

مبانی و کاربرد میکروسکپ‌های الکترونی

و روش‌های آنالیز پیشرفته

تالیف:

دکتر مرتضی رزم‌آرا

عضو هیئت علمی دانشگاه فردوسی مشهد

سرشناسه : رزم آرا، مرتضی، ۱۳۳۹ -
عنوان و نام پدیدآور : مبانی و کاربرد میکروسکوپ‌های الکترونی و روش‌های آنالیز
پیشرفته / تألیف مرتضی رزم آرا.
مشخصات نشر : مشهد: دانشگاه فردوسی مشهد، ۱۳۹۱.
مشخصات ظاهری : ۳۶۴ ص، مصور.
فروست : انتشارات دانشگاه فردوسی مشهد؛ شماره ۶۰۱.
شابک : (ISBN: 978-964-386-275-6)
وضعیت فهرست نویسی: فیبا.
یادداشت : چاپ قبلی: ارسلان، ۱۳۸۴.
موضوع : میکروسکوپ‌های الکترونی.
موضوع : میکروسکوپی الکترونی.
شناسه افزوده : دانشگاه فردوسی مشهد.
رده‌بندی کنگره: ۱۳۹۱ ر ۴۷ الف / ۲۱۲ QH
رده‌بندی دیویی: ۵۰۲/۸۲۵
شماره کتابخانه ملی: ۲۹۰۷۵۸۳



دانشگاه فردوسی مشهد

انتشارات، شماره ۶۰۱

مبانی و کاربرد میکروسکوپ‌های الکترونی و روش‌های آنالیز پیشرفته

تألیف

دکتر مرتضی رزم آرا

ویراستار

مهندس مصطفی کدکنی

وزیری، ۳۶۴ صفحه، ۱۰۰۰ نسخه، چاپ اول، زمستان ۱۳۹۱

امور فنی و چاپ: مؤسسه چاپ و انتشارات دانشگاه فردوسی مشهد

بها: ۹۰۰۰۰ ریال

ISBN: 978-964-386-275-6

شابک ۹۷۸-۹۶۴-۳۸۶-۲۷۵-۶

بسم الله الرحمن الرحيم

دل هر ذره را که بشکافی
آفتابش در میان بینی

هاتف اصفهانی

تقدیم به برادر عزیز و گرامی ام هادی رزم آرا

فهرست مطالب

پیش‌گفتار.....	۱۵
علائم اختصاری	۱۷
فصل ۱ - مبانی روشهای الکترون میکروسکوپی.....	۱۹
۱-۱- مقدمه	۱۹
۲-۱- تاریخچه میکروسکوپ‌های الکترونی	۲۲
۳-۱- فن‌آوری‌های ریزپرتو	۲۳
۴-۱- مزایای استفاده از میکروسکوپ‌های الکترونی	۲۴
۵-۱- معایب استفاده از میکروسکوپ‌های الکترونی	۲۵
۶-۱- کلیاتی در مورد میکروسکوپ‌های الکترونی	۲۵
۷-۱- آشنایی مقدماتی با کاربردهای میکروسکوپ‌های الکترونی	۲۶
۸-۱- خانواده میکروسکوپ‌های الکترونی	۲۸
۹-۱- شباهتها و تفاوت‌های عمده میکروسکوپ‌های الکترونی و نوری	۲۹
۱-۹-۱- نوع منبع	۲۹
۲-۹-۱- نوع عدسیها	۲۹
۳-۹-۱- اطلاعات قابل دست‌یابی	۳۰
۱۰-۱- مراحل اساسی عملکرد میکروسکوپ‌های الکترونی.....	۳۰
۱۱-۱- قابلیت‌های میکروسکوپ‌های الکترونی	۳۱
۱۲-۱- محدودیت‌های میکروسکوپ‌های الکترونی	۳۲
۱۳-۱- مبانی الکترون میکروسکوپی	۳۲
۱-۱۳-۱- عنصر تصویری (پیکسل)	۳۲
۲-۱۳-۱- بزرگ‌نمایی	۳۴
۳-۱۳-۱- تفکیک	۳۵
۴-۱۳-۱- عمق میدان و عمق کانونی	۳۸
۵-۱۳-۱- ابزاهای در سیستم‌های اپتیکی	۴۰
۱۴-۱- سیستم خلأ	۴۳

