



مبانی لایه‌نشانی و آنالیز نانوساختار

جهانبخش مشایخی

www.ketab.ir

مرکز نشر دانشگاهی

وزارت معارف و اوقاف و صنایع مستظرفه



مبانی لایه‌نشانی و آنالیز نانو ساختار

تألیف جهانبخش مشایخی

نسخه پرداز: نادیا فرهادتوسکی
طراح جلد: حسین راست‌منش
حروفچین و صفحه‌آرا: منیژه دیارمند
مرکز نشر دانشگاهی
چاپ اول ۱۳۹۳
تعداد ۵۰۰
چاپ دیجیتال و صحافی: آریانا
۱۸۰۰۰ تومان

نشانی فروشگاه مرکزی: خیابان انقلاب، روبه‌روی سینما سپیده، پاساژ خیبری، تلفن: ۶۶۴۰۸۸۹۱، ۶۶۴۱۰۶۸۶
نشانی فروشگاه و نمایشگاه دائمی: خیابان دکتر بهشتی، خیابان خالد اسلامبولی، نبش خیابان دهم، شماره ۵۰، تلفن: ۸۷۲۵۹۵۴

فروش اینترنتی: www.bookiup.ir

حق چاپ برای مرکز نشر دانشگاهی محفوظ است
فهرست‌نویسی پیش از انتشار کتابخانه ملی جمهوری اسلامی ایران

سرشناسه: مشایخی، جهانبخش، ۱۳۵۳-
عنوان و نام پدیدآور: مبانی لایه‌نشانی و آنالیز نانو ساختار / جهانبخش مشایخی،
مشخصات نشر: تهران: مرکز نشر دانشگاهی، ۱۳۹۳.
مشخصات ظاهری: هشت، ۳۰۱ ص: مصور، جدول، نمودار.
فروست: مرکز نشر دانشگاهی؛ ۱۴۸۲. شیمی و مهندسی شیمی؛ ۱۶۸
شابک: 978-964-01-1482-7
وضعیت فهرست‌نویسی: فیا
یادداشت: واژه‌نامه.
یادداشت: کتابنامه.
موضوع: لایه‌های نازک
رده‌بندی کنگره: ۱۳۹۳/۴۸۲/۱۷۶: QC
رده‌بندی دیویی: ۵۳۱/۴۱۷۵
شماره کتابشناسی ملی: ۳۶۷۵۱۴

فهرست

صفحه	عنوان
هفت	پیشگفتار
۱	۱ خلا
۱	۱.۱ مقدمه
۲	۲.۱ مشخصات خلا
۶	۳.۱ سیستم خلا
۱۹	۴.۱ فشارسنج
۲۶	۵.۱ طیف سنج جرمی
۳۴	۶.۱ نشت یابی
۳۷	منابع
۳۸	۲ ساختار لایه
۳۸	۱.۲ مقدمه
۳۹	۲.۲ هسته بندی و انباشت لایه نازک
۴۰	۳.۲ مدهای انباشت
۴۵	۴.۲ خواص مکانیکی لایه های نازک

۷۱	۵.۲	یکنواختی لایه و ضخامت سنجی آن
۸۶	۶.۲	تمیزکاری زیرلایه
۹۸		منابع
۱۰۱	۳	روش های لایه نشانی
۱۰۱	۱.۳	مقدمه
۱۰۲	۲.۳	انباشت به روش تبخیر فیزیکی (PVD)
۱۵۲	۳.۳	انباشت به روش تبخیر شیمیایی CVD
۱۶۷		منابع
۱۷۱	۴	فیلترهای ایتیکی
۱۷۱	۱.۴	مقدمه
۱۷۲	۲.۴	المان های ایتیکی
۱۸۰	۳.۴	فیلترهای لایه نازک ایتیکی
۲۱۱		منابع
۲۱۳	۵	آنالیز سطح
۲۱۳	۱.۵	مقدمه
۲۱۶	۲.۵	برهم کنش ذره باردار با سطح
۲۳۹	۳.۵	برهم کنش پرتو ایکس با سطح
۲۴۷	۴.۵	برهم کنش پرتو نور با سطح نمونه
۲۵۹	۵.۵	میکروسکوپ های پروبی روبشی SPM
۲۶۸		منابع
۲۷۱		پیوست
۲۹۲		واژه نامه فارسی-انگلیسی
۲۹۷		واژه نامه انگلیسی-فارسی

