

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

تجهیز پوششی‌های نانو برای ساخت سلول‌های

خورشیدی

تألیف :

دکتر حسین سالار آملی

با همکاری :

انهام ملکی و حسین امانی داز

بهار ۱۳۹۴

سرشناسه	: سالار آملی، حسین، ۱۳۳۶ -
عنوان و نام پدیدآور	: تهیه پوشش‌های نانو برای ساخت سلول‌های خورشیدی/تالیف حسن سالار آملی، با همکاری الهام ملکی، حسین امانی‌داز.
مشخصات نشر	: تهران : دانشگاه صنعتی امیرکبیر، ۱۳۹۳.
مشخصات ظاهری	: ۲۱۸ ص.
شابک	: 978-964-463-592-2
وضعیت فهرست نویسی	: فیفا
یادداشت	: واژنامه
یادداشت	: کتابنامه
یادداشت	: نمایه
موضوع	: پیل‌های خورشیدی
موضوع	: انرژی خورشیدی
موضوع	: تولید برق از انرژی خورشیدی
موضوع	: نانوساختارها
شناسه افزوده	: ملکی، الهام، ۱۳۶۷ -
شناسه افزوده	: امانی داز، حسین، ۱۳۶۴ -
شناسه افزوده	: دانشگاه صنعتی امیرکبیر
رده بندی کنگره	: TK۲۹۶۰/ت۹۳۹۳
رده بندی درزی	: ۴۶۱/۳۱۸۴۴
شماره کتابشناسی ملی	: ۲۷۷۷۵۴۲

عنوان کتاب	: تهیه پوشش‌های نانو برای ساخت سلول‌های خورشیدی
تالیف	: دکتر حسین سالار آملی با همکاری: الهام ملکی و حسین امانی داز
ناشر	: انتشارات دانشگاه صنعتی امیرکبیر (پلی تکنیک تهران)
لینتوگرافی چاپ و صحافی	: انتشارات دانشگاه صنعتی امیرکبیر (پلی تکنیک تهران)
چاپ اول	: بهار ۱۳۹۴
تیراژ	: ۳۰۰ نسخه
قیمت	: ۱۴۰۰۰ تومان
شابک	: 978-964-463-592-2

حق چاپ برای ناشر محفوظ است

این کتاب برای جلوگیری از انتشار غیر مجاز رمزگذاری شده است

فهرست مطالب

عنوان

صفحه

فصل اول: روش‌های لایه‌نشانی و آنالیز سطح	۱
۱- مباحث نظری	۱
۱-۱- مهم‌ترین کاربردهای لایه‌های نازک‌های	۴
۱-۱-۱- زیرلایه‌های انعطاف‌ناپذیر	۴
۱-۱-۲- شیشه‌های هوشمند	۵
۱-۲- نمایشگرهای مسطح	۷
۱-۳- استفاده در دستگاه‌های الکتریکی	۸
۱-۴-۱- فرکانس پلاسما	۱۰
۱-۴-۲- تابع کار (عملکرد)	۱۱
۱-۴-۳- مقاومت حرارتی لایه‌های نازک رسانا	۱۲
۱-۵- پایداری در برابر مواد شیمیایی	۱۴
۱-۶- هزینه‌های تولید	۱۴
۱-۷- پارامترهای مناسب در انتخاب یک لایه نازک رسانا	۱۵
۱-۷-۱- شفافیت	۱۶
۱-۷-۲- ضخامت لایه‌ها	۱۷
۱-۷-۳- یکنواختی لایه‌ها	۱۸
۱-۸- تهیه پلاستیک‌های هادی در مرحله عمل	۲۱
۱-۹- پوشش‌دهی الکترو شیمیایی	۲۴
۱-۹-۱- پوشش‌دهی الکترو شیمیایی در عمل	۳۰
۱-۹-۲- ساخت دستگاه پوشش‌دهی الکترو شیمیایی	۳۱
۱-۹-۳- تعیین پارامترهای واکنش	۳۶
۱-۹-۳-۱- تعیین ولتاژ مناسب برای انجام این واکنش‌ها	۳۷
۱-۹-۳-۲- تعیین الکترو لیت و الکترو د مناسب	۳۸
۱-۱۰- لایه‌نشانی چرخشی	۴۰
۱-۱۰-۱- تبیین فرایند لایه‌نشانی چرخشی	۴۲