.....	فصل ۲ - برهم‌کنش الکترون - ماده	.....	۴۵
.....	۱-۲- برهم‌کنش‌های تشعشع - ماده	.....	۴۵
.....	۲-۲- امواج الکترومغناطیس	.....	۴۵
.....	۳-۲- مقایسه عملکرد الکترون و نور	.....	۴۹
.....	۴-۲- برهم‌کنش‌های الکترون با نمونه	.....	۵۰
.....	۱-۴-۲- الکترونها	.....	۵۰
.....	۲-۴-۲- ترازهای انرژی	.....	۵۱
.....	۳-۴-۲- برانگیزش و وانگیختگی	.....	۵۲
.....	۴-۴-۲- ایجاد پرتو الکترونی	.....	۵۳
.....	۵-۴-۲- الکترونها و برهم‌کنش‌های آنها با مواد	.....	۵۵
.....	۵-۲- آثار بمباران الکترونی مواد	.....	۵۵
.....	۱-۵-۲- گرما	.....	۵۶
.....	۲-۵-۲- پراکنش الکترونها توسط اتمها	.....	۵۷
.....	۳-۵-۲- پدیده‌های پراکنش	.....	۵۸
.....	۴-۵-۲- پراکنش ناکشسان و جذب	.....	۶۰
.....	۵-۵-۲- حجم برانگیزش	.....	۶۲
.....	۶-۲- انواع سیگنالها	.....	۶۵
.....	۱-۶-۲- سیگنال‌های مرتبط با الکترونها	.....	۶۵
.....	۲-۶-۲- سیگنال‌های مرتبط با فوتونها	.....	۷۱
.....	فصل ۳ - آنالیز نمونه‌ها	.....	۷۷
.....	۱-۳- مقدمه	.....	۷۷
.....	۲-۳- معرفی روشهای مختلف آنالیز و جمع‌آوری داده‌ها	.....	۷۸
.....	۱-۲-۳- آنالیزهای کلاسیک	.....	۷۸
.....	۲-۲-۳- آنالیزهای پولاروگرافی	.....	۷۹
.....	۳-۲-۳- طیف‌سنجی جذب اتمی (AAS)	.....	۷۹
.....	۴-۲-۳- ICP	.....	۷۹
.....	۵-۲-۳- طیف‌سنجی فلوروسنس پرتو X (XRF)	.....	۸۰
.....	۶-۲-۳- کروماتوگرافی (HPLC)	.....	۸۱
.....	۷-۲-۳- میکروسکوپ الکترونی روبشی (SEM) و میکروسکپ الکترونی روبشی آنالیزی با قدرت تفکیک بالا (H.R.A.SEM)	.....	۸۱
.....	۸-۲-۳- میکروسکوپ الکترونی تراگیسیل (TEM)	.....	۸۱
.....	۹-۲-۳- میکروسکوپ الکترونی تراگیسیل روبشی (STEM)	.....	۸۱
.....	۱۰-۲-۳- ریزکاوشر الکترونی (EPMA)	.....	۸۲
.....	۱۱-۲-۳- طیف‌سنجی فتوالکترون پرتو X (XPS)	.....	۸۳
.....	۱۲-۲-۳- پراش پرتو X (XRD)	.....	۸۳
.....	۱۳-۲-۳- طیف‌سنجی الکترون اوژه (AES)	.....	۸۴
.....	۱۴-۲-۳- طیف‌سنجی جرمی یونی ثانویه (SIMS)	.....	۸۴

