

لایه‌های نازک مغناطیسی

گردآوری و تدوین:

دکتر علی قاسمی

مهندس ته‌مینه سودایی

سرشناسه:	قاسمی، علی، ۱۳۵۶ - گردآورنده
عنوان و نام پدیدآور:	لایه‌های نازک مغناطیسی/گردآوری و تدوین علی قاسمی، تهمینه سودایی.
مشخصات نشر:	تهران: دانشگاه صنعتی مالک اشتر، ۱۳۹۴.
مشخصات ظاهری:	ن. ۷۲۰ ص: مصور (بخشی رنگی)، جدول.
شابک:	۹۷۸-۶۰۰-۷۷۳۶-۱۵-۹
وضعیت فهرست‌نویسی:	فیا.
موضوع:	لایه‌های نازک.
موضوع:	نوارهای مغناطیسی.
موضوع:	مواد مغناطیسی.
شابک افزوده:	سودایی، تهمینه، گردآورنده.
شابک بروده:	دانشگاه صنعتی مالک اشتر.
بندی دیگر:	TA ۴۱۸/۹ ج۲ ۱۳۹۴
رده‌بندی دیویی:	۶۲۱/۳۸۱۵۲
کتابشناسی ملی:	۴۰۸۲۴۱۵



سازمان اسناد و کتابخانه ملی
جمهوری اسلامی ایران

عنوان کتاب:	لایه‌های نازک مغناطیسی
تدوین و گردآوری:	علی قاسمی
ناشر:	انتشارات دانشگاه صنعتی مالک اشتر
طرح روی جلد:	فریناز عسگری
لیتوگرافی، چاپ و صحافی:	انتشارات دانشگاه صنعتی مالک اشتر
صفحه‌آرایی رایانه‌ای:	امین پژوهش جهرمی
ویراستار ادبی:	امین پژوهش جهرمی
شمارگان:	۱۰۰۰ جلد
نوبت چاپ:	اول، زمستان ۹۴
قیمت:	۳۲۰.۰۰۰ ریال

ISBN: 978-600-7736-15-9

کلیه حقوق چاپ برای ناشر محفوظ است.

نقل مطالب فقط با ذکر مشخصات کامل کتاب و با اشاره به نام ناشر مجاز است.
آدرس: تهران، لویزان، دانشگاه صنعتی مالک اشتر، مرکز فناوری اطلاعات و مدیریت دانش،
مدیریت انتشارات. تلفن: ۲۲۹۳۲۸۹۱

پیش‌گفتار

با توجه به گسترش روزافزون حجم اطلاعات در زندگی بشر، قرن بیست و یکم قرن اطلاعات نامیده می‌شود (۱۰ بیت) نام‌گذاری شده است. در این عصر اطلاعات، دانش‌ها و یافته‌های بشر به اندازه‌ای است که ذهن انسان می‌تواند در برگیرنده بخش کوچکی از آن باشد. در واقع توان علمی انسان بستگی به توانایی دستیابی و استفاده از دریای عظیم اطلاعات دارد. به این منظور، حافظه‌هایی به کار می‌روند که وظیفه ذخیره‌سازی و نگهداری دائمی برنامه‌ها و اطلاعات را بر عهده دارند و دسترسی مستمر به آن‌ها سریع و آسان است. تحقیقات اخیر نشان می‌دهد که حافظه‌های امروزی قابلیت ذخیره‌سازی حدود یک ترابایت بر اینچ مربع را دارند. از آنجایی که عمل خواندن و نوشتن بیت‌ها روی حافظه‌های مغناطیسی توسط هد انجام می‌شود، کاهش فاصله بین هد و سطح لوح^۱، استفاده از هد خواندنی^۲ با حساسیت بالا و هد نوشتنی^۳ با مغناطش بالا می‌تواند در چگونگی عملکرد حافظه‌های مغناطیسی جگالی بالا بسیار موثر باشد. از این رو، لایه مغناطیسی به کار رفته در هد مغناطیسی باید از مغناطش اشباع بسیار بالا و نفوذپذیری مغناطیسی بزرگ به منظور ایجاد میدان مغناطیسی قوی و نیروی پسماندزا کوچک برخوردار باشد. در حقیقت، جریان عبوری بر سیم پیچ هد، مولد میدان مغناطیسی خواهد بود که موجب مغناطیده شدن بیت‌ها و نوشتن آن بر سطح لوح خواهد شد.

