

غشاهای سرامیکی برای جداسازی و واکنش

تألیف: کانگ لی

پیشرو:

دکتر اسطغر مرچانی

فرهاد جباری



دانشگاه آزاد اسلامی واحد اراک

تابستان ۱۳۹۴

سرشناسه	لی، کانگ، ۱۹۶۰ - م.
عنوان و نام پدیدآور	Li, Kang غشاهای سرامیکی برای جداسازی و واکنش / تألیف کانگ لی؛ مترجمان اعظم مرجانی، فرهاد حیدری.
مشخصات نشر	اراک: دانشگاه آزاد اسلامی، واحد اراک، ۱۳۹۴.
مشخصات ظاهری	۲۳۶ ص: مصور، جدول، نمودار.
فروست	انتشارات دانشگاه آزاد اسلامی واحد اراک: ۲۷۲.
شابک	۹۷۸-۹۶۴-۱۰-۳۵۰۱-۵
وضعیت فهرست نویسی	قیفا
یادداشت	عنوان اصلی:
یادداشت	Ceramic Membranes for Separation and Reaction.c, 2007.
یادداشت	واژه نامه:
یادداشت	کتابنامه.
موضوع	غشاهای جداسازی گاز
موضوع	سایک -- مصالح
موضوع	فرها - جداسازی
شناسه افزوده	مرجانی، اعظم، ۱۳۴۹ - مترجم
شناسه افزوده	حیدری، فرهاد، ۱۳۳۳ - مترجم
شناسه افزوده	دانشگاه آزاد اسلامی واحد اراک
رده بندی کنگره	TP ۱۵۹: ۱۴ / غ ۵۸
رده بندی دیویی	۲۸۴۲۴/۶۶۰
شماره کتابشناسی ملی	۳۹۰۸۰۷۲

غشاهای سرامیکی برای جداسازی و واکنش

تألیف: کانگ، لی.

مترجمان: دکتر اعظم مرجانی، فرهاد حیدری

ویراستار: دکتر اعظم مرجانی

ناشر: انتشارات دانشگاه آزاد اسلامی اراک

نوبت و سال چاپ: اول / ۱۳۹۴

حروف چینی و صفحه آرای: دفتر فنی ولیعصر - (سرای ۰۹۱۸۳۴۹۵۶۴۷)

طرح جلد: مهندس محمدرضا سواری

شمارگان: ۱۰۰۰

شابک: ۹۷۸-۹۶۴-۱۰-۳۵۰۱-۵

بها: ۱۲,۰۰۰ تومان

نشانی: اراک، میدان امام خمینی (ره)، شهرک دانشگاه آزاد اسلامی اراک

دفتر انتشارات علمی - تلفکس: ۳۴۱۳۰۵۷۸

پیشگفتار نویسندگان

کتاب حاضر برگزیده مطالب جامع و کاملی در زمینه غشاهای سرامیکی می باشد. این کتاب با هدف ارائه مرجعی غشاهای سرامیکی، ساخت و ارزیابی آنها، فرآیندهای جداسازی مرتبط با این دسته از غشاهای راکتورهای غشایی سرامیکی جهت استفاده اساتید و دانشجویان تحصیلات تکمیلی رشته شیمی، مهندسی شیمی و همچنین محققان و پژوهشگران در زمینه فرآیندهای غشایی توسعه یافته و در اختیار علاقه مندان قرار گرفته است. امیدواریم که ترجمه این کتاب، گامی مؤثر در راستای ارتقای سطح دانش فرآیندهای جداسازی غشایی در جامعه علمی کشور باشد.

