

زیست‌مواد فلزی و پوشش‌های زیستی

(خواص و کاربردهای پزشکی)

مؤلفین:

مهندس مهین‌الدین طانعلی‌پور

دانشکده مهندسی مواد، دانشگاه صنعتی سهند- تبریز

دکتر جعفر خلیل‌علاهی

استاد دانشکده مهندسی مواد، دانشگاه صنعتی سهند- تبریز



- سرشناسه : سلطانعلی پور، مهدیه، ۱۳۶۷ -
- عنوان و نام پدیدآور: زیست مواد فلزی و پوشش های زیستی (خواص و کاربردهای پزشکی)/مؤلفین مهدیه سلطانی پور، جعفر خلیل علافی.
- مشخصات نشر : تبریز : فروزش، ۱۳۹۸.
- مشخصات ظاهری : ۲۲۶ ص: مصور، جدول، نمودار.
- شابک : ۹۷۸-۹۶۴-۵۴۷-۷۹۹-۶
- وضعیت فهرست نویسی : فیبا
- یادداشت : کتابنامه:ص: ۱۴۱.
- موضوع : مواد زیست پزشکی
- Biomedical materials
- شناسه افزوده : خلیل علافی، جعفر، ۱۳۴۴ -
- رده بندی کنگره : R ۸۵۷
- رده بندی دیویی : ۶۱۰/۲۸۴
- شماره کتابشناسی ملی : ۵۷۱۱۵۴۳

نام کتاب:

زیست مواد فلزی و پوشش های زیستی

(خواص و کاربردهای پزشکی)

مؤلفین:

مهدی پور، مهدیه سلطانعلی پور

دکتر جعفر خلیل علافی

کد کتاب: ۱۵۰

ناشر: انتشارات فروزش

حروفچینی: واحد کامپیوتر انتشارات فروزش

چاپ و صحافی: فروزش

تیراژ: ۱۰۰۰ نسخه

نوبت چاپ: اول ۱۳۹۸

شابک: ۹۷۸-۹۶۴-۵۴۷-۷۹۹-۶

قیمت: ۳۰۰۰۰۰ ریال

پیشگفتار

زیست‌مواد فلزی از اهمیت ویژه‌ای در توسعه‌ی ابزارهای پزشکی و ایمپلنت‌ها برخوردار هستند. این مواد نه تنها در جایگزینی بافت سخت نظیر ایمپلنت‌های دندانی، اتصالات مفصل ران، صفحات استخوانی و ابزارهای تثبیت ستون فقرات بلکه در ترمیم بافت نرم مانند رگ‌های خونی نیز به کار می‌روند. عمده‌ترین زیست‌مواد فلزی که می‌توان به آن‌ها اشاره کرد، عبارتند از: فولادهای زنگ‌نزن، آلیاژهای کبالت-کروم، آلیاژهای حافظه‌دار NiTi، پلاتینیم، تیتانیم و آلیاژهای آن. از آنجایی که حتی ایمن‌ترین زیست‌مواد فلزی، عملکرد زیستی کاملاً رضایت بخشی از خود نشان نمی‌دهند، بنابراین برای دستیابی به خواص زیستی مورد نیاز نظیر القای استخوان یا سازگاری با خون، اصلاح سطح و تشکیل پوشش‌های زیستی روی سطوح زیست‌مواد فلزی امری اجتناب‌ناپذیر است. با توجه به کمبود مطالب علمی در زمینه‌ی زیست‌مواد فلزی و به‌شش‌های زیستی، مؤلفین تلاش نموده‌اند که جدیدترین یافته‌های خود و محققین را با دورت کتابی جامع منتشر نمایند. مطالعه‌ی این کتاب برای کلیه محققین، متخصصین، مهندسين، دانشکان، اساتید و دانشجویان مهندسی و پزشکی که در حوزه‌ی زیست‌مواد و واکنش‌های احتمالی بین زیست‌مواد و بافت‌های زنده تحقیق و یا تحصیل می‌نمایند، توصیه می‌شود.