^۱ Disk

^۲ Read head

^۳ Write head

محیط ذخیره اطلاعات به شکل لایه نازک است و بر سطح زیر لایه غیرمغناطیسی قرار می‌گیرد. هد ذخیره‌کننده، یک ماده مغناطیسی حلقه‌ای دارای شکاف است که در مجاورت بسیار نزدیک سطح لایه قرار می‌گیرد. زمانی که هد، اطلاعات را روی حافظه ثبت می‌کند، میدان مغناطیسی ایجاد شده در شکاف، لایه نازک را مغناطیده می‌کند. در حالت عادی فرآیند ذخیره‌سازی به دلیل حلقه پسماند، غیرخطی است. در حالت ساده مغناطش ذخیره‌شده الگویی از میدان خارجی و داخلی تشکیل می‌دهد که سه مجموعه‌ای از آهنرباهای دائمی هستند. هنگامی که این الگوها از مقابل هد با سرعت مشخص عبور می‌کنند، شار مغناطیسی که از این الگوها ناشی می‌شود، توسط هسته هد دریافت می‌شود و به تناسب سرعت تغییرات این شارها، ولتاژ ~~مغناطیسی~~ ¹ القا می‌شود. این ولتاژ منحصر به فرد است و توسط فرآیند الکتریکی مناسب سیگنال‌هایی را تشکیل می‌دهد.

مغناطیس‌های دائمی¹ از جمله جانشانی از فناوری پیشرفته هستند و در میان مواد مغناطیسی از جایگاه ویژه برخوردارند. از حوزه‌های کاربردی این مغناطیس‌ها می‌توان به استفاده در موتورها، ژنراتورها، بلندگوها و محرک‌ها اشاره کرد. در حال حاضر، توسعه مغناطیس‌های دائمی از اهمیت‌ترین و جذاب‌ترین زمینه‌های تحقیقاتی است. بدیهی است که افزایش حداکثر انرژی مغناطیس‌ها با افزایش نیروی پسماندزا و مغناطش اشباع میسر می‌شود. به این منظور، از ناهمسان‌گردی مغناطیسی بسیار بزرگ مواد سخت می‌توان برای افزایش نیروی پسماندزا استفاده کرد. با این وجود، مقادیر کم مغناطش اشباع این مواد در مقایسه با مواد نرم سبب کاهش حداکثر انرژی می‌شود. از این رو، نیاز به یافتن مواد مغناطیسی جدید با بیش‌ترین نیروی پسماندزا و مغناطش اشباع احساس می‌شود. تحقیقات اخیر نشان

¹ Permanent magnet

داده است که استفاده از ترکیبات بین‌فلزی نادر خاکی^۱ - فلزات انتقالی^۱ و یا ترکیبات نیتريد و بورايد آن‌ها نظير $\text{Sm}_2\text{Co}_{17}$ ، $\text{Sm}_2\text{Fe}_{17}\text{N}_3$ و $\text{Nd}_2\text{Fe}_{14}\text{B}$ می‌تواند دست‌یابی به این هدف را تسهيل بخشد.

کتاب حاضر چهارمین اثر مولف در حوزه مواد مغناطيسی است. در سه مجموعه پیشین، نظریه‌های مغناطيسی در مواد توده‌ای و نانومغناطيسی‌ها و رفتار مواد جاذب امواج الکترومغناطيسی مطالعه و بررسی گردیده و در این کتاب تلاش شده درک عمیقی از کاربرد لایه‌های نازک مغناطيسی در حافظه‌های دارای چگالی بالای عمودی، هدهای خوانشی و نوشتنی و مغناطيسی‌های تبدیلی ارتجاعی ارائه شود. رفتار مغناطيسی و ویژگی‌های ساختاری مواد مغناطيسی مهم از قبیل آهن پلاتین، نئودیموم آهن بور، ساماریوم کبالت، نئوبیم آهن کبالت، آهن کبالت و نانوکامپوزیت‌های مواد سخت و نرم مغناطيسی به تفصیل بیان شده است.

