

شیشه، شیشه - سرمایه و سرمایه ها

بررسی سیستم پسماندهای هسته ای با پرتوزایی بالا

مؤلفان

دی. کورانت و همکاران

مترجم

پروین علیراده

D. Caurant. دی. کورانت و دیگران، ۱۹۹۴-

م. پروین علیزاده.

شیشه، شیشه - سرامیک و سرامیک‌ها برای تثبیت پسماندهای هسته‌ای با پرتوزایی بالا / [تالیف دی. کورانت ...

[و دیگران]:

مترجم: پروین علیزاده

تهران: پژوهشگاه علوم و فنون هسته‌ای، ۱۳۹۱.

۳ ص. تصویر، جدول، نمودار.

ISBN: ۹۷۸-۶۰۰-۹۲۵۷۹-۷-۳

فهرست نویسی بر اساس اطلاعات بیا

عنوان اصلی:

۱. زباله‌های اتمی، تبدیل به شیشه، ۲. سرامیک، مصالح، ۳. شیشه

پژوهشگاه علوم و فنون هسته‌ای

رده بندی کنگره: ۱۳۹۱ ش ۹ ۱۷۹ / TD

رده بندی دیویی: ۶۲۱/۴۳۸

شماره کتابشناسی ملی: ۳۱۰۴۰۵۹

نام کتاب: شیشه، شیشه - سرامیک و سرامیک‌ها برای تثبیت پسماندهای هسته‌ای با پرتوزایی بالا

مترجم: پروین علیزاده

ویراستار: اصغر مالکی

ناظر فنی: فریبا علی اکبری

ویرایش صفحه بندی: شادی معماری آذر

نمونه خوان: مهدیه السادات عامل ابراهیمی

تیراژ: ۱۰۰۰ جلد

چاپ: ۱۳۹۲

نوبت چاپ: اول

قیمت: ۱۸۰۰۰۰ ریال

چاپ و صحافی: پیام رسان فردا، تلفن: ۸۸۹۳۷۲۲۴

ناشر: پژوهشگاه علوم و فنون هسته‌ای

شابک: ۹۷۸-۶۰۰-۹۲۵۷۹-۷-۳

کلیه حقوق چاپ و انتشار این اثر متعلق به پژوهشگاه علوم و فنون هسته‌ای می‌باشد.



پژوهشگاه علوم و فنون هسته‌ای

پیشگفتار مترجم

امروزه سرامیک‌ها چه از نظر زیبایی و چه سرامیک‌های پیشرفته کاربرد فراوانی دارند. از بین این مواد شیشه و شیشه-سرامیک جایگاه ویژه‌ای را به خود اختصاص داده است. از این ترکیبات در ساخت انواع درب و پنجره، ظروف آشپزخانه، ظروف آزمایشگاهی گرفته تا قطعات کاشت دندان و مواد زیست‌فعال، فیلترها، کاتالیست، شیشه‌های کاربرد الکتریکی، مواد آب‌بندی‌کننده، قطعات مهندسی در صنایع هوا-فضا و غیره استفاده می‌شود.

در این بین استفاده از این مواد به عنوان مواد کاشن‌کننده ترکیبات پرتوزا سال‌هاست که مطرح می‌باشد. در هر صورت استفاده از شیشه‌ها به دلیل راحتی بود و فساد تولید، دوام شیمیایی زیاد و قابلیت کارکرد آن در زمان‌های طولانی بیشتر مورد توجه است. در کشورهایی که از انرژی هسته‌ای برای مصارف مختلف استفاده می‌کنند تحقیق بر روی انواع مواد سرامیکی ویژه شیشه‌ها و شیشه-سرامیک‌ها همواره مطرح بوده و امروزه نیز در جریان است. این کشور ما نیز به سمت استفاده از انرژی هسته‌ای حرکت کرده است و در آینده‌ای نه چندان دور مسائل نگهداری و دفن پسماندها از ملزومات این صنعت خواهد بود. کتاب حاضر در ارتباط با مسئله اخیر است. مقدمه‌ای درباره شیشه و نقش اکسیدهای مختلف در ساختار و خواص آن، بررسی ترکیب محلول‌های پسماند مایع با پرتوزایی بالا حاصل از بازفرآوری سوخت مصرف شده هسته‌ای، قواعد و اصول تثبیت و مثال‌هایی از این نوع، مطالعه بر انواع ماتریس‌های ویژه برای تثبیت هسته‌های پرتوزا با عمر طولانی و در آخر مطالعه بر روی انواع شیشه‌های مورد استفاده در تثبیت پسماند، فرایند تبلور و تأثیر آن بر تثبیت از مسائل مورد بحث در این کتاب است.

