

بسم الله الرحمن الرحيم

مهندسی سطح غشاهای پلیمری

مولفان:

جیکانگ شو

شایوجون هوانگ

لینگشو وان

مترجمان:

دکتر علی نعمت‌الله‌زاده

مهندس مهسا قدیم‌زاده علم‌ارشد

سرشناسه	: شو، جیکانگ Xu, Zhikang
عنوان و نام پدیدآور	: مهندسی سطح غشاهای پلیمری / مولفان جیکانگ شو، شایوجون هوانگ، لینگشو وان؛ مترجمان علی نعمت‌اله‌زاده، مهسا قدیم‌زاده‌علمداری.
مشخصات نشر	: اردبیل: دانشگاه محقق اردبیلی، ۱۳۹۶.
مشخصات ظاهری	: ۴۴۶ص: مصور، جدول نمودار.
شابک	: 978-600-8569-34-3
وضعیت فهرست نویسی	: فیا
یادداشت	: عنوان اصلی: Surface engineering of polymer membranes, c2009
موضوع	: پلیمرها -- رویه‌ها Polymers -- Surfaces
موضوع	: غشاهای پلی‌امید -- رویه‌ها Polyamide membranes -- Surfaces
موضوع	: رویه‌ها -- آماده‌سازی Surface preparation
موضوع	: شیمی رویه‌ها Surface chemistry
موضوع	: رویه‌ها (فیزیک) Surfaces (Physics)
شناسه افزوده	: هوگ، یانوجون Huang, Xiaojun
شناسه افزوده	: وان، لینگشو Wan, Lingshu
شناسه افزوده	: نعمت‌اله‌زاده، علی، مترجم
شناسه افزوده	: قدیم‌زاده، مهسا، ۱۳۶۵ - مترجم
شناسه افزوده	: دانشگاه محقق اردبیلی
رده بندی کنگره	: ۱۳۹۶ شابک / ۵۵۳۸۱
رده بندی دیویی	: ۲۹۳/۶۰
شماره کتابشناسی ملی	: ۵۰۰۹۵۱۳



مهندسی سطح غشاهای پلیمری

مولفان: جیکانگ شو، شایوجون هوانگ، لینگشو وان

مترجمان: علی نعمت‌اله‌زاده، مهسا قدیم‌زاده علمداری

ویراستار ادبی: شکراله پورالخاص / صفحه‌آرا: فرشته خدایاری / طراح جلد: وحید شیرافکن

چاپ اول ۱۳۹۶ + قیمت ۲۵۰۰۰ تومان

ISBN: 978-600-8569-34-3

«مسئولیت صحت مطالب کتاب با مولف است»

«حق چاپ محفوظ است»

اردبیل، انتهای خیابان دانشگاه، دانشگاه محقق اردبیلی، انتشارات دانشگاه محقق اردبیلی، صندوق پستی ۱۷۹

www.UMA.ac.ir/press

press@uma.ac.ir

پیشگفتار

مهندسی سطح غشاهای پلیمری شامل فرآیندهایی می‌شود که سطوح غشا را در جهت بهبود عملکرد در حین آن اصلاح می‌کنند. بدین معنی که «اصلاح سطح» یک غشا خواصی متفاوت با خواص توده‌ی غشا به آن می‌بخشد. هدف از این کار می‌تواند کاهش رسوب‌گیری، تنظیم آب‌دوستی/آب‌گریزی، افزایش زیست‌سازگاری، عملکرد به‌نوعی مانعی در برابر نفوذ، ایجاد عمل‌کردهای شیمیایی یا زیستی، تقلید از یک غشای زیستی، تولید نانو ساختارها و یا صرفاً بهبود زیبایی ظاهری سطح غشا باشد. این کتاب با اصول مهندسی سطح غشاهای پلیمری شامل اصلاح سطح، تقلید از پدیده‌های زیستی، تثبیت آنزیم، مولکول‌نگاری و روش‌های مختلف مطالعه‌ی ساختاری و طیف‌سنجی سطح غشا آغاز می‌شود. در ادامه‌ی این مباحث به روش‌های تشریحی موضوعاتی همچون اصلاح سطح توسط سپارش پیوندی و تثبیت درشت‌مولکول‌ها، ساخت سطوح زیست تقلید و عمدتاً دان‌ها، تثبیت آنزیم و فعالیت زیستی، تشخیص مولکولی و سطوح با ساختار نانو پرداخته می‌شود. این کتاب ترکیبی از دانش ما در مورد نقش خواص شیمیایی و فیزیکی سطح در علم و فناوری غشا را فراهم می‌کند. صمیمانه امیدوارم و پیش‌بینی می‌کنم که این کتاب که شامل اطلاعات زیادی در مورد ابعاد مختلف سطح غشا می‌باشد، برای تمام افرادی که در زمینه‌ی تحقیقاتی بسیار مهم و جذاب علاقه داشته و در آن فعالیت دارند مفید باشد.

