

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

بیوسرنگ‌های واکنش ناپذیر

(اکسیدی و نیراکسیدی)

تألیف

دکتر عبدالرضا شیخ‌مهدی مسگر

دکتر زهرا محمدی

(اعضای هیأت علمی دانشگاه تهران)



شماره مسلسل ۷۵۸۲

شماره ۳۳۶۸

انتشارات دانشگاه تهران

سرشناسه : محمدی، زهرا، ۱۳۳۹
عنوان و نام پدیدآور : بیوسرامیک‌های واکنش‌ناپذیر (اکسیدی و غیر اکسیدی) / تألیف زهرا محمدی، عبدالرضا شیخ مهدی مسگر.
مشخصات نشر : تهران : دانشگاه تهران، ۱۳۹۱.
مشخصات ظاهری : ۲۳۰ ص: جدول، نمودار.
فروخت : انتشارات دانشگاه تهران، ۳۳۶۸.
شابک : 978-964-03-6463-5
نوع سند : فایده : جمعیت فهرست‌نویسی : کتابخانه.
پادداشت : بیوسرامیک در پزشکی.
موضوع : مواد زیست پزشکی.
شناسه اثر : شیخ مهدی مسگر، عبدالرضا.
شناسه افزوده : دانشگاه تهران.
رده‌بندی کنگره : R ۸۵۷ / ۴۳۰۱۶۹۲
رده‌بندی دیویی : ۶۰۱/۲۰۱
شماره کتابشناسی ملی : ۳۰۰۴۲

این کتاب مشمول قانون حمایت از حقوق مؤلفان و مصنفان است. تکثیر کتاب به هر روش اعم از فتوکپی، ریسوگرافی، تهیه فایل‌های pdf، لوح فشرده، بازنویس در وبلاگ‌ها، سایت‌ها، مجله‌ها و کتاب، بدون اجازه کتبی ناشر مجاز نیست و موجب پیگرد قانونی می‌گردد.

ISBN: 978-964-03-6463-5



9 789640 364635

عنوان: بیوسرامیک‌های واکنش‌ناپذیر (اکسیدی و غیر اکسیدی)

تألیف: دکتر زهرا محمدی دکتر عبدالرضا شیخ مهدی مسگر

ویراستار: فرشاد رضون

نوبت چاپ: اول

تاریخ انتشار: ۱۳۹۲

شمارگان: ۱۰۰۰ نسخه

ناشر: مؤسسه انتشارات دانشگاه تهران

چاپ و صحافی: مؤسسه انتشارات دانشگاه تهران

«مسئولیت صحت مطالب کتاب یا مؤلفان است»

«کلیه حقوق برای ناشر محفوظ است»

بها: ۱۲۰۰۰۰ ریال

خیابان کارگر شمالی - خیابان شهید قرشی مقدم - مؤسسه انتشارات دانشگاه تهران

پست الکترونیک: press@ut.ac.ir - ترمیم: <http://press.ut.ac.ir>

پخش و فروش: تلفکس ۸۸۰۱۲۰۷۸

بخش اول - مبانی سرامیک‌های پیشرفته و بیوسرامیک‌ها

فصل اول - آشنایی با سرامیک‌های پیشرفته

دسته‌بندی، ساختار و فرآیند ساخت

۳	۱-۱ - تعریف و دسته‌بندی
۶	۱-۱-۱ - سرامیک‌های پیشرفته سازه‌ای
۶	۱-۱-۲ - سرامیک‌های پیشرفته عملکردی
۶	۱-۲ - ساختار
۷	۱-۲-۱ - پیوند اتمی
۹	۱-۲-۲ - ساختارهای بلوری
۱۳	۱-۲-۳ - چندریختی و استحاله فازی
۱۵	۱-۳ - تک‌بلورها و چندبلورها
۱۶	۱-۴ - فرآیند ساخت
۱۶	۱-۴-۱ - سرامیک‌های تک‌بلور
۱۷	۱-۴-۲ - سرامیک‌های چندبلوری
۱۸	۱-۴-۲-۱ - تهیه پودر
۲۵	۱-۴-۲-۲ - شکل‌دادن
۲۶	۱-۴-۲-۳ - متراکم‌کردن (فنجوشی)
۳۲	۱-۴-۲-۴ - فرآیندهای نهایی
۳۳	مراجع

