همراه ۱۰ درصد وزنی از بالکلی ایرانی و ۱۰ درصد وزنی آلومینا، تهیه و در دو کوره یکی با اتمسفر هوا (اکسیدی) و دیگری با اتمسفر نیتروژن، در دمای ۱۵۰۰°C و زمان ۵ ساعت سینتر شدند. این امر سبب شد که در اتمسفر اکسیدی دیرگداز کاربرد سیلیسیم با اتصال رسی و در اتمسفر نیتروژن، دیرگداز کاربرد سیلیسیم با اتصال سیالونی تشکیل گردد. سپس تخلخل، چگالی و استحکام خمشی در دمای اتاق این بدنه‌ها اندازه‌گیری و با یکدیگر مقایسه شد و مشاهده شد که با پخت نمونه‌ها در اتمسفر نیتروژن، تخلخل تقریباً دو برابر شده و دانسیته کاهش یافته است و خواص مکانیکی نیزافت کرده است، بطوریکه استحکام خمشی از ۴۰MPa در نمونه سینتر شده در اتمسفر هوا به ۲۱MPa در نمونه سینتر شده در اتمسفر نیتروژن رسید. همچنین مشاهده شد که با تغییر اتمسفر، ویژگی‌های ریزساختاری و ظاهر نمونه دچار تغییر شد.

۱- مقدمه

دیرگدازهایی با اتصال اکسیدی بخصوص اتصال رسی جزء دیرگدازهای کم هزینه و متداول کاربرد سیلیسیم بوده که تولید آن‌ها از محبوبیت بالایی برخوردار است و در ساخت بوت‌های دیرگداز ریخته‌گری، ساگارهای صنعت چینی‌سازی و همچنین صفحات دیرگداز، بسیار بکار برده می‌شوند. معمولاً کاربردها، خواص مکانیکی دما بالا و مقاومت به خوردگی دیرگدازهای کاربرد سیلیسیم با اتصال اکسیدی توسط میزان فاز شیشه موجود در ترکیب و همچنین دمای نرم شوندگی آن محدود و مشخص می‌شود [۱]. دیرگدازهای کاربرد سیلیسیم با اتصال رسی نسبت به دیرگدازهای رس - شاموت باعث افزایش ۳-۲/۵ برابر بازده کوره شده و دارای رسانش گرمایی بالاتری (تقریباً ۸ برابر) از مواد شاموت - رس هستند، در نتیجه باعث بهبود کیفیت ماده پخته شده می‌شوند [۲].

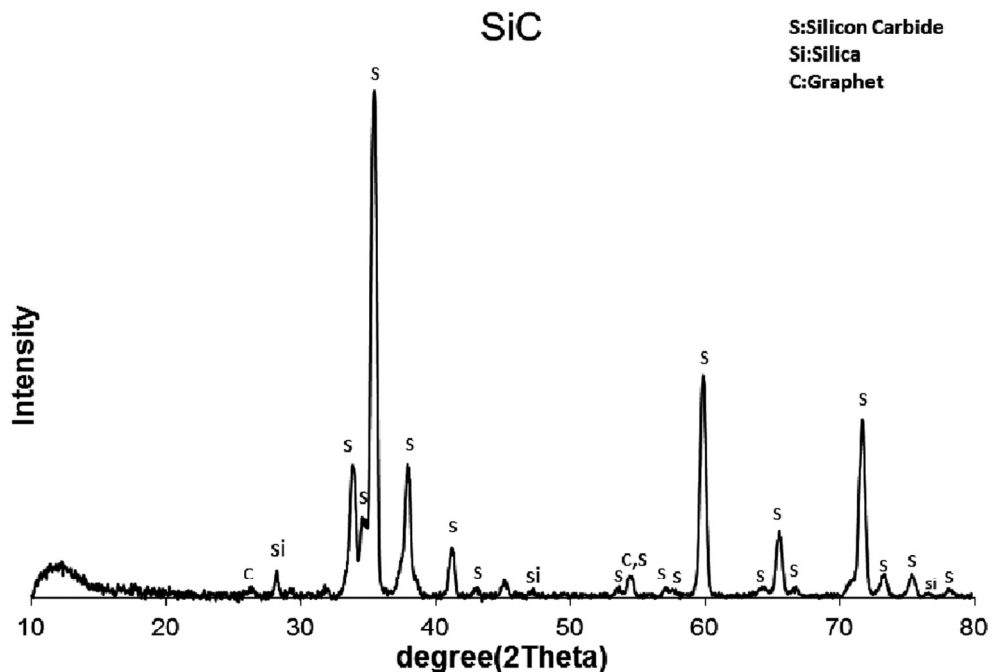
بدنه‌های کاربرد سیلیسیم با اتصال سیالونی نسبت به بدنه‌های اتصال اکسیدی کاربرد سیلیسیم، استحکام دمای بالا، ترانس ابعادی کم، مقاومت به شوک حرارتی بالا و خاصیت دیرگدازی بهتری دارند و در مقابله با مذاب‌های فلزی و غیر فلزی و در برابر اکسید شدن مقاومت خوردگی خوبی از خود نشان می‌دهند [۳-۶]. سیالون‌ها به طور وسیعی به عنوان مواد دما بالا استفاده می‌شوند زیرا دارای خواص حرارتی و مکانیکی عالی هستند، از این رو دیرگدازهای کاربرد سیلیسیم با اتصال سیالونی به دلیل بهبود خواص دما بالا، جالب توجه هستند. از طرف دیگر فرایند جدید تهیه دیرگدازهای کاربرد سیلیسیم با اتصال سیالون از رس، ارزان و آسان بوده و علاوه بر ایجاد اتصال باعث بالا بردن چگالش نیز می‌شود [۷، ۸]. از طرف دیگر نوع و مقدار افزودنی

سینتر روی مرفولوژی دانه‌های سیالون و رشد آنها تاثیر می‌گذارد. همچنین دمای نرم شوندگی و گرانبوی فاز شیشه و سرعت چگالش می‌تواند به وسیله افزودنی‌های مختلف اکسیدهای فلزی تغییر داده شود [۹]. از جمله‌ای این مواد افزودنی آلومینا است که علت افزودن آن به بدنه اصلی، بهبود خواص مکانیکی و دیرگدازی بیان شده است، به طوری که اشاره شده جایگزینی ده درصد وزنی آلومینا در ترکیب بدنه می‌تواند مقاومت به اکسید شدن و شوک پذیری قطعه را افزایش دهد [۱۰-۱۲]. تصور بر این است که افزودن آلومینا به مخلوط رس و کاربید سیلیسیم در اتمسفر نیتریدی، موجب کاهش دمای تشکیل فازهای سیالونی و در نتیجه افزایش استحکام می‌شود. بنابر آن چه اشاره شد حضور آلومینا به عنوان جوانه‌زا جهت تشکیل فاز مولایت مفید است [۱۳] و طبق معادلات فرآیندهای کربوترمال، فاز مولایت تشکیل شده به فازهای سیالونی تبدیل می‌شود [۱۴، ۱۵]. طبق این معادلات، به نظر می‌رسد که هر چه مقدار فاز مولایت بیشتر باشد، احتمال افزایش مقدار تشکیل فاز بتا-سیالون بیشتر خواهد شد. در اتمسفر اکسیدی نیز آلومینا با SiO_2 حاصل از رس مصرفی واکنش داده و در نتیجه آن سهم فاز شیشه‌ای کاهش یافته و ویژگی‌های دیرگدازی بهبود می‌یابد. در این حالت، بلورهای مولایت از درون مایع ویسکوز آلومیناسیلیکاتی رشد می‌کنند و البته مرفولوژی، استوکیومتری و ترکیب مولایت تابع کامل از نوع مواد اولیه و روش تولید است [۱۰، ۱۶، ۱۱].

۲- فعالیت‌های تجربی

۲-۱- مواد اولیه

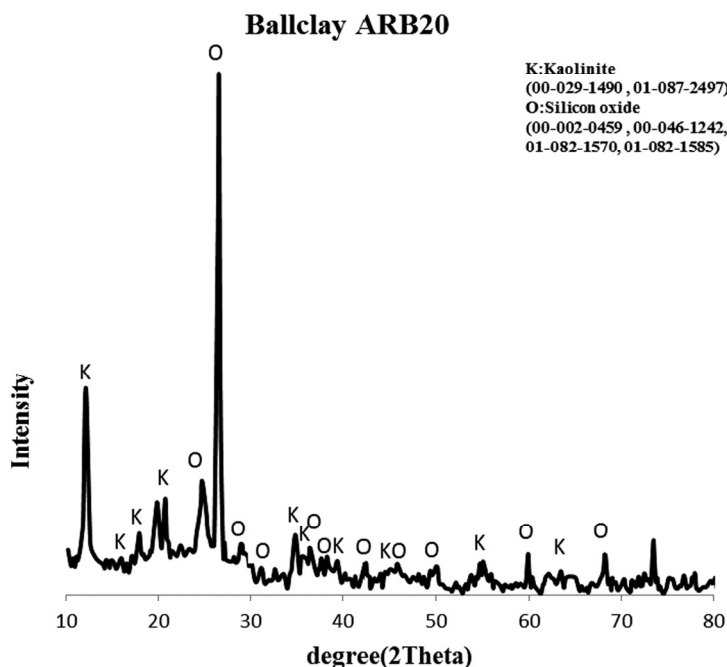
مواد اولیه مورد استفاده در این پژوهش کاربید سیلیسیم هگزگونال (α)، با مش ۴۰۰ (الگوی اشعه ایکس آن در شکل ۱ آورده شده است) و بالکی ایرانی ARB20 سوراچین عقیق (ترکیب شیمیایی آن در جدول ۱ نشان داده شده است)، آلومینا (مش ۲۷۰) از نوع کوراندوم با الگوی اشعه ایکس نشان داده شده در شکل ۳، به همراه محلول ۱/۵ درصد وزنی چسب PVA است. نمونه‌های کاربید سیلیسیم با ترکیبات $SiC+(10\%)BallclayARB20+(10\%)Al_2O_3$ در اتمسفر هوا و اتمسفر نیتریدی در دمای ثابت $1500^\circ C$ ، در زمان سینتر پنج ساعت پخت شده و به ترتیب با نام‌های SBOA و SBNA بیان شدند.



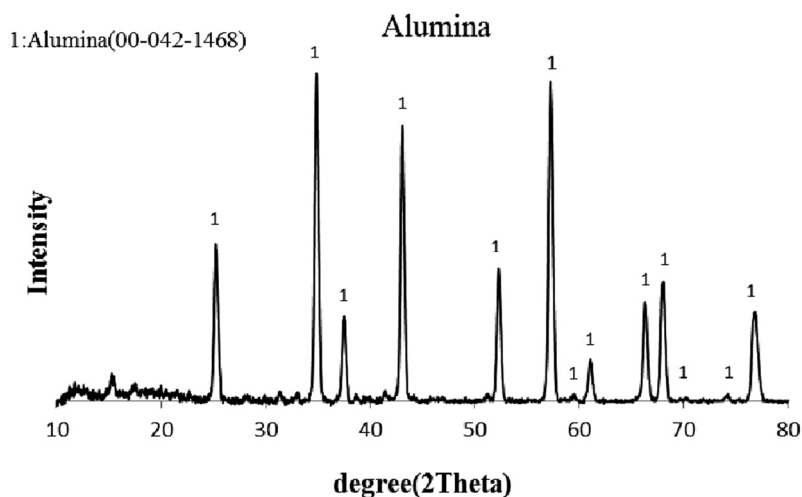
شکل ۱- الگوی پراش پرتو ایکس کاربید سیلیسیم با مش ۴۰۰ مورد استفاده

جدول ۱- آنالیز شیمیایی خاک بالکلی ARB20 سوراچین عقیق بر حسب درصد وزنی

SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	TiO ₂	Na ₂ O	K ₂ O	CaO	SO ₃	L.O.I	آنالیز شیمیایی خاک بالکلی ARB20 سوراچین عقیق
۶۰	۲۱-۲۲	۱/۵	۱/۵	<۰/۵	<۲	<۰/۵	<۱	۱۲	



شکل ۲- الگوی پراش پرتو ایکس بالکلی ARB20 سوراچین عقیق مورد استفاده



شکل ۳- الگوی پراش پرتو ایکس آلومینای مورد استفاده

۲-۲- روش کار

برای تهیه نمونه ابتدا آلومینا و بالکلی آسیا شده و از الک ۲۷۰ عبور داده، مخلوط می‌شوند و آنگاه با آب ترکیب شده تا به شکل دوغاب شود. دوغاب تهیه شده را به کاربرد سیلیسیم اضافه کرده و پس از مخلوط شدن، به مدت ۲۴ ساعت درون خشک‌کن با دمای ۱۱۰°C قرار گرفته تا خشک شود. پس از آن مخلوط تهیه شده را خرد کرده و از الک عبور داده و به منظور گرانول سازی به آن آب و چسب اضافه می‌شود. گرانول‌ها با فشار ۲۵۰ MPa، توسط پرس تک محوره هیدرولیک با قطر پیستون ۱۳cm پرس شده و پس از خشک شدن در دمای ثابت ۱۵۰°C به مدت پنج ساعت در کوره‌هایی اتمسفر کنترل با اتمسفر هوا و نیتروژن (با خلوص ۹۹/۹۹۹۹) پخت شدند.