فهرست مطالب

عنوان.....	صفحه.....
فصل اول: غشاهای سرامیکی و فرآیندهای غشایی	۱
۱-۱ مقدمه.....	۳
۱-۲ فرآیندهای غشایی.....	۱۰
۱-۲-۱ جداسازی گاز.....	۱۰
۱-۲-۲ آتش تبخیری.....	۱۳
۱-۲-۳ اسمز معکوس و نانو فیلتراسیون.....	۱۵
۱-۲-۴ اولترافیلتراسیون و میکروفیلتراسیون.....	۱۸
۱-۲-۵ دیالیز.....	۲۱
۱-۲-۷ اتماس دهنده‌های غشایی.....	۲۶
۱-۲-۸ واکنشگاه‌های غشایی.....	۳۰
۱-۳ منابع.....	۳۴
فصل دوم: ساخت غشاهای سرامیکی	۴۱
۲-۱ مقدمه.....	۴۳
۲-۲ ریخته‌گری دوغابی.....	۴۶
۲-۳ ریخته‌گری فیلمی.....	۴۷
۲-۴ پرس کاری.....	۴۸
۲-۵ اکستروژن.....	۴۹
۲-۶ فرآیند سل-ژل.....	۵۱
۲-۷ پوشش دهی غوطه‌وری.....	۵۴
۲-۸ نشست شیمیایی بخار (CVD).....	۵۵
۲-۹ تهیه غشاهای الیاف میان‌تهی سرامیکی.....	۵۷
۲-۹-۱ تهیه سوسپانسیون‌های تولید الیاف.....	۵۸

۷۱	۲-۹-۲ ریسندگی پیش‌ماده‌های الیاف میان‌تهی سرامیکی
۷۶	۲-۹-۳ سخت شدن حرارتی
۸۴	۲-۹-۴ مثال ۱: تهیه غشاهای الیاف میان‌تهی Al_2O_3 متخلخل
۹۳	۲-۹-۵ مثال ۲: تهیه غشاهای الیاف (میان‌تهی) ترکیبی TiO_2/Al_2O_3
۹۶	۲-۹-۶ مثال ۳: تهیه غشاهای الیاف میان‌تهی پروسکتی چگال
۹۹	۲-۱۰-۱ ضمیمه ۱: نیروهای سطحی
۹۹	۲-۱۰-۲ نیروهای الکترواستاتیک
۱۰۰	۲-۱۰-۳ تئوری DLVO و نیروهای واندروالس
۱۰۲	۲-۱۰-۴ استاتیک فضایی
۱۰۳	۲-۱۱ منابع
۱۰۹	فصل سوم: بررسی خدوشیات غشاهای سرامیک
۱۱۱	۳-۱ مقدمه
۱۱۲	۳-۲ ساختارشناسی سطح و برش‌های قه‌می غشاها
۱۱۹	۳-۳ غشاهای سرامیکی متخلخل
۱۱۹	۳-۳-۱ هم‌دماهای جذب/ دفع سطحی گاز
۱۲۳	۳-۳-۲ پرم‌پورومتری
۱۲۶	۳-۳-۳ تخلخل سنجی
۱۲۸	۳-۳-۴ تخلخل سنجی گرمایی
۱۳۲	۳-۳-۵ تکنیک‌های جانشین‌سازی مایع
۱۳۶	۳-۳-۶ روش تراوش
۱۴۶	۳-۳-۷ اندازه‌گیری میزان پس‌دهی (Rejection) جسم حل شده
۱۵۱	۳-۴ غشاهای سرامیکی متراکم
۱۵۲	۳-۴-۱ آزمایش نشت
۱۵۴	۳-۴-۲ اندازه‌گیری‌های تراوش
۱۶۲	۳-۴-۳ XRD