درک خواص بافت‌های زیستی و اندام‌ها در توسعه‌ی زیست‌مواد فلزی همراه با عملکرد زیستی ضروری است. در این کتاب پیشرفت‌های اخیر در انش‌بنیادی فعلی در رابطه با نیاز به زیست‌مواد، زیست‌مواد فلزی، پوشش‌های زیستی، خواص و کاربردهای پزشکی آن‌ها ارائه شده است. در فصل اول، به معرفی زیست‌مواد، واکنش‌های زنجیره‌ای در کاشت زیست‌مواد و ویژگی‌های مهم آن‌ها پرداخته شده است، به عبارت دیگر خلاصه‌ای از اهمیت مطالعه‌ی علم زیست‌مواد با زبانی ساده ارائه شده است. فصل دوم تحت عنوان زیست‌مواد فلزی دایمی، انواع مختلف زیست‌مواد فلزی دایمی، ترکیب شیمیایی، خوردگی، خواص مکانیکی و رفتار زیستی آن‌ها را تشریح می‌کند. در فصل سوم انواع مختلف زیست‌مواد فلزی زیست‌تخریب‌پذیر به اختصار معرفی شده و مکانیسم تخریب، ترکیب شیمیایی، خوردگی، خواص مکانیکی و رفتار زیستی در آن‌ها بررسی شده است. در فصل انتهایی کتاب به‌طور اجمالی، انواع پوشش‌های زیستی از جمله نانومواد کربنی، کلسیم فسفات‌ها، کلسیم سیلیکات‌ها، شیشه‌های زیست‌فعال، مواد آنتی‌باکتریال و غیره تشریح شده است. نانومواد

کربنی به علت خون‌سازگاری بالا، بیشترین کاربرد را در بافت‌های قلبی-عروقی دارند. پوشش‌هایی نظیر کلسیم فسفات‌ها به‌طور طبیعی در ساختارهای زیستی مختلف شامل دندان و استخوان یافت می‌شوند. از جمله این پوشش‌ها می‌توان به هیدروکسی آپاتیت اشاره کرد که از نزدیک‌ترین شباهت از نظر ترکیب شیمیایی با بافت طبیعی استخوان (یکپارچگی استخوان)، زیست‌سازگاری عالی، زیست‌فعالی و زیست‌تخریب‌پذیری برخوردار است. زیست‌فعالی و زیست‌تخریب‌پذیری ترکیبات کلسیم سیلیکاتی، از ویژگی‌های مطلوب این ترکیبات در کاربردهای ترمیم بافت استخوانی بشمار می‌روند. وقتی شیشه‌های زیست‌فعال در بدن گشت می‌شوند، به آسانی با مایعات فیزیولوژیکی بدن واکنش می‌دهند و از طریق فعالیت سلولی، پیوندی قوی با بافت‌های نرم و سخت تشکیل می‌دهند. از جمله شیشه‌های زیست‌فعال، می‌توان به شیشه‌ی زیستی 45S5، اشاره کرد که پیوند بسیار قوی با استخوان تشکیل می‌دهد. این پیوند بدون شکست استخوان، از بین نمی‌رود. آلودگی ناشی از باکتری یکی از مسائل مهم در زمینه‌های مختلف (از استفاده‌های روزمره تا مأموریت‌های فضایی و از پزشکی تا حسگرهای زیستی) است. خصوصاً در مورد ایمپلنت‌های پزشکی، این مواد خارجی، مکان‌های ترجیحی برای رشد باکتری و میکروب هستند که می‌توانند منجر به عفونت در عضو مصنوعی شوند؛ بنابراین رای حل این مشکلات استفاده از مهم‌ترین عوامل ضد باکتری غیر آلی (Zn, Cu, Au, Ag) برای ایمپلنت‌ها ضرورت پیدا می‌کند که در این کتاب توضیح داده شده است.