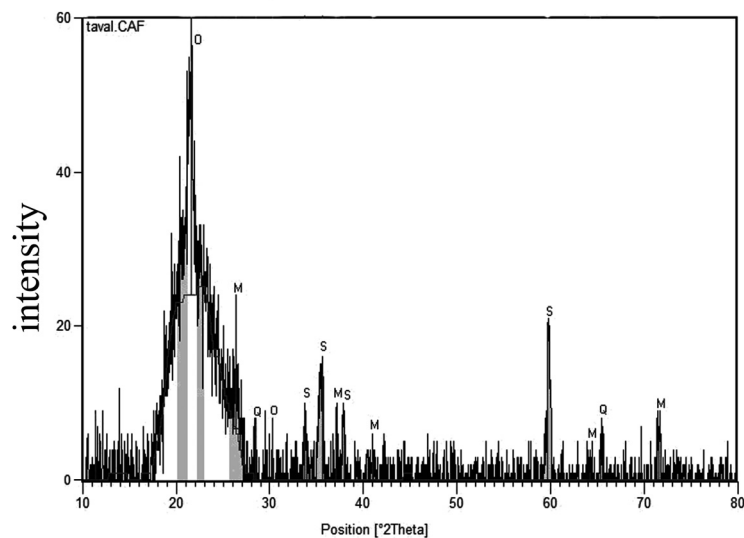
۳- بحث و بررسی

۳-۱- اثر اتمسفر سینتر بر شکل ظاهری نمونه‌ها

بررسی ظاهری نمونه‌ها نشان می‌دهد که در نمونه‌های سینتر شده در اتمسفر نیتروژنی و با شرایط پخت بیان شده، هیچ‌گونه عیبی از قبیل لکه، تاول و دفرمگی دیده نمی‌شود (شکل ۴) و این در حالی است که در سطح نمونه‌های سینتر شده در اتمسفر اکسیدی، تاول‌های شدید دیده شد. علت وجود جوش و تاول را باید در رفتار اکسید شدن و ترکیب زمینه جستجو کرد، به این صورت که در بدنه SBOA با افزایش زمان سینتر، واکنش آلومینای موجود در این بدنه‌ها با ذرات کاربید سیلیسیم و رس در حضور اکسیژن، افزایش یافته و در نتیجه مذاب آلومیناسیلیکات بیشتری تشکیل شده که مانع از خروج گاز CO تشکیل شده در این بدنه‌ها می‌گردد و در نتیجه تاول‌های شدید ایجاد می‌شود. وقتی تاول‌ها رشد می‌کنند، می‌ترکند و هوا به درون سوراخ‌های باقیمانده در ریزساختار نفوذ کرده و اکسید شدن آن قسمت تکرار می‌شود. مطابق نتایج بدست آمده توسط الگوی پراش پرتو ایکس، جنس این تاول‌ها از فازهای مولایت، کوارتز، شیشه و SiO_2 است (شکل ۵). فاز کاربید سیلیسیم موجود در این تاول‌ها نیز ناشی از تراشیده شدن کاربید سیلیسیم در هنگام کندن تاول است. شکل ۶ تصویر نمونه‌های SBOA است.



شکل ۴- تصویر نمونه‌های SBNA در دمای ثابت $1500^{\circ}C$ و زمان سینتر ۵ ساعت



شکل ۵- تصویر الگوی پراش پرتو ایکس از تاول‌های تشکیل شده در سطح نمونه‌های SBOA

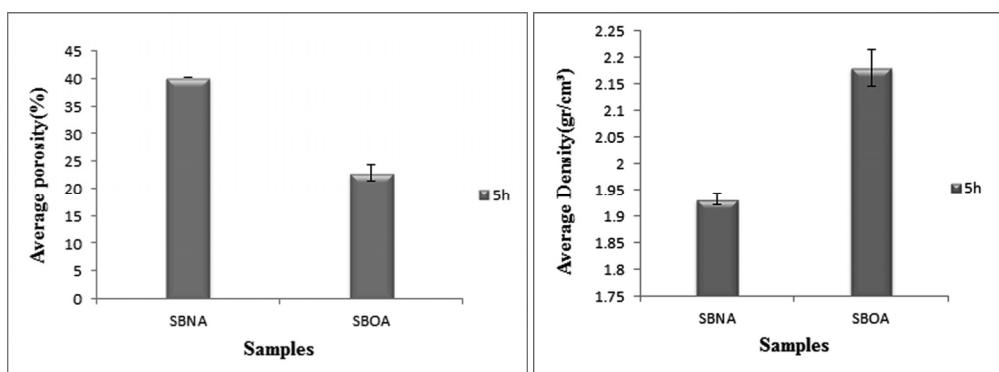


شکل ۶- تصویر نمونه‌های SBOA در دمای ثابت $1500^{\circ}C$ و زمان سینتر ۵ ساعت



۳-۲- اثر اتمسفر سینتر بر چگالی و تخلخل ظاهری

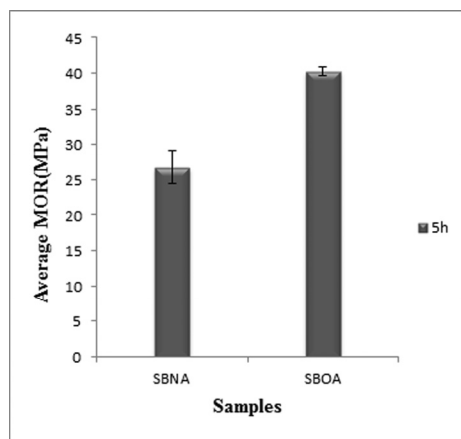
بررسی چگالی و تخلخل بدنه‌های SBNA و SBOA نشان می‌دهد که با وجود تاول‌های تشکیل شده در سطح نمونه SBOA و از بین رفتن لایه SiO_2 محافظ، چگالی این نمونه نسبت به نمونه SBNA بیشتر و تخلخل آن کمتر است (شکل ۷). دلیل این امر را می‌توان این‌گونه توجیه کرد که در اتمسفر نیتریدی، آلومینا با ذرات کاربید سیلیسیم و رس واکنش می‌دهد، تاپسالون ایجاد کند. در این هنگام به دلیل احیاء شدن آلومینا تخلخل‌های باز مناسبی برای نفوذ نیتروژن ایجاد می‌شود و آن نیز سبب کاهش چگالی می‌گردد. از طرف دیگر با توجه به تصاویر میکروسکوپ الکترونی روبشی شاهد حضور فاز شیشه بیشتر در نمونه SBOA بوده که این فاز شیشه، استحکام خمشی در دمای اتاق را افزایش می‌دهد. هرچه فاز شیشه بیشتر باشد تخلخل‌های بیشتری پر شده و دانسیته افزایش می‌یابد. کمتر بودن فاز شیشه در نمونه SBNA باعث افزایش میزان تخلخل‌های باز می‌گردد.



شکل ۷- (راست) میانگین تخلخل نمونه سینتر شده در اتمسفر اکسیدی و نیتریدی و (چپ) میانگین چگالی نمونه سینتر شده در اتمسفر اکسیدی و نیتریدی

۳-۳- اثر اتمسفر سینتر بر استحکام خمشی در دمای اتاق

در ابتدا تصور بر این بود که در نمونه SBOA به دلیل تاول‌های تشکیل شده در سطح نمونه که سبب از بین رفتن لایه SiO_2 محافظ در سطح آن شده و همچنین به دلیل افزایش فاز مولایت، وجود فاز بتا- سیالون و تشکیل تیغه‌ها در داخل حفرات در نمونه SBNA، استحکام خمشی در دمای اتاق در نمونه SBOA پایین از نمونه SBNA باشد، در حالی که این‌گونه نبود و مشاهده شد که مطابق شکل ۸، در زمان سینتر پنج ساعت، نمونه SBOA دارای استحکام خمشی بالاتری نسبت به نمونه SBNA است. علت این امر از یک طرف مربوط به این است که در اتمسفر نیتریدی به دلیل نفوذی بودن فرآیند نمونه SBNA به زمان بیشتری برای انجام فرایند و رشد تیغه‌ها احتیاج است تا سرتاسر تخلخل‌ها را پوشش دهد و از طرف دیگر در نمونه SBOA به دلیل



فاز شیشه زیاد تشکیل شده و تخلخل کمتر نسبت به نمونه SBNA استحکام خمشی در دمای اتاق بیشتر است. علت وجود فاز شیشه بیشتر در نمونه SBOA نسبت به نمونه SBNA، وجود اکسیژن بیشتر در اتمسفر است که سبب تشکیل فاز SiO_2 آمرف شده است. زیرا هم‌منظور که می‌دانیم وجود رس در اتمسفر اکسیدی مقدار زیادی فاز آمرف ایجاد می‌کند ولی در اتمسفر نیتریدی به دلیل کمتر بودن اکسیژن در دسترس، فاز آمرف کمتری ایجاد می‌شود. در دمای اتاق حضور فاز شیشه زیاد نسبت به فازهای کریستاله سبب استحکام سرد بالاتر می‌شود.

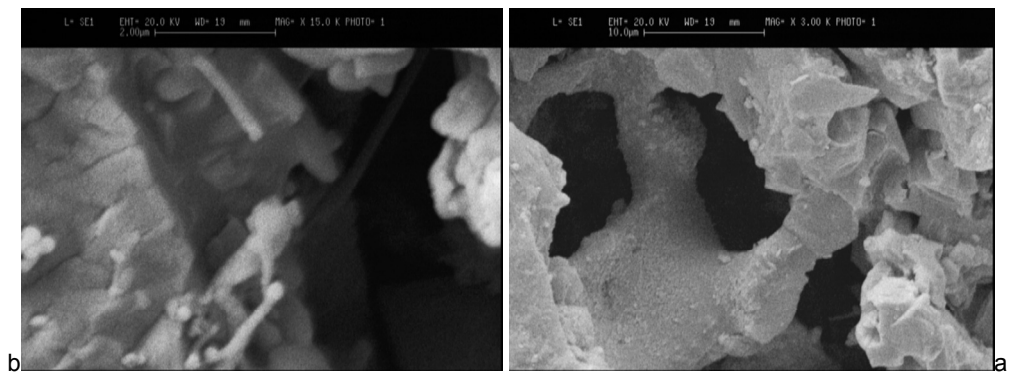
شکل ۸- استحکام خمشی در دمای اتاق نمونه سینتر شده در اتمسفر اکسیدی و نیتریدی



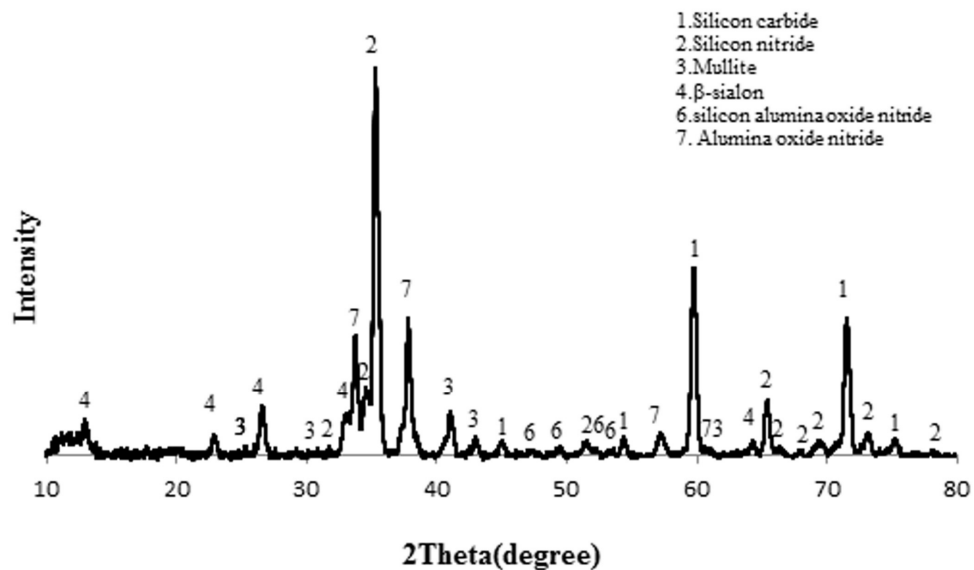
۳-۴- اثر اتمسفر سینتر بر ریزساختار

تصاویر شکل ۹ مربوط به نمونه‌های سینتر شده در اتمسفر اکسیدی و در دمای ثابت 1500°C و زمان سینتر ۵ ساعت است. مشاهده می‌شود که در تصویر ۹a فاز شیشه تشکیل یک زمینه به هم پیوسته را داده که در دوران این زمینه به هم پیوسته تخلخل‌های باز وجود دارد که ناشی از خروج گاز CO_2 است. همچنین در تصویر ۹b تعدادی تیغه دیده شده است که با توجه به نوع واکنش و الگوی پراش اشعه ایکس موجود در شکل ۱۰، این تیغه‌ها مربوط به فاز مولایت باشد ولی مقدار این تیغه‌ها به اندازه‌ای نیست که کل تخلخل‌ها را پوشش دهد.

در تصویر b11 نیز تعدادی ویسکر دیده می‌شود که مربوط به فازهای مولایت و بتا-سیالون است ولی در اینجا نیز مشاهده می‌شود که مانند شکل ۹b این ویسکرها نتوانسته‌اند کل تخلخل را پوشش دهند (تصور می‌شود که این امر به دلیل کم بودن مقدار بالکلی مصرفی است) و حتی مشاهده می‌شود که برخی از آن‌ها نتوانسته‌اند به قدر کافی رشد نمایند که این امر نشان دهنده کم بودن زمان سینتر برای رشد این فازها است (نتایج XRD دقیق‌تر از نتایج EDS است و حضور فازها به روشنی در آن یافت می‌شود). بنابراین مطابق این تصاویر دیده شد که در این شرایط پخت میزان فاز شیشه در اتمسفر نیتریدی بسیار کمتر از فاز شیشه در اتمسفر اکسیدی است که علت آن، وجود اکسیژن کافی در اتمسفر اکسیدی برای تشکیل فاز SiO_2 است.