فهرست مطالب ۷

۸۶.....	۳-۲-۱۵- طیف‌سنجی فلورسانس پرتو X با بازتاب کل (TRXRF)
۸۶.....	۳-۲-۱۶- EXAFS و XANES به کمک سینکروترون
۸۶.....	۳-۳- انتخاب فنون، راهبردها و شیوه (تاکتیک)های آنالیز
۸۷.....	۳-۳-۱- انتخاب فنون (تکنیک‌های) آنالیز
۸۹.....	۳-۳-۲- راهبرد (استراتژی) آنالیز
۹۱.....	۳-۳-۳- تاکتیک‌های آنالیز
۹۱.....	۳-۴- حساسیت (حد آشکارسازی کمینه) دستگاه
۹۲.....	۳-۵- دقت و صحت
۹۳.....	۳-۶- حد آشکارسازی
۹۵.....	۳-۷- قدرت تفکیک مکانی
۹۶.....	۳-۸- مقایسه مشخصات پرتوهای X در XRD و الکترون میکروسکوپی
۹۸.....	۳-۹- پردازش داده‌ها
۹۹.....	۳-۱۰- آشکارسازی پرتوهای X
۹۹.....	۳-۱۱- آنالیز تفکیک انرژی (EDS)
۱۰۳.....	۳-۱۱-۱- محدودیتهای سیستم EDS
۱۰۴.....	۳-۱۱-۲- اطلاعات آنالیزی حاصل از سیستم EDS
۱۰۵.....	۳-۱۱-۳- کاربردهای عمده سیستم EDS
۱۰۵.....	۳-۱۲- آنالیز تفکیک طول‌موج (WDS)
۱۰۸.....	۳-۱۲-۱- محدودیتهای سیستم WDS
۱۰۸.....	۳-۱۳- مقایسه روشهای WDS و EDS
۱۱۱.....	فصل ۴ - ایجاد تصویر در میکروسکپ‌های الکترونی
۱۱۱.....	۴-۱- مقدمه‌ای بر روشهای ایجاد تصاویر
۱۱۲.....	۴-۲- مقایسه تشکیل تصویر در میکروسکپ‌های الکترونی و نوری
۱۱۳.....	۴-۳- سیستم‌های ایجاد تصاویر
۱۱۴.....	۴-۳-۱- تصاویر پروژکتوری
۱۱۵.....	۴-۳-۲- تصویر اپتیکی
۱۱۵.....	۴-۳-۳- تصاویر روبشی
۱۱۵.....	۴-۳-۴- تصاویر رقومی (دیجیتالی)
۱۱۶.....	۴-۴- کنتراست و تشکیل تصویر
۱۱۶.....	۴-۴-۱- سازوکار کنتراست در میکروسکپ‌های الکترونی
۱۲۰.....	۴-۵- سیگنال‌های مشارکت‌کننده در تشکیل تصاویر در میکروسکپ‌های الکترونی
۱۲۰.....	۴-۵-۱- ایجاد تصاویر توپوگرافیک توسط الکترونهای ثانویه
۱۲۱.....	۴-۵-۲- تصاویر ترکیبی ایجاد شده توسط الکترونهای پس‌تابش
۱۲۳.....	۴-۵-۳- تصاویر ایجاد شده توسط الکترونهای عبوری
۱۲۳.....	۴-۵-۴- تصاویر ایجاد شده توسط گسیل الکترونی اوژه
۱۲۵.....	۴-۵-۵- تصاویر ساختاری

۱۲۶	۶-۵-۴- تصاویر ایجاد شده توسط کاتدولومینسانس (CL).....
۱۲۸	۷-۵-۴- تصاویر ایجاد شده توسط نگاشت پرتوهای X.....
۱۲۸	۶-۴- روشهای ایجاد تصویر و الگوی پراش توسط TEM.....
۱۳۱	۷-۴- آنالیز و پردازش تصاویر.....
۱۳۲	۸-۴- کاربردها و مزایای آنالیز و پردازش تصاویر.....
۱۳۲	۹-۴- تصاویر سه بعدی الکترون میکروسکوپی (3D-EM).....
۱۳۳	فصل ۵ - آماده سازی نمونه برای میکروسکوپ‌های الکترونی.....
۱۳۳	۱-۵- مقدمه.....
۱۳۴	۲-۵- آماده سازی نمونه‌ها.....
۱۳۴	۱-۲-۵- عدم نیاز به آماده سازی خاص برای نمونه.....
۱۳۵	۲-۲-۵- آماده سازی شیمیایی نمونه‌ها.....
۱۳۶	۳-۲-۵- روشهای آماده سازی نمونه توسط باریکه یونی.....
۱۳۸	۴-۲-۵- لایه نشانی (اندود نمودن).....
۱۴۱	۳-۵- آماده سازی نمونه برای مطالعات SEM.....
۱۴۱	۱-۳-۵- آماده سازی نمونه‌های غیر بیولوژیک برای مطالعات SEM.....
۱۴۲	۲-۳-۵- آماده سازی نمونه‌های بیولوژیک برای مطالعات الکترون میکروسکوپی.....
۱۴۵	۴-۵- آماده سازی نمونه‌های غیر بیولوژیک برای مطالعات TEM.....
۱۴۸	۵-۵- تهیه نمونه‌های بیولوژیک برای مطالعات TEM.....
۱۴۸	۱-۵-۵- اولترامیکروتومی.....
۱۴۹	۶-۵- آماده سازی نمونه در AEM.....
۱۵۰	۷-۵- آماده سازی نمونه برای مطالعات EPMA.....
۱۵۳	فصل ۶ - میکروسکوپ‌های الکترونی تراگسیل.....
۱۵۳	۱-۶- مقدمه.....
۱۵۵	۲-۶- اساس میکروسکوپ الکترونی تراگسیل (TEM).....
۱۵۷	۳-۶- انواع میکروسکوپ الکترونی تراگسیل (TEM).....
۱۵۷	۱-۳-۶- میکروسکوپ‌های الکترونی تراگسیل متداول (TEM معمولی):.....
۱۵۷	۲-۳-۶- میکروسکوپ‌های الکترونی تراگسیل با ولتاژ بالا (H.V.TEM).....
۱۵۹	۳-۳-۶- میکروسکوپ‌های الکترونی تراگسیل روبشی (STEM).....
۱۶۱	۴-۳-۶- میکروسکوپ‌های الکترونی تراگسیل با قدرت تفکیک بالا (H.R.TEM).....
۱۶۳	۴-۶- قابلیت‌های میکروسکوپ‌های الکترونی تراگسیل (TEM).....
۱۶۳	۵-۶- محدودیتهای TEM.....
۱۶۴	۶-۶- کاربردهای میکروسکوپ‌های الکترونی تراگسیل (TEM).....
۱۶۵	۷-۶- مقایسه میکروسکوپ‌های الکترونی تراگسیل و نوری.....
۱۶۷	۸-۶- مقایسه پرتوهای X در XRD و TEM.....
۱۶۹	۹-۶- بخشهای مهم میکروسکوپ‌های الکترونی تراگسیل (TEM).....