۱۶۴	۴-۳ مقاومت مکانیکی
۱۶۵	۳-۵ منابع
۱۷۱	فصل چهارم: انتقال و جداسازی گازها در غشاهای سرامیکی متخلخل
۱۷۳	۴-۱ مقدمه
۱۷۵	۴-۲ شاخص‌های عملکرد غشاهای جداسازی گاز
۱۷۸	۴-۳ غشاهای سرامیکی برای جداسازی گاز
۱۷۸	۴-۳-۱ غشاهای ژئولیتی
۱۸۲	۴-۳-۲ غشاهای سیلیکاتی
۱۸۶	۴-۳-۳ غشاهای کربنی
۱۸۷	۴-۴ مکانیسم‌های انتقال
۱۸۸	۴-۴-۱ جریان دسن و جریان لغزشی
۱۹۰	۴-۴-۲ جریان ویسکوزیته
۱۹۱	۴-۴-۳ جریان سطحی
۱۹۳	۴-۴-۴ تراکم مویینگی
۱۹۷	۴-۴-۵ پیکربندی یا پخش میکرومتخلخل
۱۹۹	۴-۴-۶ وقوع همزمان مکانیسم‌های مختلف
۲۰۳	۴-۵ اصلاح غشاهای سرامیکی متخلخل برای جداسازی گاز
۲۱۰	۴-۶ مدل مقاومت برای انتقال گاز در غشاهای مرکب
۲۱۱	۴-۶-۱ اثر لایه‌های نگهدارنده
۲۱۳	۴-۶-۲ اثر منافذ غیرژئولیتی
۲۱۶	۴-۶-۳ اثر پوششدهی
۲۱۹	۴-۷ طراحی سیستم
۲۱۹	۴-۷-۱ طرح‌های عملیاتی
۲۲۳	۴-۷-۲ معادلات طراحی شده برای فرآیندهای غشایی در جداسازی گاز
۲۳۰	۴-۸ منابع

فهرست جدول‌ها

عنوان	صفحه
جدول ۱-۱: دسته‌بندی غشاهای سرامیکی با استفاده از استاندارد IUPAC	۵
جدول ۱-۲: تفاوت بین دیالیز و الکترودیالیز	۲۳
جدول ۲-۱: واکنش‌های شیمیایی در CVD	۵۶
جدول ۲-۲: میزان تراکم و اعداد کوئوردیناسیون دسته‌بندی‌های منظم	۶۲
جدول ۲-۳: پراکنده‌سازهای رایج	۶۶
جدول ۲-۴: تغییرات میکروساختاری مشاهده شده در سخت شدن حرارتی حالت جامد	۸۰
جدول ۲-۵: کانیسهای انتقال جرم در فرآیند سخت شدن حرارتی	۸۱
جدول ۲-۶: نتایج تجربی به دست آمده برای ساخت غشای الیاف میان‌تهی Al_2O_3	۹۲
جدول ۲-۷: تغییرات نفوذپذیری گاز با تعداد دفعات پوشش دهی	۹۶
جدول ۳-۱: تخلخل مؤثر، اندازه منافذ و انحراف استاندارد (SD) یک غشای آلومینای بدون اصلاح سطحی و با اصلاح سطحی	۱۴۶
جدول ۴-۱: اطلاعات استفاده شده در شکل (۴-۱۱)	۲۱۸