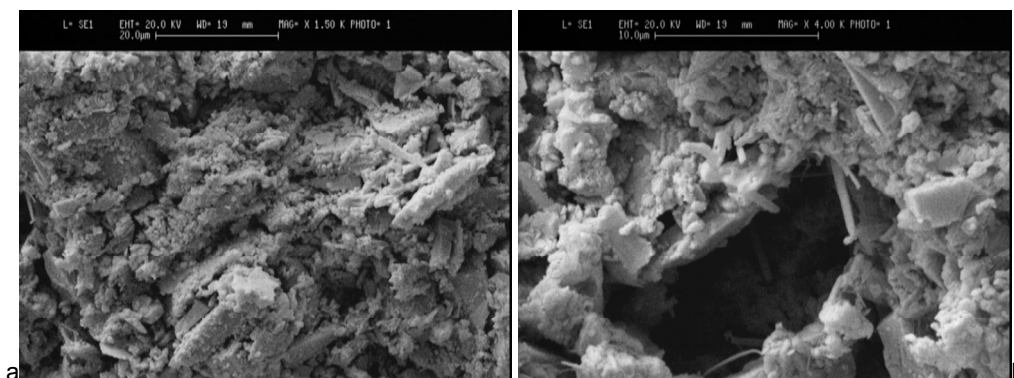


شکل ۹- تصاویر میکروسکوپ الکترونی روبشی از نمونه‌های سینتر شده در اتمسفر اکسیدی



شکل ۱۰- الگوی پراش پرتو ایکس نمونه سینتر شده در اتمسفر نیتریدی





شکل ۱۱- تصاویر میکروسکوپ الکترونی روبشی از نمونه‌های سینتر شده در اتمسفر نیتریدی

۴- نتیجه گیری

۱- با پخت نمونه‌های کاربید سیلیسیم به همراه رس در اتمسفر نیتریدی، عیب تاول زدگی برطرف شد. در نتیجه یکی از مکانیزم‌های تشکیل عیب تاول زدگی، اکسید شدن ذرات کاربید سیلیسیم است. در این اتمسفر پس از پخت قطعات از نظر ظاهری وضعیت مطلوبی داشتند به طوری که به نظر می‌رسد اکسید شدن کاربید سیلیسیم متوقف شده است. در حالی که در اتمسفر اکسیدی، نمونه دچار تاول‌های شدید شد. علت این است که آلومینا با واکنش با سیلیکای حاصل از اکسیداسیون موجب کنار رفتن فیلم SiO_2 محافظ بر دانه‌های کاربید سیلیسیم شده و در نتیجه هوا به سرعت به داخل بدنه و سطح دانه‌های کاربید سیلیسیم نفوذ می‌کند.

۲- نمونه‌های سینتر شده در اتمسفر اکسیدی نسبت به نمونه‌های سینتر شده در اتمسفر نیتریدی دارای استحکام خمشی در دمای اتاق بیشتری هستند که علت این امر وجود فاز شیشه بیشتر در بین ذرات کاربید سیلیسیم است.

۳- بررسی‌ها نشان می‌دهد که به ترتیب چگالی و تخلخل در نمونه SBOA بیشتر و کمتر از نمونه SBNA بوده که این امر نیز به بالاتر بودن فاز شیشه در نمونه SBOA نسبت داده می‌شود.

۴- براساس تصاویر میکروسکوپ الکترونی روبشی به نظر می‌رسد که در نمونه SBNA توزیع تخلخل‌ها یکنواخت‌تر و تعداد تیغه‌های تشکیل شده در داخل تخلخل‌ها بیشتر شده است. اما چون در اتمسفر نیتریدی مقدار فاز شیشه تشکیل شده کمتر بوده و مقدار این تیغه‌ها کم است استحکام خمشی سرد پایین است.

مراجع

۱. ولفگانگ شوله، "مواد دیرگداز"، ترجمه طاهر محمودیان، انتشارات جانان، تهران، بهار ۱۳۷۸.
۲. V. P. Sivov, "Clay- Silicon Carbide Refractories Based on Technogenic Materials Produced by Slip Casting", Glass and Ceramics, Vol 58, Nos 9-10, 2001.
۳. W. E. Lee & W. M. Rainforth, Ceramic Microstructures book: "Property Control by Processing", Chapman & Hall PP 395-495, 1994.
۴. S. Somiya Y. Inomata, "Silicon Carbide-2", Elsevier Applied Science Publishers Ltd, London.
۵. K. H. Jack, "Nitrogen Ceramic" Trans. J. Brit. Ceram. Soc, 376-384, 72, 1973.
۶. Haijun Zhang, Bo Han, Zhanjie Liu, "Preparation and Oxidation of Bauxite- based β -Sialon-bonded Sic Composite", Materials Research Bulletin, 1681-1689, 41(2006).
۷. P. Pastila, E. Lara - Curzio, A.P. Nikkila, T. Mantyla, "Microstructure and Fracture of some SiC-based Clay Bonded Hot Gas Filter Materials After Exposure to Thermal Cycling and/or High Temperature Water Vapour", Institute of Materials Science Tampere University of Technology korkeakoulunkatu 6, 2003.
۸. H. Q. Ru, N. Zhang, P. Z. Yu and X. D. Sun, "Direct Synthesis of Sialon/SiC Multiphase Refractory using Clay", Acta Metallurgical Since (English Letters), Vol 12.NO5, PP1179, October 1999.
۹. Ke Changming, J. J. Edrees and A. Hendry, "Fabrication and Microstructure of Sialon-bonded Silicon Carbide", Journal of European Ceramic Society, Volume 19, Issue12, October 1999.



10. W. E. Lee, G. P. Souza, C. J. McConville, T. Tarvornpanich and Y. Iqbal, "Mullite Formation in Clays and Clay-derived Vitreous Ceramics", Vol 28, Issue 2, PP465-471, 8 April 2007.
11. N. N. Ault, "Raw Materials for Refractories SiC and Si₃N₄", proceeding of The Raw Materials for Refractories Conference: Ceramic Engineering and Science proceeding, published by The American Ceramics Society, Into, Columbus, 186-193, 1982.
12. J. H. Chesters, "Refractories Production and Properties", Published by the Iron and Steel Institute Carblton House Terrace, 1973.
13. C. Y. Chen, G. S. LAN, W. H. Tuan, "Preparation of Mullite by Reaction Sintering of Kaolinite and Alumina", Journal of the European Ceramic Society 2519-2525, 20(2000).
14. I. Higgins. And a. Hendry, "Production of β -Sialon by Carbothermal Reduction of Kaolinite", J. Brit. Ceram. Trans, 161-166, 85(1986).
15. E. Kokmeiger, C. Scholte, F. Blomer, R. Metselaar, "the Influence of Process Parameters and Starting Composition on the Carbothermal Production of Sialon", J.Mate.Sci.1261-1267,25(1990).
16. Shuqiang Ding, Sumin Zhu, Yu-Ping Zeng, Dongliang Jiang, "Fabrication of Mullite-Bonded Porous Silicon Carbide Ceramics by in Situ Reaction Bonding", Journal of the European Ceramic Society, PP 2095-2102, 27(2007).



مصاحبه

آقای دکتر علی نعمتی



محل کار: دانشگاه صنعتی شریف - دانشکده مهندسی و علم مواد

Nemati@sharif.edu

کارشناسی: از دانشگاه علم و صنعت، گرایش سرامیک ۱۳۶۴

کارشناسی ارشد: از دانشگاه علم و صنعت، گرایش سرامیک ۱۳۶۷

دکتری: از دانشگاه کیس وسترن آمریکا، گرایش سرامیک ۱۳۷۳

مقالات علمی:

بیش از ۴۰۰ مقاله در مجلات و کنفرانس‌های معتبر خارجی و داخلی

لطفاً مختصری از بیوگرافی خود را جهت آشنایی خوانندگان با جنابعالی بفرمایید.

اینجانب علی نعمتی، هیات علمی دانشکده مهندسی و علم مواد (Materials Science & Eng.) دانشگاه صنعتی شریف هستم. من در سال ۱۳۵۷ و قبل از پیروزی انقلاب اسلامی وارد دانشگاه علم و صنعت شدم. بعد از جریان انقلاب فرهنگی، تعطیلی موقت دانشگاه‌ها و تغییر برنامه ریزی رشته‌های فنی و مهندسی، در گروه مواد، هفت گرایش تخصصی تصویب شد که یکی از آنها، گرایش سرامیک بود که دانشگاه علم و صنعت مجری آن شد. کلیه دانشجویانی که در گرایش‌های علم مواد و متالورژی بودند مخیر بودند که یکی از هفت گرایش را برای ادامه تحصیل انتخاب کنند که من هم گرایش سرامیک را انتخاب نمودم (جزء دانشجویان گروه اول سرامیک در دانشگاه علم و صنعت بودم).

من به همراه دکتر رحیم نقی‌زاده در بهمن ۱۳۶۳، اولین فارغ‌التحصیلان گرایش سرامیک بودیم. در ادامه من در اولین کنکور کارشناسی ارشد هم قبول شدم (اولین دوره کارشناسی ارشد سرامیک ایران) و در سال ۱۳۶۷ فارغ‌التحصیل شدم و به عنوان بورسیه جهت ادامه تحصیل به آمریکا رفتم و در دانشگاه کیس وسترن ریزرو (Case Western Reserve University (CWRU)) دکتري خودم را در زمینه سرامیک به اتمام رسانده و در

سال ۱۳۷۳ به کشور بازگشتم. دوران طرح سربازی را در دانشگاه بین‌المللی امام خمینی (ره) گذراندم و از سال ۱۳۷۹ به عنوان عضو هیات علمی رسمی در دانشگاه صنعتی شریف مشغول به کار شدم. در طی سال‌های متمادی فعالیت در رشته سرامیک، تاکنون بیش از ۴۰۰ مقاله علمی و پژوهشی و صنعتی در مجلات معتبر داخلی و خارجی و همچنین کنفرانس‌های داخلی و خارجی ارائه نموده‌ام. همچنین دو کتاب چاپ نموده و سه کتاب نیز در دست چاپ دارم.

در مورد تاریخچه تأسیس رشته و گروه سرامیک دانشگاه صنعتی شریف توضیحاتی بفرمایید.

دانشکده مهندسی و علم مواد دانشگاه صنعتی شریف از زمان تشکیل دانشکده در سال ۱۳۴۵ در زمینه سرامیک و خصوصاً دیرگدازها فعال بوده و آزمایشگاه مجهزی داشته است و اساتیدی همچون دکتر مارقوسیان و دکتر گلستانی‌فرد نیز در آنجا مشغول فعالیت‌های تحقیقاتی و پژوهشی بوده‌اند. پس از جریانات انقلاب فرهنگی، گرایش سرامیک در دانشگاه صنعتی شریف ارائه نشد. پس از ورود بنده به دانشکده و حضور اساتید دیگر، گروه سرامیک دانشکده مهندسی و علم مواد دانشگاه صنعتی شریف تشکیل و دوره کارشناسی ارشد و دکتری برقرار و دانشجو پذیرفته شد.

جایگاه علم سرامیک را چگونه در کشور ارزیابی می‌کنید و آیا شرایط برای پیشرفت در این رشته را مثبت ارزیابی می‌کنید؟

صنعت سرامیک در کشور ما سابقه طولانی دارد که در آثار تاریخی به خوبی نمایان است و ایران جزء کشورهای با قدمت تاریخی در این زمینه مطرح است. پس از ورود اسلام به ایران، این مسئله توسعه بیشتری پیدا کرد که اثر آنرا در آثار باقیمانده تاریخی و مساجد می‌توان مشاهده کرد.

پس از انقلاب صنعتی که علم و مهندسی سرامیک وارد جنبه‌های نوین تکنولوژی شد، متأسفانه کشور ما به موقع حرکت ننمود و باعث شد که ما در حیطه صنایع نوین سرامیک عقب بمانیم. هرچند قبل از انقلاب اسلامی ایران، حرکت‌هایی در راستای ورود به جنبه‌های جدید صنایع سرامیک در کشور شروع شد ولی خیلی موثر نبود.

پس از پیروزی انقلاب اسلامی در ایران در سال ۱۳۵۷ و خصوصاً پس از انقلاب فرهنگی، با تأسیس رشته سرامیک در مراکز آموزشی، نیروهای متخصص تربیت شدند که پس از ورود آنها به صنعت جهش خوبی در صنعت سرامیک کشور رخ داد.

از طرفی ورود صنایع نوین و تکنولوژی‌های ساخت جدید و عرضه محصولات مناسب و قابل رقابت با محصولات دیگر کشورها، صنعت سرامیک کشور را متحول نمود. هر چند که عمده این فعالیت‌ها، در زمینه عرضه محصولات سرامیک‌های سنتی و معمولی بود ولی زمینه مناسب را جهت ورود به بخش سرامیک‌های مهندسی و تکنولوژی هم باز نمود. در حال حاضر، شرایط نیروی انسانی تربیت شده و سطح تکنولوژی صنعت سرامیک کشور، بسیار مناسب است و باعث مطرح نمودن ایران به عنوان یکی از ۱۰ کشور برتر در بسیاری از زمینه‌های صنعت سرامیک شده است.

در خصوص کیفیت و کمیت تحصيلات تکمیلی در رشته سرامیک چه نظری دارید؟

همانطور که در قسمت قبل مطرح نمودم، توسعه علم و مهندسی سرامیک کشور، نیازمند نیروهای متخصص و کارآمد، هم در جنبه‌های نظری است و هم در جنبه‌های تکنولوژیک و فناوری.

آغاز تربیت چنین نیروهایی، در مراکز آموزش عالی کشور شروع می‌شود ولی تقویت دیدگاه تکنولوژیک این افراد که باید در یک ارتباط منطقی و اصولی با صنایع سرامیک کشور انجام شود به خوبی صورت نمی‌گیرد. لذا، عدم وجود چنین رابطه منطقی بین دانشگاه‌ها و صنعت سرامیک، باعث شده که بخشی از نیروهای



متخصص در زمینه‌های غیرتخصصی خود مشغول به کار شوند. البته این مسئله، تنها مربوط به صنایع سرامیک نیست. بلکه مشکلی است که در اکثر رشته‌های فنی و مهندسی در کشور وجود دارد. اما به نظر من، کمیت و کیفیت نیروهای تربیت شده در مراکز آموزشی کشور، قابل قبول است. هرچند که نیازمند بازنگری روش‌ها و دیدگاه‌هاست تا راندمان کار بیشتر شود.

اخیراً بحث ادغام رشته‌ها در مهندسی مواد مطرح شده است. نظر شما در این باره چیست؟

مسئله ادغام رشته‌های مطرح در مهندسی مواد، در دو دهه اخیر همیشه مطرح بوده است. به نظر من، در مهندسی مواد، سه گرایش اصلی وجود دارد که این سه گرایش اگر جدای هم مطرح، تدریس و تربیت نیروهای متخصص را بر عهده داشته باشند بهتر است. یکی، گرایش‌های مطرح در زمینه متالورژی و مواد فلزی است. دیگری، گرایش‌های مطرح در زمینه سرامیک و مواد غیرفلزی - غیرآلی است. و در آخر، گرایش‌های مطرح در زمینه پلیمرها و مواد آلی است. از آنجا که اولاً، مباحث هر یک از رشته‌های فوق از هم جداست، هر چند ممکن است چند درصدی هم پوشانی داشته باشند ولی مباحث نظری و تکنولوژی هر رشته متفاوت است. از طرفی نیازهای صنعت هم به نیروهای متخصص با گرایش خاص بیشتر است و راندمان عملکرد نیروها نیز، بهتر خود را نشان می‌دهد. لذا از نظر من، ادغام این رشته‌ها در یکدیگر و یا ادغام سرامیک در درون متالورژی، اشتباه است. هم اتلاف وقت نیروهای آموزشی و دانشگاهی است و هم تربیت نیروهای غیر متخصص را به‌مراه دارد که راندمان عملکرد آنها را کاهش می‌دهد.