فهرست مطالب ۹

۱۶۹	۱-۹-۶- تفنگ الکترونی
۱۷۲	۲-۹-۶- سیستم عدسیها
۱۷۷	۳-۹-۶- دهانه
۱۷۹	۴-۹-۶- محفظه (اتاقک) نمونه
۱۷۹	۵-۹-۶- پمپ‌های خلا
۱۸۰	۶-۹-۶- دوربین و صفحه نمایشگر
۱۸۰	۱۰-۶- تنظیم
۱۸۱	۱۱-۶- روشهای ایجاد تصویر توسط میکروسکپ‌های الکترونی تراگسیل
۱۸۱	۱۲-۶- پراش الکترون
۱۸۱	۱-۱۲-۶- پراش الکترون توسط ماده
۱۸۲	۲-۱۲-۶- ژئومتری پراش الکترون
۱۸۶	۳-۱۲-۶- روشهای ایجاد تصویر و الگوی پراش توسط TEM
۱۸۶	۱۳-۶- الگوهای پراش مواد آمورف و بی‌نظم
۱۸۷	۱۴-۶- الگوهای پراش حلقه‌ای مواد بس‌بلورین (پلی کریستالین)
۱۸۸	۱-۱۴-۱۶- تجزیه و تحلیل الگوهای پراش مواد بس‌بلورین
۱۹۰	۱۵-۶- الگوهای پراش نقطه‌ای: الگوهای پراش تک‌بلورها
۱۹۱	۱-۱۵-۶- تجزیه و تحلیل الگوهای پراش تک‌بلور
۱۹۲	۱۶-۶- پراش الکترونی ناحیه گزینشی (SAED)
۱۹۳	۱۷-۶- پراش الکترونی پرتوهمگرا (CBED)
۱۹۶	۱۸-۶- الگوهای خطی کی کوچی
۱۹۷	۱۹-۶- دیگر اطلاعات حاصل از TEM
۱۹۷	۱-۱۹-۶- تصاویر زمینه روشن
۱۹۸	۲-۱۹-۶- تصاویر زمینه تاریک
۱۹۹	۳-۱۹-۶- پراش الکترونی ناحیه‌گزینشی (SAD و ریزپراش)
۲۰۰	۴-۱۹-۶- پراش باریکه الکترونی پرتوهمگرا (CBED)
۲۰۱	۵-۱۹-۶- تصویربرداری ساختارهای اتمی با تفکیک بالا (HREM)
۲۰۲	۶-۱۹-۶- طیف‌نگاری موازی افت انرژی الکترون (PEELS)
۲۰۲	۷-۱۹-۶- آزمایشهای میکروسکپی در حالت پویا
۲۰۳	۸-۱۹-۶- آنالیز با استفاده از تفکیک انرژی (EDS)
۲۰۴	۹-۱۹-۶- EFTEM
۲۰۴	۱۰-۱۹-۶- لورنتس میکروسکپی
۲۰۵	۲۰-۶- تفسیر الگوهای پراش الکترون
۲۰۶	۱-۲۰-۶- شبکه وارون (reciprocal lattice)
۲۰۸	۲-۲۰-۶- شبکه وارون و استفاده از آن در تجزیه و تحلیل الگوهای پراش
۲۰۸	۳-۲۰-۶- ساختار کره اوالد
۲۱۰	۲۱-۶- طیف‌نگاری الکترونی انرژی‌کاه (EELS)
۲۱۰	۱-۲۱-۶- اصول EELS
۲۱۲	۲-۲۱-۶- مزایای استفاده از روش EELS