فهرست شکل‌ها

عنوان	صفحه
شکل ۱-۱: غشای کامپوزیتی نامنقارن	۴
شکل ۱-۲: تغییرات اندازه منفذ برای یک غشای چهار لایه‌ی آلومینا با نگهدارنده‌ی کامپوزیتی	۴۰
شکل ۱-۳: تصویربرداری TEM از غشای Si(۴۰۰)	۶
شکل ۱-۴: تصویربرداری SEM از غشای سرامیکی	۷
شکل ۱-۵: برش مقطعی یک غشای مونولیتی چندکاناله	۸
شکل ۱-۶: مدول چندکاناله سرامیکی	۸
شکل ۱-۷: سیستم صفحه‌ای چندلایه تولید اکسیژن	۹
شکل ۱-۸: مدول‌های الیاف میان‌تهی سرامیکی. شرکت Hyflux- CEP Aration BV	۱۰
شکل ۱-۱۰: فرآیند آویشن جبری	۱۴
شکل ۱-۱۱: انحراف تعادل سطح بخار توسط غشا	۱۴
شکل ۱-۱۲: پدیده اسمز	۱۶
شکل ۱-۱۳: رابطه بین نوع فرآیند و اندازه منافذ غشا	۱۷
شکل ۱-۱۴: فرآیندهای فیلتراسیون	۲۱
شکل ۱-۱۵: دیاگرام دیالیز	۲۲
شکل ۱-۱۶: اساس الکترودیالیز	۲۴
شکل ۱-۱۷: الکترودیالیز برای صنعت سود سوزآور	۲۵
شکل ۱-۱۸: اساس کار تماس دهنده‌های غشایی	۲۷
شکل ۱-۱۹: فرآیند تقطیر با استفاده از الیاف میان‌تهی	۲۹
شکل ۱-۲۰: اساس کار واکنشگاه‌های غشایی	۳۱
شکل ۱-۲۱: همراه شدن غشا با کاتالیست‌ها	۳۳
شکل ۲-۱: نمودار کلی برای آماده‌سازی غشاهای سرامیکی	۴۴
شکل ۲-۲: فرآیند سه مرحله‌ای برای آماده‌سازی غشاهای سرامیکی الیاف میان‌تهی	۴۵
شکل ۲-۳: ریخته‌گری دوغابی	۴۶

- شکل ۴-۲: ریخته‌گری فیلمی ۴۸
- شکل ۵-۲: روش پرس کاری ۴۹
- شکل ۶-۲: روش اکستروژن ۵۰
- شکل ۷-۲: روش سل-ژل ۵۲
- شکل ۸-۲: خوشه‌های با انشعاب کم، سیستم‌های منفذی باریک‌تری را نسبت به خوشه‌های با انشعاب بیشتر ایجاد می‌کنند ۵۳
- شکل ۹-۲: نشست شیمیایی بخار (CVD) ۵۶
- شکل ۱۱-۱: کره‌ها می‌توانند در پیکربندی‌های مختلف، هر یک با چگالی تراکم متفاوت، در کنار هم قرار گیرند ۶۱
- شکل ۱۲-۲: فضای خالی در اتصال سه دیسک که با یک دیسک اتصالی با شعاع R_p پر شده است ۶۳
- شکل ۱۳-۲: کاهش در حجم محصور برای کره‌های بزرگ و کوچک ۶۴
- شکل ۱۴-۲: دستگاه ریسندگی الیاف میان تهی سرامیکی ۷۱
- شکل ۱۵-۲: الیاف میان تهی سرامیکی (تولید شده در LSCF) ۷۱
- شکل ۱۶-۲: تصویر SEM از یک غشای الیاف میان تهی سرامیکی با ساختار نامتقارن و یک لایه‌ی نگهدارنده‌ی متخلخل ساخته شده با روش تغییر فاز ۷۴
- شکل ۱۷-۲: (a): ساختار کلی یک غشای سرامیکی، (b): لایه‌های مختلف غشای سرامیکی ساخته شده در یک مرحله ۷۵
- شکل ۱۸-۲: مدل ساده شده‌ی فرآیند سوختن چسب ۷۸
- شکل ۱۹-۲: نمودار تراکم یا انقباض و افزایش سایز دانه‌ی پودری نسبت ۷۹
- شکل ۲۰-۲: مدل رشد دانه‌ی مواد پودری متخلخل ۸۲
- شکل ۲۱-۲: پایداری منفذ در دو بعد برای دو سطحی ۱۲۰ درجه‌ای ۸۴
- شکل ۲۲-۲: تصویر SEM الیاف میان تهی ساخته شده ۸۶
- شکل ۲۳-۲: تصویر SEM الیاف میان تهی ساخته شده از ذرات Al_2O_3 $0.3 \mu m$ ۸۷

