



خواص مغناطیسی مواد

(مفاهیم و کاربردها)

پدیدآورندگان
www.ketab.ir

پرویز کاملی

استاد دانشکده فیزیک

دانشگاه صنعتی اصفهان

زهره مصلح

دانشجوی دکتری دانشکده فیزیک

دانشگاه صنعتی اصفهان



انتشارات دانشگاه صنعتی اصفهان

شماره کتاب ۱۸۰

گروه علوم ۴۵

خواص مغناطیسی مواد (مفاهیم و کاربردها)

پدیدآورندگان.....	دکتر پرویز کاملی - زهرا مصلح
ویراستار علمی.....	دکتر علی رستم نژاد
صفحه آرا.....	زهرا مصلح
طراح جلد.....	مرضیه خردمند
ناشر.....	انتشارات دانشگاه صنعتی اصفهان
لیتوگرافی، چاپ و صحافی.....	چاپخانه دانشگاه صنعتی اصفهان
چاپ اول.....	پاییز ۱۴۰۱
شمارگان.....	۲۰۰ جلد
شابک.....	۹۷۸-۶۰۰-۸۲۵۷-۵۶-۱
قیمت.....	۱۵۰۰۰۰۰ ریال

سرشناسه	کاملی، پرویز، ۱۳۵۲
عنوان و نام پدیدآور	خواص مغناطیسی مواد (مفاهیم و کاربردها) / پدیدآورندگان پرویز کاملی، زهرا مصلح؛ ویراستار علمی علی رستم نژاد.
مشخصات نشر	اصفهان : دانشگاه صنعتی اصفهان، ۱۴۰۱.
مشخصات ظاهری	ث، ۳۷۲ ص. : مصور (بخشی رنگی)، جدول، نمودار (بخشی رنگی).
فروست	انتشارات دانشگاه صنعتی اصفهان؛ ۱۸۰. گروه علوم؛ ۴۵
شابک	۹۷۸-۶۰۰-۸۲۵۷-۵۶-۱
وضعیت فهرست نویسی	فیبا
یادداشت	کتابنامه.
موضوع	مواد - خواص مغناطیسی
موضوع	Magnetism مغناطیس
شناسه افزوده	مصلح، زهرا، ۱۳۶۳
شناسه افزوده	رستم نژاد، علی، ۱۳۵۶، ویراستار
شناسه افزوده	دانشگاه صنعتی اصفهان. انتشارات
رده بندی کنگره	۲/QC۷۵۳
رده بندی دیویی	۵۷/۵۳۸
شماره کتابشناسی ملی	۸۹۴۲۳۴۹

حق چاپ برای انتشارات دانشگاه صنعتی اصفهان محفوظ است.

اصفهان: دانشگاه صنعتی اصفهان - انتشارات - کدپستی ۸۴۱۵۶-۸۳۱۱۱، تلفن: ۳۳۹۱۲۹۵۲ (۰۳۱) دورنگار: ۳۳۹۱۲۵۵۲ (۰۳۱)
برای خرید اینترنتی کلیه کتابهای منتشره انتشارات می‌توانید به وبگاه <http://publication.iut.ac.ir> مراجعه و یا مستقیماً از کتابفروشی انتشارات واقع در کتابخانه مرکزی دانشگاه صنعتی اصفهان (تلفن ۳۳۹۱۳۹۵۲) خریداری فرمایید.

پیشگفتار

پیشرفت علم مغناطیس تحولات عظیم در حوزه‌های مختلف علم ایجاد کرد. تولید موتورهای الکتریکی با کارایی بهتر و ابعاد کوچک‌تر، حسگرها، حافظه‌های مغناطیسی و کاربردهای پزشکی (تشخیص و درمان) از جمله مواردی هستند که پیشرفت آن‌ها تا حد زیادی مرهون پیشرفت علم مغناطیس است. با رسیدن ابعاد مواد به مقیاس نانو تغییرات گسترده‌ای در ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی مواد مشاهده می‌شود. از جمله تغییرات ویژگی‌های فیزیکی در نانومواد می‌توان به تغییر ویژگی‌های نوری، مغناطیسی، مکانیکی و الکتریکی اشاره کرد. از این رو علم مغناطیس مانند بسیاری از علوم دیگر نقاط تنگاتنگی با فناوری نانو دارد؛ به‌طوری که امکان بهینه‌سازی خواص مغناطیسی برای کاربردهای اشاره شده بدون استفاده از فناوری نانو وجود ندارد. یکی از کاربردهای اصلی نانومغناطیس‌ها استفاده از آن‌ها در محیط‌های ذخیره‌سازی اطلاعات است. از دیگر کاربردهای مهم نانوذرات مغناطیسی تشخیص و درمان بیماری است. این نانوذرات در تصویربرداری پزشکی (مانند MRI)، رهایش مواد دارویی و همچنین در درمان‌های حرارتی (مانند هایپرترمیا) مورد استفاده قرار می‌گیرند. برای درک عمیق نحوه تأثیر فناوری نانو بر ویژگی‌های مغناطیسی باید ابتدا علت ویژگی‌های مغناطیسی مواد و پارامترهای تعیین‌کننده این ویژگی‌ها مشخص شده و سپس با کمک آن، تأثیر فناوری نانو بر این ویژگی‌ها را تعیین کرد.