بسم الله الرحمن الرحيم

پیشگفتار

فناوری لایه نازک شامل مجموعه‌ای از فنون متنوع است که به واسطه آن می‌توان محصولی جدید و با ماهیت متفاوت ساخت. استحکام، حساسیت و دقت خیره‌کننده محصول به دست آمده موجب شده است که فناوری لایه نازک در بسیاری از صنایع مانند ساخت مدارهای مجتمع، نیم‌رساناها، حسگرها (سنسورها)، المان‌های اپتیکی و سلول‌های خورشیدی با سرعت بسیار زیاد مورد استفاده قرار گیرد. باید توجه داشت که در بُعد دانشگاهی، متأسفانه بجز چند مرکز دانشگاهی مانند دانشگاه صنعتی شریف و دانشگاه تهران که به همت استادان گران قدری همچون آقایان دکتر مشفق، دکتر مهاجرزاده، دکتر سلیمانی، دکتر سوالونی و خانم دکتر ایرجی، تلاش‌های تحسین‌برانگیزی وجود نداشته است. به نظر می‌رسد به دلیل نداشتن درک کافی از نقش انکارناپذیر فناوری لایه نازک در رشد علوم و صنایع دیگر، اهمیت آن نیز از طرف مدیران ارشد دانشگاهی به خوبی احساس نشده است. به همین دلیل هیچ حرکت و اندیشه محسوس در جهت گسترش این فناوری مهم در بین دانشگاه‌های کشور انجام نشده است. گواه این مهم آنکه هیچ تلاش محسوسی درخصوص راه‌اندازی رشته‌ای دانشگاهی در زمینه فناوری لایه نازک و علوم مربوط به آن مانند خلا در بین رشته‌های متعدد دانشگاهی نشده است.

اما از بُعد صنعتی، به نظر می‌رسد با توجه به درخواست‌های فراوان صنایع مختلف به خدمات حاصل از این فناوری، گام‌های مؤثرتری توسط مراکز مهم علمی-صنعتی، مانند صنایع اپتیک، مرکز ملی علوم و فنون لیزر، جهاد دانشگاهی دانشگاه صنعتی شریف، سازمان انرژی اتمی، و پارک‌های فناوری در جهت خودکفایی کشور، مخصوصاً از نظر سخت‌افزاری، برداشته شده است. ساخت

پمپ‌های مختلف خلأ مانند پمپ روتاری، پمپ دیفیوژن و پمپ توربو مولکولار و همچنین ساخت سیستم‌های مختلف لایه‌نشانی، خود گواه این امر است.

فناوری لایه نازک برگرفته از علوم مختلفی همچون مهندسی مواد، برق، و الکترونیک، مکانیک، فیزیک، و شیمی است که به‌واسطه آن با انباشت یک یا چند ماده روی یک قطعه (زیرلایه)، می‌توان محصول جدید با رفتاری کاملاً متفاوت با ماهیت مواد انباشت‌شده و یا زیرلایه ساخت. حساسیت و دقت مورد نیاز در کنترل پارامترهایی مانند ضخامت، مقدار خلأ، آهنگ انباشت، دما و نرخ ورودی گازهای مورد استفاده، مشخص‌کننده کیفیت محصول مورد نیاز است. شناخت درست از روش لایه‌نشانی مورد انتخاب و کنترل نرم‌افزاری و سخت‌افزاری آن تأثیر‌گریزناپذیری در نتیجه محصول به‌دست آمده دارد. بنابراین در این کتاب تلاش شده است تا علاوه بر تشریح نظریه لایه نازک و فرایندهای مربوط به آن، نگاهی ساختاری به روش‌های مختلف لایه‌نشانی بیندازیم.