- شکل ۲۴-۲: تأثیر دمای پخت بر استحکام مکانیکی و نفوذپذیری گازی غشای الیاف میانتهی تهیه شده با پودر $0.3 \mu\text{m}$ Al_2O_3 در نسبت $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{PESF}$ برابر با ضریب ۵، پخته شده ۸۹
- شکل ۲۵-۲: تأثیر مقدار Al_2O_3 بر استحکام مکانیکی و نفوذپذیری گازی غشای الیاف میانتهی تهیه شده با پودر $1/0 \mu\text{m}$ Al_2O_3 در دمای 1550°C ۹۱
- شکل ۲۶-۲: تصویر SEM از غشای الیافی کامپوزیتی $\text{TiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ با زمان‌های رسوب‌گیری متفاوت a و b ۱۷ ساعت، c و d ۴۸ ساعت، e و f ۹۶ ساعت، a و c و e نمایش سطح، b و d و f نمای برش مقطع ۹۴
- شکل ۲۷-۲: ED برای a: Al_2O_3 و آتاز b: TiO_2 Al_2O_3 ۹۵
- شکل ۲۸-۲: تصویر SEM از الیاف میانتهی LSCF (A) قبل از فرآیند سخت شدن حرارتی (B) بعد از فرآیند سخت شدن حرارتی (C) سطح غشا [۵۷] ۹۷
- شکل ۲۹-۲: الگوی ED در LSCF و غشای الیاف میانتهی پخته شده [۵۷] ۹۷
- شکل ۳۰-۲: تصویربرداری SEM از غشاهای الیاف میانتهی SCYb (A, B, C) قبل و (a, b, c) بعد از فرآیند سخت شدن حرارتی ۹۸
- شکل ۳۱-۲: مدل الکتریکی دو لایه‌ی بر روی یک زیرکون در مایعات قطبی ۱۰۰
- شکل ۱-۳: تصویر FESEM از غشای الترافیلتراسیون روی محافظ آلومینیومی ۱۱۴
- شکل ۲-۳: (a) تصویر SEM از برش مقطع یک غشا $\text{Si}(100)$ که بخشی از لایه $\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$ و لایه‌ی سیلیکا را با بزرگ‌نمایی بالا نشان می‌دهد. (b) ساپورت $\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3$ و لایه‌های $\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$ با بزرگ‌نمایی کمتر ۱۱۵
- شکل ۳-۳: تصویربرداری TEM از برش مقطع غشای $\text{Si}(100)$ که دو لایه‌ی $\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$ و سیلیکا را نشان می‌دهد. [۴۲] ۱۱۶
- شکل ۴-۳: تصاویر AFM غشاهای مشتق شده از اسید استیک آلومکسان که در دمای 1100°C پخته شده‌اند. ۱۱۸
- شکل ۵-۳: نمونه‌هایی از جذب فیزیکی هم‌دما ۱۲۰
- شکل ۶-۳: رابطه‌ی بین dp و dk ۱۲۱