هدف اصلی این کتاب دستیابی به درک عمیق مفاهیم بنیادی مغناطیس است. چندین

سال تدریس درس خواص مغناطیسی مواد برای دانشجویان تحصیلات تکمیلی و انجام پروژه‌های مختلف تحقیقاتی در حوزه مغناطیس کمک کرد تا کتاب مناسبی در حوزه مغناطیس با تأکید بر جنبه‌های نظری و تجربی نوشته شود. در کتاب پیش رو سعی شده است مفاهیم

بنیادی مغناطیس به زبانی ساده و قابل فهم بیان شود و از این رو این کتاب می‌تواند به عنوان منبع درسی مناسب برای دانشجویان تحصیلات تکمیلی مورد استفاده قرار گیرد. در نوشتن مطالب کتاب سعی بر آن بوده تا مطالب به صورت جامع و کامل بیان شود و تا حد امکان تمام مطالب مورد نیاز و مرتبط را شامل شود. این امر مستلزم بارها بازخوانی متن کتاب بوده است و از این رو زمان زیادی برای نوشتن کتاب صرف شده است.

این کتاب مشتمل بر ۱۰ فصل است. در فصل ۱ مقدمه‌ای پیرامون مواد مغناطیسی بیان شده است. در فصل ۲ به بیان مفاهیم مغناطیسی پرداخته شده است. فصل ۳ به بررسی مواد فرو و فری مغناطیس می‌پردازد. در فصل ۴ برهم‌کنش‌های مغناطیسی عنوان شده است. در فصل ۵ ناهمسانگردی مغناطیسی و حوزه‌های مغناطیسی مورد بررسی قرار گرفته‌اند و فصل ۶ به بررسی نانومغناطیس‌ها پرداخته است. در فصل ۷ دسته‌ای از مواد مغناطیسی تحت عنوان فریت‌ها معرفی شده و به مروری بر مقالات و کارهای انجام شده در زمینه این مواد پرداخته شده است. در فصل ۸ دسته دیگری از مواد مغناطیسی به نام منگنیت‌ها مورد بررسی و تحلیل قرار گرفته‌اند. فصل ۹ آلیاژهای هویسler بررسی شده‌اند. در نهایت فصل ۱۰ به آشنایی با تجهیزات آزمایشگاهی اختصاص داده شده است. در فصل‌های آخر کتاب برای درک بهتر و کاربردی‌تر مطالب عنوان شده، از مقالات فراوانی استفاده شده است و تلاش بر آن بوده تا با تحلیل نتایج حاصل از مقالات، خواننده درک شهودی مناسبی از آنالیزهای مغناطیسی و نتایج حاصل از آن به دست آورد.

امید است مجموعه حاضر بتواند مسیر تحقیق دانشجویان تحصیلات تکمیلی و سایر محققان در حوزه مغناطیس را هموارتر سازد. دستیابی به هدف نوشتن این کتاب محقق نمیشد مگر با تصحیح بارها و بارهای کتاب. در این میان از جناب آقای دکتر علی رستم نژادی ویراستار علمی کتاب که با دقت و حوصله بسیار کتاب را بازخوانی و نظرات سازنده‌ای ارائه دادند، سپاسگزاری می‌کنیم.

از دانشجویان و فارغ التحصیلان دانشگاه صنعتی اصفهان به ویژه فاطمه اسکندری، باقر اصلی بیگی، ابراهیم اعلایی، پیوند امیرزاده، سعید جنتی، فاطمه خادمی، مژده رحیمی، شیوا شوق، مهدی ظریفی، علی قطبی، پریسا مختاری، ناهید مدرسی، میثم نوروزی و هاجر واعظی که از دستاوردهای علمی آن‌ها در این کتاب استفاده شده متشکریم.

فهرست مطالب

پیشگفتار

ج

۱	مقدمه	فصل اول:
۱	مقدمه	۱-۱
۵	گشتاور مغناطیسی	۲-۱
۷	مغناطش	۳-۱
۸	پذیرفتاری مغناطیسی	۴-۱
۹	تقسیم‌بندی مواد بر اساس وابستگی به میدان اعمالی	۵-۱
۱۲	منابع	
۱۳	مفاهیم مغناطیسی	فصل دوم:
۱۳	گشتاور مغناطیسی مداری و اسپینی	۱-۲
۱۶	حقت‌شدگی اسپین-مدار	۲-۲
۱۹	اثرات میدان مغناطیسی بر حرکت مداری الکترون	۳-۲
۱۹	حرکت سیکلوترونی (الکترون آزاد)	۱-۳-۲
۲۰	حرکت تقدیمی لارمور (الکترون مقید در مدار)	۲-۳-۲
۲۲	دیامغناطیس مداری	۴-۲
۲۶	مواد دیامغناطیس و کاربردهای آن	۵-۲
۲۷	پارامغناطیس‌های جایگزیده	۶-۲
۳۳	کوانتیده بودن اندازه حرکت زاویه مداری و اسپینی	۷-۲
۴۲	دیامغناطیس کوانتومی	۸-۲
۴۵	پارامغناطیس کوانتومی	۹-۲
۵۲	پارامغناطیس فلزی	۱۰-۲
۵۵	مدل الکترون آزاد	۱۱-۲