اینجانب از سال ۲۰۰۱ در زمینه‌ی اصلاح و تثبیت آنزیم بر روی غشاهای پلیمری مطالعات بسیاری داشته‌ام. انجام این کار در طی سال‌های متمادی با روز حمایت مالی غیرقابل تصور است. از این‌رو، قدردانی خود را از بنیاد ملی علوم طبیعی چین (Grant no. 20774080 and 20474054, 50273032, 20074033, nos.)، برنامه‌ی توسعه و تحقیق فناوری‌های چین (Grant no. 2002AA601230 and 2007AA10Z301) و بنیاد علوم طبیعی استان Zhejiang چین (Grant no. Z406260) به دلیل حمایت مالی اعلام می‌دارم.

مایه‌ی افتخار است که از تمام همکاران و دانشجویانم برای کمک در این پروژه تشکر و قدردانی کنم. به خصوص، فصل سوم این کتاب از کار Bei-Bei Ke بهره جسته است. فصل چهارم نیز بخشی از پایان‌نامه‌ی Meng-Xin Hu می‌باشد. فصل‌های ۵ و ۷ نیز به ترتیب بر اساس پایان‌نامه‌ی Qian Yang و Zheng-Wei Dai می‌باشند. فصل هشتم از کار انجام‌شده توسط Ai-Fu Che و Yung-Feng Yang و فصل‌های نهم و دهم نیز از پایان‌نامه‌ی Zheng-Gang بهره جسته است. تلاش آن‌ها در این زمینه بسیار قابل تحسین بوده و من قدردان تلاش ایشان می‌باشم. درنهایت از هیئت نویسندگان Spring - Verlag و انتشارات دانشگاه Zhejiang برای کمک و همیاری ایشان بسیار سپاسگزارم.

Zhi-Kang Xu

Hangzhou

December 2007

فهرست مطالب

۱.....	پیشگفتار.....	۱
۱۱.....	مهندسی سطح غشاهای پلیمری.....	۱
۱۱.....	مقدمه.....	۲
۱۷.....	روش های تعیین مشخصات سطح غشا.....	۲
۱۸.....	۱-۲ اصول کلی.....	۲
۱۸.....	۱-۲-۱ آسان سازی نمونه.....	۲
۱۹.....	۱-۲-۱ منظور از سطح غشا چیست؟.....	۲
۲۰.....	۱-۲-۳ از یک نگاه سطح است؟.....	۲
۲۱.....	۱-۲-۴ تهاجس و پیرتهای.....	۲
۲۲.....	۲-۲ ترکیب شیمیایی سطح غشا.....	۲
۲۳.....	۱-۲-۲ طیفسنجی تبدیل فوریه مادون قرمز بازتابش (ATR-FTIR).....	۲
۲۷.....	۲-۲-۲ طیفسنجی فوتوالکترود پرتو X (XPS).....	۲
۳۲.....	۳-۲-۲ طیفسنجی جرمی یونی ثانویه استاتیک.....	۲
۳۶.....	۴-۲-۲ طیفنگاری انرژی اشعه X پاشیده (EDS).....	۲
۳۹.....	۳-۲-۳ شکل شناسی و ساختار میکروسکوپی سطح غشایی.....	۲
۳۹.....	۱-۳-۲ ساختار هندسی سطح غشا.....	۲
۴۰.....	۲-۳-۲ مقدمه ای بر میکروسکوپی.....	۲
۴۱.....	۳-۳-۲ مفاهیم پایه در میکروسکوپی.....	۲
۴۳.....	۴-۳-۲ میکروسکوپی نوری.....	۲
۴۳.....	۱-۴-۳-۲ اصول تصویربرداری.....	۲
۴۵.....	۲-۴-۳-۲ کاربردها و مزایا.....	۲
۴۶.....	۵-۳-۲ میکروسکوپ لیزری روبشی هم کانون (LCSM).....	۲
۴۶.....	۱-۵-۳-۲ مبانی فلورسانس.....	۲
۴۸.....	۲-۵-۳-۲ طیف نشری و طیف برانگیختگی.....	۲
۴۹.....	۳-۵-۳-۲ پویش کانونی.....	۲
۵۰.....	۴-۵-۳-۲ ساختار پایه LCSM.....	۲