کتاب لایه‌های نازک مغناطيسی، مشتمل بر هشت فصل است. تمام فصول به رفتار مغناطيسی لایه‌های نازک می‌پردازد. در فصل نخست مقدمه‌ای بر رفتار منحنی‌های پسماند، انواع حالت‌های مغناطيسی، متغیرهای منحنی پسماند، حافظه‌ها، و هدهای مغناطيسی به اختصار معرفی شده است. یکی از مهم‌ترین مواد مغناطيسی با ساختار ابرشبکه، آلیاژ آهن پلاتین است که ویژگی‌های ساختاری و رفتار مغناطيسی آن به عنوان یک نامزد مهم در حافظه‌ها با ناهمسان‌گردی مغناطوبلوی^۲ موردی در فصل دوم بررسی می‌شود. نقش زیرلایه، لایه بافر و عوامل موثر بر فرایند پراکنش در تشکیل لایه نازک غیربلوری تربیوم آهن کبالت در فصل سوم مشخص شده است. این ماده در حافظه‌های مغناطيسی نسل‌های آینده کاربرد فراوانی خواهد داشت؛ به‌گونه‌ای که با کنترل سرعت چرخش حوزه‌های مغناطيسی در این لایه غیربلوری نیازی به استفاده از موتورهای الکتریکی در لوح‌های فشرده سخت نخواهد بود. نقش عنصر

^۱ Rare earth- transition metal intermetallic

تریوم در خواص مغناطیسی این لایه و چگونگی تغییر حالت از ماده نرم به سخت مغناطیسی در این فصل مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفته است. یکی از مهم‌ترین مواد مغناطیسی که در صنایع کشور کاربرد بسیار زیادی دارد، آلیاژ نئودیمیوم آهن بور است. لایه نازک این ترکیب می‌تواند در ساخت حافظه‌ها و مغناطیس‌های تبدیلی ارتجاعی که مولد انرژی هستند بسیار کاربرد داشته باشد. فصل چهارم به بررسی رفتار لایه نازک نئودیمیوم آهن بور می‌پردازد. با توجه به اهمیت نئودیمیوم آهن بور، این فصل با جزییات و حجم بیشتری نگارش شده است. نقش انواع لایه‌های میانی، ضخامت، دمای آنیل، نوع زیرلایه، ترکیب شیمیایی، و لایه‌های محافظ در ویژگی‌های ساختاری و مغناطیسی نئودیمیوم آهن بور به دقت مطالعه شده است. یکی دیگر از مغناطیس‌های مهم نادر خاکی ساماریوم کبالت است که انواع مختلفی از این مغناطیس در صنایع استفاده می‌شود. فصل پنجم به معرفی رفتار مغناطیسی لایه‌های نازک ساماریوم کبالت پرداخته است. با توجه به اهمیت زیاد لایه بافر در تشکیل فاز ساماریوم کبالت و جلوگیری از خوردگی و نفوذ عناصر زیرلایه و لایه مغناطیسی، بخش زیادی از این فصل به معرفی و مقایسه انواع لایه‌های بافر مناسب می‌پردازد. یکی دیگر از قسمت‌های مهم لوح‌های فشرده، هد مغناطیسی است. هدهای مغناطیسی در سه دهه گذشته به صورت توده‌های مغناطیسی ساخته و به بازار عرضه می‌شدند. در سال‌های اخیر لایه‌های نازک مغناطیسی آهن کبالت در لایه‌های با مناطومقاومت بسیار بزرگ جایگزین هدهای قدیمی شد. فصل ششم به معرفی رفتار هد مغناطیسی آهن کبالت می‌پردازد که بیش‌ترین مصرف بازار جهانی را به خود اختصاص داده است. در این فصل نقش عناصر آلیاژی و لایه میانی در تشکیل لایه آهن کبالت با دقت بیشتری مطالعه شده است. لازم به ذکر است که در کتاب «مقدمه‌ای بر نانومغناطیس‌ها در مواد چگال» (که از جمله تألیفات مولف حاضر است) انواع لایه‌های نازک مغناطومقاومت شامل مغناطومقاومت ناهمسان‌گرد، مغناطومقاومت بزرگ و فوق‌العاده بزرگ با قوانین