با توجه به اینکه تمامی روش‌های لایه‌نشانی بحث‌شده در این کتاب در شرایط خلأ انجام می‌پذیرد، در فصل ۱، بررسی سیستم خلأ، نحوه ایجاد خلأ و روش‌های اندازه‌گیری خلأ، مورد توجه قرار گرفته است. در فصل ۲، با بررسی ساختار لایه نازک تلاش شده است تا شناخت کاملی از مدهای رشد لایه، خواص مکانیکی لایه و ارتباط بین آنها و همچنین ضخامت‌سنجی لایه، در ذهن خواننده ایجاد شود. در فصل ۳ روش‌های متداول لایه‌نشانی فیزیکی مانند لایه‌نشانی تبخیری، کندوپاش، لایه‌نشانی لیزری و انواع مختلف لایه‌نشانی شیمیایی، به تفکیک تشریح شده‌اند. در فصل ۴، فرایند ساخت فیلترهای اپتیکی با استفاده از فناوری لایه نازک مورد توجه قرار گرفته است و یکی از جذاب‌ترین و کاربردی‌ترین محصولات در فناوری لایه نازک به شمار می‌رود. خواهیم دید که چگونه با انباشت چند لایه نازک روی شیشه، می‌توان تعداد بسیاری فیلتر اپتیکی با ماهیت‌های متفاوت ساخت. در فصل ۵ نیز آنالیزهای مورد نیاز برای بررسی کیفی لایه‌های نازک تشریح شده‌اند. این آنالیزها شامل میکروسکوپ‌های الکترونی عبوری (TEM)، میکروسکوپ‌های الکترونی روبشی (SEM)، انواع مختلف میکروسکوپ‌های پروبی روبشی (SPM)، آنالیز طیف‌نگار بیضی‌سنج^۱، آنالیز پس‌پراکندگی رادرفورد (RBS)، آنالیز طیف‌نگاری جرمی یون ثانویه (SIMS)، آنالیز XPS و آنالیز XRD اند، که نقش اصلی آنها در آنالیز نانو ساختارهاست. در این فصل تلاش شده تا آنالیزهای بحث‌شده، با نگاهی متفاوت از آنچه که در دیگر کتابهای مشابه مشاهده می‌شود، مورد بررسی قرار گیرند. به این ترتیب که در ابتدا روش مورد استفاده در این آنالیزها در غالب سه گروه (براساس برهم‌کنش بین ذره باردار، پرتو ایکس و یا پرتو نور با سطح لایه نازک)، بررسی می‌شود، سپس ساختار و عملکرد آنها با توجه به تقسیم‌بندی‌شان به‌طور مجزا تشریح می‌گردد.

1. spectroscopic ellipsometry

مهمترین هدف مؤلف از تهیه این کتاب، کمبود و یا نبود یک کتاب کاربردی برای علاقه‌مندان به حوزه لایه‌نشانی و لایه نازک است. از این رو تلاش شده است که با پرهیز از ارائه مطالب بدون کاربرد و نا ضروری، کتابی مفهومی و کاربردی برای علاقه‌مندان به این حوزه و به‌ویژه دانشجویان کارشناسی و کارشناسی ارشد فیزیک، برق، الکترونیک، مواد، و صنعتگران علاقه‌مند که زمینه فعالیت آنها در حوزه لایه نازک است، ارائه گردد. به گونه‌ای که خواننده با مطالعه هر بخش بتواند درک کاملی از لایه‌نشانی و آنالیز لایه داشته باشد.

یادآوری این نکته ضروری است که در فناوری لایه نازک، در شرایط آزمایشگاهی، ممکن است طبیعت مواد با آنچه که به‌طور نظری مطالعه می‌شود، متفاوت باشد. یعنی علاوه بر درک صحیحی از نظریه لایه نازک، شناخت کاملی از شرایط آزمایشگاهی و تأثیر آن در خواص لایه‌ها نیز ضروری است. از این رو، برای درک کامل فناوری لایه نازک، با توجه به تنوع پارامترهای تأثیرگذار و نوع کنترل آنها، به فرایند عمیقی نیاز است که تشریح آن به صورت نظری و فقط در غالب یک کتاب آموزشی دشوار است. از سوی دیگر، به دلیل محدودیت در تعداد آزمایشگاه‌های لایه‌نشانی و آنالیز لایه، کسب این دانش به شکل عملیاتی و آزمایشگاهی، فقط برای اندکی از دانشجویان و علاقه‌مندان میسر است. موارد یادشده مؤلف را بر آن داشت تا به همراه کتاب، یک لوح فشرده حاوی فیلم‌های علمی که برگرفته از فصل‌های مختلف کتاب است، تهیه کند تا دانشجویان و علاقه‌مندان به حوزه لایه نازک به راحتی بتوانند ارتباط میان مطالب نظری و عملی را بیابند. بی‌شک آموزش تصویری، می‌تواند بسیاری از موارد مورد نیاز را که امکان ارائه آنها در کتاب نیست، با استفاده از انیمیشن‌ها، تصاویر متنوع و استفاده از فیلم‌های متنوع آموزشی، در محیطی دلنشین، همانند شرایط آزمایشگاهی، در اختیار خواننده قرار دهد.