۵۲.....	۶-۳-۲ میکروسکوپ الکترونی روبشی
۵۲.....	۱-۶-۳-۲ مقدمه‌ای بر میکروسکوپ الکترونی
۵۷.....	۳-۶-۳-۲ اصول تصویربرداری و ابزارهای میکروسکوپ الکترونی روبشی
۵۹.....	۴-۶-۳-۲ عملکرد میکروسکوپ الکترونی روبشی
۶۰.....	۷-۳-۲ میکروسکوپ الکترونی روبشی محیطی
۶۰.....	۱-۷-۳-۲ مقدمه
۶۲.....	۲-۷-۳-۲ اصول تصویربرداری
۶۴.....	۳-۷-۱ ویژگی‌ها و کاربردها
۶۵.....	۸-۳-۲ میکروسکوپ نیروی اتمی
۶۵.....	۱-۸-۳-۲ مقدمه
۶۶.....	۲-۸-۳-۲ اصول تصویربرداری
۶۸.....	۳-۸-۳-۲ تجهیزات
۶۹.....	۴-۸-۳-۲ حالات و کاربردها
۷۲.....	۵-۸-۳-۲ عملکرد AFM
۷۳.....	۴-۲ قابلیت ترشوندگی غشا
۷۳.....	۱-۴-۲ ترشوندگی و خواص سطحی غشا
۷۴.....	۲-۴-۲ اصول اندازه‌گیری زاویه‌ی تماس
۷۸.....	۳-۴-۲ روش‌های اندازه‌گیری زاویه‌ی تماس
۸۰.....	۴-۴-۲ پسماند زاویه‌ی تماس
۸۱.....	۵-۴-۲ عوامل تأثیرگذار بر زاویه‌ی تماس در سطوح پلیمری
۸۴.....	۵-۲ تعیین مشخصات زیست‌سازگاری سطوح غشایی
۸۴.....	۱-۵-۲ جذب غیراختصاصی پروتئین‌ها
۹۲.....	۲-۵-۲ برهمکنش‌های بین خون و غشا
۹۵.....	۳-۵-۲ برهمکنش‌های بین سلول‌ها و غشا

۹۹.....	روش‌های عامل‌دار کردن سطوح غشا
۹۹.....	۱-۳ مقدمه
۱۰۰.....	۲-۳ عامل‌دار کردن غشاهای پلیمری به‌وسیله‌ی اصلاح سطح
۱۰۰.....	۱-۲-۳ پوششدهی
۱۰۱.....	۲-۲-۳ خودآرایی
۱۰۲.....	۳-۲-۳ اصلاح شیمیایی

۱۰۳.....	۴-۲-۳ اصلاح با استفاده از پلاسما
۱۰۴.....	۴-۲-۳ ۱- انتشار پلاسما
۱۰۵.....	۴-۲-۳ ۲- القای پلاسما
۱۰۵.....	۴-۲-۳ ۳- پاشش کردن پلاسما
۱۰۶.....	۴-۲-۳ ۵- پلیمریزاسیون پیوندی
۱۰۷.....	۴-۲-۳ ۱-۵ پیوندزنی با استفاده مواد شیمیایی
۱۰۷.....	۴-۲-۳ ۲-۵ پیوندزنی با تکنیک تابش
۱۰۸.....	۴-۲-۳ ۳-۵ پیوند به روش فتوشیمیایی
۱۰۸.....	۴-۲-۳ ۴-۵ پلیمریزاسیون پیوندی پلاسما
۱۰۹.....	۴-۲-۳ ۱-۵ عامل دار کردن غشاهای پلیمری با استفاده از مولکول نگاری
۱۱۰.....	۴-۲-۳ ۱-۳ ایجاد جایگاه های مولکول نگاری شده
۱۱۱.....	۴-۲-۳ ۲-۳ ایجاد جایگاه های مولکول نگاری با رسوب بر سطح
۱۱۱.....	۴-۲-۳ ۳-۳ تشکیل جایگاه های مولکول نگاری با استفاده از پلیمریزاسیون امولسیون
۱۱۲.....	۴-۲-۳ ۴-۳ عامل دار کردن غشاهای پلیمری با استفاده از تثبیت آنزیم
۱۱۳.....	۴-۲-۳ ۱-۴ تثبیت آنزیم توسط جذب فیزیکی
۱۱۳.....	۴-۲-۳ ۲-۴ تثبیت آنزیم توسط پیوند شیمیایی
۱۱۴.....	۴-۲-۳ ۳-۴ تثبیت آنزیم با به دام انداختن آن
۱۱۵.....	۴-۲-۳ ۴-۴ سایر روش های تثبیت آنزیم
۱۱۶.....	۴-۲-۳ ۵- نتیجه گیری