امید است این کتاب بتواند قدمی هرچند کوچک در توسعه دانش فناوری زیست‌مواد برای دستیابی به زیست‌ماده‌ی ایده‌آل با حداقل اثرات جانبی را داشته باشد. از محققین، اساتید، دانشجویان و خوانندگان عزیزی که مؤلفین را با ذکر اشکالات احتمالی و پیشنهادهای خود یاری می‌نمایند، تشکر و قدردانی می‌شود. در انتها از همکار ارجمند جناب آقای دکتر محمدرضا اطمینان فر به خاطر بازبینی این اثر کمال تشکر و قدردانی را معمول می‌دارد.

مهدیه سلطانه‌لی‌پور، جعفر خلیل‌علافی

زمستان ۱۳۹۷

فهرست مطالب

۱	فصل اول: زیست مواد
۲	۱-۱ مقدمه
۵	۲-۱ تعریف زیست مواد
۷	۳-۱ واکنش های زنجیره ای در کاشت زیست مواد
۹	۴-۱ ویژگی های مهم در ایمپلنت های فلزی
۱۰	۱-۴-۱ زیست سازگاری در ایمپلنت های فلزی
۱۱	۲-۴-۱ مقاومت خوردگی در ایمپلنت های فلزی
۱۳	۳-۴-۱ خواص مکانیکی در ایمپلنت های فلزی
۱۷	۴-۴-۱ تاو و کشش در ایمپلنت های فلزی
۱۹	۵-۴-۱ یکپارچگی با بافت جاندار
۲۱	فصل دوم: ایمپلنت های فلزی دایمی
۲۲	۱-۲ مقدمه
۲۶	۲-۲ فولادهای زنگ نزن
۳۰	۱-۲-۲ ترکیب شیمیایی و خوردگی فولادهای زنگ نزن
۳۲	۲-۲-۲ زیست سازگاری عناصر موجود در فولادهای زنگ نزن
۳۶	۳-۲-۲ زیست سازگاری فولاد زنگ نزن ۳۱۶L
۳۶	۴-۲-۲ خواص مکانیکی عمده در فولادهای زنگ نزن
۳۷	۳-۲ آلایزهای پایه کبالت
۳۹	۱-۳-۲ ترکیب شیمیایی و خوردگی آلایزهای پایه کبالت
۴۰	۲-۳-۲ زیست سازگاری عناصر موجود در آلایزهای پایه کبالت
۴۲	۳-۳-۲ خواص مکانیکی عمده در آلایزهای پایه کبالت
۴۳	۴-۲ تیتانیوم و آلایزهای آن
۴۴	۱-۴-۲ ترکیب شیمیایی آلایزهای تیتانیوم و طراحی ریز ساختار
۴۸	۲-۴-۲ گریدهای تیتانیوم خالص
۵۰	۳-۴-۲ زیست سازگاری عناصر موجود در آلایزهای تیتانیوم
۵۱	۴-۴-۲ خواص مکانیکی عمده در آلایزهای تیتانیوم

۵۳	۵-۴-۲ مکانیسم‌های پیوند بالاستخوان در آلیاژهای تیتانیوم
۵۴	۵-۲ آلیاژهای حافظه‌دار NiTi
۵۷	۱-۵-۲ خوردگی آلیاژهای حافظه‌دار NiTi
۵۷	۲-۵-۲ زیست‌سازگاری آلیاژهای حافظه‌دار NiTi
۵۸	۳-۵-۲ آزمایش‌های ایمپلنت‌های NiTi درون بدن موجودات زنده
۵۹	۴-۵-۲ خواص مکانیکی عمده در آلیاژهای حافظه‌دار NiTi
۶۱	۶-۲ مسائل و چالش‌های کنونی
۶۵	فصل سوم: ایمپلنت‌های فلزی زیست‌تخریب‌پذیر
۶۶	۳- مقدمه
۶۶	۲-۳ مکانیسم‌های تخریب
۶۸	۳-۳ ابزارهای فلزی زیست‌تخریب‌پذیر ایده‌آل
۶۹	۴-۳ مقایسه‌ی فلزهای دایمی و زیست‌تخریب‌پذیر
۶۹	۵-۳ منیزیم و آلیاژهای آن
۷۱	۱-۵-۳ خوردگی منیزیم و آلیاژهای آن
۷۱	۲-۵-۳ زیست‌سازگاری عناصر موجود در آلیاژهای منیزیم
۷۵	۳-۵-۳ خواص مکانیکی آلیاژهای منیزیم
۷۷	۶-۳ آلیاژهای پایه آهن
۷۸	۷-۳ آلیاژهای پایه روی
۷۹	۸-۳ تنگستن
۷۹	۹-۳ شیشه‌های فلزی بالک پایه Zn و Sr، Ca
۸۱	فصل چهارم: پوشش‌های زیستی
۸۲	۴-۱ مقدمه
۸۳	۴-۲ نانومواد پایه کربنی
۸۵	۴-۲-۱ گرافن (G) و اکسیدهای آن
۹۴	۴-۲-۲ کربن پایرولیتیک
۹۵	۴-۲-۳ نانولوله‌های کربنی (CNT)
۹۸	۴-۲-۴ کربن شبه الماس (DLC)