۴۸	۱-۱۰-۲- تجزیه و تحلیل بازارهای فیزیکی در لایه‌نشانی چرخشی
۵۰	۱-۱۱-۱- ساخت دستگاه لایه‌نشانی چرخشی
۵۴	۱-۱۱-۱- مشخصات فنی دستگاه لایه‌نشانی چرخشی
۵۵	۱-۱۱-۲- رفع اشکال در فرایند لایه‌نشانی چرخشی
۵۹	۱-۱۲-۱- اسپری پیرولیز
۵۹	۱-۱۲-۱- تأثیر بازارهای لایه‌نشانی روی خواص فیلم
۶۲	۱-۱۳-۱- لایه‌نشانی کندوپاش
۶۳	۱-۱۳-۱- کندوپاش فرکانس رادیویی
۶۴	۱-۱۳-۲- فرایند کندوپاش مگنترون
۶۵	۱-۱۳-۳- مراحل عملی کار با دستگاه کندوپاش
۶۷	۱-۱۳-۴- مزایا و معایب روش کندوپاش
۶۷	۱-۱۴-۱- لایه‌نشانی بخاری
۶۹	۱-۱۴-۱- لایه‌نشانی تبخیر حرارتی
۷۰	۱-۱۴-۲- لایه‌نشانی تبخیر شیمیایی
۷۱	۱-۱۴-۳- انواع روش‌های لایه‌نشانی تبخیر شیمیایی
۷۴	۱-۱۵-۱- عمل‌آوری
۷۵	۱-۱۵-۱- عمل‌آوری با لیزر
۷۹	۱-۱۶-۱- نقش پلاسما در لایه‌نشانی
۸۱	۱-۱۷-۱- لایه‌نشانی مواد سرامیکی
۸۴	۱-۱۸-۱- مطالعات بعد از لایه‌نشانی
۸۵	۱-۱۹-۱- تصاویر
۸۶	۱-۲۰-۱- قدرت تفکیک
۹۰	۱-۲۱-۱- آشنایی با میکرومگنوپ الکترونی عبوری (TEM)
۹۶	۱-۲۲-۱- آشنایی با میکروسکوپ الکترونی روبشی (SEM)
۱۰۳	ضمایم

۱۰۷	فصل دوم: ساخت سلول‌های خورشیدی
۱۰۷	۱-۲- نیاز به انرژی تجدید پذیر
۱۰۸	۲-۲- سلول‌های خورشیدی