آیا تعداد دانشجویان و دانشگاه‌هایی که در این رشته فعالیت می‌کنند با توجه به گستردگی این رشته کافیست؟

تربیت نیروهای متخصص در کشوری مثل ایران با جمعیت بیش از ۷۵ میلیون نفر و صنعت در حال رشد و گسترش، به این زودی‌ها اشباع نخواهد شد. مسئله مهمتر از تعداد افراد، کیفیت آنهاست. هر چند من با تربیت کامیونی نیروها مخالفم و نباید در هر سال بدون برنامه و بدون توجه به رشد صنعت و مراکز آموزشی نیرو جذب و تربیت نمود که متأسفانه در برخی از بازه‌های زمانی این کار انجام شده است، ولی باید دقت نمود که نسل جوان این کشور، نیازمند آموزش، تربیت، کار و صنعت است. متأسفانه سرعت رشد تعریف شده برای تربیت نیرو با سرعت رشد جذب نیروهای متخصص در صنعت با هم برابر نبوده است. به عبارت دیگر، تربیت نیروهای متخصص با نرخ رشد جمعیت و برنامه‌ریزی‌ها، صورت گرفته است ولی نرخ رشد صنعت (برای جذب نیروها) کمتر بوده است و مطابق با برنامه‌ها پیش نرفته است. اگر این مشکل حل شود بسیاری از مسایل جامعه حل می‌شود.

واحد‌های ارائه شده در دروس این رشته تا چه حد نیازهای موجود در این صنعت را پاسخ می‌دهد؟

در خصوص واحد‌های درسی و تخصص‌های مطرح در زیر مجموعه سرامیک، پس از انقلاب فرهنگی که حرکت‌های اولیه و اساسی با توجه به نیاز آن زمان، برنامه‌ریزی شد که مناسب بود. به نظر می‌رسد در شرایط فعلی آن برنامه نیازمند بازنگری است تا نیازهای فعلی صنعت را بپوشاند. هرچند به نظر من، جنبه دوم و یا مرحله دوم آموزش‌های تخصصی نیروها، باید در یک تعامل اصولی بین دانشگاه و صنعت صورت گیرد. به عبارت دیگر، نیروهای فارغ‌التحصیل دانشگاهی، پس از گذراندن دوره‌های تخصصی کارورزی در هر صنعت با جزئیات بیشتر آن صنعت آشنا شوند. اینکار در کشور ما انجام نمی‌شود.

برای بهبود شرایط صنعت سرامیک چه پیشنهاداتی دارید؟

در حال حاضر، صنعت سرامیک کشور بسیار متفاوت با صنعت سرامیک قبل از پیروزی انقلاب اسلامی شده است. هم از جهت تنوع صنعت و هم از نظر عرضه محصولات مناسب و قابل رقابت با محصولات کشورهای منطقه و جهان. ولی هنوز صنعت ما، راه طولانی در پیش دارد تا بتواند از نظر توسعه فناوری و بومی کردن تکنولوژی‌ها به خودکفایی برسد.

آنچه که می‌خواهم بگویم این است که عمده صنایع سرامیک کشور، دارای تکنولوژی وارداتی است. این مسئله در شروع حرکت، بخودی خود، بد نیست ولی تداوم آن، بدون توجه به بومی نمودن آن، در دراز مدت توان رقابتی ما را کاهش می‌دهد. به عنوان مثال، کشور ترکیه، از این جهت، از ما پیشی گرفته است. باید مسئولین، با حمایت‌های اصولی خود، این جنبه را در صنعتگران و متخصصان تقویت کنند.

از طرفی، شرایط فعلی صنعت سرامیک کشور هم چنین مسئله‌ای را می‌طلبد. به عبارت دیگر پس از ۳۰ سال، اتکا به تکنولوژی‌های وارداتی، باید زمینه را فراهم نموده باشد تا بتوان آنها را در داخل کشور ساخت. این کار نیازمند حمایت‌های قانونی توسط مجلس و دولت است.

در شرایط فعلی، سطح و کیفیت تولید بسیاری از محصولات سرامیکی ما در سطح جهانی است و حتی از نظر کمیت تولید، در بسیاری از زمینه‌های تولید، ما جزء ۱۰ کشور برتر جهان هستیم. مثل کاشی، شیشه و سیمان. این مسئله نشان از یک توانمندی بالقوه خوب داخلی است که اگر در جهت مناسب قرار گیرد، جهش تکنولوژیک نیز رخ خواهد داد.

البته اینکار نیازمند همکاری‌های متقابل با کشورهای قوی جهانی است که باید شرایط اجتماعی، اقتصادی و سیاسی آن فراهم شود.

برای اینکه فارغ‌التحصیلانی که وارد بازار می‌شوند برای بازار کار مفید باشند و بهره‌وری لازم را داشته باشند چه پیشنهاداتی دارید؟

توصیه می‌شود که فارغ‌التحصیلان در طول دوره‌های آموزشی، علاوه بر جنبه‌های نظری، بر بکارگیری آنها در صنعت، به نیاز صنعت و جنبه‌های تکنولوژیک بیشتر فکر کنند. بازدیدهای متعددی از صنایع سرامیک کشور به عمل آورند و ایده‌های نو که در جهان مطرح می‌شود را به صنایع عرضه کنند.

اگر دوباره به گذشته بازگردید آیا همین راه و همین زمینه تخصصی را برای خود انتخاب می‌کنید؟

اگر من ۱۰۰ بار هم بخوام زمینه تخصصی خود را تغییر و رشته جدید انتخاب نمایم، قطعاً رشته سرامیک را انتخاب می‌کنم. این مسئله، تنها جنبه تعصب ندارد بلکه علم و مهندسی سرامیک، نقش اساسی در توسعه تکنولوژی در قرن بیستم میلادی داشته است و در قرن حاضر هم، همین اثر را خواهد داشت. من هم می‌خواهم نقش موثری در این امر داشته باشم.

فصلنامه سرامیک ایران را چگونه ارزیابی می‌کنید؟ لطفاً پیشنهادات خود را برای افزایش کیفیت این مجله بفرمایید.

فصلنامه سرامیک ایران، جزء مجلات بسیار خوب و قابل قبول در سطح کشور است. هم جنبه‌های اطلاع‌رسانی عمومی دارد و هم مقالات علمی خوبی چاپ می‌کند. امیدوارم که با راه اندازی مجله علمی-پژوهشی سرامیک، فصلنامه سرامیک به حاشیه کشانده نشود که قطعاً چنین نخواهد شد. اینکار نیازمند بازنگری در برخی از دیدگاه‌هاست. خصوصاً وارد نمودن مسائل صنعتی و دیدگاه صنعتگران در فصلنامه می‌تواند کمک شایان توجهی در این زمینه باشد.

با تشکر فراوان از وقتی که برای این مصاحبه اختصاص دادید.

معرفی پایلار نامه‌های تخصصی تکمیلی

پایان نامه‌های کارشناسی ارشد

بررسی اثر نسبت کلسیم و فسفر و میزان کریستالینته نانوگرانول‌های کلسیم فسفاتی در سیستم رهایش دارو

دانشجو: عدنان سبحانی

اساتید راهنما: دکتر محمد حسینعلی پور، مهندس حسین قصابی

دانشگاه علم و صنعت ایران

تیر ۱۳۹۰

چکیده: افزایش امید به زندگی در جوامع امروزی باعث شده است که اختلالات اسکلتی - عضلانی متنوعی مانند پوکی استخوانی، ورم‌های استخوانی و غیره رو به افزایش باشد. بنابراین، در سال‌های اخیر تعداد تجویزهای دارو برای درمان و جلوگیری از انواع بیماری‌ها هم رو به فزونی نهاده است. سیستم رهایش دارو که دارو را منحصر و محدود به محل بیماری می‌نماید و از عوارض وخیم آن می‌کاهد یک راهکار بسیار مناسب است. مهندسی ذرات و دارورسانی نوین یکی از مهمترین فصل‌های مشترک دارو رسانی با فناوری نانو است که می‌تواند در این زمینه نوید بخش باشد.

هدف اصلی از انجام این تحقیق، سنتز گرانول‌های کلسیم فسفاتی و بررسی میزان جذب و نرخ رهایش دارو از میان آنهاست. در روش رسوب‌دهی برای تهیه نانو گرانول‌ها، که روش بکار رفته در این پروژه است عوامل بهینه تولید نانو ذرات تعیین می‌شوند. مثلاً زمانی که دما از ۱۰۰ درجه سانتیگراد در حین تولید آنها بالاتر می‌رود اندازه ذرات می‌تواند در حد نانو شود. نمونه‌های مختلفی توسط کلسینه کردن گرانول‌ها تولید شده و ارزیابی آنها با انجام آزمایش‌هایی مانند SEM به منظور تعیین اندازه و شکل ذرات، آزمایش XRD به منظور تعیین نوع فازهای بلوری و تغییر در میزان بلورینگی ذرات انجام می‌شود. میزان بارگذاری داروی جنتامایسین در نمونه‌ها و تعیین نرخ آزادسازی دارو توسط آزمایش اسپکتروسکوپی UV در محیط In Vitro انجام شد.

مطالعات انجام شده بیانگر این هستند که افزایش بلورینگی ذرات باعث افزایش میزان جذب دارو و کاهش نرخ آزاد سازی دارو می‌شود. همچنین با افزایش فاز β -TCP در نمونه‌ها گنجایش ذرات افزایش یافته در مقابل سرعت رهایش دارو افزایش می‌یابد. با انجام عملیات حرارتی عامل دیگر مورفولوژی ذرات بوده که از عمدتاً میله‌ای به کروی می‌گرایند باعث کاهش نرخ رهایش دارو در نمونه‌ها می‌شود.

کلمات کلیدی: نانو ذرات کلسیم فسفاتی، عملیات حرارتی، جذب و رهایش دارو.

بررسی تاثیر مواد کلسیم بالا بر روی خواص فیزیکی و ریزساختاری ژئوپلیمرهای بر پایه متاکائولن

دانشجو: محمد علی سلیمانی

اساتید راهنما: دکتر رحیم نقی زاده، دکتر علیرضا میرحبیبی

دانشگاه علم و صنعت ایران

تیر ۱۳۹۰

چکیده: بتن رایج ترین مصالح مورد استفاده در صنعت ساختمان است. مصرف جهانی بتن به دلیل افزایش ساخت و ساز بویژه در کشورهای نظیر چین و هند رو به افزایش است. بدیهی است که تولید سیمان مستلزم مصرف منابع طبیعی و رهاسازی حجم کثیری از دی اکسید کربن به محیط بوده و بعد از صنایع فولاد و آلومینیوم بیشترین مصرف انرژی را دارد. استفاده از سیمان های ژئوپلیمری بر پایه متاکائولن راهی برای مقابله با این مشکل می باشد. از طرفی تولید مواد ضایعاتی صنایع مختلف که دارای شبکه آلومینوسیلیکاتی هستند روز به روز افزایش پیدا کرده که می توانند به عنوان ماده اولیه تامین کننده SiO_2 و Al_2O_3 جهت فرایندهای ژئوپلیوریزاسیون و تولید محصول ژئوپلیمری استفاده شوند. استفاده از این مواد ضایعاتی علاوه بر کاهش آلودگی محیط زیستی، هزینه تمام شده محصول نهایی ژئوپلیمری را نیز کاهش خواهد داد. در این پروژه از سرباره اسید فسفریک و ولاستونیت (ماده سیلیکات کلسیمی) به عنوان جایگزین متاکائولن با درصدهای وزنی مختلف (۱۰-۱۰۰٪) وزنی استفاده شد. نتایج نشان داد که جایگزینی سرباره تا ۴۰٪ وزنی و ولاستونیت تا ۲۰٪ وزنی به جای متاکائولن امکان پذیر بوده و باعث کاهش زمان گیرش می شود. همچنین این جایگزینی افزایش استحکام فشاری نهایی ۲۸ روزه (۱۴/۵٪ برای جایگزینی سرباره و ۶/۳٪ برای جایگزینی ولاستونیت) نسبت به نمونه شاهد را به دنبال داشت. الگوی پراش اشعه X حضور فاز هیدراته کلسیم آلومینو سیلیکاتی (C-A-S-H) و فاز هیدراته کلسیم سیلیکاتی (C-S-H) را به ترتیب برای نمونه های حاوی سرباره و ولاستونیت نشان می داد. تصاویر ریزساختاری SEM نیز نتایج حاصل از الگوی پراش اشعه X را تایید کرده و حضور فاز هیدراته را در کنار فاز ژئوپلیمری نشان می دادند. همچنین میکروترک هایی در تصاویر ریزساختاری نمونه های حاوی سرباره مشاهده شد که باعث کاهش استحکام نمونه های مذکور می شدند. نتایج همچنین حاکی از این بود که وجود میکروترک ها نسبت به ذرات واکنش نکرده موجود در شبکه ژئوپلیمری نقش کمتری را در کاهش استحکام فشاری دارند.

کلمات کلیدی: ژئوپلیمر، متاکائولن، سرباره اسید فسفریک، ولاستونیت، خواص فیزیکی.