۹۹	۵-۲-۴ نانوبلورهای الماس (NCD)
۱۰۱	۳-۴ پوشش‌های کلسیم فسفاتی
۱۰۲	۱-۳-۴ ویژگی‌های مهم در پوشش‌های کلسیم فسفاتی
۱۰۷	۲-۳-۴ کلسیم فسفات دی‌هیدرات-بروشیت (DCP)
۱۰۷	۳-۳-۴ کلسیم فسفات بی‌آب-مونتایت (ADCP)
۱۰۸	۴-۳-۴ اکتا کلسیم فسفات (OCP)
۱۰۸	۵-۳-۴ تری کلسیم فسفات-ویتلوکیت (TCP)
۱۱۰	۶-۳-۴ هیدروکسی آپاتیت (HA)
۱۱۳	۴-۴ فناوری کلسیم سیلیکاتی
۱۱۳	۱-۴-۴ وولستونایت (CaSiO_3)
۱۱۵	۲-۴-۴ دی کلسیم سیلیکات (Ca_2SiO_4)
۱۱۶	۳-۴-۴ دیوپساید ($\text{Ca/MgSi}_2\text{O}_6$)
۱۱۷	۵-۴ سرامیک‌های سیلیکاتی زیست‌فعال حاوی منیزیم
۱۱۸	۶-۴ شیشه‌های زیست‌فعال
۱۲۲	۷-۴ تانتالم و اکسیدهای آن
۱۲۲	۱-۷-۴ تانتالم (Ta)
۱۲۴	۲-۷-۴ اکسیدهای تانتالم
۱۲۵	۸-۴ نیوبیم و اکسیدهای آن
۱۲۵	۱-۸-۴ نیوبیم (Nb)
۱۲۷	۲-۸-۴ مونواکسید نیوبیم (NbO)
۱۲۷	۳-۸-۴ دی‌اکسید نیوبیم (NbO_2)
۱۲۸	۴-۸-۴ پنتا اکسید نیوبیم (Nb_2O_5)
۱۲۸	۹-۴ زیرکونیم و اکسیدهای آن
۱۲۸	۱-۹-۴ زیرکونیم (Zr)
۱۲۹	۲-۹-۴ دی‌اکسید زیرکونیم (زیرکونیا، ZrO_2)
۱۳۶	۱۰-۴ ایریدیم و اکسیدهای آن
۱۳۶	۱-۱۰-۴ ایریدیم

- ۱۳۸ ۴-۱۰-۲ اکسید ایریدیم (IrO_2)
- ۱۴۰ ۴-۱۱ دی اکسید سیلیکون سیلیکا، (SiO_2)
- ۱۴۲ ۴-۱۲ اکسید آلومینیم آلومینا، (Al_2O_3)
- ۱۴۳ ۴-۱۳ اکسیدهای تیتانیم
- ۱۴۳ ۴-۱۴ نیتريد تیتانیم (TiN)
- ۱۴۴ ۴-۱۵ دپ کردن هافنیم (Hf)
- ۱۴۴ ۴-۱۶ جمع بندی رفتار زیستی زیست مواد منتخب
- ۱۴۵ ۴-۷ عوامل ضد باکتری غیر آلی
- ۱۴۶ ۴-۱-۱ تغییرات سطحی برای دستیابی به سطوح فلزی عاری از باکتری
- ۱۴۷ ۴-۱۷-۲ آغزودن نقره (Ag) بر سطوح ایمپلنت های فلزی
- ۱۵۲ ۴-۱۷-۲ آغزودن مس (Cu) بر سطوح ایمپلنت های فلزی
- ۱۵۳ ۴-۱۷-۴ آغزودن روی (Zn) بر سطوح ایمپلنت های فلزی
- ۱۵۳ ۴-۱۷-۵ آغزودن نانوذرات طلا (AuNPs) بر سطوح ایمپلنت های فلزی
- ۱۵۵ منابع و مراجع

