

۱۵۶۷۸۹۳

بسم الله الرحمن الرحيم

فیزیک و فن آوری لایه‌های نازک

تألیف: دکتر رضا افضل زاده

Ph. D in Physics

دانشیار دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی

سرشناسه : افضل زاده، رضا، ۱۳۳۹ -
 عنوان و نام پدیدآور : فیزیک و فن آوری لایه‌های نازک / تألیف رضا افضل زاده.
 مشخصات نشر : تهران: دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی، ۱۳۸۸.
 مشخصات ظاهری : IX، ۵۵۰ ص.: مصور، جدول، نمودار.
 فروست : انتشارات دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی؛ ۲۵۰.
 شابک : ۹۰۰۰۰ ریال: ۹۷۸-۹۶۴-۸۷۰۳-۶۴-۱
 وضعیت فهرست : فیا
 نویسی
 موضوع : لایه‌های نازک
 شناسه افزوده : دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی
 رده بندی کنگره : ۱۷۶/۸۲QC / الف ۷۶۴۹ ۱۳۸۸
 رده بندی دیویی : ۶۲۱/۳۸۱۵۲
 شماره کتابخانه‌شناسی : ۰۰۰۶۳۹۱
 ملی

نام کتاب: فیزیک و فناوری لایه‌های نازک

مؤلف: دکتر رضا افضل زاده، عضو هیات علمی گروه فیزیک، دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی

ناشر: انتشارات دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی

حروف چینی: فریبا علی اکبری و انعام وکی

نوبت چاپ: اول

تاریخ چاپ: بهمن ۱۳۸۸

تیراژ: ۱۰۰۰ جلد

قیمت: ۹۰۰۰ تومان (با جلد گالینگور ۱۰۷۵۰ تومان)

کد کتاب: ۲۵۰

ISBN: 978-964-8703-64-1

شابک: ۹۷۸-۹۶۴-۸۷۰۳-۶۴-۱

لیتوگرافی: چاپ پایان

چاپ و صحافی: گرنامی

تلفن مرکز پخش: ۸۸۷۷۲۲۷۷ (۰۲۱)

* عکس روی جلد: لایه نازک Zn که در آزمایشگاه نویسنده لایه نشانی شده و ابعاد آن چند صد و ضخامت آن چند نانومتر و به شکل صفحات شش ضلعی رشد نموده است.

(حق چاپ برای ناشر محفوظ است)

پیش گفتار

فصل ۱ ویژگی، ساختار و ترمودینامیک مواد

۱	 مقدمه	
۲	 ساختار مواد	۱-۱
۳	 ساختار جامدات	۱-۱-۱
۹	 ناراستی در بلورها	۲-۱-۱
۱۳	 پیوند اتم‌ها	۳-۱-۱
۱۸	 ترمودینامیک واکنش‌های شیمیایی	۲-۱
۲۴	 تشکیل و ساختار لایه نازک	۳-۱
۲۷	 سرشت سنجی ساختار هسته‌بندی و رشد	۱-۳-۱
۳۰	 ساختار دانه‌بندی لایه‌نازک	۲-۳-۱
۳۸	 لایه‌های نازک اریخت	۳-۳-۱
۴۱	 نظریه جنبشی گازها	۴-۱
۴۱	 سرعت‌های مولکولی گاز	۱-۴-۱
۴۳	 فشار	۲-۴-۱
۴۵	 برخورد گاز با سطوح	۳-۴-۱
۴۹	 تمرین	
۵۱	 منبع	
۵۳	 بافصلی	