کتاب حاضر می‌تواند به عنوان کتاب درسی و یا کمک درسی در مقطع کارشناسی ارشد و دکتری در رشته مهندسی مواد- سرامیک مورد استفاده قرار گیرد. همچنین، برای دانشجویان سایر رشته‌های مهندسی و علوم، دست‌اندرکاران صنعت شیشه و مهندسمین علوم هسته‌ای نیز مفید واقع می‌گردد.

این کتاب برای نخستین بار به فارسی ترجمه و منتشر می‌شود و با تمام تلاشی که صورت گرفته این امکان وجود خواهد داشت که اشکالاتی در آن دیده شود. لذا از کلیه خوانندگان تقاضا می‌شود تا اشکالات یا نظرات خود را به مترجم اطلاع دهند تا در ویرایش‌های آتی بتوانم از آنها استفاده کنم.

در خاتمه لازم می‌دانم دست‌اندرکاران دفتر انتشارات سازمان انرژی اتمی که در چاپ این کتاب همکاری صمیمانه نمودند، داشته‌اند کمال تشکر و قدردانی خود را اعلان نمایم.

پروین علیزاده

دانشیار دانشگاه تربیت مدرس

p-alizadeh@modares.ac.ir

اسفند ۹۲

دیباچه

بازفرایندی پسماندهای صنعت هسته‌ای مصرف شده منجر به تولید پسماندهای مایع با پرتوزایی بالا (HLW) می‌شود که می‌باید به کمک ماتریس‌های جامد بسیار با دوام از محیط زیست جدا شود. در اولین بخش این کتاب اصول کلی (۱ و ۲)، موارد عمومی درباره هسته‌های پرتوزای موجود در HLW و ویژگی‌های اصلی پسماندهای تهیه اشکال پسماند (شیشه‌ها، سرامیک‌ها، شیشه-سرامیک‌ها) جهت تثبیت پسماندهای جدا شده و با جداسازی نشده ارائه می‌شود. در دومین بخش این کتاب (فصل ۳)، ویژگی‌های دو گروه از پسماندهای پرتوزا با عمر طولانی (^{135}Cs و اکتینیدهای جزئی: Cm, Am, Np) و ماتریس‌های محلی جهت تثبیت ویژه آنها معرفی شده‌اند را مرور خواهیم کرد. در سومین بخش این کتاب (فصل ۴) همواره با توضیح بخش‌های قبلی، نتایج متعددی از ماتریس‌های سرامیکی و شیشه-سرامیک تهیه یافته جهت تثبیت Cs (سرامیک هلندیت) و اکتینیدهای جزئی (سرامیک زیرکونولیت، شیشه-سرامیک بر پایه زیرکونولیت، شیشه-سرامیک بر پایه آپاتیت) که در آزمایشگاه مؤلفان مورد مطالعه قرار گرفته، مطرح می‌شود. برای سزیم، سرامیک‌های هلندیت ($\text{M: Al}^{+3}, \text{Ba}_x\text{Ca}_{1-x}\text{Fe}_2\text{O}_{16}, \text{Fe}^{+3}, \text{Cr}^{+3}, \text{Ga}^{+3}$) تهیه شده از مواد اولیه اکسیدی توسط روش‌های مختلف مورد شناسایی قرار می‌گیرد. اثر کاتیون M بر ویژگی فاز منفرد هلندیت و ظرفیت آن جهت مشارکت سزیم مطالعه می‌شود. آزمایش‌های پرتودهی الکترون خارجی بر روی ترکیب ساده هلندیت ($\text{Ba}_{1/16}\text{Ti}_{5/68}\text{Al}_{2/32}\text{O}_{16}$) به منظور سبب‌سازی اثر پرتودهی مربوط به تلاشی Cs پرتوزا ارائه می‌شود. تغییرات ساختاری و تشکیل عیوب پرتودهی تکنیک‌های طیف‌بینی مختلف نظیر رزونانس پارامغناطیس الکترون (EPR) مورد مطالعه قرار می‌گیرد. پایداری عیوب مغناطیسی تیتانیم (Ti^{+4}) و اکسیژن (O^{2-}) با دما مطالعه می‌شود. برای تثبیت انتخابی اکتینیدهای جزئی، نتایجی در خصوص سرامیک‌های زیرکونولیت (به طور اسمی $\text{CaZrTi}_2\text{O}_7$) و شیشه-سرامیک بر پایه زیرکونولیت ارائه می‌شود. خاک‌های-نادر (اساساً نئودیمیم) و Th به عنوان جانشین اکتینیدهای جزئی مورد استفاده قرار می‌گیرند. نتایج ساختاری و ریزساختاری در خصوص مشارکت یون‌های Nd^{+3} در $\text{Ca}_{1-x}\text{Nd}_x\text{ZrTi}_{2-x}\text{Al}_x\text{O}_7$ ($x \leq 0.6$) سرامیک‌های زیرکونولیت تهیه شده از مواد اکسیدی ارائه می‌شود. محیط محلی یون‌های Nd^{+3} در نمونه‌های