- ۱۱۰..... ۲-۳- انواع سلول‌های خورشیدی
- ۱۱۰..... ۲-۳-۱- سلول‌های خورشیدی سیلیکونی
- ۱۱۱..... ۲-۳-۲- سلول‌های خورشیدی لایه نازک
- ۱۱۳..... ۲-۳-۳- سلول خورشیدی نانو ساختار
- ۱۱۵..... ۲-۳-۴- سلول‌های خورشیدی رنگدانه‌ای (DSSCS)
- ۱۱۸..... ۲-۳-۵- ساختار و عملکرد سلول‌های خورشیدی رنگدانه‌ای
- ۱۲۰..... ۲-۴- ساختار و عملکرد سلول‌های خورشیدی مبتنی بر نقاط کوانتومی
- ۱۲۳..... ۲-۴-۱- چگونگی عملکرد نقاط کوانتومی
- ۱۲۶..... ۲-۴-۲- سنتز الکتروود TiO_2 با نقاط کوانتومی
- ۱۲۸..... ۲-۴-۲-۱- روش حمام شیمیایی و سیلار
- ۱۳۲..... ۲-۴-۳- حالت‌های سطح و انتقال الکترون پستی
- ۱۳۴..... ۲-۴-۴- نقش حد واسط اکسایشی- کاهش‌ی در سلول‌های خورشیدی حساس شده با نقاط کوانتومی (QDSSCs)
- ۱۳۵..... ۲-۵- ساخت سلول‌های خورشیدی در عمل
- ۱۳۵..... ۲-۵-۱- نحوه عملکرد سلول‌های خورشیدی
- ۱۳۹..... ۲-۶- ساخت فوتوالکتروود
- ۱۴۲..... ۲-۷- سنتز نقاط کوانتومی
- ۱۴۳..... ۲-۷-۱- روش واکنش و جذب پیوسته لایه یونی برای لایه‌نشانی CdS
- ۱۴۵..... ۲-۷-۲- روش حمام رسوب شیمیایی (CBD) برای لایه‌نشانی CdSe
- ۱۴۷..... ۲-۷-۳- لایه‌نشانی نقاط کوانتومی ZnS
- ۱۴۸..... ۲-۷-۴- روش جذب مستقیم (DA)
- ۱۴۹..... ۲-۷-۵- لایه‌نشانی آند
- ۱۵۴..... ۲-۸- بررسی کاتد
- ۱۵۶..... ۲-۸-۱- مشخصه‌یابی کاتد Cu_2S به روش اسپری پیرولیز
- ۱۵۸..... ۲-۸-۲- مشخصه‌یابی کاتد Cu_2S به روش سیلار
- ۱۵۹..... ۲-۹- اندازه‌گیری بازده سلول‌های خورشیدی و تفسیر داده‌ها
- ۱۶۴..... ۲-۱۰- بررسی واکنش‌های شیمیایی در داخل سلول‌های خورشیدی نقاط کوانتومی
- ۱۶۹..... ۲-۱۱- بستن گام به گام یک سل
- ۱۷۲..... ۲-۱۲- مجتمع کردن سلول‌های خورشیدی

- ۱۳-۲- روش تهیه خمیر ۲۰ و ۴۰۰ نانومتر TiO_2 ۱۷۵
- ۱۴-۲- آماده سازی آند ۱۷۸
- ۱۴-۲- ۱- فرایند لایه نشانی به روش دگتر بلید ۱۷۸
- ۱۴-۲- ۲- فرایند لایه نشانی نقاط کوانتومی CdS ۱۸۰
- ۱۴-۲- ۳- فرایند لایه نشانی نقاط کوانتومی CdSe ۱۸۲
- ۱۴-۲- ۴- فرایند لایه نشانی نقاط کوانتومی ZnS ۱۸۴
- ۱۵-۲- آماده سازی کاتد ۱۸۴
- ۱۵-۲- ۱- استفاده از آلیاژ مس و روی ۱۸۵
- ۱۵-۲- ۲- آماده سازی کاتد به روش سیلار ۱۸۶
- ۱۵-۲- ۳- فرایند آماده سازی کاتد به روش اسپری پیرولیز ۱۸۷
- ۱۵-۲- ۱-۳- ۱- طرز تهیه نانوذرات Cu_2S ۱۸۷
- ۱۵-۲- ۲-۳- ۱- آماده سازی کاتد Cu_2S ۱۸۷
- ۱۶-۲- طرز تهیه الکترولیت ۱۸۸
- ۱۷-۲- روش بست نسل خورشیدی ۱۸۸
- منابع ۱۹۳
- ضمایم ۱۹۷
- واژه نامه ۲۰۱
- نمایه ۲۰۷