۴

۱۱۹.....	اصلاح سطح با استفاده از پلیمریزاسیون پیوندی
۱۱۹.....	۴-۱ مقدمه
۱۲۰.....	۴-۲ پلیمریزاسیون پیوندی بر روی غشا
۱۲۱.....	۴-۲-۱ اصلاح سطح با استفاده از پلیمریزاسیون پیوندی به روش شیمیایی
۱۲۲.....	۴-۲-۱ ۱-۱ پلیمریزاسیون پیوندی رادیکال آزاد
۱۲۵.....	۴-۲-۱ ۲-۱ پلیمریزاسیون پیوندی زنده
۱۲۷.....	۴-۲-۲ اصلاح سطح با پلیمریزاسیون پیوندی القایی پلاسما
۱۲۸.....	۴-۲-۲ ۱-۲ اصلاح با پلاسما
۱۳۰.....	۴-۲-۲ ۲-۲ پلیمریزاسیون پلاسما
۱۳۱.....	۴-۲-۲ ۳-۲ پلیمریزاسیون پیوندی با القای پلاسما
۱۳۹.....	۴-۲-۳ ۳-۲ اصلاح سطح با استفاده از پلیمریزاسیون پیوندی با القای UV

- ۱-۳-۲-۴ پلیمریزاسیون پیوندی القای UV بدون آغازگرهای نوری ۱۴۰
- ۲-۳-۲-۴ پلیمریزاسیون پیوندی القای UV با استفاده از آغازگرها ۱۴۵
- ۴-۲-۴ اصلاح سطح پیوندی آغاز شده با تابش با انرژی بالا ۱۵۳
- ۱-۴-۲-۴ تابش پرتو الکترون ۱۵۴
- ۲-۴-۲-۴ تابش اشعه ی گاما ۱۵۷
- ۵-۲-۴ سایر روش ها ۱۶۰
- ۳-۴ کاربرد های غشاهای اصلاح سطح شده ۱۶۱
- ۱-۴ غشاهای یک طرفه ی حساس به محرک های محیطی ۱۶۱
- ۱-۱-۳-۱ غشاهای حساس به دما ۱۶۲
- ۱-۳-۴ غشاهای حساس به pH ۱۶۶
- ۳-۱-۳-۴ غشاهای حساس به تابش نور ۱۶۸
- ۴-۱-۳-۴ غشاهای حساس به یون ۱۶۹
- ۵-۱-۳-۴ غشاهای حساس به انواع مواد ۱۷۰
- ۲-۳-۴ غشاهای ضد رسوب ۱۷۱
- ۳-۳-۴ غشاهای جذبی ۱۷۴
- ۱-۳-۳-۴ جذب مولکول های زیستی و سلول ها ۱۷۴
- ۲-۳-۳-۴ جذب فلز ۱۷۷
- ۴-۳-۴ تراوش تبخیری و اسمز معکوس ۱۷۹
- ۱-۴-۳-۴ جداسازی محلول آبی ۱۸۰
- ۲-۴-۳-۴ جداسازی مخلوط های آلی ۱۸۲
- ۵-۳-۴ استفاده از غشاها در تبدیل انرژی ۱۸۳
- ۱-۵-۳-۴ پیل سوختی با الکترولیت پلیمری ۱۸۴
- ۲-۵-۳-۴ پیل سوختی متانولی مستقیم ۱۸۸
- ۳-۵-۳-۴ غشاهای مورد استفاده در باتری ۱۸۹
- ۶-۳-۴ ساخت غشاهای نانوفیلتراسیون ۱۹۱
- ۷-۳-۴ جداسازی گاز ۱۹۲
- ۴-۴ نتیجه گیری ۱۹۴