۲۱۴	.....EELS روش	۳-۲۱-۶
۲۱۴	..... نقش TEM در پژوهش‌های آینده	۴-۲۱-۶
۲۱۵	..... فصل ۷ - میکروسکپ الکترونی روبشی	
۲۱۵	..... مقدمه	۱-۷
۲۱۸	..... تاریخچه‌ای از توسعه و پیشرفت میکروسکپ‌های الکترونی روبشی	۱-۱-۷
۲۱۹	..... اصول کار و کاربردهای عمده میکروسکپ‌های الکترونی روبشی	۲-۱-۷
۲۲۰	..... قابلیت‌ها	۲-۷
۲۲۱	..... انواع میکروسکپ‌های الکترونی روبشی	۳-۷
۲۲۱	..... میکروسکپ الکترونی روبشی متداول (SEM معمولی)	۱-۳-۷
۲۲۱	..... میکروسکپ الکترونی روبشی - تراگسیل (SEM/TEM)	۲-۳-۷
۲۲۱	..... میکروسکپ‌های الکترونی روبشی درجه حرارت پایین (LT-SEM)	۳-۳-۷
۲۲۲	..... میکروسکپ الکترونی روبشی ولتاژ پایین (L.V.SEM)	۴-۳-۷
۲۲۲	..... میکروسکپ‌های الکترونی روبشی گسیل میدانی (F.E.SEM)	۵-۳-۷
۲۲۳	..... میکروسکپ الکترونی روبشی زیست‌محیطی (ESEM)	۶-۳-۷
۲۲۳	..... میکروسکپ الکترونی روبشی آنالیزی (A.SEM)	۷-۳-۷
۲۲۴	..... میکروسکپ روبشی آنالیزی با قدرت تفکیک بالا (H.R.ASEM)	۸-۳-۷
۲۲۵	..... میکروسکپ الکترونی روبشی - کاوشی (SPM)	۹-۳-۷
۲۲۶	..... میکروسکپ‌های نیرواتمی (AFM)	۱۰-۳-۷
۲۲۷	..... میکروسکپ تونلی روبشی (STM)	۱۱-۳-۷
۲۲۹	..... میکروسکپ‌های الکترونی روبشی مرکب (همچون SEM-STM)	۱۲-۳-۷
۲۲۹	..... اساس کار SEM	۴-۷
۲۳۱	..... بخش‌های مهم SEM	۵-۷
۲۳۱	..... تفنگ‌های الکترونی	۱-۵-۷
۲۳۴	..... مقایسه کاتدها	۶-۷
۲۳۴	..... اپتیک SEM	۷-۷
۲۳۶	..... سیستم عدسی‌های الکترونی	۸-۷
۲۳۶	..... عدسی‌های الکتروستاتیک	۱-۸-۷
۲۳۶	..... عدسی‌های الکترومغناطیس	۲-۸-۷
۲۳۶	..... مشخصات عدسی‌های الکترومغناطیس	۳-۸-۷
۲۳۶	..... عدسی‌های چگالنده	۴-۸-۷
۲۳۷	..... عدسی‌های شیئی	۵-۸-۷
۲۳۷	..... دهانه	۹-۷
۲۳۷	..... سیم بیچهای روبشی	۱۰-۷
۲۳۷	..... سیستم خلا	۱۱-۷
۲۳۷	..... پمپ‌های خلا	۱-۱۱-۷
۲۳۸	..... ایجاد سیگنال در SEM	۱۲-۷
۲۴۰	..... الکترون‌های ثانویه در SEM	۱-۱۲-۷

۲۴۱ ۲-۱۲-۷- الکترون‌های پس تابش (BSE)
 ۲۴۲ ۱۳-۷- چگونگی عمل و اجرا در SEM
 ۲۴۲ ۱-۱۳-۷- عنصر تصویری (پیکسل) در SEM
 ۲۴۳ ۲-۱۳-۷- عمق میدان در SEM
 ۲۴۳ ۳-۱۳-۷- تفکیک بهینه در SEM
 ۲۴۴ ۱۴-۷- اطلاعات حاصل از SEM
 ۲۴۴ ۱-۱۴-۷- تصاویر توپوگرافیک
 ۲۴۷ ۲-۱۴-۷- تصاویر حاصل از اختلاف ترکیب
 ۲۴۸ ۳-۱۴-۷- کاتدولومینسانس (CL)
 ۲۴۹ ۴-۱۴-۷- نگاشت پرتو X
 ۲۵۱ ۵-۱۴-۷- استفاده از دیگر سیگنال‌ها در SEM