بررسی عوامل موثر بر سنتز میکروکره سیلیکای پوشش داده

شده توسط تیتانیا

دانشجو: مریم زرین خامه فروش

استاد راهنما: دکتر حسین سرپولکی

دانشگاه علم و صنعت ایران

مهر ۱۳۹۰

چکیده: منودیسیپرز با استفاده از واکنش های هیدرولیز تترا اتیل ارتوسیلیکات (TEOS) با آب و به دنبال آن واکنش چگالش اسید سیلیسیک در یک محلول الکلی به کمک آمونیاک کمک آمونیاک به عنوان کاتالیست سنتز گردید. عوامل موثر بر سنتز میکروکره سیلیکا از جمله غلظت های TEOS، آمونیاک و آب به عنوان عامل هیدرولیز و نیز دما مورد بررسی قرار گرفت. میکرو کره و نانو کره



سیلیکا محدوده اندازه ۲۰ تا ۷۰۰ نانومتر با تغییر غلظت واکنشگرها تهیه شدند. نانو ذرات TiO_2 توسط مسیلهای سل-ژل کلوتیدی و پلیمری با استفاده از ایزوپروپوکساید تیتانیوم (ITIP)، ایزوپروپانول (i-PROH)، اسید کلریدریک و آب با کنترل نسبت $(Ti)/(H_2O)$ تهیه گردیدند. به علاوه، میکروکرات سیلیکا با میانگین قطر ۷۰۰ نانومتر به عنوان زیرپایه برای پوشش دهی با تیتانیا استفاده شد. روش های پوشش دهی مختلفی جهت دستیابی به پوشش یکنواخت و ضخیمی از TiO_2 استفاده شد. ولی در نهایت از دو روش که شامل استفاده از سل کلوتیدی و پلیمری تیتانیا بود، ذرات سیلیکای پوشش داده شده توسط تیتانیا با کنترل PH، مراحل پوشش دهی و نسبت مولی TiO_2/SiO_2 تهیه شدند. اختلاف پتانسیل زتا بین TiO_2 و SiO_2 در $PH=4$ ماکزیمم است. بنابراین ذرات سیلیکای پوشش داده شده توسط تیتانیا با بیشترین مقدار TiO_2 و بدون ایجاد آگلومراسیون بین نانوذرات TiO_2 در این PH تهیه شدند. نمونه ها توسط میکروسکوپ الکترونی روبشی (SEM)، تفرق اشعه ایکس (XRD)، آنالیز حرارتی (TG-DTA)، آنالیز تفرق پویای نور (DLS) و طیف سنجی تبدیل فوریه مادون قرمز (FT-IR) بررسی شدند. نتایج XRD نشان داده است که پوشش دادن تیتانیا بر روی میکروکرات سیلیکا موجب به تاخیر انداختن قابل توجه استحاله فاز آتاتار به روتایل گردیده است. نتایج FT-IR وجود پیوند شیمیایی Ti-O-Si در فصل مشترک لایه پوشش تیتانیا و سطح ذرات سیلیکا را تایید کرد. آزمایشات تخریب فوتوکاتالیستی متیل اورانژ (MO) تحت نور فرابنفش نشان داد که ذرات سیلیکا/تیتانیا خواص کاتالیستی و فوتوکاتیویتیته بهبود یافته بهتری نسبت به تیتانیای خالص از خود نشان می دهند.

کلمات کلیدی: میکروکرات سیلیکا، نانوذرات تیتانیا، سل-ژل.

بهبود خواص مکانیکی و ریزساختار نانو کامپوزیت مولایت-

سیلیکون کاربید به کمک فرایند سینتر دو مرحله ای

دانشجو: سید سعید میرزایی

استاد راهنما: دکتر اسماعیل صلاحی

استاد مشاور: دکتر تورج عبدالزاده

پژوهشگاه مواد و انرژی

شهریور ۱۳۹۰

چکیده: در این پروژه به بررسی امکان تهیه کامپوزیت مولایت-سیلیکون کاربید به روش سینتر دو مرحله ای و مقایسه آن با سینتر معمولی پرداخته شده است. بدین منظور برای سینتر معمولی، نمونه ها در دماهای گوناگون و به مدت ۵ ساعت در هر دما سینتر شده و برای سینتر دو مرحله ای، مرحله اول در شرایط حرارت دهی با سرعت ثابت به منظور دستیابی به چگالی اولیه بالا و مرحله دوم با نگهداری نمونه ها در دمایی پایین تر، جهت افزایش چگالی بدون رشد دانه، انجام شده است. آزمایش های انجام شده برای تعیین دماهای بهینه طراحی شده اند. مشخص شده است که دمای ۱۶۵۰ درجه سانتی گراد برای مرحله اول به دلیل بیشترین سرعت تراکم مناسب است. همچنین سینتر همدمای ۱۵۵۰ درجه سانتی گراد و در مدت زمان های گوناگون به منظور جلوگیری از نفوذ سطحی و بهبود چگالی انجام شد. میانگین اندازه دانه نمونه های تقریباً چگال (۹۵ درصد چگالی تئوری) تهیه شده به روش سینتر معمولی، با استفاده از تصاویر میکروسکوپ الکترونی روبشی، حدود ۴/۸ میکرومتر محاسبه شد. به هر حال، در فرایند سینتر دو مرحله ای، میانگین اندازه نهایی دانه (حدود ۱/۴۵ میکرومتر) ۳/۵ مرتبه نسبت به سینتر معمولی کاهش نشان می دهد. علاوه بر این، استحکام خمشی سه نقطه ای نمونه های سینتر شده به روش دو مرحله ای در چگالی یکسان ۹۵ درصد، به دلیل اندازه دانه کوچک تر، تا حدود ۱۵ درصد نسبت به سینتر معمولی و از ۵۲۰ به ۶۰۰ مگاپاسکال بهبود پیدا کرده است.

کلمات کلیدی: سینتر دو مرحله ای، مولایت، سیلیکون کاربید، استحکام مکانیکی.



سنتر و بررسی خصوصیات فیزیکی و زیست سازگاری پودر نانومتری منیزیم- هیدروکسی آپاتیت

دانشجو: مرتضی مهرجو

اساتید راهنما: دکتر جوادپور، دکتر محمدعلی شکرگزار

دانشگاه علم و صنعت ایران

تیر ۱۳۹۰

چکیده: در این تحقیق نانوذرات هیدروکسی آپاتیت $(Ca_{10}(PO_4)_6(OH)_2)$ و منیزیم هیدروکسی آپاتیت با فرمول $Ca_{10-x}Mg_x(PO_4)_6(OH)_2$ که در آن x برابر با $0/2, 0/4, 0/6, 0/8, 1, 1/2, 2$ است به روش رسوب گیری سنتز گردید. سپس به کمک آنالیز پراش پرتو ایکس (XRD) تشکیل فاز آپاتیته شناسایی شد و نیز تاثیرات ورود یون منیزیم در شبکه بر طیف‌های بدست آمده بررسی شد. به وسیله طیف نگاری با پرتو مادون قرمز پیوندهای موجود بین آنها در این نانوذرات بررسی گردید. تغییراتی که در نوسانات این طیف‌ها در نمونه‌های با درصدهای مختلف منیزیم ایجاد می‌شود بیانگر ورود منیزیم با مقادیر مختلف به داخل شبکه هیدروکسی آپاتیت است. مشاهدات میکروسکوپ الکترونی روبشی تا حدودی بیانگر کوچک تر شدن ذرات و افزایش شدت اگومریزاسیون با ورود منیزیم به ساختار بوده است. در بررسی‌های زیستی میزان تکثیر سلول‌های استئوبلاست و ترشح آلکالین فسفاتاز در مجاورت عصاره نانو ذرات و همچنین چسبندگی سلول و پروتئین به پودرهای پرس شده به شکل قرص و میزان یون‌های منیزیم، کلسیم و فسفات آزاد شده در عصاره نمونه‌ها ارزیابی شد. نتایج بررسی‌های زیستی نشان دادند که نمونه با $x=1.6$ نرخ تکثیر سلولی بالاتر، ترشح آلکالین فسفاتاز و همچنین چسبندگی پروتئین بالاتری را نسبت به سایر نمونه‌ها داراست. در نتیجه می‌توان چنین بیان نمود که نمونه فوق، نسبت به هیدروکسی آپاتیت نتایج بهتری را در شرایط آزمایشگاه نشان داده است و می‌تواند جایگزین مناسبی برای آن در کاربردهای بیومتریالی محسوب شود.

کلمات کلیدی: هیدروکسی آپاتیت، منیزیم-هیدروکسی آپاتیت، رسوب گیری.

سنتر و بررسی عملکرد شلول خورشیدی رنگدانه‌های تیتانای مزوساختار

دانشجو: امین پوراندراجانی

استاد راهنما: دکتر علی بیت‌اللهی

دانشگاه علم و صنعت ایران

شهریور ۱۳۹۰

چکیده: سلول‌های خورشیدی رنگدانه‌های نسل جدید سلول‌های خورشیدی هستند که بر اساس پدیده فوتوالکتروشیمیایی انرژی تابشی نور خورشید را به انرژی الکتریکی تبدیل می‌کنند. این سلول‌ها شامل اجزایی هستند که هر یک به نوبه خود در تبدیل انرژی نقش خاصی را ایفا می‌کنند. یکی از این اجزا لایه تیتانیای مزوساختار است که عامل هدایت الکترون از رنگدانه به آند است. در این تحقیق تلاش شده است تا این لایه مزوساختار تیتانیا به روش‌های تراسب بخار شیمیایی و سل-ژل با قالب‌گیری کولیمیر سه بلوکه‌ی F127 سنتز شده و عملکرد سلول‌های بسته شده با آنها مورد بررسی قرار گیرد. نتایج به دست آمده بازده قابل توجهی را از این سلول‌ها نشان می‌دهد. سلول‌های ساخته شده با تیتانیای مزوساختار حاصل از روش سنتز بخار شیمیایی و قالب‌گیری با کولیمیر F127 به ترتیب بازده ۴/۱۱ و ۲/۹۶ از خود نشان دادند.

کلمات کلیدی: سلول خورشیدی رنگدانه‌ای، تیتانیای مزوساختار، کولیمیر F127.



پایان نامه های دکتری

ترمودینامیک حذف سرب II، نیکل II و کادمیم II، از محلول های آبی به کمک هیدروکسی آپاتیت نانوبلورین

دانشجو: ایمان مباشرپور

اساتید راهنما: دکتر اسماعیل صلاحی، دکتر محمد پازوکی

استاد مشاور: دکتر علیرضا میرحبیبی

پژوهشگاه مواد و انرژی

پاییز ۱۳۸۹

چکیده: حضور فلزات سنگین در پسماند و فاضلاب های روان یکی از مشکلات اساسی است که باعث بروز مشکلات شده و بر روی سلامتی انسان، جانداران موجود در آن اقلیم و گیاهان تاثیر می گذارد. حذف فلزات سنگین به وسیله فرآیند جذب و رسوب دهی به عنوان سازوکارهای عمومی کاهش آسیب ناشی از فلزات سنگین مورد توجه است. در این پژوهش امکان ارزیابی حذف یون های Pb^{2+} ، Cd^{2+} و Ni^{2+} از محلول های آبی به وسیله نانو بلورک های هیدروکسی آپاتیت بررسی شد. همچنین تاثیر عامل های فرآیند جذب مانند غلظت اولیه یون، جرم جاذب، دما، اندازه بلورک ها و pH مورد بررسی قرار گرفت. نتایج نشان داد که با افزایش غلظت اولیه یون مورد بررسی، دما و همچنین pH ظرفیت جذب افزایش یافته و با افزایش اندازه بلورک ها و جرم ماده جاذب، ظرفیت جذب یون های Pb^{2+} ، Cd^{2+} و Ni^{2+} توسط هیدروکسی آپاتیت نانوبلورین کاهش می یابد. همچنین دیده شد که اطلاعات تعادلی جذب به دست آمده، از مدل لانگمیر بهتر از مدل های فرندلیش و DKR پیروی می کنند و بیشینه ظرفیت جذب به دست آمده به وسیله مدل تک دمای جذب لانگمیر به ترتیب برای Pb^{2+} ، Cd^{2+} و Ni^{2+} برابر با ۷۱۴/۲۸۶، ۱۴۲/۸۵۷ و ۴۶/۱۷۰ میلی گرم بر گرم است. تک دما جذب لانگمیر رسم شده نشان داد که مقدار فلز سنگین جذب شده بر روی نانو بلورک های هیدروکسی آپاتیت به صورت $Ni^{2+} > Cd^{2+} > Pb^{2+}$ کاهش می یابد. عامل های گوناگون ترمودینامیک، چون ΔH ، ΔG و ΔS محاسبه شد. عامل های ترمودینامیکی اندازه گیری شده در سیستم جذب در نظر گرفته شده، نشان داد که برای تمام یون ها فرآیند جذب به صورت طبیعی خودبخود و گرماگیر می باشد. این پژوهش نشان داد که هیدروکسی آپاتیت نانو بلورین می تواند به عنوان یک جاذب موثر و دوست دار محیط زیست برای حذف فلزات سنگین دو ظرفیتی سرب، کادمیم و نیکل از محلول های آبی مورد استفاده قرار گیرد.

کلمات کلیدی: هیدروکسی آپاتیت، نانوبلورین، حذف سرب، حذف کادمیم، حذف نیکل، تک دماهای جذب، ترمودینامیک جذب.