سرامیک زیرکونولیت توسط EPR و طیف‌بینی جذب نوری مطالعه می‌شود. شیشه-سرامیک بر پایه زیرکونولیت حاوی بلورهای کوچک زیرکونولیت که به طور همگن در حجم شیشه توزیع شده‌اند با تبلور کنترل شده شیشه مبنا متعلق به سیستم $\text{SiO}_2\text{-Al}_2\text{O}_3\text{-CaO-TiO}_2\text{-ZrO}_2$ Nd_2O_3 مطالعه می‌شود. اثر پارامترهای مختلف نظیر دمای تبلور بر روی نوع بلورها (حجمی + سطحی)، ساختار آنها و ریزساختار آنها بهینه می‌شود. تغییرات ترکیب شیشه به منظور افزایش مقدار زیرکونولیت در نمونه‌های شیشه-سرامیکی جهت مشارکت ترجیحی جانشین آکتینید جزئی در بلورهای زیرکونولیت انجام می‌شود (قانون محدودیت دوگانه). همچنین امکان تهیه اشکال پسماند شیشه-سرامیک بر پایه آپاتیت سیلیکات کلسیم خاک-نادر (با ترکیب بلورهای نزدیک به $(\text{Ca, RE})_2(\text{SiO}_4)_2\text{O}_7$ ، خاک نادر) برای تثبیت محلول‌های پسماند هسته‌ای غنی از آکتینید ارائه می‌شود. آکتینیدشناسی این کتاب (فصل ۵) با اشکال پسماند شیشه‌ای مورد استفاده جهت تثبیت محلول‌های پسماند با پروزایی بالا جداسازی نشده ناشی از بازفرآوری سوخت هسته‌ای مصرف شده سروکار دارد. هدف اصلی درباره ساختار و خواص شیشه‌های سیلیکاتی، بوراتی و بورسیلیکات قبل از ورود محصولات شکسته آکتینیدها به داخل ساختار شیشه‌های هسته‌ای ارائه می‌شود. همچنین نقش ساختاری و اثر Al_2O_3 و B_2O_3 بر روی خواص شیشه هسته‌ای بهینه می‌شود. دیگر اینکه، ارتباط موجود بین ترکیب شیشه‌های هسته‌ای، ساختار و تمایل به تبلور در حین سرمایش مذاب توسط نتایج متعدد به دست آمده در آزمایشگاه مؤلفان بر روی شیشه‌های هسته‌ای بورسیلیکات غیرپرتوزا جهت تثبیت محلول‌ها با پروزایی بالا غنی از Mo (تبلور مولیبدات‌های قلیایی و یا قلیایی خاکی) یا غنی از خاک-نادر (تبلور آپاتیت سیلیکات خاک-نادر) مورد بررسی قرار می‌گیرد.