فیزیکی حاکم به‌دقت به رشته تحریر درآمده است و علاقه‌مندان به این حوزه می‌توانند با مراجعه به کتاب مذکور اطلاعات ارزشمندی کسب نمایند. در فصل هفتم به بررسی خواص ساختاری و مغناطیسی پرمالوی و عوامل موثر بر مشخصه‌های ساختاری و مغناطیسی آن پرداخته شده است. از لایه‌های نازک پرمالوی در ساخت هد مغناطیسی، حسگرهای مغناطیسی، یوک‌های الکترومغناطیسی، کندانسورهای مغناطیسی و استحفاظ مغناطیسی برای انسداد و انعکاس امواج مغناطیسی به کار گرفته می‌شود. فصل آخر این کتاب کاربرد دیگری از لایه‌های نازک را معرفی می‌کند. مغناطیس‌ها، نیادلی ارتجاعی که از ترکیب لایه‌های سخت و نرم مغناطیسی ایجاد می‌شوند، انرژی زیاد در حجم کم را تولید می‌کنند که در میکروالکترونیک و اسپینترونیک بسیار به‌همراه است. تعداد قابل توجهی از این مغناطیس‌ها به‌همراه روابط فیزیکی حاکم بر آنها در این فصل ارائه شده و سازوکارهای افزایش انرژی مورد مطالعه قرار گرفته است.

منابع و مراجع مورد استفاده در نگارش این کتاب عمدتاً شامل مقالات معتبر در مجلات علمی پژوهشی و کتاب‌های محققین معروف این حوزه است. تلاش شده بیش‌تر از مقالات محققان با شهرت بین‌المللی استفاده شود که نتایج آن‌ها مورد توافق قرار گرفته است.

امید است این متن برای استادان محترم، دانشجویان تحصیلات تکمیلی رشته‌های مهندسی مواد و فیزیک ماده چگال و سایر محققان این رشته‌ها مفید واقع شود.

دکتر علی قاسمی

شهریورماه نود و چهار

فهرست مطالب

۳	فصل نخست: حافظه و هد مغناطیسی
۳	مقدمه
۳	۱-۱- انواع مواد مغناطیسی
۹	۱-۲- انواع حالت‌های مغناطیسی
۱۰	۱-۲-۱- دیامغناطیس
۱۰	۲-۲-۱- پارامغناطیس
۱۲	۳-۲-۱- فرومغناطیس
۱۳	۴-۲-۱- پادفرومغناطیس
۱۳	۵-۲-۱- فری مغناطیس
۱۴	۳-۱- <u>حلقه پسماند مغناطیسی</u>
۱۹	۴-۱- حوزه‌های مغناطیسی
۲۰	۵-۱- برهمکنش‌های مغناطیسی و ایزوله کردن دانه‌ها
۲۱	۶-۱- سازوکار مغناطش
۲۲	۱-۶-۱- حرکت دیواره حوزه‌ها
۲۲	۲-۶-۱- چرخش همدوس
۲۳	۷-۱- چگالی سطحی حافظه‌ها و حد پایداری حرارتی
۲۴	۸-۱- حافظه‌های مغناطیسی
۳۲	۹-۱- مبانی علمی هد‌های مغناطیسی
۳۶	۱-۹-۱- معادلات الکتریکی در مدارهای مغناطیسی