- شکل ۳-۷: توزیع اندازه منافذ از یک غشاء دو لایه‌ی TiO_2 و ZnAl_2O_4 ۱۲۳
- شکل ۳-۸: اصول و ترتیب آزمایشگاهی پرم پورومتری..... ۱۲۵
- شکل ۳-۹: نفوذپذیری اکسیژن به عنوان تابعی از شعاع کلوین و توزیع اندازه منافذ (PDS) برای یک غشا ۷- آلومینا، تعیین شده به وسیله تکنیک Permporometry..... ۱۲۶
- شکل ۳-۱۰: حجم تجمعی جیوه به عنوان تابعی از فشار به کار رفته..... ۱۲۷
- شکل ۳-۱۱: توزیع اندازه منافذ برای چهار غشا سرامیکی M1-M2-M3-M4 در دمای ۱۲۰۰ درجه سلسیوس به وسیله تخلخل سنجی جیوه..... ۱۲۸
- شکل ۳-۱۲: گرمانگار DSC نشان‌دهنده توزیع باریک اندازه‌ی منافذ (A) و توزیع پهن اندازه‌ی منافذ (B)..... ۱۲۹
- شکل ۳-۱۳: توزیع اندازه منافذ برای غشاهای آلومینا با استفاده از روش تخلخل سنجی گرمایی و روش جذب/دفع گاز..... ۱۳۱
- شکل ۳-۱۴: شماتیک اصول روش پتانسیال جاب..... ۱۳۴
- شکل ۳-۱۵: منحنی نظری جریان فشار برای آزمایش نقطه جاب/آزمایش جابه‌جایی متوالی..... ۱۳۴
- شکل ۳-۱۶: جریان مایع در برابر فشار برای یک غشا سرامیکی با اندازه منافذ توزیع شده..... ۱۳۶
- شکل ۳-۱۷: غشا سرامیکی (A) ذرات تنگچین شده (B) مجاری پیچ و خم‌دار..... ۱۳۸
- شکل ۳-۱۸: مشخصات پس‌دهی برای غشایی با وزن مولکولی جدا شده شارپ در مقایسه با غشایی با وزن مولکولی جدا شده پراکنده..... ۱۴۷
- شکل ۳-۱۹: میزان پس‌دهی جسم حل شده..... ۱۴۹
- شکل ۳-۲۰: سل آزمایش با جریان عمودی..... ۱۵۰
- شکل ۳-۲۱: شیوه‌ی جریان متقاطع..... ۱۵۱
- شکل ۳-۲۲: تجهیزات آزمایشگاهی برای تست نشت گاز..... ۱۵۲
- شکل ۳-۲۳: تغییر فشار با زمان در تست نشت گاز در غشای الیاف میان‌تهی..... ۱۵۴
- شکل ۳-۲۴: دستگاه نشت اکسیژن..... ۱۵۶
- شکل ۳-۲۵: طرح شماتیک تجهیزات و اندازه‌گیری تراوش اکسیژن..... ۱۵۷

- شکل ۳-۲۶: طرح شماتیک سیستم اندازه گیری تراوش هیدروژن ۱۵۹
- شکل ۳-۲۷: نمودار طرح کلی تجهیزات آزمایشگاهی اندازه گیری تراوش هیدروژن ۱۶۱
- شکل ۳-۲۸: شار نشت هیدروژن اندازه گیری شده تحت غلظت‌های متفاوت هیدروژن در گاز تغذیه و دماهای مختلف ۱۶۲
- شکل ۳-۲۹: الگوهای XRD از مواد خام LSCF و غشاهای الیاف میان تهی ۱۶۳
- شکل ۴-۱: فرآیند غشایی ۱۷۵
- شکل ۴-۲: دیاگرام تجهیزات CVD ۱۸۵
- شکل ۴-۳: طرح شماتیک از نفوذپذیری در مقابل فشار نسبی در مورد انتشار چند لایه‌ی و تراکم موبینگ. ماکسیمم بردار تراکم موبینگ را نشان می‌دهد ۱۹۴
- شکل ۴-۴: شش طرح متفاوت از نفوذ چند لایه‌ای جریان موبینگ و شرایط مرزی آنها ۱۹۶
- شکل ۴-۵: مدل حرکت گاز بدون یک لوله موبین ۲۰۰
- شکل ۴-۶: قطر سینتیکی در مقابل نفوذپذیری Si^{400} و Si^{600} ۲۰۷
- شکل ۴-۷: دیاگرام شماتیک از مرزیت‌های مختلف نگهدارنده‌ی در محفظه اتوکلاو ۲۰۸
- شکل ۴-۹: مقاومت‌های موازی ۲۱۳
- شکل ۴-۱۰: مقاومت‌ها در ترکیب‌بندی موازی ۲۱۶
- شکل ۴-۱۱: اثر نسبت سطح روی انتخاب‌گزینی غشای رئولیتی پوشش‌دار و بدون پوشش ۲۱۸
- شکل ۴-۱۲: اختلاط کامل ۲۲۰
- شکل ۴-۱۳: جریان متقاطع ۲۲۱
- شکل ۴-۱۴: جریان پلاگم موازی ۲۲۲