ی. کورانت

پ. یزیدو

ا. م. جاس

وی. آیین چوال دنت

آی. باردیس

آ. کوین تاس

فهرست

فصل ۱

مقدمه

فصل دوم

ترکیب محلول های W به دجست آمده از باز فراوری سوخت مصرف شده هسته ای

فصل سوم

تثبیت HLW های جداسازی شده جداسازی نشده: اصول و مثال ها

- ۱۹ - الف اصول تثبیت
- ۲۴ - ب انواع پسماندهای شیشه ای، سرامیکی - پسماندهای سرامیکی
- ۲۵ - ۳-ب-۱ انواع پسماندهای شیشه ای
- ۳۶ - ۳-ب-۲ گونه های پسماند سرامیکی
- ۳۷ - ۳-ب-۲-آ انواع پسماند سرامیکی برای تثبیت پسماندهای پرتوزا - جداسازی نشده
- ۳۹ - ۳-ب-۲-ب گونه های پسماند سرامیکی برای تثبیت ویژه هسته های جداسازی شده با عمر طولانی
- ۴۲ - ۳-ب-۳ اشکال پسماند شیشه - سرامیکی
- ۴۲ - ۳-ب-۳-آ تعریف و اصول آماده سازی شیشه - سرامیک ها
- ۴۵ - ۳-ب-۳-ب شیشه سرامیک ها به عنوان اشکال پسماند هسته ای برای HLW جداسازی شده
- ۴۷ - ۳-ب-۳-ج شیشه سرامیک ها به عنوان اشکال پسماند هسته ای برای هسته های پرتوزای جداسازی شده با عمر طولانی

فصل چهارم

مطالعات بر روی ماتریس های ویژه برای تثبیت هسته های پرتوزا با عمر طولانی

- ۵۸ - ۴-آ تثبیت ویژه عنصر پرتوزای سزیم
- ۵۹ - ۴-آ-۱ سزیم پرتوزا در HLW
- ۶۳ - ۴-آ-۲ اشکال پسماند ویژه برای تثبیت سزیم
- ۶۳ - ۴-آ-۲-آ ماتریس های شیشه و شیشه سرامیک برای تثبیت سزیم
- ۶۵ - ۴-آ-۲-ب ماتریس های بلورین جهت تثبیت سزیم
- ۶۶ - ۴-آ-۳ سرامیک هلندیت $Ba_xCs_y(MTi)_xO_{16}$ به عنوان شکل پسماند برای تثبیت Cs