فصل دوم - بیوسرامیک‌ها

(تعریف و دسته‌بندی بر مبنای روش نوین پیشنهادی این کتاب)

۳۵	۲-۱- تعریف و دسته‌بندی
۳۷	۲-۲- دسته‌بندی نوین بیوسرامیک‌ها
۴۲	مراجع

فصل سوم - خواص مکانیکی سرامیک‌های پیشرفته

(با تأکید بر بیوسرامیک‌ها)

۴۵	۳-۱- کرنش - کرنش
۴۸	۳-۲- شکست سرامیک‌ها
۵۰	۳-۲-۱- عیوب در سرامیک‌ها
۵۱	۳-۲-۲- فاکتور شکست
۵۴	۳-۳- ترک خوردگی
۵۷	۳-۴- خستگی
۶۰	۳-۵- روش‌های اندازه‌گیری خواص مکانیکی
۶۰	۳-۵-۱- ضریب یانگ
۶۱	۳-۵-۲- استحکام
۶۲	۳-۵-۳- چقرمگی شکست
۶۲	۳-۵-۳-۱- روش خمش
۶۳	۳-۵-۳-۲- روش فرورفتگی
۶۶	۳-۵-۳-۲-۱- روش مستقیم
۶۶	۳-۵-۳-۲-۲- روش غیرمستقیم
۶۷	۳-۵-۳-۲-۳- روش ترکیبی
۶۷	۳-۵-۳-۲-۴- روش نانوفرورفتگی
۶۸	۳-۶- آمار در طراحی
۷۲	۳-۶-۱- دیاگرام استحکام - احتمال - زمان
۷۳	۳-۷- سایش

۷۳	۳-۷-۱- ضریب اصطکاک
۷۴	۳-۷-۲- سازوکارهای سایش
۷۵	۳-۷-۳- اندازه‌گیری سایش
۷۶	۳-۷-۴- سایش در پروتزیهای مفصل ران
۷۹	مراجع

بخش دوم- بیوسرامیک‌های واکنش‌ناپذیر اکسیدی

فصل چهارم- بیوسرامیک‌های آلومینایی

۸۳	۴-۱- مقدمه
۸۴	۴-۲- مشخصات نامی
۸۵	۴-۳- ساختار
۸۶	۴-۴- فراوری و تولید پودر
۸۷	۴-۴-۱- تولید آلومینا با خلوص بالا
۸۹	۴-۴-۲- انواع آلومینای تجاری
۹۰	۴-۵- ایمپلنت‌های آلومینایی
۹۰	۴-۵-۱- بیوسرامیک‌های آلومینایی تک‌بلور
۹۱	۴-۵-۲- بیوسرامیک‌های آلومینایی چندبلوری
۹۳	۴-۵-۲-۱- جایگاه در جایگزینی مفصل ران
۹۶	۴-۵-۲-۲- فرایند ساخت
۹۹	۴-۵-۲-۳- خواص مهندسی
۹۹	۴-۵-۲-۳-۱- خواص فیزیکی و مکانیکی
۱۰۳	۴-۵-۲-۳-۲- خواص تریبولوژیکی
۱۰۵	۴-۵-۲-۴- نتایج بالینی سطوح مفصلی آلومینایی
۱۱۱	مراجع