فهرست شکل‌ها

- شکل ۱-۱: توصیف زاویه‌ی تماسی تشکیل شده در فصل مشترک جامد/مایع و مایع/بخار [۱۰]. ۸
- شکل ۲-۱: طرحواره‌ی (a) سطوح آب‌گریز و (b) سطوح آب‌دوست [۱۰]. ۹
- شکل ۳-۱: طرحواره‌ی واکنش‌های زنجیره‌ای بعد از کاشت زیست‌مواد [۱۱]. ۱۰
- شکل ۴-۱: (a) سمیت سلولی، (b) ارتباط بین زیست‌سازگاری و مقاومت پلاریزاسیون [۱]. ۱۱
- شکل ۵-۱: منحنی بار-تغییر طول [۱۰]. ۱۵
- شکل ۶-۱: منحنی تنش بیشینه-تعداد سیکل لازم برای شکست در گریدهای رایج پزشکی تیتانیوم [۱۰]. ۱۷
- شکل ۷-۱: سایش در ایمپلنت [۷]. ۱۹
- شکل ۸-۱: مقایسه‌ی مدل الاستیک زیست‌مواد آلیاژی با استخوان [۷]. ۲۰
- شکل ۱-۲: تاریخچه‌ی توسعه‌ی ایمپلنت‌ها [۳]. ۲۲
- شکل ۲-۲: نمونه‌ای از کاردهای ایمپلنت‌های فلزی: ابزار تثبیت استخوان [۱۵]. ۲۳
- شکل ۳-۲: ساختار بلوری T، ساختار مناسب، می‌توان فاز پایدار α یا β را ایجاد کرد [۱۹]. ۴۵
- شکل ۴-۲: دسته‌بندی دیالیز گرافتی‌های آلیاژی تیتانیوم با افزودن عناصر آلیاژی مختلف [۲۰]. ۴۸
- شکل ۵-۲: دیالیز گرافتی Ni-Ti [۱۰]. ۵۵
- شکل ۶-۲: رفتار حافظه‌داری حرارتی و شبه‌استاتیته در آلیاژهای NiTi [۳۲]. ۵۶
- شکل ۷-۲: طرحواره‌ی منحنی‌های تنش-کرنش در مواد رنگین Ni-Ti، استخوان و بافت‌های زردپی [۳۲]. ۵۹
- شکل ۸-۲: استحکام خستگی در 10^7 چرخه از زیست‌مواد فلزی رایج [۲]. ۶۲
- شکل ۱-۳: طرحواره‌ی زیست‌خوردگی در فصل مشترک فلز زیست-تخریب‌پذیر (BM) محیط [۴۴]. ۶۸
- شکل ۲-۳: تحقیقات حاضر در زمینه‌ی فلزات زیست‌تخریب‌پذیر پایه آهن [۴۴]. ۷۸
- شکل ۱-۴: دلایل مختلف شکست ایمپلنت‌ها که منجر به تجدید جراحی می‌شود [۷]. ۸۳
- شکل ۲-۴: گرافن و ساختارهای برگرفته از آن [۴۹]. ۸۴
- شکل ۳-۴: کاربردهای کلی مواد پایه گرافتی در پزشکی و مهندسی بافت [۵۰]. ۸۶
- شکل ۴-۴: طرحواره‌ای از نور درمانی (PTT) [۴۸]. ۸۷
- شکل ۵-۴: طرحواره‌ای از تبدیل گرافیت به اکسید گرافن احیا شده [۴۸]. ۸۸
- شکل ۶-۴: ساختار اکسید گرافن و خواص گروه‌های عاملی آن [۴۹]. ۸۹
- شکل ۷-۴: طرحواره‌ای از ساختار (A) گرافن، (B) اکسید گرافن احیا شده، (C) اکسید گرافن [۵۳]. ۹۰
- شکل ۸-۴: طرحواره‌ای از کاربردهای مختلف اکسید گرافن [۵۲]. ۹۲
- شکل ۹-۴: تصاویر SEM از رشد باکتری‌های E. Coli و S. Aureus [۵۱]. ۹۳
- شکل ۱۰-۴: روش‌های مختلف پیچیده شدن صفحات گرافن به هم و تشکیل نانولوله‌های کربنی [۵۸]. ۹۵
- شکل ۱۱-۴: تصویر (a) SWCNTs و (b) MWCNTs [۵۸]. ۹۶