- ۶۶ ۴-۱-۳-آ ویژگی‌های عمومی هلندیت
- ۶۷ ۴-۱-۳-ب ساختار هلندیت $Ba_xCs_y(MTi)_8O_{16}$
- ۷۱ ۴-۱-۳-ج سنتز سرامیک‌های هلندیت $Ba_xCs_y(MTi)_8O_{16}$
- ۷۱ ۴-۱-۳-ج-۱ سنتز هلندیت با روش الکوکسید و ذوب
- ۷۲ ۴-۱-۳-ج-۲ سنتز و شناسایی هلندیت به روش اکسیدی
- ۷۹ ۴-۱-۳-د ساختار موضعی هلندیت $Ba_xCs_y(M.Ti)_8O_{16}$
- ۸۳ ۴-۱-۳-ه تابش دهی هلندیت $Ba_xCs_y(M.Ti)_8O_{16}$
- ۸۳ ۴-۱-۳-و-ر-۱ پایداری هلندیت تحت پرتو دهی
- ۸۶ ۴-۱-۳-۲ تابش دهی خارجی هلندیت- $(BaAl)$
- ۸۷ ۴-۱-۳-ر-۲ شرایط تابش دهی خارجی و شناسایی هلندیت تابش داده شده
- ۹۰ ۴-۱-۳-۳-ر-۲-ب اثرات پیرایشی شده بر هلندیت ناشی از پرتو دهی خارجی الکترون
- ۹۲ ۴-۱-۳-۳-ر-۲-ج اثر پرتو دهی الکترون خارجی بر هلندیت
- ۱۰۱ ۴-۱-۳-۳-ر-۲-د تغییر حرارتی سیوب سرامیک پس القا شده توسط پرتو دهی در هلندیت
- ۱۰۴ ۴-ب تثبیت ویژه MA
- ۱۰۵ ۴-ب-۱ MA در HLW
- ۱۰۸ ۴-ب-۲ اشکال پسماند ویژه برای تثبیت MA یا Pu
- ۱۱۰ ۴-ب-۳ سرامیک زیرکونولیت به عنوان شکل پسماند
- ۱۱۰ ۴-ب-۳-آ ویژگی‌های کلی زیرکونولیت
- ۱۱۲ ۴-ب-۳-ب ساختار و ظرفیت مشارکت‌دهی زیرکونولیت
- ۱۱۷ ۴-ب-۳-ج سنتز سرامیک‌های زیرکونولیت
- ۱۱۹ ۴-ب-۳-د ویژگی‌های ساختاری سرامیک‌های زیرکونولیت $Ca_{1-x}Nd_xTi_{1-x}Al_xO_7$
- ۱۱۸ ۴-ب-۳-د-۱ مطالعه XRD
- ۱۲۳ ۴-ب-۳-د-۲ مطالعه محیط اطراف یون‌های Nd^{+2} در زیرکونولیت- ۲M
- ۱۳۱ ۴-ب-۳-د-۳ مطالعه محیط اطراف یون‌های Nd^{+3} در زیرکونولیت پرتو دهی شده
- ۱۳۶ ۴-ب-۳-ر-۳ شناسایی ساختاری سرامیک‌های زیرکونولیت با La Ce Eu Gd Yb Th
- ۱۳۸ ۴-ب-۳-ف شناسایی ساختاری سرامیک‌های زیرکونولیت $(1-x)Nd_xHfTi_{1-x}O_7$
- ۱۴۰ ۴-ج شیشه- سرامیک‌های بر پایه زیرکونولیت به عنوان شکل خاص پسماند جهت تثبیت MA
- ۱۴۰ ۴-ج-۱ کارهای قبلی بر روی شیشه-سرامیک‌های حاوی بلورهای زیرکونولیت
- ۱۴۲ ۴-ج-۲ سنتز و شناسایی شیشه- سرامیک‌های بر پایه زیرکونولیت
- ۱۴۲ ۴-ج-۲-آ سنتز شیشه‌های مادر و تهیه شیشه- سرامیک‌ها
- ۱۴۸ ۴-ج-۲-ب تهیه و شناسایی شیشه-سرامیک‌های بر پایه زیرکونولیت
- ۱۵۲ ۴-ج-۲-ج پایداری شیشه-سرامیک‌ها بعد از گرمایش طولانی مدت در $1200^\circ C$ یا $1050^\circ C$
- ۱۵۸ ۴-ج-۲-د اثر دمای رشد بلور بر ساختار و ریز ساختار بلورها

- ۴-ج-۲-ر تأثیر تغییرات ترکیب شیشه مادر بر ویژگی‌های شیشه-سرامیک‌ها ۱۶۲
- ۴-ج-۲-ر-۱ افزایش غلظت (CaO ZrO_2 TiO_2) در شیشه مادر ۱۶۲
- ۴-ج-۲-ر-۲ سایر تغییرات ترکیبی صورت گرفته به منظور افزایش تلور زیر کونولیت ۱۷۰
- ۴-ج-۲-ف اثر غلظت Nd_2O_3 و نوع جانشینی MA ۱۷۴
- ۴-ج-۲-ز شیشه-سرامیک‌های بر پایه زیر کونولیت و تثبیت MA ۱۸۷