فصل پنجم - بیوسرامیک‌های زیرکونیایی

۱۱۵	۵-۱- مقدمه
۱۱۶	۵-۲- منابع تأمین و تولید
۱۱۸	۵-۳- ساختار
۱۱۹	۵-۳-۱- فرآیند تثبیت زیرکونیا
۱۲۱	۵-۳-۲- دیاکسید فازی زیرکونیا - اکسیدهای تثبیت‌کننده
۱۲۵	۵-۴- خواص مکانیکی
۱۲۵	۵-۴-۱- چقرمگی در اثر وقوع استحاله
۱۲۶	۵-۴-۲- چقرمگی شکست سرامیک‌های زیرکونیایی
۱۲۸	۵-۵- تاب در دمای پایین
۱۲۳	۵-۱- زیست‌سازگاری نیمه‌پایدار $ZrO_2-Y_2O_3$
۱۲۶	۵-۶- قابلیت‌های توسعه ایملنت‌های زیرکونیایی
۱۳۷	۵-۶-۱- ترکیب و ریزساختار
۱۳۷	۵-۶-۲- جدایش یا تمکیک
۱۳۷	۵-۶-۳- فرآیند تولید
۱۳۹	۵-۶-۴- استریل کردن
۱۳۹	۵-۷- چه آینده‌ای برای زیرکونیا متصور است؟
۱۴۰	۵-۷-۱- زیرکونیای تثبیت‌شده با سریا
۱۴۲	۵-۷-۲- زیرکونیای به‌طور جزئی تثبیت‌شده با منیزیا MgO
۱۴۲	۵-۷-۳- کامپوزیت‌های دوفازی زیرکونیا
۱۴۶	۵-۷-۴- نانو کامپوزیت‌های زیرکونیایی
۱۴۶	۵-۷-۴-۱- کامپوزیت‌های میکرو - نانو
۱۴۹	۵-۷-۴-۲- کامپوزیت‌های نانو - نانو
۱۴۹	۵-۷-۵- لایه زیرکونیایی به کمک فرآیند اصلاح سطح
۱۵۰	۵-۷-۶- کاربردهای بیوسرامیک زیرکونیایی
۱۵۰	۵-۷-۶-۱- ایملنت مفصل
۱۵۱	۵-۷-۶-۲- کاربردهای دندان‌دانی
۱۵۴	مراجع

بخش سوم - بیوسرامیک‌های واکنش‌ناپذیر غیراکسیدی

فصل ششم - بیومواد کربنی

۱۶۳	۶-۱- مقدمه
۱۶۳	۶-۲- تاریخچه استفاده از کربن در کاربردهای پزشکی
۱۶۴	۶-۳- ساختار کربن
۱۶۸	۶-۴- انواع کربن
۱۷۱	۶-۵- خواص فیزیکی و مکانیکی انواع کربن
۱۷۳	۶-۶- کربن تف‌کافتی
۱۷۳	۶-۱- فرآیند تهیه کربن تف‌کافتی
۱۷۵	۶-۲- تولید مواد پوشش‌دهنده با کربن تف‌کافتی
۱۷۷	۶-۳- خواص فیزیکی کربن تف‌کافتی
۱۷۸	۶-۴- شیمی سطوح کربن
۱۷۹	۶-۵- زیست‌سازگاری کربن تف‌کافتی
۱۸۰	۶-۷- پوشش‌های کربنی الماس‌گونه
۱۸۱	۶-۷-۱- ترکیب و ساختار
۱۸۳	۶-۷-۲- خواص مهندسی پوشش‌های کربنی الماس‌گونه
۱۸۵	۶-۷-۳- روش‌های لایه‌نشانی کربن الماس‌گونه
۱۸۵	۶-۷-۳-۱- لایه‌نشانی به‌کمک باریکه یونی
۱۸۵	۶-۷-۳-۲- لایه‌نشانی لیزر بالسی
۱۸۵	۶-۷-۳-۳- لایه‌نشانی شیمیایی تقویت‌شده با پلاسما در فاز بخار
۱۸۶	۶-۷-۴- زیست‌سازگاری پوشش‌های کربن الماس‌گونه
۱۸۷	۶-۸- کاربردهای انواع کربن در پزشکی
۱۸۷	۶-۸-۱- کربن تف‌کافتی (LTI)
۱۸۸	۶-۸-۲- کربن همسانگرد دما خیلی پایین (ULTI)
۱۹۰	۶-۸-۳- پوشش‌های کربن الماس‌گونه (DLC)
۱۹۲	۶-۸-۴- شکل‌های دیگر کربن
۱۹۳	مراجع