ریخته‌گری دوغابی کامپوزیت آلومینا-مولایت- زیرکونیا- کاربید سیلیسیم و تأثیر نانوذرات آلومینا و کاربید سیلیسیم بر ویژگی‌های آن

دانشجو: هودسا مجیدیان

استاد راهنما: دکتر توج عبادزاده

استاد مشاور: دکتر اسماعیل صلاحی

پژوهشگاه مواد و انرژی

سال تحصیلی ۱۳۸۹ - ۱۳۹۰

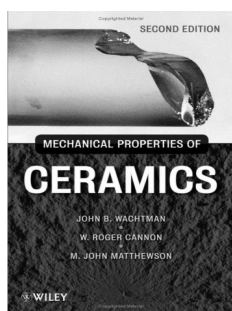
چکیده: در این پژوهش تأثیر افزودن ذرات کاربیدسیلیسیم (SiC) بر پایداری دوغاب‌های آلومینا-زیرکون و رفتار سینتر کامپوزیت‌های آلومینا-مولایت-زیرکونیا-کاربیدسیلیسیم (AMZS) حاصل بررسی شد. برای انجام پژوهش، ابتدا دوغابی پایدار با ۴۰ درصد حجمی از آلومینای ریزدانه، زیرکون و کاربیدسیلیسیم با استفاده از افزودنی دولاپیکس تهیه و سپس ریخته‌گری شد. از درصدهای مختلف افزودنی دولاپیکس استفاده شد. پایداری دوغاب‌های کلوییدی آلومینا-زیرکون-کاربیدسیلیسیم با اندازه‌گیری توزیع اندازه ذرات، رئولوژی، سرعت ریخته‌گری، مقدار افزودنی جذب شده، ارتفاع رسوب و پتانسیل زتا ارزیابی شد. نتایج نشان دادند که ذرات SiC مقدار پتانسیل زتای دوغاب‌ها، ارتفاع رسوب و همچنین متوسط اندازه ذرات آنها را کاهش داد. همچنین نتیجه‌گیری شد که پایداری دوغاب‌های آلومینا-زیرکون-SiC با ۲۰٪ حجمی ذرات SiC و ۵٪ وزنی دولاپیکس در ماده خشک بهینه شد و افزایش بیشتر SiC پایداری دوغاب‌ها را کاهش داد. تأثیر افزودن ذرات SiC بر چگالی، ریزساختار، ویژگی‌های مکانیکی و رفتار شوک حرارتی کامپوزیت‌های آلومینا-مولایت-زیرکونیا-کاربیدسیلیسیم ریخته‌گری شده بررسی شد. فرایند سینتر در دو مرحله انجام شد: ابتدا در ۱۶۰۰°C به مدت ۲ ساعت و سپس در ۱۵۰۰°C به مدت ۵ ساعت. چگالی و تخلخل، فازهای بلوری و ریزساختار پس از سینتر تعیین شد. همچنین ویژگی‌های شوک حرارتی، استحکام، چقرمگی و سختی کامپوزیت‌های تهیه شده اندازه‌گیری شد. فرایند سینتر دو مرحله‌ای کامپوزیت‌های AMZS موجب کاهش اندازه ذرات و افزایش چگالی آنها شد. بیشترین مقدار چقرمگی (۸/۱۳ Mpa^{۱/۲}) و کمترین اندازه دانه‌ها با ۲۰٪ حجمی SiC حاصل شد. SiC موجب بهبود مقاومت به شوک حرارتی کامپوزیت‌های آلومینا-مولایت-زیرکونیا-کاربیدسیلیسیم پس از ۱۰ سیکل حرارتی در ۱۰۰۰°C شد. تأثیر افزودن نانوذرات SiC نیز بررسی شد. استفاده از ۱۰٪ حجمی نانو کاربیدسیلیسیم موجب افزایش استحکام (از ۱۶۷ به ۲۷۶ MPa)، سختی (از ۹۴۵ به ۱۱۰۷ kgf/m^۲) و چقرمگی (از ۷/۷ به ۹/۳۶ Mpa^{۱/۲}) کامپوزیت‌ها شد. از سوی دیگر، تئوری‌های لایه مضاعف الکتریکی ارائه و مطابقت خوبی میان ویژگی‌های پایداری در حالت تئوری و تجربی مشاهده شد.

کلمات کلیدی: ریخته‌گری دوغابی، کامپوزیت آلومینا-مولایت-زیرکونیا، کاربیدسیلیسیم، مقاومت به شوک حرارتی، تئوری لایه مضاعف الکتریکی.

تازه‌های نشر

Mechanical Properties of Ceramics

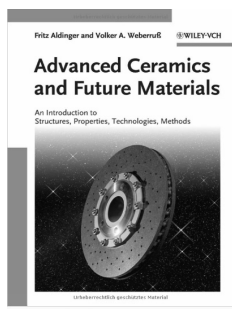
By: John B. Wachtman ,W. Roger Cannon ,M. John Matthewson.



وقتی در مواد سرامیکی شکست رخ می‌دهد، اغلب فاجعه بار، آنی و کامل است. در این کتاب خوانندگان با درک کامل و دقیق از علل شکست و نحوه طراحی سرامیک برای اجتناب از شکست آشنا می‌شوند. این کتاب شامل قسمت‌های مختلفی از جمله: تنش و کرنش، انواع رفتار مکانیکی، مقاومت مواد جامد بدون نقص، مکانیک شکست الاستیک، اندازه گیری کشش، استحکام و چقرمگی شکست، معرفی نرم افزار Subcritical، مکانیسم افزایش استحکام در سرامیک‌ها، بررسی اثر ریز ساختار بر چقرمگی و استحکام، تنش حرارتی و شوک حرارتی در سرامیک، تغییر شکل پلاستیک در سرامیک، خزش در دماهای بالا، سختی و سایش است. نسخه جدید این کتاب با توضیحات بیشتر، ارقام، جداول، خلاصه و مجموعه مسائل به روز شده تا بتواند به عنوان کتاب درسی در دوره‌های کارشناسی و کارشناسی ارشد در خواص مکانیکی سرامیک‌ها بکار گرفته شود.

Advanced Ceramics and Future Materials

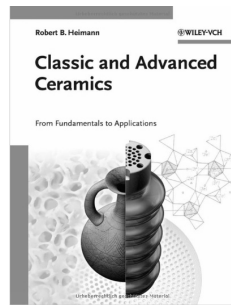
By: Fritz Aldinger ,Volker A. Weberuss



این کتاب در کنار شیمی و فیزیک مواد سرامیکی، رفتار و در نتیجه خواص سرامیک‌ها را پوشش می‌دهد. سرامیک‌ها در حال حاضر در طیف گسترده‌ای از کاربردها مانند مقره‌ها در برق فشار قوی، در دیسک‌های ترمز مدرن، اتومبیل‌های با سرعت بسیار بالا و ابررساناها در دمای بالا استفاده می‌شوند. اصول شیمی و مبانی فیزیکی سرامیک‌ها به عنوان جعبه سیاه این کاربردها در این کتاب ارائه شده است. این کتاب از جهتی به عنوان یک راهنما برای دانشجویان و دانشمندان و مهندسان علاقمند در سرامیک‌های معمولی و پیشرفته قابل استفاده است و از سوی دیگر، می‌تواند ارائه دهنده ایده‌هایی نو برای آینده باشد.

Classic and Advanced Ceramics

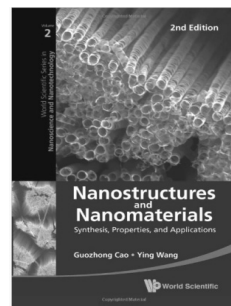
By: Robert B. Heimann



این کتاب بر پایه سخنرانی‌های نویسندگان برای دانشجویان فارغ التحصیل علوم، فیزیک، شیمی و علم مواد نگارش شده است و شامل جنبه‌های اساسی سرامیک از قبیل ترکیب و ساختار و همچنین مباحث پیشرفته از جمله دستیابی به ویژگی‌های خاص با انتخاب صحیح مواد است. تمرکز این کتاب بر فرآیندهای استحاله‌های گرمایی مواد خام طبیعی برای دستیابی به سرامیک‌های ساختاری سنتی و اصول فیزیکی سرامیک‌های پیشرفته است. به همین جهت اطلاعات این کتاب برای خوانندگان در امر پژوهش، توسعه و مهندسی در درک چگونگی ساخت و بهبود خواص سرامیک‌ها و محصولات سرامیکی مفید خواهد بود. در عین حال این کتاب به عنوان یک مرجع برای شیمی‌دانان، دانشمندان علم مواد، مهندسان و مینرالوژیست‌ها به حساب می‌آید.

Nanostructures and Nanomaterials: Synthesis, Properties, and Applications

By: Guozhong Cao (Author), Ying Wang (Author)

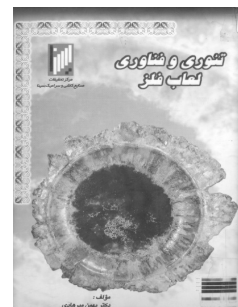


این کتاب علاوه بر سنتز و ساخت نانوساختارها و نانومواد، شامل خواص و کاربرد نانوساختارها و نانومواد، به خصوص نانومواد معدنی است و به طور کامل و جامع اصول و تکنیک‌های پردازش با توجه به سنتز، خواص و کاربردی نانوساختارها و نانو مواد را پوشش می‌دهد. فرآیندهای شیمیایی و تکنیک‌های لیتوگرافی در این کتاب در سنتز و ساخت ساختارهای نانو $D=0$ ، $D=1$ و $D=2$ و همچنین نانو مواد خاص مانند نانو لوله‌های کربنی و اکسیدهای مزوپور بیان شده‌اند. این کتاب به عنوان یک مقدمه کلی به نانومواد و فناوری نانو برای اهداف آموزشی و مطالعه علاقمندان مفید است.

تنوری و فناوری لعاب فلز

مؤلف: دکتر بهمن میر هادی

این کتاب در چهارده فصل تدوین شده و به مروری جامع بر اصول علمی و تکنولوژیکی لعاب بر روی فلزات می‌پردازد. در فصل اول کتاب به تعریف لعاب فلز و انواع لعاب‌های مصرفی در کنار دلایل استفاده از لعاب فلزی و تاریخچه تکامل لعاب فلز پرداخته شده است. در فصل دوم و سوم کتاب، اساس علمی لعاب فلز و لعاب بر روی فلزات مختلف و تفاوت ساختارهای کریستالی و لعاب فلز و لعاب سرامیک پرداخته شده است. فصل چهارم این کتاب به فناوری ساخت لعاب فلز از منظر فلزات و مواد اولیه ساخت لعاب فلز و انواع مواد اولیه مورد استفاده در لعاب فلز از نظر گداز

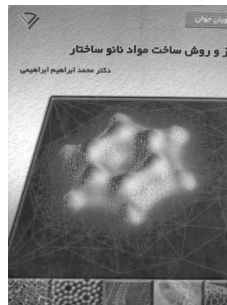


آوری و رنگ و تاثیر آنها بر چسبندگی بررسی شده است. در فصل ششم به آماده سازی زمینه فلزی برای لعاب‌دهی و انواع محلول‌های چربی زدایی، اسید شویی پرداخته شده است. در فصل نهم روش‌های لعابکاری و تکنولوژی لعابکاری بر روی فلزات به تفصیل مورد بحث قرار گرفته است. در فصول بعدی روش‌های خشک کردن و پخت در کوره‌های مختلف معرفی شده و در ادامه به خواص لعاب و آزمایش‌های که برای سنجش کیفیت لعاب فلز انجام می‌گیرند اشاره شده است. در دو فصل انتهایی کتاب به انواع آزمایش‌های ارزیابی لعاب فلز پرداخته شده است و در پایان به عیوبی که در لعاب فلز به وجود می‌آیند و منشاء این عیوب پرداخته شده است.

سنتز و روش ساخت مواد نانو ساختار

مؤلف: دکتر محمد ابراهیم ابراهیمی

در این کتاب ابتدا مقدمه‌ای بر خواص، سنتز و کاربردهای مواد نانو ساختار در فصل یک ارائه شده است. در فصل دوم کتاب سنتز و روش تهیه شیمیایی ذرات نانو ساختار، فیلم‌ها و پوشش‌ها ارائه شده و ذرات مربوط به همه گروه‌های موادی شامل فلزات، سرامیک‌ها و مواد آلی در این فصل گنجانده شده است. فرآیندهای پاشش حرارتی برای تهیه مواد نانو ساختار در فصل سوم تشریح شده‌اند. این فصل به طور اجمالی پوشش‌های پاشش حرارتی شده از پودرهای اولیه نانو کریستالی را تشریح می‌کند. در فصل چهارم آماده سازی مواد و کامپوزیت‌های نانو ساختار توسط روش‌های ساخت حالت جامد مورد بحث و بررسی قرار گرفته است. در فصل پنجم روش‌های زینتر پودرها و افزایش دانسیته آنها مورد بررسی قرار گرفته است و در فصل ششم که فصل آخر این کتاب است فرآیند ساخت و خواص مواد نانو ساختار ایجاد شده توسط رسوب الکتریکی تشریح می‌شوند. به علاوه در این فصل مثال‌هایی از کاربردهای صنعتی مواد نانو ساختار رسوب یافته به صورت الکتریکی ارائه گردیده است.



مواد منفجره نانو سایز (روش‌های تهیه و بررسی خواص)

مؤلفان: بداله بیات، حسین دهقانی، نگار ذکری و فاطمه ابریشمی

استفاده از مواد پراورزی نانو سایز و کامپوزیت‌های حاوی آنها در سرچنگی‌های پیشرفته، پیشراندهای با برد بلند نتایج قابل توجهی داشته به همین دلیل تولید مواد پراورزی نانو سایز با توزیع اندازه باریک به یکی از محورهای اصلی صنایع نظامی کشورهای پیشرفته تبدیل شده است. در این کتاب ضمن پرداختن به تئوری و خواص مواد منفجره نانو سایز، روش‌های آنالیز اندازه ذرات، ایمنی آنها، روش‌های تولید این مواد از جمله آسیاب کردن، استفاده از سیال فوق بحرانی، پاشش، تبلور خارج از محلول ته نشینی با نیروی الکتریکی، پیرولیز تبلور امولسیون و فرآیند سل-ژل تشریح شده‌اند و مزایا و معایب هر کدام از این روش‌ها بیان شده است.



شیمی نانو مواد

متجرمان: اصغر لسانی، اعظم سیفی

علم و تکنولوژی نانو در چند سال اخیر جهش خارق‌العاده‌ای را تجربه کرده است. شیمی بخش عمده‌ای از تحقیقات نانو را در بر می‌گیرد و بدون بکارگیری تکنیک‌های الکتروشیمیایی سنتز یا همگذاری بسیاری از نانو ذرات مشکل و حتی غیر ممکن به نظر می‌رسد و به علاوه بسیاری از خواص و پدیده‌های مرتبط با نانو مواد نیازمند درک شیمیایی هستند زیرا بسیاری از کاربردهای نانو مواد به شیمی مربوط می‌شوند. این کتاب بخش‌هایی را در ارتباط با نانو کریستال‌ها، نانولوله‌ها و نانو سیم‌ها در بر می‌گیرد. دو بخش اول در ارتباط با پیشرفت‌های صورت گرفته در زمینه نانو کریستال‌ها نانو لوله‌ها و نانو سیم‌ها است. که به طور گسترده‌ای تمام جنبه‌های این سه دسته از مواد نانو را پوشش می‌دهد. همچنین بخش‌هایی به موضوعاتی نظیر پیتیدی، دندیرمها، الکترونیک مولکولی، موتورهای مولکولی و ابر خازن‌ها اختصاص داده شده است. این کتاب می‌تواند یک راهنمای مفید و مرجع جامع برای تمامی افرادی که در این زمینه تدریس یا تحقیق می‌کنند به شمار آید.