فصل پنجم

مطالعه‌ی پتانسیل شیشه‌ها برای تثبیت محلول‌های جداسازی نشده با پرتوایی بالا

- ۵-۱-۱ مطالعات عمومی در ارتباط با شیشه‌های هسته‌ای ۱۹۱
- ۵-۱-۱-۱ استفاده از شیشه‌های تثبیت محلول‌های HLW ۱۹۱
- ۵-۱-۲ ساختار و خواص شیشه‌های هسته‌ای بوسیلیکات ۲۰۵
- ۵-۱-۲-۱ نقش ساختار و اثرات فیزیکی-شیمیایی کسیدهای اصلی-دگرگون‌ساز شبکه موجود در محلول‌های HLW بر خواص شیشه ۲۰۶
- ۵-۱-۲-۱-۱ ساختار و خواص شیشه‌های سیلیکاتی: مثالی از اکسید شبکه-ساز ۲۰۶
- ۵-۱-۲-۱-۲ خواص و نقش ساختاری سیلیکات، فلوئور و قلیایی خاکی‌ها در شیشه‌های سیلیکاتی ۲۱۰
- ۵-۱-۲-۱-۳ نقش ساختاری اکسیدها در شیشه‌های سیلیکاتی مطابق با قدرت میدان کاتیون‌ها ۲۲۱
- ۵-۱-۲-۱-۴ ویژگی ساختاری شیشه‌های سیلیکاتی ۲۳۲
- ۵-۱-۲-۱-۵ کاتیون‌های با قدرت میدان زیاد در شیشه‌های سیلیکاتی ۲۴۹
- ۵-۱-۲-۱-۵-۱ خاک‌های نادر در شیشه سیلیسی ۲۴۹
- ۵-۱-۲-۱-۵-۲ خاک‌های نادر و آکتینیدها در شیشه‌های سیلیکاتی ۲۵۰
- ۵-۱-۲-۱-۵-۳ اثر قدرت بازی مذاب و شرایط اکسیدی-احیایی مذاب بر قابلیت خاک‌های نادر و آکتینیدها در شیشه‌های سیلیکاتی و هسته‌ای ساده شده ۲۵۳
- ۵-۱-۲-۱-۵-۴ ورود کاتیون‌هایی با قدرت میدان زیاد در ساختار شیشه‌های سیلیکاتی ۲۶۰
- ۵-۱-۲-۱-۵-۵ ورود کاتیون‌های Mo^{+6} در ساختار شیشه‌های سیلیکاتی ۲۶۷
- ۵-۱-۲-۱-۵-۶ ف ورود کاتیون‌های Zr^{+4} در ساختار شیشه‌های سیلیکات ۲۷۳
- ۵-۱-۲-۱-۵-۷ ز ورود کاتیون‌های RE در ساختار شیشه‌های سیلیکاتی ۲۷۹
- ۵-۱-۲-۱-۵-۸ ورود کاتیون‌های پلوتونیم و سرب در ساختار شیشه‌های سیلیکاتی ۲۸۹
- ۵-۱-۲-۱-۵-۹ ب نقش ساختاری و تأثیر Al_2O_3 و B_2O_3 بر خواص شیشه هسته‌ای ۲۹۲
- ۵-۱-۲-۱-۵-۱۰ نقش ساختاری Al_2O_3 و تأثیر آن بر خواص شیشه هسته‌ای ۲۹۲
- ۵-۱-۲-۱-۵-۱۱ Al_2O_3 در شیشه‌های سیلیکاتی و هسته‌ای ۲۹۲
- ۵-۱-۲-۱-۵-۱۲ ب نقش ساختاری آلومینیم در شیشه‌های هسته‌ای و سیلیکاتی ۲۹۳
- ۵-۱-۲-۱-۵-۱۳ ج تأثیر Al_2O_3 بر پایداری شیمیایی شیشه‌های هسته‌ای ۳۰۶
- ۵-۱-۲-۱-۵-۱۴ ب-۱ نقش ساختاری B_2O_3 و تأثیر آن بر خواص شیشه هسته‌ای ۳۱۱