فصل هفتم - سرامیک‌های نیتریدی و کاربیدی

۱۹۹	۷-۱- مقدمه
۲۰۰	۷-۲- نیترید سیلیسیم
۲۰۰	۷-۲-۱- ساختار بلوری
۲۰۱	۷-۲-۲- تولید سرامیک‌های نیترید سیلیسیم
۲۰۱	۷-۲-۲-۱- اتصال واکنشی
۲۰۲	۷-۲-۲-۲- تفجوشی
۲۰۳	۷-۲-۲-۳- تفجوشی به کمک اعمال فشار
۲۰۳	۷-۲-۳- خواص مکانیکی (فرآیند چقرمگی در جا)
۲۰۴	۷-۲-۴- خواص سایشی
۲۰۷	۷-۲-۵- پایداری و مدت در شرایط <i>in vivo</i>
۲۰۷	۷-۲-۵-۱- آلودگی
۲۰۸	۷-۲-۵-۲- اصلاح سطح
۲۰۸	۷-۲-۶- پدیده تخریب یا سیر
۲۰۹	۷-۲-۷- زیست‌سازگاری
۲۰۹	۷-۲-۸- کاربردهای بیوسرامیک‌های نیترید سیلیسیم در ارتوپدی
۲۱۱	۷-۳- کاربید سیلیسیم
۲۱۱	۷-۳-۱- ساختار
۲۱۳	۷-۳-۲- تولید سرامیک‌های کاربید سیلیسیم
۲۱۴	۷-۳-۳- کاربرد کاربید سیلیسیم در پزشکی
۲۱۵	۷-۴- پوشش‌های سخت نیتریدی
۲۱۶	۷-۴-۱- پوشش‌های نیترید تیتانیم در پروتزهای مفصلی
۲۱۶	۷-۴-۲- روش‌های لایه‌نشانی پوشش‌های نیترید تیتانیم
۲۱۹	مراجع
۲۲۳	فهرست راهنما

پیش‌گفتار

طی چند دهه اخیر ظهور بیوسرامیک‌ها به‌منظور استفاده در کاربردهای پزشکی و دندان‌پزشکی توانسته است همگام با جنبه‌های نوین و رویکردهای نوپدید مرتبط درمانی، تأثیری شگرف بر فناوری‌های مراقبت سلامت بر جای گذارد. آن‌چنان‌که عملکرد مطلوب بالینی تعدادی از بااهمیت‌ترین وسایل پزشکی زیست‌سازگار بر استفاده از بیومواد سرامیکی استوار شده است.

عملکرد مطلوب بیوسرامیک‌ها در بدن انسان کاربردهای گوناگونی را سبب شده است؛ کاربردهایی که بخشی از برهم‌کنش آنها با بافت بوده و بر این اساس گستره به‌نسبت گسترده‌ای از رفتار زیستی را نمایان ساخته‌اند. با کمترین میزان پاسخدهی در بیوسرامیک‌های خنثی یا بی‌اثر تا واکنش‌پذیری شدید در بیوسرامیک‌های زیست‌تخریب‌پذیر. حوزه‌های تخصصی پزشکی همچون ارتوپدی و قلب و عروق از جمله حوزه‌های به‌شمار می‌روند که بیوسرامیک‌ها در آنجا نقش ایفا می‌کنند.

در سال‌های اخیر مهندسی بافت و رویکرد بازسازی بافت‌ها در پزشکی و به‌ویژه بافت استخوان، توجه به‌داری زیادی بیوسرامیکی به عنوان بستر مناسب سلول‌ها جلب شده است به‌طوری‌که پیشرفت‌های به‌وفای بیوسرامیک‌ها در مهندسی بافت استخوان در ۱۵ سال گذشته نویدبخش ایجاد شیوه‌های نوین جایگزینی این بافت در ضایعات بزرگ استخوانی بوده است. در این راستا، بیشتر موضوعات پژوهشی و توجهات به سمت بیوسرامیک‌های زیست‌تخریب‌پذیر معطوف شده است. این گروه از بیوسرامیک‌ها مد نظر کتاب حاضر نیست.

این اثر به معرفی و بررسی بیوسرامیک‌های واکنش‌پذیر، خنثی یا تقریباً بی‌اثر/ که با کمترین اثرگذاری بر بافت و تأثیرپذیری از بافت همراه هستند، می‌پردازد. بیوسرامیک‌هایی که از دیدگاه مهندسی در مسیر طراحی و تولید از پیچیدگی‌ها و ظرافت‌های خاصی برخوردارند و از لحاظ بالینی به عنوان اجزای تشکیل‌دهنده تعدادی از ایمپلنت‌های بااهمیت همچون قطعات مفصلی پروتزهای مفاصل یا سطوح خون‌سازگار دریچه‌های مصنوعی قلب، جایگاه رفیعی را در بین بیومواد اکتساب‌پذیر به خود اختصاص داده‌اند.