امروزه لایه‌نشانی در ابعاد میکرو و نانو یکی از مهم‌ترین مباحث فناوری‌های پیشرفته و تولید کالاهای دانش‌بنیان به حساب می‌آید که جایگاه ویژه‌ای در روند توسعه علمی و فناوری کشورمان دارد. بهره‌گیری از این لایه‌ها در ساخت سلول‌های خورشیدی، نمایشگرهای مسطح، شیشه‌های هوشمند و... روزافزون است و از این رو می‌توان مدعی شد که بخش مهمی از فعالیت‌های فناوری و محصولات آتی را این دانش مهم پوشش خواهد داد. کتاب حاضر که حاصل تجربه و دستاورد بیش از ۶ سال تحقیق و انجام ۵ پروژه تحقیقاتی، پرورش چند دانشجوی تحصیلات تکمیلی و محقق، آموزش بیش از یک صد دانشجوی تحصیلات تکمیلی و ارائه بیش از ده مقاله معتبر علمی بین‌المللی است، برای توسعه این علم در کشور ارائه می‌شود.

در داخل کشور تاکنون کتاب‌های متعددی در زمینه سلول‌های خورشیدی یا لایه‌نشانی نازک به بازار ارائه شده اما کاربردی نبوده اند و اکثراً به مسائل تئوری محدود می‌باشند. حال آن که انتقال تجربیات اجرایی و مراحل پیچیده کار عملی که با بازدهی سلول‌های خورشیدی ارتباط مستقیم دارد، هدف اصلی تألیف این کتاب است. در این کتاب حتی تجربیات حاصل شده برای ساخت دستگاه‌های لایه‌نشانی و شرایط بهینه آزمایش‌ها؛ از تعیین نوع الکترولیت تا چگونگی تغییر شرایط محیطی و تا تعیین ولتاژها آورده شده است. به عبارت دیگر بخش حاوی ده‌ها نکته ریز عملیاتی و آزمایشگاهی است.

محققان و دانشجویان زیادی در داخل کشور برای لایه‌نشانی و ساخت سلول‌های خورشیدی پژوهش می‌کنند که بعضی از آنان در آزمایشگاه از روش سعی و خطا برای به دست آوردن راندمان بالاتر بهره می‌گیرند. این کتاب، تمامی این مراحل را به سخن ساده بیان می‌کند. به عبارت دیگر در این کتاب سعی شده است تا فرایند لایه‌نشانی نازک در عمل بیان و روش‌های مختلف این کار از جمله لایه‌نشانی کندو پاش؛ چرخشی و فیزیکی به بحث گذاشته شود. در نهایت استفاده از آن برای ساخت سلول‌های خورشیدی در آزمایشگاه و با رنگدانه‌های آلی یا نقاط کوانتومی نشان داده می‌شود.

در این کتاب تا حد امکان از ورود به مسائل تئوری که خوشبختانه تألیف، ترجمه و حتی کتاب‌های خارجی متعددی از آن‌ها در دسترس بوده، پرهیز شده است مگر در حد نیاز و در جایی که به فهم مسائل کمک نماید.

با توجه به اثرگذاری لایه‌های هادی نازک بر راندمان و عملکرد سلول‌های خورشیدی و از این رو که پیشرفت‌های این بخش یکی از محورهای توسعه فناوری مربوط به سلول‌های خورشیدی است، بخش اول این کتاب به لایه‌نشانی و آنالیز سطح اختصاص دارد. باید اذعان داشت که

پیشرفت‌های جامعه علمی کشورمان در این بحث، در سال‌های گذشته چشمگیر و امیدوارکننده است. نسلی ایرانی که از فراز و نشیب‌های هدایت شده توسط نسل علمی و با تجربه ما، پا به این صحنه می‌گذارد، دارای این ظرفیت است که تحولی بنیانی در این راستا و به خصوص در زمینه به بار نشاندن نتایج حاصل از تحقیق و فناوری به وجود آورد.

بی تردید محتوا، نگارش و تنظیم این کتاب نیز همراه با ایراد و اشکال‌هایی است. برای رفع آن، دست نیاز به سماعت با دانش پژوهان و استادان محترم دراز کرده و راهنمایی شما را خواستارم.

حسین سالار آملی

سازمان پژوهش‌های علمی و صنعتی ایران

- آزمایشگاه نانو و لایه‌نشانی نازک

۱۳۹۳

www.ketab.ir