- شکل ۴-۱۲: تصویر ریزنگار از رشد استخوان در HA (a) با ۵۰٪ بلورینگی، HA (b) با ۷۵٪ بلورینگی [۳]. ۱۰۴
- شکل ۴-۱۳: کاربرد متفاوت مواد زیست‌فعال در بدن و میزان تخلخل آن‌ها [۳]. ۱۰۵
- شکل ۴-۱۴: تصاویر SEM از رشد سلول‌ها بعد از گذشت ۱۱ روز از زمان کشت سلولی [۳]. ۱۱۰
- شکل ۴-۱۵: تشکیل لایه‌ی استخوانی جدید روی سطح HA [۳]. ۱۱۲
- شکل ۴-۱۶: تأثیر ترکیب شیمیایی (درصد وزنی) در تشکیل پیوند استخوانی [۱۰]. ۱۱۹
- شکل ۴-۱۷: (a) داربست ساخته شده از شیشه‌های زیستی، (b) کاربرد داربست [۳]. ۱۲۱
- شکل ۴-۱۸: مقایسه‌ای از آهنگ رشد سلولی در مواد زیست‌فعال مختلف [۳]. ۱۲۲
- شکل ۴-۱۹: طرحواره‌ای از حالت‌های مختلف اکسیداسیون نیوبیم [۸۲]. ۱۲۶
- شکل ۴-۲۰: دیاگرام فاز نیوبیم-اکسیژن [۸۲]. ۱۲۷
- شکل ۴-۲۱: نمایش فرایند چقرمه کردن زیرکونیا در اثر استحاله‌ی ناشی از تنش [۸۴]. ۱۳۱
- شکل ۴-۲۲: تأثیر کسر مایع بر اندازه دانه‌ی بحرانی ایتریا بر کسر حجمی فاز تراگونال حاصل شده [۸۴]. ۱۳۲
- شکل ۴-۲۳: وابستگی چقرمه شکست به کسر حجمی فاز تراگونال و کسر مولی ایتریا [۸۴]. ۱۳۳
- شکل ۴-۲۴: تصویر SEM از سارن‌های فیبروبلاست کشت شده روی سطح زیرکونیا [۸۶]. ۱۳۵
- شکل ۴-۲۵: سطوح شکست ایتریا: (a) ایتریا تک بلور، (b) ایتریا چند بلوری [۸۹]. ۱۳۸
- شکل ۴-۲۶: بررسی سنتز سیلیکای رسنی و کاربرد آن در زیست‌پزشکی [۹۴]. ۱۴۱
- شکل ۴-۲۷: طبقه‌بندی انواع مختلف سیلیک و روش‌های سنتز آن [۹۳]. ۱۴۲
- شکل ۴-۲۸: شیوه‌های اصلی افزودن عوامل ضد باکتری بر روی سطح تیتانیوم [۱۰۰]. ۱۴۷
- شکل ۴-۲۹: مکانیسم عملکردی یون‌های نقره رها شده AgNPs بر علیه باکتری‌ها [۱۰۲]. ۱۵۱