بخش اول این کتاب به مبانی سرامیک‌های پیشرفته و آشنایی با بیوسرامیک‌ها اختصاص داده شده است. این بخش در سه فصل، با مبانی سرامیک‌های پیشرفته مشتمل بر ساختار، روش‌های ساخت و حوزه‌های بااهمیت تولید، در فصل اول آغاز شده و پس از دسته‌بندی بیوسرامیک‌ها در فصل دوم، خواص مکانیکی سرامیک‌های پیشرفته را با تأکید بر خواص بیوسرامیک‌ها، در فصل سوم مورد بررسی قرار می‌دهد. بخش اول را می‌توان یک دوره درسی فشرده برای آشنایی با مبانی سرامیک‌های پیشرفته در نظر گرفت.

بر مبنای روش نوین دسته‌بندی بیوسرامیک‌ها به دو دسته اصلی «واکنش‌پذیر» و «واکنش‌ناپذیر» که در فصل دوم ارائه شده است ما بیوسرامیک‌های واکنش‌ناپذیر را به دو گروه «بیوسرامیک‌های واکنش‌ناپذیر اکسیدی» و «بیوسرامیک‌های واکنش‌ناپذیر غیراکسیدی» دسته‌بندی کرده‌ایم.

بیوسرامیک‌های واکنش‌ناپذیر اکسیدی، بخش دوم کتاب را تشکیل می‌دهند. فصل‌های چهارم و پنجم که به بیوسرامیک‌های آلومینایی و بیوسرامیک‌های زیرکونیایی می‌پردازند، به این بخش تعلق دارند. در فصل پنجم تلاش شده است حوزه‌های پژوهشی جدیدی که در زمینه استفاده از بیوسرامیک‌های زیرکونیایی طی سال‌های اخیر مطرح شده‌اند به‌طور مبسوط مورد بررسی قرار گیرد.

در این سوم، بیوسرامیک‌های واکنش‌ناپذیر غیراکسیدی معرفی شده است. انواع کربن و به‌طور خاص بیومواد کربنی از حنیف مهندسی، و ارائه دسته‌بندی کاملی از محصولات متنوع کربنی با کاربرد پزشکی در فصل ششم بیان شده است. سرامیک‌های نیتریدی و کاربیدی به دلیل برخورداری از خواص برجسته و بااهمیت برای کاربردهای پزشکی فقط در همین سال‌های اخیر مورد توجه واقع شده‌اند. با اینکه نتایج بالینی بیان شده در مورد کاربرد آنها در پزشکی وجود ندارد اما نتایج کوتاه‌مدت چشم‌گیر آنها، نشان‌دهنده پدیداری و پتانسیل این گروه در سال‌های آتی به عنوان وسایل پزشکی پیشرفته خواهد بود. این گروه در فصل هفتم مطرح شده است.

نویسندگان این کتاب در ۲۰ فصل گذشته با انواع و جنبه‌های مختلف بیوسرامیک‌ها سروکار داشته‌اند. نبود کتابی که به‌طور خاص به سرامیک‌های واکنش‌ناپذیر بپردازد، همواره احساس می‌شد. بر این باوریم که کتاب حاضر برای دست‌اندرکاران وسایل و تجهیزات پزشکی، اساتید و دانشجویان مهندسی رشته‌های مهندسی پزشکی، مهندسی مواد، مهندسی سرامیک و نیز رشته‌های تخصصی پزشکی همچون ارتوپدی، دندان‌پزشکی و ... و البته تمامی علاقه‌مندان به این حوزه از علم کاربردی سودمند است. مطالب بیان شده در فصل‌های مختلف این کتاب بطور ویژه تعدادی از سرفصل‌های درس بیوسرامیک‌ها در دوره‌های کارشناسی ارشد و دکتری رشته مهندسی پزشکی- بیومواد را تحت پوشش قرار می‌دهد.

صرف نظر از تلاشی که در راستای ارائه کتابی موجز و معتبر صورت گرفت، به‌شک وجود اشتباه هم‌چنان محتمل است. آگاهی نویسندگان از این موارد توسط خوانندگان محترم، بدون هر قدردانی، در جهت رفع نقایص و تکمیل مطالب و مباحث برای چاپ‌های آتی راهگشا خواهد بود.

دکتر عبدالرضا شیخ‌مهدی مسگر

دکتر زهرا محمدی

اعضای هیأت علمی دانشگاه تهران

دانشکده علوم و فنون نوین

آزمایشگاه بیوسرامیک و ایمپلنت