فصل ۲ فن آوری ایجاد و اندازه گیری خلأ

۵۵	 مقدمه	
۵۶	 ترابری گاز و مکش	۱-۲
۵۸	 میزان هدایت گاز	۱-۱-۲
۶۱	 سرعت مکش	۲-۱-۲
۶۴	 پمپ های خلأ و سامانه های تبخیر	۱-۲
۶۴	 پمپ های تک مرحله ای	۱-۲-۲
۶۸	 پمپ های انتشاری و غنی	۲-۲-۲
۷۱	 پمپ های مولکولی توربو	۳-۲-۲
۷۴	 پمپ های پرودتی	۴-۲-۲
۷۶	 پمپ های پراکنش یونی	۵-۲-۲
۷۷	 سامانه لایه نشانی آزمایشگاهی	۶-۲-۲
۸۰	 تحلیل مکش پمپ و نشت گاز	۷-۲-۲
۸۵	 خلأ سنج ها	۳-۲
۸۵	 خلأ سنج پیرانی	۱-۳-۲
۸۶	 خلأ سنج ترموکوبلی	۲-۳-۲
۸۸	 خلأ سنج یونشی	۳-۳-۲
۸۹	 خلأ سنج یونشی کاتد گرم	۴-۳-۲
۹۰	 خلأ سنج بایارد-آلبرت	۵-۳-۲
۹۲	 خلأ سنج پنینگ (یونش کاتد سرد)	۶-۳-۲
۹۳	 تنظیم خلأ سنج برای گازهای مختلف	۷-۳-۲
۹۴	 تمرین	
۹۶	 منبع	
۹۷	 پافصلی	

فصل ۳ انباشت فیزیکی و شیمیایی بخار مواد

۹۹	 مقدمه	
۱۰۲	 فیزیک و شیمی تبخیر	۱-۳
۱۰۲	 نرخ انباشت	۱-۱-۳
۱۰۳	 فشار بخار عناصر	۲-۱-۳
۱۰۸	 تبخیر مواد مرکب	۳-۱-۳
۱۰۹	 بخیر آلیاژها	۴-۱-۳
۱۱۱	 خلوص و یکنواختی لایه ها	۲-۳
۱۱۱	 هندسه انباشت	۱-۲-۳
۱۱۴	 یکنواختی ضخامت لایه	۲-۲-۳
۱۲۰	 پوشش همدیس	۳-۲-۳
۱۲۲	 خلوص لایه ها	۴-۲-۳
۱۲۴	 سخت افزار و روش های تبخیر	۳-۳
۱۲۴	 چشمه های تبخیر مقاومت حرارتی	۱-۳-۳
۱۲۶	 تبخیر با باریکه الکترونی (e-Beam)	۲-۳-۳
۱۲۹	 روش های انباشت	۳-۳-۳
۱۳۴	 تخلیه تابناک و پلاسما	۴-۳
۱۳۶	 تخلیه تابناک DC	۱-۴-۳
۱۳۸	 گونه های تخلیه	۲-۴-۳
۱۴۰	 فراروندهای برخورد	۳-۴-۳
۱۴۴	 کندوپاش	۵-۳
۱۴۴	 بر همکنش یون با سطح	۱-۵-۳
۱۴۵	 حاصل کندوپاش	۲-۵-۳
۱۴۸	 کندوپاش آلیاژها	۳-۵-۳

IV - فیزیک و فن آوری لایه های نازک

۱۵۰	پیشینه گرمایی زیرآیند	۴-۵-۳
۱۵۵	فراروندهای کندوپاش	۶-۳
۱۵۵	کندوپاش DC	۱-۶-۳
۱۵۸	کندوپاش RF	۲-۶-۳
۱۶۲	کندوپاش مگنترونی	۳-۶-۳
۱۶۵	کندوپاش واکنشی	۴-۶-۳
۱۶۹	کندوپاش با ولتاژ زمینه	۵-۶-۳
۱۷۲	مقایسه روش تبخیر با کندوپاش	۶-۶-۳
۱۷۴	فرارنده ترکیبی و اصلاح شده PVD	۷-۳
۱۷۴	اند دگری رنی	۱-۷-۳
۱۷۵	تبخیر واکنشی (RF)	۲-۷-۳
۱۷۶	انباشت با مشرک پرتو رنی (IAD)	۳-۷-۳
۱۷۶	انباشت پرتو خوشه‌ای پهنیزر (CB)	۴-۷-۳
۱۷۹	انباشت شیمیایی بخار (PVD)	۸-۳
۱۸۱	برآرایی باریکه مولکولی (MIBE)	۹-۳
۱۸۶	سُل ژل و تولید نانو ذرات	۱۰-۳
۱۹۱	تمرین	
۱۹۴	منبع	
۱۹۶	بافصلی	

فصل ۴ سرشت سنجی لایه‌های نازک

۱۹۹	مقدمه	
۱۹۹	اندازه‌گیری ضخامت لایه‌های نازک	۱-۴
۲۰۰	روش‌های نورشناختی	۱-۱-۴
۲۰۷	روش‌های مکانیکی و الکترونیکی	۲-۱-۴