- اصلاح سطح با استفاده از تثبیت درشت مولکول ها ۲۱۱
- ۱-۵ مقدمه ۲۱۱
- ۲-۵ تثبیت با استفاده از پلیمرهای سنتزی ۲۱۳

۲۱۳.....	۱-۲-۵ پلی اتیلن گلایکول (PEG)
۲۱۹.....	۲-۲-۵ پلی (N-وینیل-۲-پیرولیدین) (PNVP)
۲۲۲.....	۳-۲-۵ سایر پلیمرهای سنتزی
۲۲۴.....	۳-۵ درشت مولکول های زیستی
۲۲۵.....	۱-۳-۵ پروتئین های غیر ایمنی
۲۲۹.....	۲-۳-۵ آنتی بادی ها (ایمونوگلوبولین ها)
۲۳۰.....	۳-۳-۵ DNA ها
۲۳۳.....	۴-۵ نتیجه گیری

۲۳۷.....	غشاهای با ساختار شبیه فسفولیپیدها
۲۳۷.....	۱-۶ مقدمه
۲۳۸.....	۲-۶ ساختار و عملیات غشاهای زیستی
۲۴۰.....	۳-۶ زیست سازگاری فسفولیپید
۲۴۱.....	۴-۶ سنتز پلیمرهای شبیه فسفولیپیدی
۲۴۱.....	۱-۴-۶ پلیمرهای شبه فسفولیپیدی از نوع زنجیره جانبی
۲۴۱.....	۱-۱-۴-۶ پلیمرهای شبه فسفولیپیدی
۲۴۳.....	۲-۱-۴-۶ پلیمرهای مشابه فسفاتیدیل اتانول آمین
۲۴۳.....	۳-۱-۴-۶ پلیمرهای مشابه فسفاتیدیل گلیسرول
۲۴۸.....	۴-۱-۴-۶ پلیمرهای وینیلی حاوی واحد دی پالیتویل فسفاتیدیل اتانول آمین
۲۴۹.....	۵-۱-۴-۶ انواع دیگر زنجیره های جانبی پلیمرهای شبیه فسفولیپیدی
۲۵۰.....	۲-۴-۶ پلیمرهای شبه فسفولیپیدی از نوع زنجیره اصلی
۲۵۲.....	۳-۴-۶ سایر پلیمرهای شبه فسفولیپیدی
۲۵۳.....	۵-۶ اصلاح سطح غشاهای پلیمری با استفاده از فسفولیپیدها
۲۵۳.....	۱-۵-۶ جذب سطحی و پوشش دهی سطحی
۲۵۶.....	۲-۵-۶ اختلاط فیزیکی
۲۵۹.....	۳-۵-۶ پلیمریزاسیون پیوندی سطح
۲۵۹.....	۱-۳-۵-۶ پلیمریزاسیون پیوندی نوری
۲۶۱.....	۲-۳-۵-۶ پلیمریزاسیون پیوندی با استفاده از آغازگرها
۲۶۲.....	۳-۳-۵-۶ پلیمریزاسیون پیوندی با استفاده از پرتوافکنی کرونا
۲۶۴.....	۴-۳-۵-۶ پلیمریزاسیون پیوندزنی ATRP
۲۶۵.....	۴-۵-۶ پلیمریزاسیون درجا

۲۶۸	۵-۵-۶ اصلاح شیمیایی سطح
۲۷۴	۶-۶ نتیجه‌گیری

۷

۲۸۱	غشاهای با سطح گلیکوزیله شده
۲۸۱	۱-۷ مقدمه
۲۸۴	۲-۷ اصلاح سطح با پلی‌ساکاریدهای طبیعی
۲۸۴	۱-۲-۱ هیارین
۲۸۸	۲-۱-۲ کیتوسان
۲۸۹	۳-۷ اصلاح سطح با استفاده از گلیکوپلیمرهای سنتزی
۲۹۰	۳-۷-۱ گلیکوپلیمرهای یونانی با تابش اشعه‌ی فرابنفش
۳۰۰	۳-۷-۲ گلیکوپلیمرهای یونی با تابش اشعه‌ی فرابنفش
۳۰۳	۳-۷-۳ گلیکوپلیمرهای یونی با تابش اشعه‌ی فرابنفش
۳۰۸	۴-۷ نتیجه‌گیری