۵۷	پارامغناطیس پائولی	۱۲-۲
۶۰	دیامغناطیس لاندائو	۱۳-۲
۶۱	پذیرفتاری ون ولک	۱۴-۲
۶۲	میدان بلوری	۱۵-۲
۶۶	فرونشانی اندازه حرکت زاویه‌ای	۱۶-۲
۷۰	منابع	

۷۱	فصل سوم: فرو و فری مغناطیس‌ها پادفرومغناطیس‌ها و اسپین شیشه	
۷۱	نظریه میدان مولکولی	۱-۳
۸۱	نظریه لاندائو	۲-۳
۸۳	پادفرومغناطیس‌ها	۳-۳
۸۸	پذیرفتاری مغناطیسی مواد پادفرومغناطیس در زیر دمای نیل	۴-۳
۹۰	فری مغناطیس‌ها	۵-۳
۹۶	شیشه اسپینی	۶-۳
۱۰۲	منابع	

۱۰۳	فصل چهارم: برهم‌کنش‌های مغناطیسی	
۱۰۳	برهم‌کنش دوقطبی-دوقطبی	۱-۴
۱۰۵	برهم‌کنش تبدالی	۲-۴
۱۰۶	برهم‌کنش تبدالی مستقیم	۱-۲-۴
۱۱۳	برهم‌کنش تبدالی غیرمستقیم	۲-۲-۴
۱۱۵	برهم‌کنش ابر تبدالی	۳-۲-۴
۱۱۸	برهم‌کنش تبدالی دوگانه	۴-۲-۴
۱۲۲	منابع	

۱۲۳	فصل پنجم: ناهمسانگردی مغناطیسی	
۱۲۳	ناهمسانگردی مغناطیسی	۱-۵
۱۲۴	ناهمسانگردی مغناطوبلوری	۲-۵
۱۲۵	ناهمسانگردی در ساختارهای مکعبی	۱-۲-۵
۱۲۹	ناهمسانگردی در ساختارهای شش‌گوشی	۲-۲-۵
۱۳۰	ناهمسانگردی در ساختارهای تتراگونال	۳-۲-۵
۱۳۰	دلایل فیزیکی ایجاد ناهمسانگردی مغناطوبلوری	۴-۲-۵

۱۳۲	ناهمسانگردی شکل	۳-۵
۱۳۶	ناهمسانگردی تنش یا مغناطو الاستیک	۴-۵
۱۳۸	مغناطو تنگش در بلورها	۱-۴-۵
۱۴۰	اثر تنش بر ویژگی‌های مغناطیسی	۲-۴-۵
۱۴۴	ناهمسانگردی تبادلی	۵-۵
۱۴۵	حوزه‌های مغناطیسی	۶-۵
۱۴۷	دیواره حوزه	۷-۵
۱۵۴	رفتار دینامیکی حوزه‌های مغناطیسی	۸-۵
۱۵۵	حلقه پسماند مغناطیسی	۹-۵
۱۵۷	مواد مغناطیسی سخت و نرم	۱۰-۵
۱۶۰	منابع	

فصل ششم: نانومغناطیس

۱۶۱	مقدمه	۱-۶
۱۶۵	حلقه پسماند نانوذرات تک حوزه (مدل استفارد)	۲-۶
۱۶۷	رفتار مجموعه نانوذرات تک حوزه در دما و میدان اختیاری	۳-۶
۱۶۷	رفتار مجموعه نانوذرات تک حوزه در دمای اختیاری و در غیاب میدان خارجی	۱-۳-۶
۱۶۹	زمان واهلش نانوذرات ابرپارامغناطیس تک حوزه	۲-۳-۶
۱۷۲	زمان واهلش نانوذرات ابرپارامغناطیس برهم‌کنش	۳-۳-۶
۱۷۹	اثر تغییرات اندازه ذرات بر مغناطش	۴-۶
۱۸۰	اثر تغییرات اندازه ذرات بر میدان وادارندگی	۵-۶
۱۸۳	نانومغناطیس‌های تبادلی- ارتجاعی	۶-۶
۱۸۶	کاربرد نانوذرات مغناطیسی	۷-۶
۱۹۰	لایه‌های نازک	۸-۶
۱۹۱	روش‌های ساخت لایه نازک	۹-۶
۱۹۲	لایه‌نشانی به روش لیزر پالسی	۱-۹-۶
۱۹۳	لایه‌نشانی به روش کندوپاش	۲-۹-۶
۱۹۴	لایه‌نشانی به وسیله تبخیر باریکه مولکولی	۳-۹-۶
۲۰۸	منابع	

فصل هفتم: فریت‌ها

۲۰۹	مقدمه	۱-۷
-----	-------	-----