۲۱۲	 اثر هال	۲-۴
۲۱۵	 سرشت سنجی ساختاری	۳-۴
۲۱۶	 میکروسکوپ الکترونی پویشی (SEM)	۱-۳-۴
۲۲۰	 میکروسکوپ الکترونی تراگسیلی (TEM)	۲-۳-۴
۲۲۱	 میکروسکوپ نیروی اتمی (AFM)	۳-۳-۴
۲۲۷	 پراش پرتو ایکس	۴-۳-۴
۲۲۹	 سرشت سنجی شیمیایی	۴-۴
۲۳۳	 کاربردها	۱-۴-۴
۲۳۵	 تمرین	
۲۳۷	 منبع	
۲۳۸	 پافصلی	

فصل ۵ خواص الکتریکی و رسانایی لایه های نازک

۲۳۹	 مقدمه	
۲۳۹	 خواص الکتریکی لایه های نازک	۱-۵
۲۴۲	 اندازه گیری مقاومت ویژه لایه های نازک	۱-۱-۵
۲۴۵	 رسانش الکتریکی لایه های نازک	۲-۵
۲۴۶	 قانون ماتیسون	۱-۲-۵
۲۴۸	 پراکندگی الکترون از سطوح لایه	۲-۲-۵
۲۵۲	 مقاومت الکتریکی لایه های نازک	۳-۲-۵
۲۵۴	 تراپرد الکتریکی لایه های نازک دی الکتریک	۳-۵
۲۵۶	 روشکرد تراپرد الکتریکی ویژه	۱-۳-۵
۲۶۰	 اتصالات نیمرسانا و ساختار MOS	۴-۵
۲۶۰	 اتصال فلز - نیمرسانا	۱-۴-۵

VI - فیزیک و فن آوری لایه های نازک

۲۶۳	 ساختارهای MOS	۲-۴-۵
۲۶۶	 فروریزش دی الکتریک	۳-۴-۵
۲۶۹	 آبررسانایی لایه های نازک	۵-۵
۲۷۳	 تونل زنی در لایه های نازک ابررسانا	۱-۵-۵
۲۷۶	 خواص فرومغناطیسی مواد	۶-۵
۲۸۰	 اثرات مقطع و دما بر بردار M	۱-۶-۵
۲۸۳	 حافظه مغناطیسی لایه نازک	۷-۵
۲۸۴	 حوزه ها در لایه های نازک	۱-۷-۵
۲۸۶	 رفتار یک حوزه	۲-۷-۵
۲۸۹	 بردار M و دما بر فجه لایه نازک	۳-۷-۵
۲۹۲	 تمرین	
۲۹۶	 منبع	
۲۹۸	 پافصلی	

فصل ۶ ویژگی نورشناختی لایه های نازک

۳۰۱	 مقدمه	
۳۰۲	 ویژگی لایه های نورشناختی	۱-۶
۳۰۵	 ویژگی نورشناختی فلزات و آینه ها	۱-۱-۶
۳۰۹	 اثرات نورشناختی دی الکتریک ها	۲-۱-۶
۳۱۱	 اثرات نورشناختی نیمرساناها	۳-۱-۶
۳۱۴	 لایه های نازک رسانای شفاف	۴-۱-۶
۳۱۵	 ویژگی نورشناختی لایه های دی الکتریک و نیمرسانا	۵-۱-۶
۳۲۱	 فیزیک تداخل در لایه های نازک	۲-۶
۳۲۵	 لایه های غیرجاذب با یک سطح مشترک	۱-۲-۶
۳۲۸	 لایه های غیرجاذب با دو سطح مشترک	۲-۲-۶
۳۳۳	 لایه های جاذب	۳-۲-۶

۳۳۵	 کاربرد چند لایه های نوری شناختی	۳-۶
۳۳۶	 لایه های ضد بازتابش (AR)	۱-۳-۶
۳۳۸	 چند لایه ای دی الکتریک	۲-۳-۶
۳۴۱	 نور سرد و آینه های گرمایی	۳-۳-۶
۳۴۲	 لایه های نور گرمایی	۴-۳-۶
۳۴۳	 صافی های نوری	۵-۳-۶
۳۴۷	 اثرات نور شناختی در طول موج های بلند	۶-۳-۶
۳۵۰	 تمرین	
۳۵۳	 منبع	
۳۵۵	 بافصلی	