فصل ۸ - ریزکاوشگر الکترونی یا الکترون پروب میکروآنالیز ۲۵۳

۲۵۳ ۱-۸- مقدمه
 ۲۵۴ ۱-۱-۸- تاریخچه
 ۲۵۴ ۲-۸- اصول روش ریزکاوشگر الکترونی (EPMA)
 ۲۵۵ ۳-۸- دستگاه EPMA
 ۲۵۶ ۴-۸- کاربردهای EPMA
 ۲۵۶ ۱-۴-۸- تشخیص کانیها و کانه‌ها:
 ۲۵۷ ۲-۴-۸- در سنگ‌شناسی و پترولوژی:
 ۲۵۷ ۳-۴-۸- پترولوژی تجربی:
 ۲۵۷ ۴-۴-۸- تشخیص منطقه‌بندی:
 ۲۵۸ ۵-۴-۸- ژئوترومتری و ژئوبارومتری:
 ۲۵۸ ۶-۴-۸- آنالیز ذرات:
 ۲۵۸ ۷-۴-۸- ردیابی محل فازهای نادر:
 ۲۵۸ ۸-۴-۸- مطالعه انتشار:
 ۲۵۸ ۹-۴-۸- شیمی کیهانی:
 ۲۵۸ ۵-۸- قابلیت‌های EPMA
 ۲۵۹ ۶-۸- محدودیت‌های EPMA
 ۲۵۹ ۷-۸- دقت و حساسیت
 ۲۵۹ ۸-۸- بخش‌های مهم EPMA
 ۲۶۰ ۱-۸-۸- تفنگ الکترونی
 ۲۶۰ ۲-۸-۸- سیستم ایجاد کاوش
 ۲۶۰ ۳-۸-۸- میکروسکپ نوری
 ۲۶۰ ۴-۸-۸- محفظه (اتاقک) نمونه
 ۲۶۱ ۵-۸-۸- سیستم خلا
 ۲۶۱ ۶-۸-۸- کنترل رایانه‌ای
 ۲۶۱ ۹-۸- ژئوترومتری طیف‌سنج

۲۶۳	۱۰-۸-زاویه پرش
۲۶۳	۱۱-۸- بلورهای آنالیزی
۲۶۶	۱۲-۸- شرایط اجرای میکروآنالیز
۲۶۶	۱-۱۲-۸- وضعیت قرارگیری نمونه
۲۶۶	۲-۱۲-۸- ولتاژ شتاب‌دهنده الکترون
۲۶۷	۳-۱۲-۸- شدت جریان پرتو
۲۶۷	۴-۱۲-۸- به حداقل رساندن آلودگی
۲۶۸	۵-۱۲-۸- تجزیه و از بین رفتن نمونه
۲۶۸	۱۳-۸- آنالیزهای کیفی
۲۶۹	۱۴-۸- آنالیزهای کمی
۲۶۹	۱۵-۸- آنالیزهای پرتو X از نمونه‌های کپه‌ای (حجیم)
۲۷۰	۱۶-۸- استانداردها
۲۷۰	۱۷-۸- آشکارسازی و شمارش پرتوهای X
۲۷۱	۱۸-۸- ارائه اطلاعات و نتایج
۲۷۳	۱۹-۸- رویش و نگاشت (تصاویر حاصل از پرتوهای X)
۲۷۵	۱-۱۹-۸- نگاشت پرتو X
۲۷۷	۲-۱۹-۸- رویش خطی
۲۷۷	۳-۱۹-۸- تجزیه و تحلیل و نمایش تصاویر
۲۷۸	۲۰-۸- آنالیزهای کمی - تجربی
۲۷۸	۲۱-۸- انتخاب نقاط
۲۷۹	۲۲-۸- عناصر سبک
۲۷۹	۲۳-۸- تصحیحات زمینه (ماتریس)
۲۸۰	۲۴-۸- عناصر آنالیز نشده
۲۸۰	۲۵-۸- برآورد مقدار آب
۲۸۱	فصل ۹ - میکروسکپ‌های الکترونی آنالیزی
۲۸۱	۱-۹- مقدمه
۲۸۳	۲-۹- آنالیزهای شیمیایی در میکروسکپ‌های الکترونی
۲۸۶	۳-۹- میکروسکپ الکترونی آنالیزی تراگسیل (A-TEM)
۲۸۶	۴-۹- بخشهای مهم AEM
۲۸۸	۵-۹- کاربردهای AEM
۲۹۰	۶-۹- محدودیتها
۲۹۱	۷-۹- سیستم ایجاد کاوش
۲۹۲	۸-۹- روشهای تعیین و شناسایی ساختارهای مواد و فازهای ناشناخته
۲۹۲	۹-۹- اطلاعات حاصل از AEM
۲۹۲	۱-۹-۹- اطلاعات مربوط به ترکیب شیمیایی مواد مجهول