تقویم همایش‌ها

The 4th Multi-Functional Materials and Structures (MFMS 2013)

Bangkok, Thailand

July, 14-17 2013

Website: <http://www.kmutt.ac.th/jif/mfms2013>

International Conference on Materials Science and Technology (ICMST 2012)

Kottayam, Pala, Kerala, India

June, 10-14 2012

Website: <http://www.icmst2012.org>

Staff Development Program on 'Recent Advances in Nanoscience and Nanotechnology' Conference

Jalgaon, MS, India

June, 15-30 2012

Montreal 2012: Tenth AES-ATEMA International Conference on Advances and Trends in Engineering Materials and their Applications. Conference

Montreal, Canada

June, 18-22 2012

5th Szeged International Workshop on Advances in Nanoscience

Szeged, Hungary

October, 24-27 2012

Website: <http://www.siwan2012.com>

Advances in materials processing and charecterization

ampc2013, Tamilnadu, India

January, 6-9 2013

Website: <http://www.annauniv.edu/ampc2013>

Nanocon 012, 2nd International Conference on Nanotechnology - Innovative Materials, Processes, Products and Applications

Pune, Maharashtra, India

October, 18-19 2012

Website: <http://www.nanocon2012.com/>

Nanomaterials: Fundamentals and Applications Conference

Strbské Pleso High Tatra, Slovak Republic, Slovakia

October, 3-6 2012

Website: <http://nfa2012.science.upjs.sk/>

International Conference on X-Rays & Related Techniques in Research and Industry 2012

Penang, Malaysia

July, 3-5 2012

Website: <http://www.icxri2012.com/>

2012 International Conference on Frontier of Nanoscience and Technology

HongKong

July, 26 2012

Website: <http://www.icfnst.org>

6th International Conference on High Performance Structures and Materials

New Forest, Hampshire, United Kingdom

June, 18-20 2012

Website: <http://www.wessex.ac.uk/12-conferences/hpsm-2012.html>

دومین کنفرانس ملی پیشرفت‌های ابررسانایی

دانشکده فیزیک کاشان

۲۸-۲۹ اردیبهشت ۱۳۹۱

www.psi.ir/farsi.asp?page=ncas3

اولین کنفرانس ملی کاربرد نانوتکنولوژی در صنایع نفت و پتروشیمی

دانشگاه آزاد اسلامی واحد ماهشهر

۴ خرداد ۱۳۹۱

www.mubnano.com

اولین همایش ملی صنعت شیشه ایران

دانشگاه صنعتی شریف

۱۷-۱۸ خرداد ۱۳۹۱

بیستمین نمایشگاه بین‌المللی کاشی، سرامیک و چینی بهداشتی

نمایشگاه بین‌المللی تهران

۳۰-۳۱ خرداد ۱۳۹۱

۱-۲ تیر ۱۳۹۱

همایش ملی مهندسی مواد

دانشگاه ملایر

۲۲ تیر ۱۳۹۱

ششمین نمایشگاه بین‌المللی ایران پلاست

محل دائمی نمایشگاه‌های بین‌المللی تهران

۱۴-۱۷ شهریور ۱۳۹۱

www.iranplast.ir

سی و سومین نمایشگاه بین‌المللی صنعت ساختمان دبی

امارات متحده عربی، دبی

۱۵-۱۸ آبان ۱۳۹۱

<http://13irancorr.tabrizu.ac.ir/>

دومین کنفرانس بین‌المللی و ششمین کنفرانس ملی مدیریت فناوری

مرکز همایش‌های بین‌المللی صدا و سیما، تهران

۲۶-۲۷ آذر ۱۳۹۱

Conference.iramot.ir

انجمن تخصصی انجمن سرامیک ایران

<p>ایران آیمدی مدیر عامل: مهندس یوسف مطلب لو آدرس دفتر مرکزی: تهران، خیابان شیراز شمالی، نبش کوچه شهریار، ساختمان ۳۳، واحد ۱۲ تلفن دفتر مرکزی: ۰۲۱-۸۸۰۴۷۰۷۱ نشانی سایت: www.imdco.net</p>	<p>آپادانا سرام مدیر عامل: مهندس مهران گلچینی آدرس دفتر مرکزی: تهران، خیابان توانیر شمالی، کوچه هومان، پلاک ۷، کدپستی: ۱۴۳۵۶۳۳۳۸۱ تلفن دفتر مرکزی: ۰۲۱-۸۸۸۷۸۶۷۱-۴ نشانی سایت: www.apadanaceram.com</p>
<p>پژوهشگاه مواد و انرژی مدیریت: دکتر علی اصغر توفیق آدرس دفتر مرکزی: تهران، میدان آرژانتین، انتهای خیابان الوند، کوچه جوبین، پلاک ۱۶ تلفن دفتر مرکزی: ۰۲۱-۸۸۷۷۱۶۲۶-۲۷ نشانی سایت: www.merc.ac.ir</p>	<p>پژوهشگاه علوم و فناوری رنگ مدیریت: دکتر پورمه‌دیان آدرس دفتر مرکزی: بزرگراه صیاد شیرازی شمالی، خروجی لویزان، میدان حسین آباد، خیابان وفامنش، نبش کوچه شمس، پلاک ۵۹، کدپستی: ۱۶۶۸۸۱۴۸۱۱ صندوق پستی: ۱۶۷۶۵-۶۵۴ تلفن: ۰۲۱-۲۲۹۴۴۱۸۴ نشانی سایت: www.icrc.ac.ir</p>
<p>تهیه و تولید خاک نسوز استقلال آباده مدیر عامل: مهندس شاکر آدرس دفتر مرکزی: آباده، بلوار استقلال، چهارراه جوادیه، پلاک ۲۰۵ تلفن دفتر مرکزی: ۰۷۵۱-۳۳۳۷۹۹۷</p>	<p>تولیدی و صنعتی سامان کاشی مدیر عامل: سید کمال سیدمحسنی آدرس دفتر مرکزی: تهران، بلوار میرداماد، بین نفت و مدرس، شماره ۲۳۹ تلفن دفتر مرکزی: ۰۲۱-۲۲۲۵۸۸۲۱ نشانی سایت: www.samantile.com</p>
<p>تهیه و تولید مواد نسوز کشور مدیر عامل: مهندس علیرضا باقری آدرس دفتر مرکزی: تهران، خیابان یوسف آباد، خیابان ابن سینا، نبش خیابان ۳۱، پلاک ۹۶، کد پستی: ۱۴۳۳۸۶۳۵۶۱ صندوق پستی: ۱۵۸۷۵-۱۹۷۷ تلفن دفتر مرکزی: ۰۲۱-۸۸۷۱۴۴۵۹ نشانی سایت: www.irrep.com</p>	<p>تهیه و تولید مواد اولیه آریاکانی اسپادانا مدیر عامل: مهندس محمدرضا پویامهر آدرس دفتر مرکزی: اصفهان، خیابان شیخ صدوق شمالی، کوچه شهید مرادی، بن بست دوم، پلاک ۲۵، طبقه ۲، کدپستی: ۸۱۶۴۸-۳۵۳۱۴ صندوق پستی: ۸۱۶۴۸-۱۵۳ تلفن دفتر مرکزی: ۰۳۱۱-۶۶۱۷۵۳۷-۸</p>

چینی اصفهان

مدیر عامل: مهندس حسین حقایق خراسانی

آدرس دفتر مرکزی: تهران، میدان محسنی، خیابان وزیر پور، خیابان کاووسی، ساختمان شماره ۳، طبقه ۲، آپارتمان شماره ۶

صندوق پستی: ۸۱۴۶۵-۱۵۶۹

تلفن دفتر مرکزی: ۰۲۱-۲۲۲۲۹۹۶

چینی بهداشتی ارس

مدیر عامل: مهندس حسین پور

آدرس دفتر مرکزی: تهران، خیابان ملاصدرا، خیابان شیراز جنوبی، خیابان پائین تبریزی شرقی، پلاک ۹، واحد ۳

تلفن دفتر مرکزی: ۰۲۱-۸۸۶۰۶۵۰۸

چینی زرین ایران

مدیر عامل: مهندس عباسعلی قصاعی

آدرس دفتر مرکزی: تهران، میدان ونک، خیابان ونک، ساختمان شماره ۲۵ کدپستی: ۱۹۹۴۶۱۸۵۱۱

صندوق پستی: ۱۵۱۷۵/۵۳۸

تلفن دفتر مرکزی: ۰۲۱-۸۸۷۷۰۰۴۴

نشانی سایت: www.zariniran.com

دانشگاه آزاد اسلامی واحد شهرضا

معاون پژوهشی: دکتر فقیهیان

آدرس: شهرضا، کیلومتر ۲ جاده بروجن

صندوق پستی: ۳۱۱-۸۶۱۴۵

تلفن: ۰۳۲۱-۳۲۴۳۰۰۱-۵

دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم و تحقیقات

خوزستان

مدیریت: دکتر شهرام لک

آدرس: اهواز، سهراه فرودگاه، دانشگاه آزاد واحد علوم و تحقیقات

تلفن دفتر مرکزی: ۰۶۱۱-۴۴۵۷۱۷۴

نشانی سایت: www.khouzestan.srbiau.ac.ir

دانشگاه آزاد اسلامی واحد میبد

مدیر گروه سرامیک: دکتر میرجلیلی

آدرس: میبد، دانشگاه آزاد اسلامی واحد میبد

صندوق پستی: ۱۷۵-۸۹۶۱۵

تلفن: ۰۳۵۲-۷۷۸۰۱۶۱-۴

نشانی سایت: www.iaumaybod.ir

رنگدانه‌های سرامیکی گهرفام

مدیر عامل: مهندس حامد مهینی

آدرس دفتر مرکزی: یزد، شهرک صنعتی خضرآباد، بلوار اقاچیا، خیابان زیتون

تلفن دفتر مرکزی: ۰۳۵۱-۷۲۷۲۴۴۸

سارا کاشی سپاهان

مدیر عامل: مهندس باطنی

آدرس دفتر مرکزی: اصفهان، پل خواجه، ابتدای خ آبشار اول، مجتمع مسکونی پارک آبشار، واحد ۳

تلفن دفتر مرکزی: ۰۳۱۱-۶۶۱۳۶۴۹

نشانی سایت: www.saratile.com

سارا لعاب میبد

مدیر عامل: مهندس مصطفی جعفری پور میبیدی

آدرس دفتر مرکزی: میبد، شهرک صنعتی جهان آباد، بلوار نسترن، انتهای بلوار سمت راست

صندوق پستی: ۸۹۶۱۵-۱۵۶

تلفن دفتر مرکزی: ۰۳۵۲-۷۷۷۲۲۲۸

نشانی سایت: www.saralaab.com

سرامیک البرز

مدیر عامل: مهندس میرنظامی

آدرس دفتر مرکزی: تهران، خیابان ملاصدرا، خیابان شیراز جنوبی، کوچه اتحاد، شماره ۱۹/۲ کد پستی:

۱۴۳۵۸۴۳۶۴۴

تلفن دفتر مرکزی: ۰۲۱-۸۸۰۵۵۸۹۰-۳

نشانی سایت: www.alborzceramic.com

سرامیک‌های صنعتی اردکان

مدیر عامل: مهندس برهانی

آدرس دفتر مرکزی: اصفهان، میدان آزادی، ابتدای خیابان سعادت آباد، پلاک ۱، طبقه ۴، واحد ۸

تلفن دفتر مرکزی: ۰۳۱۱-۶۶۸۷۷۷۲

نشانی سایت: www.aic.ir

سیماب رزین

مدیر عامل: مهندس غلامرضا علیپوریان

آدرس دفتر مرکزی: تهران، خیابان ملاصدرا، خیابان شیراز جنوبی، کوچه فلاحی، پلاک ۲۶، طبقه ۳

صندوق پستی: ۱۴۱۵۵-۱۵۸۵

تلفن دفتر مرکزی: ۰۲۱-۸۸۲۱۱۲۱۶-۸

نشانی سایت: www.simabresin.com



شرکت پویا همراه سرام (بازرگانی و مهندسی)
مشاور

مدیرعامل: مهندس رضا محسنی طارم‌سری
آدرس دفتر مرکزی: تهران، تهرانپارس، خیابان رشید،
نیش خیابان ۱۴۴ غربی، ساختمان امیرکبیر، طبقه ۲، واحد ۱۰
تلفن دفتر مرکزی: ۰۲۱-۷۷۲۹۵۴۹۸
نشانی سایت: www.phceram.com

شرکت بین‌المللی سارنگ تدارک

مدیرعامل: مهندس سارنگ اتحادی
آدرس دفتر مرکزی: تهران، خیابان ایرانشهر شمالی،
نیش خیابان بهشهر، پلاک ۱۴۵، واحد ۱۵
تلفن دفتر مرکزی: ۰۲۱-۸۸۸۱۳۳۷۲
نشانی سایت: www.sis-company.com

شرکت صنایع سرام آرا

مدیرعامل: مهندس جلیل کاظمی قدس
آدرس دفتر مرکزی: تهران، میدان آرژانتین، ابتدای خیابان
بخارست، خیابان احمدیان، پلاک ۱۶
تلفن دفتر مرکزی: ۰۲۱-۸۸۵۳۰۶۶
نشانی سایت: www.ceramara.ir

شرکت سرمایه گذاری صدرتامین

مدیرعامل: مهندس محمد کاظمی خالدی
آدرس دفتر مرکزی: خیابان ولیعصر، نرسیده به چهارراه
پارک‌وی، خیابان خاکزاد، پلاک ۲۱، کدپستی:
۱۹۶۶۶۴۷۹۱
تلفن: ۰۲۱-۲۶۲۱۰۰۴۴-۹
نشانی سایت: www.stic.ir

شرکت فیبرونا

مدیرعامل: اقبال سینگ شاهپوری
آدرس دفتر مرکزی: تهران، خیابان میرزای شیرازی، نیش
استاد مطهری، شماره ۲۱۱
تلفن دفتر مرکزی: ۰۲۱-۸۸۲۳۳۵۵
نشانی سایت: www.fiberona.com

شرکت صنایع کاشی نگار

مدیرعامل: مهندس علی محمد لاجوردی
آدرس دفتر مرکزی: اصفهان، خیابان چهارباغ خواجه،
جنب بانک ملی، ساختمان چاپ اندیشه، طبقه سوم
تلفن دفتر مرکزی: ۰۳۱۱-۲۲۱۵۷۳۳
نشانی سایت: www.negartile.com