۸

۳۱۳	غشاهای مولکول‌نگاری شده
۳۱۳	۱-۸ مقدمه
۳۱۴	۱-۱-۸ گسترش فناوری مولکول‌نگاری
۳۱۶	۲-۱-۸ تئوری اساسی فناوری مولکول‌نگاری
۳۱۶	۱-۲-۱-۸ ساخت پلیمر مولکول‌نگاری شده (MIP)
۳۲۱	۲-۸ روش‌های ساخت و مورفولوژی غشاهای مولکول‌نگاری شده
۳۲۲	۱-۲-۸ پلیمریزاسیون توده‌ای
۳۲۲	۱-۱-۲-۸ پلیمریزاسیون شبکه‌ای درجا
۳۲۵	۲-۱-۲-۸ پلیمریزاسیون توده‌ای سطح غشا
۳۲۶	۲-۲-۸ اختلاط فیزیکی
۳۲۷	۱-۲-۲-۸ وارونگی فاز خشک
۳۲۹	۲-۲-۲-۸ وارونگی فاز مرطوب
۳۳۵	۳-۲-۲-۸ الکتروریسی
۳۳۶	۳-۲-۸ مولکول‌نگاری سطحی
۳۳۷	۱-۳-۲-۸ پیوندزنی نوری سطحی
۳۴۰	۲-۳-۲-۸ لایه نشانی روی سطح
۳۴۴	۳-۳-۲-۸ پلیمریزاسیون آمولسیون بر روی سطح

۳۴۴.....	۳-۸ مکانیسم جداسازی غشاهای مولکول نگاری شده
۳۴۵.....	۱-۳-۸ تراوایی تسهیل یافته و تأخیر یافته
۳۴۸.....	۲-۳-۸ اثر دروازه‌ای
۳۵۱.....	۴-۸ کاربردهای بالقوه‌ی غشاهای مولکول نگاری شده
۳۵۱.....	۱-۴-۸ فناوری جداسازی
۳۵۴.....	۲-۴-۸ حسگر و رهایش کنترل شده
۳۵۵.....	۵-۸ نتیجه‌گیری و چشم‌انداز

۹

۳۶۵.....	غشای آب‌ساج کاتالیستی
۳۶۵.....	۱-۹ مقدمه
۳۶۷.....	۲-۹ تثبیت آنزیم
۳۶۸.....	۲-۹ غشای پایه پلیمری طبیعی
۳۷۷.....	۲-۹ غشاهای پلیمری سنتزی
۳۷۸.....	۱-۲-۲-۹ سنجش برد آنزیم در غشاهای
۳۸۱.....	۲-۲-۲-۹ اتصال آنزیم بر روی غشای
۳۸۱.....	۱-۲-۲-۲-۹ بر روی غشاهای پاید زده نشده
۳۹۳.....	۲-۲-۲-۲-۹ بر روی غشاهای پیوند زده شده
۴۰۱.....	۳-۹ کاربردها
۴۰۲.....	۱-۳-۹ راکتورهای زیستی غشایی
۴۰۶.....	۲-۳-۹ حسگرهای زیستی
۴۰۹.....	۴-۹ نتیجه‌گیری و چشم‌انداز

۱۰

۴۱۷.....	غشای نانومتخلخل با سطح عامل‌دار
۴۱۷.....	۱-۱۰ مقدمه
۴۱۷.....	۱-۱۰ اصول و جنبه‌های بنیادی
۴۲۱.....	۲-۱-۱۰ به کارگیری نانو فیبرهای الکترونیسی شده
۴۲۲.....	۱-۲-۱-۱۰ کاربرد در تصفیه و پالایش
۴۲۳.....	۲-۲-۱-۱۰ کاربرد در استحکام بخشی
۴۲۳.....	۳-۲-۱-۱۰ کاربرد زیست پزشکی
۴۲۴.....	۴-۲-۱-۱۰ کاربرد کاتالیستی
۴۲۴.....	۲-۱۰ عامل دار کردن غشای نانوفیبری

- ۴۲۵..... ۱-۲-۱۰ غشاهای الکتروریسی شده‌ی زیست‌کاتالیستی
- ۴۲۶..... ۱-۱-۲-۱۰ اتصال سطحی
- ۴۳۶..... ۲-۱-۲-۱۰ کپسوله کردن
- ۴۴۰..... ۲-۲-۱۰ غشاهای تمایلی الکتروریسی شده
- ۴۴۳..... ۳-۱۰ نتیجه‌گیری و چشم‌انداز