۲۹۳	..... ۲-۹-۹ آنالیز کیفی
۲۹۳	..... ۳-۹-۹ به دست آوردن داده‌های دقیق EDS
۲۹۴	..... ۴-۹-۹ آنالیز کمی
۲۹۴	..... ۵-۹-۹ اطلاعات کریستالوگرافیک حاصل از AEM
۲۹۵	..... ۶-۹-۹ به دست آوردن داده‌های پراش دقیق:
۲۹۵	..... ۱۰-۹-۹ راهبرد (استراتژی) روشهای جست و جو-تطابق
۲۹۶	..... ۱۱-۹-۹ میکروسکپ‌های الکترونی روبشی آنالیزی (A.SEM)
۲۹۶	..... ۱-۱۱-۹ میکروسکپ الکترونی روبشی آنالیزی (A.SEM) متداول
۲۹۶	..... ۲-۱۱-۹ میکروسکپ الکترونی روبشی آنالیزی با قدرت تفکیک بالا
۲۹۷	فصل ۱۰ - روشهای پیشرفته میکروآنالیز و تصویربرداری به کمک سینکروترون
۲۹۷	..... ۱-۱۰-۱ مقدمه‌ای بر روشهای پیشرفته میکروآنالیز
۲۹۹	..... ۲-۱۰-۱ چگونگی ایجاد تشعشع در سینکروترون
۳۰۱	..... ۳-۱۰-۱ مراحل آزمایش در سینکروترون
۳۰۲	..... ۴-۱۰-۱ مشکلات استفاده از پرتوهای X متداول
۳۰۳	..... ۵-۱۰-۱ XANES و EXAFS
۳۰۵	..... ۶-۱۰-۱ محدودیتهای استفاده از سینکروترون
۳۰۶	..... ۷-۱۰-۱ کاربردهایی چند از سینکروترون در کانی‌شناسی - بلورشناسی و ژئوشیمی
۳۰۶	..... ۱-۷-۱۰ تعیین فواصل بین‌اتمی:
۳۰۷	..... ۲-۷-۱۰ تعیین عدد هم‌آرایی (کوردیناسیون):
۳۰۷	..... ۳-۷-۱۰ مشخص کردن جابه‌جاییهای مکانی
۳۰۷	..... ۴-۷-۱۰ تعیین ساختار کانیها به صورت موضعی
۳۰۸	..... ۵-۷-۱۰ اندازه‌گیری مستقیم بی‌نظمی و تعیین درجه بی‌نظمی
۳۰۹	..... ۶-۷-۱۰ تشخیص اتمهای مجاور
۳۰۹	..... ۷-۷-۱۰ اطلاعات در مورد پیوند
۳۰۹	..... ۸-۷-۱۰ مشخص کردن نظم کوتاه‌برد (SRO) در کانی‌ها
۳۰۹	..... ۹-۷-۱۰ نگاشت عنصری به کمک میکروآنالیز جذبی
۳۰۹	..... ۱۰-۷-۱۰ تفکیک عناصر
۳۱۰	..... ۱۱-۷-۱۰ مسائل زیست محیطی
۳۱۳	..... ۱۲-۷-۱۰ کانسارها
۳۱۳	..... ۱۳-۷-۱۰ پراش پرتو X حاصل از سینکروترون (S-XRD)
۳۱۵	..... ۱۴-۷-۱۰ کاربردهای دیگر سینکروترون
۳۱۷	اصطلاحات کلیدی الکترون میکروسکپی
۳۲۳	..... واژه‌گان (فارسی به انگلیسی)
۳۳۱	..... واژه‌گان (انگلیسی به فارسی)

۳۴۱	..... فهرست موضوعی (فارسی)
۳۴۳	..... فهرست موضوعی (انگلیسی)
۳۴۵	..... منابع (فارسی)
۳۴۷	..... منابع (لاتین)
۳۵۱	..... تصاویر رنگی

Press.um.ac.ir

پیش‌گفتار

سپاس خدای هستی‌بخش را که به انسان توانایی آموختن و اندیشیدن بخشید تا بتواند گام‌هایی هر چند کوچک، در مسیر شناخت شگفتیهای خلقت بردارد. در این مسیر هر چه از ابزارهای پیشرفته‌تر استفاده شود، امکان فهم بهتر پدیده‌هایی که کمتر در معرض دید بشر بوده‌اند، فراهم خواهد آمد. به کمک روشهای پیشرفته آنالیز، شناخت مجهولات پیچیده، سریعتر و کارآتر شده و روشهای متعددی برای جمع‌آوری داده‌ها به صورت سیستم‌های طراحی سازماندهی شده ابداع شده است. در این سیستم‌ها، داده‌های خام به صورتهای گوناگون جمع‌آوری، ذخیره، پردازش، آنالیز و به روشهای مختلف ارائه می‌شود. ارائه داده‌ها یا به شکل غیرگرافیکی (همانند کمیت‌ها) و یا گرافیکی (نصاویر، نگاشتها و غیره) صورت می‌گیرد. میکروسکپ‌های الکترونی یکی از ابزارهایی است که تصویربرداری و آنالیز را در مقیاسهایی در حد نانو به هر دو صورت امکان‌پذیر می‌سازد.