شرکت مهندسی بازرگانی درداران سریر

مدیرعامل: مرتضی طهماسی
آدرس دفتر مرکزی: تهران، خیابان ولیعصر، خیابان
فتحی شقاقی، میدان سلماس، پلاک ۳، طبقه ۳
کدپستی: ۱۴۳۱۷۵۳۱۱۶
تلفن: ۰۲۱-۸۸۳۳۷۳۶۶-۸
نشانی سایت: www.sarirco.com

شرکت کاشی یزد

مدیرعامل: محمدهادی شیرازی
آدرس دفتر مرکزی: یزد، بعد از دروازه قرآن، شرکت
کاشی یزد
تلفن دفتر مرکزی: ۰۳۵۱-۵۲۱۰۱۰۱-۴
نشانی سایت: www.yazdtileco.com

صنایع کاشی خزر

مدیرعامل: مهندس محمدجواد برازجانی
آدرس دفتر مرکزی: تهران، ضلع شمال غربی میدان
فردوسی، ساختمان شهید، طبقه ۲، کد پستی: ۱۵۹۹۹۴۵۵۱۶
تلفن دفتر مرکزی: ۰۲۱-۸۸۸۰۸۹۴۵-۷
نشانی سایت: www.khazar-Tile.com

صنایع سرامیک بهرنگ (سهامی خاص)

مدیرعامل: مهندس معزی
آدرس دفتر مرکزی: تهران، خیابان احمد قصیر، خیابان
۱۲، پلاک ۱۵، طبقه ۴
تلفن دفتر مرکزی: ۰۲۱-۸۸۵۰۴۵۰۱
نشانی سایت: www.behrangco.com

صنایع کاشی نیلوفر

مدیرعامل: مهندس علیرضا ناصری
آدرس دفتر مرکزی: مشهد، بلوار فردوسی، مجتمع تجاری
اسکان، طبقه ۱، واحد ۲ کد پستی: ۹۱۸۷۶۷۵۴۷۵
تلفن دفتر مرکزی: ۰۵۱۱-۷۶۲۳۳۳۶
نشانی سایت: www.niloofartile.com

صنایع کاشی زرین خراسان

مدیرعامل: مهندس شرکت
آدرس دفتر مرکزی: مشهد، خیابان احمدآباد، ابوذر
غفاری ۲۳، پلاک ۱۴۲، طبقه ۲
تلفن دفتر مرکزی: ۰۵۱۱-۸۴۶۸۲۵۰
نشانی سایت: www.zarrintile.com



صنایع کاشی و سرامیک الوند

مدیر عامل: مهندس پورهاشمی

آدرس دفتر مرکزی: تهران، خیابان ولی عصر، خیابان

شهید سعیدی، پلاک ۶۰ کد پستی: ۱۹۶۷۸۶۴۹۱۳

صندوق پستی: ۱۹۳۹۵-۳۱۱۱

تلفن دفتر مرکزی: ۰۲۱-۲۲۰۵۷۸۱۱

نشانی سایت: www.alvancer.com

صنایع کاشی و سرامیک سینا

مدیر عامل: مهندس یحیی ماله میرچگینی

آدرس دفتر مرکزی: تهران، بلوار میرداماد، بعد از میدان

مادر، پلاک ۲۳

صندوق پستی: ۱۵۷۴۵-۶۹۵

تلفن دفتر مرکزی: ۰۲۱-۲۲۲۷۲۳۰۱

نشانی سایت: www.Sinatile.ir

صنعت سرام

مدیر عامل: مهندس علیرضا غفاری

آدرس دفتر مرکزی: تهران، خیابان فرجام، بین

چهارراه خاور و ولیعصر، پلاک ۶۲۰ واحد ۱۱،

کد پستی: ۱۶۸۴۷۹۵۱۶۳

تلفن دفتر مرکزی: ۰۲۱-۷۷۷۲۳۵۸۹

فرآورده‌های نسوز آذر

مدیر عامل: مهندس بیژن نیکخواه

آدرس دفتر مرکزی: کیلومتر ۵۰ جاده اصفهان - شهرکرد،

شهرک صنعتی فولاد

صندوق پستی: ۸۴۷۱۵-۱۸۹

تلفن دفتر مرکزی: ۰۳۳۴-۶۳۵۲۶۶۲

نشانی سایت: www.azarrefractoriesco.com

فرآورده‌های نسوز پارس

مدیر عامل: مهندس حیدرپور

آدرس دفتر مرکزی: تهران، میدان گلها، بلوار گلها،

ساختمان شماره ۲۳۲ (ساختمان میلاد)، طبقه ۴ و ۵

تلفن دفتر مرکزی: ۰۲۱-۸۸۳۳۸۱۱۰

نشانی سایت: www.pars-ref.ir

فرآورده‌های نسوز سومین هزاره

مدیر عامل: مهندس بهرنگ ترابی

آدرس دفتر مرکزی: اصفهان، خیابان چهارباغ بالا، مجتمع

تجاری پارک اصفهان، ورودی ۴، طبقه ۲، پلاک ۵۳۰ کد

پستی: ۸۱۶۸۶۹۵۵۴۵

تلفن دفتر مرکزی: ۰۳۱۱-۶۶۷۰۷۱۷

فصلنامه کاشی و سرامیک

مدیریت: دکتر محمد دین محمدی

آدرس دفتر مرکزی: تهران، میدان ونک، خیابان

ملاصدرا، نبش شیراز جنوبی و کوی بهار، پلاک ۱

تلفن دفتر مرکزی: ۰۲۱-۸۸۲۱۲۶۷۸

نشانی سایت: www.tileandceramic.ir

کائولین و خاک‌های نسوز خراسان

مدیر عامل: مرتضی زیارت نیا

آدرس دفتر مرکزی: مشهد، بلوار فلسطین، فلسطین ۱۴،

پلاک ۲۸

تلفن دفتر مرکزی: ۰۵۱۱-۷۶۷۳۰۳۴-۵

نشانی سایت: www.kaolin-co.com

کاشی ایرانا

مدیر عامل: مهندس عباس خلیلی

آدرس دفتر مرکزی: تهران، کیلومتر ۱۳ جاده

مخصوص کرج، روبروی ایران خودرو

صندوق پستی: ۱۴۵۱۵/۱۱۴

تلفن دفتر مرکزی: ۰۲۱-۴۴۹۰۵۰۰۱-۵

نشانی سایت: www.irana-tile.com

کاشی تیما

مدیر عامل: دکتر محمدمهدی ناصری

آدرس دفتر مرکزی: مشهد، شهرک صنعتی طوس، فاز ۲،

انتهای دانش ۲، بلوار اندیشه کد پستی: ۹۱۸۵۱۱۳۱۱۱

تلفن دفتر مرکزی: ۰۵۱۱-۵۴۱۳۹۹۰

نشانی سایت: www.tima-tile.com

کاشی طوس

مدیر عامل: مهندس توکلی فرد

آدرس دفتر مرکزی: تهران، خیابان ملاصدرا، شیراز

جنوبی، نبش وحدت، شماره ۲۱

تلفن دفتر مرکزی: ۰۲۱-۸۸۰۴۱۵۲۲

نشانی سایت: www.toostileco.com

کاشی فیروزه مشهد

مدیر عامل: حسین سقاء رضوی

آدرس دفتر مرکزی: مشهد، بلوار سجاده، خیابان بیستون

۲، مجتمع تجاری طوس، طبقه ۵ و ۶

صندوق پستی: ۹۱۳۷۵-۴۴۳۷

تلفن دفتر مرکزی: ۰۵۱۱-۷۶۷۰۰۰۱

نشانی سایت: www.firoozehtile.com



کاشی کرد

مدیر عامل: مهندس مرادی

آدرس دفتر مرکزی: تهران، سه‌رودی شمالی، هویزه

شرقی، پلاک ۳۴

تلفن دفتر مرکزی: ۰۲۱-۸۸۳۷۴۰۸۷-۸

نشانی سایت: www.cordgroup.com

کاشی مرجان

مدیر عامل: مهندس فرزاد معصومی

آدرس دفتر مرکزی: اصفهان، خیابان چهار باغ بالا، کوچه

زیتون، پلاک ۲۸، کدپستی: ۸۱۷۳۶۸۷۱۵۵

صندوق پستی: ۸۱۶۵۵-۴۹۵

تلفن دفتر مرکزی: ۰۳۱۱-۶۲۴۸۰۱۹

نشانی سایت: www.marjantileco.com

کاشی مسعود ایران

مدیر عامل: مهندس محمد حسین فرشادپور

آدرس دفتر مرکزی: تهران، خیابان آفریقای شمالی،

ساختمان مرکز تجارت ایران، طبقه ۹، واحد ۶ کدپستی:

۱۹۶۶۹۴۴۸۱۷۸

تلفن دفتر مرکزی: ۰۲۱-۲۶۲۱۲۶۳۵-۳۷

نشانی سایت: www.masoudtile.com

کاشی نیلو

مدیر عامل: مهندس بلوچی

آدرس دفتر مرکزی: اصفهان، خیابان حکیم نظامی، ابتدای

محتشم کاشانی، ساختمان کاشی نیلو، کدپستی: ۸۱۷۵۸-۸۹۷۷۷۱

صندوق پستی: ۸۱۷۳۵-۳۳۵

تلفن دفتر مرکزی: ۰۳۳۱-۶۲۵۴۱۲۶

نشانی سایت: www.NilouTile.com

گروه پژوهشی سرامیک- پژوهشکده مواد-

پژوهشگاه علوم و فنون هسته‌ای

مدیر عامل: دکتر محمد قنادی مراغه

آدرس دفتر مرکزی: اصفهان، ۱۵ کیلومتری جنوب

شرقی، منطقه هسته‌ای پژوهشکده مواد

تلفن دفتر مرکزی: ۰۳۱۱-۸۹۱۲۰۸۲

نشانی سایت: www.aeoi.org.ir

گلسار فارس

مدیر عامل: مهندس تازش

آدرس دفتر مرکزی: تهران، بلوار کریم خان زند، خیابان

سپهبد قرنی، خیابان برادران شاداب، پلاک ۳۳، طبقه ۲

تلفن دفتر مرکزی: ۰۲۱-۸۸۹۳۹۰۰۱-۳

نشانی سایت: www.golsarfars.com

لعاب مشهد

مدیر عامل: دکتر عباس یوسفی

آدرس دفتر مرکزی: تهران، خیابان ملاصدرا، خیابان

شیراز جنوبی، کوچه اتحاد، پلاک ۱۳، طبقه ۲

تلفن دفتر مرکزی: ۰۲۱-۸۸۰۴۳۶۹۶

لعاب یاس فارس

مدیر عامل: مهندس اکبر کریمی علویجه

آدرس: شیراز، ۵ کیلومتر بالاتر از پلیس راه شیراز- بوشهر،

جاده اختصاصی گاز

صندوق پستی: ۷۱۹۵۵۴۶۸

تلفکس: ۰۷۱۱-۸۳۰۱۹۹۰

لعابیران

مدیر عامل: مهندس عبدالرضا رجایی

آدرس دفتر مرکزی: تهران، میدان ونک، خیابان

گاندی شمالی، کوی شهید صانعی، شماره ۱۰، کدپستی:

۱۹۶۹۹۴۵۳۱۱

تلفن دفتر مرکزی: ۰۲۱-۸۸۷۹۵۱۴۱-۲

نشانی سایت: www.loab.iran.com

مجتمع تحقیقاتی جهاد دانشگاهی استان یزد

مدیریت: مهندس سیدحسین میرحسینی

آدرس دفتر مرکزی: یزد، خیابان مهدی، جهاد دانشگاهی

استان یزد

تلفن دفتر مرکزی: ۰۳۵۲-۸۲۱۲۷۳۰

مجتمع کارخانجات تولیدی توس چینی

مدیر عامل: مهدی کاملان نجار

آدرس دفتر مرکزی: مشهد، ضلع غربی میدان احمدآباد،

پلاک ۱۲، کدپستی: ۹۱۸۳۸۱۷۱۹۱

تلفن دفتر مرکزی: ۰۵۱۱-۸۴۱۶۸۸۰

نشانی سایت:

www.toosporcelain.com

مجتمع تولیدی چینی مقصود

مدیر عامل: مهندس علی گلکار

آدرس دفتر مرکزی: تهران، خیابان ولیعصر، بالاتر از

پارک ساعی، نبش کوچه ۳۴، پلاک ۱۱۵۹، طبقه ۲

تلفن دفتر مرکزی: ۰۲۱-۸۸۸۸۶۹۸۵

نشانی سایت:

www.maghsoudporcelain.com



معدنی و صنعتی سوراو جین عقیق

مدیر عامل: مهندس حمیدرضا معصومی

آدرس دفتر مرکزی: تهران، سعادت آباد، خیابان علامه شمالی، انتهای کوچه اقبال ملی، پلاک ۶۹، طبقه همکف، واحد ۲

تلفن دفتر مرکزی: ۰۲۱-۲۲۰۸۱۳۷۳

نشانی سایت: www.iranclay.com

مقره سازی ایران

مدیر عامل: مهندس پیروز

آدرس دفتر مرکزی: تهران، خیابان بهار جنوبی، کوچه نیلوفر، شماره ۴

تلفن دفتر مرکزی: ۰۲۱-۷۷۵۲۸۶۴۲

نشانی سایت: www.iraninsulator.com

مقره سازی صدف گستر زنجان

مدیر عامل: مهندس مهشید امیر مقدمی

آدرس دفتر مرکزی: زنجان، شهرک صنعتی شماره ۱ (علی آباد)، فاز ۳، خیابان سهروردی

تلفن دفتر مرکزی: ۰۲۴۱-۲۲۲۱۷۷۱-۲

نشانی سایت: www.zsginsulator.com

مهندسیین مشاور کاوشگران

مدیر عامل: مهندس رفیعا

آدرس دفتر مرکزی: تهران، انتهای اشرفی اصفهانی، خیابان زیتون، نبش خیابان چمران، کوچه ارغوان یکم، پلاک ۴

تلفن دفتر مرکزی: ۰۲۱-۴۴۸۰۶۰۷۰

نشانی سایت:

www.kavoshgaran-mine.com