لوح فشرده شامل ۵ فیلم آموزشی است. در فیلم اول، مقدمه‌ای در مورد لایه نازک، اهمیت آن و جایگاه آن در کشور عزیزمان ایران آورده شده است. در فیلم دوم به بررسی خلایکی که یکی از محوره‌های اساسی در فناوری لایه نازک است، پرداخته می‌شود به علاوه سیستم خلأ نحوه ایجاد آن، روش‌های اندازه‌گیری مقدار فشار خلأ نیز بررسی شده است.

در فیلم سوم، علاوه بر نگاهی ساختاری به روش‌های مختلف لایه‌نشانی، روش‌های متداول لایه‌نشانی فیزیکی (مانند لایه‌نشانی تبخیری، اسپاترینگ، لایه‌نشانی لیزری) و انواع مختلف لایه‌نشانی شیمیایی، نیز بررسی شده است.

در فیلم چهارم، علاوه بر بررسی ساخت فیلترهای ایتیکی که یکی از کاربردهای مهم لایه‌نشانی است، به فرایند تمیزکاری قطعات و نیز فرایند ضخامت‌سنجی لایه‌ها اشاره شده است. در فیلم پنجم، آنالیزهای فصل ۵ کتاب، در محیطی جذاب، به‌طور مجزا بررسی شده است. با توجه به

اینکه مطالب ارائه شده در این قسمت، طیف گسترده‌ای از آنالیزها را شامل می‌شود، مشاهده آن، می‌تواند راهنمای بسیار خوبی برای علاقه‌مندان به آنالیز سطح، لایه‌های نانوساختار و یا لایه‌های نازک و درک جامع‌تری از روش مورد استفاده در این آنالیزها باشد.

در فیلم ششم تلاش شده است که به صورت عملی، فرایند خلأسازی و لایه‌نشانی به روش تبخیر مقاومتی و تفنگ الکترونی نشان داده شود. برای انجام آن از دستگاه لایه‌نشانی سیلا ۹۰ و سیلا ۷۰ (ساخته شده در مرکز ملی علوم و فنون لیزر ایران)، استفاده شده است.

همچنین مجموعه‌ای از فیلم‌های آموزشی، مانند کار با دستگاه SEM به همراه دیگر فیلم‌های آموزشی، به زبان اصلی آورده شده است. همچنین تلاش شده است که مطالب جدید به همراه فیلم‌های آموزشی به روز شده در سایت علمی-آموزشی www.thinfilmscience.com قرار گیرد. در اینجا جا دارد از شمع فروزان تمام زندگیم، مادر فداکارم، کوه استوار زندگیم، پدر گرانقدرم، عشق بی‌همتای زندگیم، همسر مهربانم و آرنیکای عزیزم، دخترم که وجودشان به معنی واقعی کلمه، دلیل بودنم و دلاشتم در این گیتی پهناور است، خاضعانه کمال قدردانی را دارم.

در اینجا لازم می‌دانم از جناب آقای دکتر صباغ‌زاده، که مشوق اصلی من در ورود به این عرصه مهم بوده‌اند و نیز از حمایت‌های بی‌دریغ جناب آقای دکتر ذبیحی، تشکر کنم. همچنین از جناب آقای دکتر نبوی، ریاست محترم مرکز ملی لیزر و جناب آقای حاجی‌پور ریاست محترم مرکز نشر دانشگاهی که امکان چاپ این کتاب را به بهترین شکل فراهم کرده‌اند، کمال قدردانی را دارم. از جناب آقای دکتر دهقان معاونت محترم پژوهشی مرکز نشر دانشگاهی و همچنین جناب آقای حسن‌پور، مدیر کنترل کیفی مرکز نشر که به‌واقع جزو سرمایه‌های گران‌قدر کشور در زمینه کنترل کیفی کتب هستند و در این مسیر کمک شایان کردند، کمال قدردانی را دارم. در انتها از تمامی همکاران عزیزم در مرکز ملی لیزر که در زمینه ویرایش کتاب مباری کرده‌اند، سپاسگزارم. به‌ویژه از برادر عزیزم آقای علی مشایخی که در تهیه و تدوین فیلم مباری بسیار رسانده‌اند، سپاسگزاری می‌کنم.

بی‌صبرانه، منتظر دیدن و شنیدن پیشنهادهای شما برای رفع ایرادها و ابهامات موجود در کتاب و یا فیلم‌های ارائه شده هستم. امید است تألیف این کتاب، کمکی باشد هر چند ناچیز در افزایش همت والای جوانان ایران‌زمین در فتح یکی دیگر از قله‌های رفیع دانش.

جهانبخش مشایخی، ۱۳۹۳

E. mail: mashaiekhj@gmail.com