- ۳۱۱ ۵-۱-۲-ب-۲- B_2O_3 در شیشه‌های هسته‌ای و تجاری
- ۳۱۳ ۵-۱-۲-ب-۲- نقش ساختاری بور در شیشه‌های اکسید بور و بورات قلیایی
- ۳۲۵ ۵-۱-۲-ب-۲- ج- B_2O_3 در شیشه‌های بورسیلیکات و آلومینوبورسیلیکات
- ۳۳۳ ۵-۱-۲-ب-۲- د-خاک‌های نادر در شیشه‌های بورسیلیکات و آلومینوبورسیلیکات
- ۳۴۰ ۵-۱-۲-ب-۲- ر-تأثیر B_2O_3 روی پایداری شیمیایی شیشه‌های هسته‌ای
- ۳۴۳ ۵-ب- شیشه‌ها برای تثبیت پسماندهای غنی از Mo
- ۳۴۳ ۵-ب-۱- تثبیت HLW غنی از Mo در شیشه‌ها
- ۳۴۹ ۵-ب-۱- مولکول‌ها در شیشه‌ها
- ۳۵۱ ۵-ب-۲- مطالعه بر روی شیشه‌های بورسیلیکات ساده شده جهت تثبیت پسماندهای غنی از Mo
- ۳۵۲ ۵-ب-۳- ترکیب و تأثیر شیشه‌های بورسیلیکات غنی از Mo
- ۳۵۴ ۵-ب-۳- ب- شناسایی ساختاری شیشه‌های بورسیلیکات غنی از Mo
- ۳۵۴ ۵-ب-۳- ب-۱- حالت پایداری مولکول‌ها در شیشه‌ها
- ۳۵۶ ۵-ب-۳- ب-۲- تأثیر غلظت روی افزایش M_2O بر ساختار شیشه
- ۳۵۶ ۵-ب-۳- ب-۲- مطالعه XRD
- ۳۵۸ ۵-ب-۳- ب-۲- ب- تغییر T_g با غلظت B_2O_3
- ۳۵۹ ۵-ب-۳- ب-۲- ج- مطالعات ^{29}Si , ^{11}B و ^{23}Na MAS NMR
- ۳۶۵ ۵-ب-۳- ب-۲- د- مطالعه رامان
- ۳۶۷ ۵-ب-۳- ب-۳- تأثیر افزایش غلظت B_2O_3 بر ساختار شیشه
- ۳۶۷ ۵-ب-۳- ب-۳- آ- مطالعه XRD
- ۳۶۷ ۵-ب-۳- ب-۳- تغییر T_g با غلظت B_2O_3
- ۳۶۷ ۵-ب-۳- ب-۳- ج- مطالعات ^{29}Si , ^{11}B و ^{23}Na MAS NMR
- ۳۷۲ ۵-ب-۳- ب-۳- د- مطالعه رامان
- ۳۷۲ ۵-ب-۳- ج- تبلور شیشه‌های بورسیلیکات غنی از Mo در حین سرمایش آهسته
- ۳۷۳ ۵-ب-۳- ج-۱- اثر افزایش غلظت MoO_3 بر تبلور مذاب
- ۳۷۵ ۵-ب-۳- ج-۲- اثر افزایش غلظت B_2O_3 بر تبلور مذاب
- ۳۷۶ ۵-ب-۳- ج-۳- ارتباط بین ساختار و تمایل به تبلور شیشه‌های M_x و B_y
- ۳۷۶ ۵-ب-۳- ج-۳- آ- سری شیشه‌های B_y
- ۳۷۷ ۵-ب-۳- ج-۳- ب- سری شیشه‌های M_x
- ۳۷۸ ۵-ب-۳- د- نتایج مطالعه شیشه‌های بورسیلیکات ساده شده برای تثبیت پسماندهای غنی از Mo
- ۳۷۹ ۵-ج- شیشه‌ها برای تثبیت پسماندهای غنی از خاک نادر
- ۳۸۳ ۵-ج-۱- ترکیب و خواص شیشه غنی از RE جدید برای تثبیت پسماندهای غلیظ با پرتوایی بالا
- ۳۸۳ ۵-ج-۱- توسعه ترکیب شیشه جدید برای تثبیت پسماندهای غنی از RE
- ۳۸۳ ۵-ج-۱-۱- ترکیب جدید شیشه غنی از RE