فصل ۷ خواص مکانیک و پدیده های نازک

۳۵۷	 مقدمه	
۳۵۹	 تنش لایه های نازک	۱-۷
۳۶۳	 چسبندگی لایه های نازک	۲-۷
۳۶۴	 انرژی شناسی چسبندگی	۱-۲-۷
۳۶۵	 سطح مشترک لایه و زیرآبند	۲-۲-۷
۳۶۷	 نظریه های چسبندگی	۳-۲-۷
۳۶۹	 آزمایش چسبندگی	۴-۲-۷
۳۷۱	 لایه های سخت	۳-۷
۳۷۶	 سختی سنجی لایه های نازک	۱-۳-۷
۳۸۰	 تمرین	
۳۸۱	 منبع	
۳۸۲	 بافصلی	

فصل ۸ مواد و روش ساخت افزاره‌های لایه نازک

۳۸۳	 مقدمه	
۳۸۴	 زیرآیندهای ویژه لایه نازک	۱-۸
۳۹۱	 الگوسازی افزاره‌ها	۲-۸
۳۹۱	 تهیه الگو و ماسک	۱-۲-۸
۳۹۳	 نقش نگاری نوری	۲-۸
۳۹۵	 زدایش شیمیایی برای الگوسازی	۳-۲-۸
۴۰۱	 ااشین کال میکرونی سیلیسیوم	۴-۲-۸
۴۰۳	 مواد رسانا، نازک و افزاره‌های غیر فعال	۳-۸
۴۰۴	 رساناها (Ag, Au, Al, Cr, Pd)	۱-۳-۸
۴۰۷	 مقاومت‌های الکتریکی (Cermets, Cr, Ni-Cr, Re Ta, Ta ₂ N)	۲-۳-۸
۴۱۰	 دی الکتریک‌ها (SiO, SiO ₂ , Ta ₂ O ₅ , MnO ₂ -Ta ₂ O ₅ , Ta ₂ O ₅ -SiO ₂ , polymers)	۳-۳-۸
۴۱۵	 فرومغناطیس‌ها	۴-۳-۸
۴۱۶	 ابررساناها	۵-۳-۸
۴۱۷	 تمرین	
۴۱۸	 منبع	
۴۲۰	 پافصلی	

فصل ۹ کاربردهای منتخب لایه‌های نازک

۴۲۱	 مقدمه	
۴۲۲	 کاربردهای پیشرفته لایه‌های نازک	۱-۹
۴۲۲	 لایه‌های نازک برای ضبط مغناطیسی	۱-۱-۹
۴۲۷	 ضبط نوری	۲-۱-۹
۴۳۱	 لایه‌های نازک ابررسانای گرم	۳-۱-۹

۴۳۵	 لایه های الماسی	۴-۱-۹
۴۳۹	 فرا شبکه ها	۵-۱-۹
۴۴۵	 افزارهای کوانتومی	۶-۱-۹
۴۵۱	 مدارهای مجتمع نوری (OIC)	۷-۱-۹
۴۶۱	 مدارهای مجتمع ریزموج (MIC)	۸-۱-۹
۴۶۸	 ترموپیل های لایه نازک	۹-۱-۹
۴۷۵	 لایه های نازک شفاف رسانا (TCO)	۱۰-۱-۹
۴۸۵	 آزبردهای صنعتی لایه های نازک	۲-۹
۴۸۸	 افزارهای حساس	۱-۲-۹
۴۹۰	 کاندیدهای سبزی راد غذایی	۲-۲-۹
۴۹۲	 کاسه چرخ خودرو	۳-۲-۹
۴۹۳	 لامپ های پخش بوهام	۴-۲-۹
۴۹۴	 شیشه های ساختمانی	۵-۲-۹
۴۹۹	 تمرین	
۵۰۰	 منبع	
۵۰۵	 بافصلی	
۵۰۷	 فهرست جدول ها و شکل ها	
۵۱۴	 جدول اختصارات	
۵۱۶	 جدول های ضمیمه	
۵۱۹	 واژه نامه انگلیسی به فارسی	