هدف اصلی از تالیف این کتاب آشنایی با مبانی الکترون میکروسکپی، خانواده میکروسکپ‌های الکترونی، کاربردها، قابلیت‌ها و محدودیتهای مرتب بر آنهاست. تاکید بیشتر بر میکروآنالیز توسط میکروسکپ‌های الکترونی SEM، TEM، AEM، EPMA و نیز روشهای پیشرفته‌ای همچون SRS بوده است. از دیگر اهداف، فراهم آوردن زمینه‌ای برای استفاده بهتر پژوهشگران از میکروسکپ‌های الکترونی جهت شناخت بهتر خواص و رفتارهای مواد و عوامل کنترل‌کننده تغییر خواص آنها در مقیاس‌های میکروسکپی می‌باشد. گرچه شناسایی تفصیلی ریزساختارها به کمک میکروسکپ‌های الکترونی، مورد علاقه دانشمندان علوم مختلف می‌باشد، هر کدام از آنها به بررسی جنبه ویژه‌ای از آن می‌پردازند. زیست‌شناسان ساختار سلولها، باکتریها، ویروسها و ذرات کلوئیدی را مورد بررسی قرار می‌دهند ولی پژوهشگران علم مواد، ناهمگنی‌ها و نقایص در فلزات، بلورها و سرامیکها، ساختارهای مواد، ریخت‌شناسی و شیمی موضعی فلزات و

کانیها را مورد مطالعه قرار می‌دهند. مطالعات تفصیلی سنگها، ساختار درونی بلورها و کانیها نیز اطلاعات باارزشی در مورد منشا، کاربرد و مواد باارزش زمین در اختیار زمین‌شناسان قرار می‌دهد. دو پدیده مهم، باعث پیشرفتهای بزرگی در الکترون میکروسکوپی شد. نخست، قابلیت‌های محاسباتی و رایانه‌ای است که در زمانهای خیلی کوتاهتری نسبت به گذشته امکان پذیر می‌باشد. دیگر، دریافت این واقعیت بود که در طی آزمایشهای الکترون میکروسکوپی، سیگنالهای بالقوه مفید فراوانی ایجاد می‌شوند که به جای نادیده گرفتن آنها، سعی شد که از آنها (در یک آزمایش واحد و نه آزمایشهای متعدد جداگانه) برای اخذ بیشترین اطلاعات ممکن بهره‌برداری شود. امروزه این مهم به صورت نسبتاً ایده‌آل، با استفاده از سینکروترون امکان پذیر شده است.

آنالیزهای الکترون میکروسکوپی، نه تنها داده‌های دقیقتری در مورد نمونه‌ها را فراهم می‌آورند بلکه فرآیندهای تکاملی و برهم کنش‌هایی را که در طول زمان متحمل شده‌اند را نیز تا اندازه زیادی می‌توانند روشن نمایند. بنابراین برای فهم تغییرات سیستم در طی مراحل تشکیل، استفاده از روشهای پیشرفته میکروآنالیز دقیق اجتناب‌ناپذیر می‌باشد. در مواردی که شناسایی، تشخیص و اندازه‌گیری مواد توسط سایر روشهای آنالیز به آسانی ممکن نیست، میکروآنالیز به کمک میکروسکوپ‌های الکترونی ابزار مهمی در تشخیص انواع گوناگون مواد جامد محسوب می‌شود. به همین دلیل میکروسکوپ‌های الکترونی امروزه به یک ابزار بسیار مهم در بسیاری از تحقیقات پیشرفته فیزیک، شیمی، کانی‌شناسی، بلورشناسی، علم مواد و زیست‌شناسی تبدیل شده است. در اینجا لازم است تا از تمامی عزیزانی که در این امر مهم کمک‌های ارزشمند خود را دریغ ننموده‌اند، سپاسگزاری نمایم. از جناب آقای مهندس کدکنی که در ویرایش این کتاب تلاش فراوان نموده‌اند کمال تشکر را دارم.

مرتضی رزم‌آرا

شهریورماه ۱۳۹۱