- ۳۸۴ ۵-ج-۱-۲ مثال‌هایی از مشکلات حل شده در طول فرمولبندی شیشه‌های هسته‌ای غنی از RE جدید
- ۳۸۶ ۵-ج-۱-ب آماده‌سازی و خواص شیشه‌های بوریلیکات غنی از RE
- ۳۸۶ ۵-ج-۱-ب-۱ تهیه شیشه
- ۳۸۷ ۵-ج-۱-ب-۲ خواص شیشه و اعتبار ساده‌سازی ترکیب شیشه
- ۳۹۰ ۵-ج-۲ اثر افزایش غلظت RE_2O_3 بر ساختار شیشه و تبلور مذاب
- ۳۹۱ ۵-ج-۱-ب-۱ تأثیر غلظت RE_2O_3 بر خواص شیشه
- ۳۹۳ ۵-ج-۲-ب تأثیر غلظت RE_2O_3 بر تبلور شیشه
- ۳۹۴ ۵-ج-۱-ب-۲ تأثیر غلظت RE_2O_3 بر ساختار شیشه
- ۳۹۶ ۵-ج-۲-ب تغییر محیط کاتیون‌های RE^{+3} با غلظت RE_2O_3
- ۴۰۲ ۵-ج-۳ تأثیر ماهیت RE_2O_3 بر ساختار شیشه و تبلور مذاب
- ۴۰۸ ۵-ج-۴ تأثیر پراکسین بر شیشه بر ساختار و تبلور مذاب
- ۴۰۹ ۵-ج-۴-۱ تأثیر نسبت CaO/SiO_2 بر خواص شیشه و تمایل به تبلور
- ۴۱۱ ۵-ج-۴-ب تأثیر نسبت CaO/SiO_2 بر ساختار شیشه
- ۴۱۵ ۵-ج-۴-ج تأثیر نسبت R بر محیط RE^{+3}
- ۴۲۰ ۵-ج-۵ تأثیر نسبت $([CaO]/([Na_2O]+[CaO]))$ بر ساختار شیشه و تبلور مذاب
- ۴۲۰ ۵-ج-۵-۱ تأثیر تغییر نسبت $CaO/([Na_2O]+[CaO])$ بر تمایل به تبلور شیشه
- ۴۲۲ ۵-ج-۵-ب تأثیر تغییر نسبت $([CaO]/([Na_2O]+[CaO]))$ بر ساختار شبکه
- ۴۲۷ ۵-ج-۵-ج تأثیر تغییر نسبت $([CaO]/([Na_2O]+[CaO]))$ بر محیط RE
- ۴۳۰ ۵-ج-۶ تأثیر طبیعت اکسیدهای قلیایی و قلیایی خاکی بر ساختار شیشه و تبلور مذاب
- ۴۳۱ ۵-ج-۶-۱ اثر تغییر ماهیت اکسیدهای قلیایی و قلیایی خاکی بر تبلور شیشه
- ۴۳۴ ۵-ج-۶-ب تأثیر تغییر ماهیت اکسیدهای قلیایی و قلیایی خاکی بر ساختار شبکه
- ۴۳۹ ۵-ج-۶-ج تأثیر تغییر ماهیت اکسیدهای قلیایی و قلیایی خاکی بر محیط E
- ۴۴۲ ۵-ج-۷ نتایج مطالعه شیشه جدید غنی از RE برای تثبیت پسماندهای با پرتوایی بالا

مراجع

واژه‌نامه

۴۴۵

۴۷۷