همانگونه که در تاریخچه لایه‌های نازک گفته شد فن‌آوری لایه‌های نازک به چند هزار سال پیش بر می‌گردد، اما لایه‌نشانی در محیط گاز بی‌اثر برای اولین بار توسط گروو در سال ۱۸۵۲ میلادی مشاهده شد، از آن زمان تاکنون پیشرفت‌های بسیاری در این علم و فناوری صورت گرفته و هنوز هم مورد توجه بسیار قرار دارد. این فن‌آوری مانند بسیاری از علوم و فن‌آوری‌های دیگر در کشور ما در سال‌های اخیر مورد توجه قرار گرفته که متأسفانه دلیل عدم آشنایی و تخصص کافی کاربران دستگاه‌های خلأ و عدم اطلاعات علمی لازم، کیفیت تولیدات صنعتی این فن‌آوری بسیار پایین است. هر چند که فن‌آوری خلأ، لایه‌های نازک و فرا نازک در مراکز پژوهشی همچنان با محدودیت‌های بسیاری مواجه است اما در صنعت نوپای ما، نوزادی تازه متولد و در حال رشد است.

در ابتدا قصد داشتم، یک کتاب خوب در موضوع لایه‌های نازک ترجمه کنم اما پس از بررسی، چند سال تدریس این رصع و همچنین ارتباط با صنایع مرتبط، به این نتیجه رسیدم که آنچه در کشورهای دیگر تألف شده، فقط بخشی از نیاز کشور ما را تأمین می‌کند از این رو علاوه بر مطالعه کتاب‌های مختلف بیشتر، تجربیات اندک پژوهش خود در موضوع لایه‌های نازک را نیز به آن افزودم.

در این کتاب نهایت تلاش برای پاس داشتن نیازت فارسی صورت گرفته و برای معادل سازی در حد امکان از کلمه‌های معادل مصوب فرهنگستان زبان و ادب فارسی، واژه نامه فیزیک مرکز نشر دانشگاهی و واژه نامه‌های معبر دیگر استفاده قرار گرفت. برای ترتیب مطالب در متن کتاب به جای استفاده از ترتیب ابجد از ترتیب حروف فارسی استفاده شده و واحد اعداد و علایم به تناسب و در صورت عدم تداخل با علایم دیگر بیشتر در سمت چپ عدد نوشته شده است تا فارسی خوانی آسانتر انجام شود.

در مواردی که معادل فارسی لغت‌های تخصصی در منابع دیگر یافت نشد، واژه سازی نمودم. برخی از کلماتی که معادل مناسب ندارد مانند:

degassing, outgassing, feedthrough, throughput, micrograph, substrate, laser ablation, layer, overlayer, under cut,

این گونه واژه سازی شدند(از راست به چپ): ریز تصویر، توان تخلیه، درون خور، گاززایی، گاززدایی، زیر رفت، روآیند، لایه، قلوه کنی لیزری، زیرآیند و برخی کلمات معادلی نامفهوم اما جا افتاده دارد به طوری که معنی واقعی آن با معادل خارجی آن تشابهی ندارد مانند کلمه Band gap که گاف انرژی واژه گزینی شده است. با توجه به معنی فارسی گاف که هیچ ارتباطی به gap ندارد شاید کلمه گام(قدم، مرحله، فاصله و ..) گویا تر باشد هر چند که معادل دقیقی نیست اما به لحاظ مفهومی بسیار نزدیکتر و مفهوم تر است. کلمه Process که فراروند واژه سازی شده است از ترکیب دو کلمه فرایند و روند استفاده شده که به معنی مراحل درونی و بیرونی یک دستگاه برای انجام کار یا اتفاقی است. برای کلمه mechanism، واژه روشکرد که از ترکیب دو کلمه روش و عملکرد یعنی روشی که باعث عمل می شود، ساخته شده است. مرجع هایی که با علامت مشخص شده مقالاتی است که اینجانب در پژوهش و تالیف آن نقش داشته ام.

هدف و سعی این کتاب در تألیف این کتاب در اولویت اول تأمین نیازهای آموزشی در مقاطع تحصیلی کارشناسی و کارشناسی ارشد و در مرحله بعد انتقال اطلاعات و معلومات لازم به صنایع و مراکز تحقیقاتی و فن آوری است. در متن کتاب سعی نموده ام کلیه نیازهای مرتبط با این فن آوری را در این کتاب جمع کنم تا افراد علاقه مند بتوانند حداکثر نیازهای خود را با استفاده از این کتاب رفع نمایند. لذا در تهیه جداول و نمودارها و همچنین در کیفیت عکس ها وسواس بسیار به خرج دادم. امید است تلاش اینجانب مورد قبول خداوند و خدایگان عزیز قرار گیرد.

رضا افشاری راده

زمستان ۱۳۸۸