۳۷	۱-۹-۲- مدار هد مغناطیسی
۳۹	۱-۹-۳- القاوری هد مغناطیسی
۴۳	۱-۹-۴- تقریب کارلکوویست
۴۶	۱-۱۰-۱- طراحی و ساخت هدهای مغناطیسی
۴۷	۱-۱۰-۱- هدهای مغناطیسی پرمالوی
۴۹	۱-۱۰-۲- هدهای مغناطیسی فریتی
۵۳	۱-۱-۳- هدهای مغناطیسی با شکاف فلزی
۵۸	۱-۱-۴- هدهای مغناطیسمقاومت
۶۰	۱-۱۰-۵- هدهای مغناطیسی ترکیبی
۶۲	 مراجع

۶۷ فصل دوم: لایه‌های نازک آهن پلاتین

۶۷	۲-۱- مقدمه
۶۸	۲-۱-۱- نمودار فازي آهن- پلاتین
۷۰	۲-۲- ساختار کریستالی فازهای $Fe_{1-x}Pt_x$
۷۲	۲-۳- نظم شیمیایی بلند برد
۷۵	۲-۴- خواص زیرلایه و لایه نازک
۷۵	۲-۴-۱- اثرات زیر لایه‌ها و لایه‌های بافر بر ساختار آهن پلاتین
۹۵	۲-۴-۲- تاثیر ترکیب شیمیایی بر لایه نازک آهن پلاتین
۹۸	۲-۴-۳- تاثیر پارامترهای رسوب دهی بر لایه نازک آهن پلاتین
۱۰۶	۲-۴-۴- تاثیر آنیل کردن لایه‌های نازک بر لایه نازک آهن پلاتین
۱۱۶	۲-۴-۵- تاثیر اضافه کردن بور
۱۱۸	۲-۴-۶- تاثیر تنش بر استحاله منظم شدن
۱۲۰	۲-۵- تاثیر پارامترهای مختلف بر خواص مغناطیسی لایه نازک آهن پلاتین
۱۲۲	۲-۶- تاثیر زیرلایه و لایه‌های بافر مختلف بر ویژگی‌های ساختاری و رفتار مغناطیسی

۱۳۷.....	۲-۷- تاثیر فشار اولیه محفظه بر دمای منظم شدن.....
۱۴۰.....	۲-۸- تاثیر درجه حرارت رسوب دهی بر خواص مغناطیسی.....
۱۴۵.....	۲-۹- تاثیر آنیل لایه‌های نازک آهن پلاتین بر رفتار مغناطیسی.....
۱۵۶.....	۲-۱۰- تاثیر ضخامت لایه نازک بر ویژگی‌های ساختاری و خواص مغناطیسی.....
۱۶۶.....	۲-۱۱- تاثیر ترکیب شیمیایی بر خواص مغناطیسی.....
۱۶۸.....	۲-۱۲- لایه‌های نازک آهن پلاتین الگودار شده.....
۱۷۳.....	مراجع.....
۱۸۱.....	فصل سوم: لایه‌های نازک تریبوم آهن کبالت.....
۱۸۱.....	مقدمه.....
۱۸۱.....	۳-۱- لایه‌های تریبوم آهن کبالت.....
۲۰۴.....	۳-۲- نقش لایه بافر و لایه واسطه در رفتار مغناطیسی لایه‌های تریبوم- آهن- کبالت.....
۲۰۵.....	۳-۲-۱- تاثیر تنگستن بر رفتار مغناطیسی لایه تریبوم- آهن- کبالت.....
۲۰۹.....	۳-۲-۲- تاثیر نیتريد تیتانيم بر رفتار مغناطیسی لایه تریبوم- آهن- کبالت.....
۲۱۴.....	۳-۲-۳- تاثیر نقره بر رفتار مغناطیسی لایه‌های تریبوم- آهن- کبالت.....
۲۱۷.....	۳-۲-۴- تاثیر آلومینیم بر رفتار مغناطیسی لایه تریبوم- آهن- کبالت.....
۲۲۶.....	۳-۲-۵- تاثیر لایه‌های بافر مغناطیسی بر لایه تریبوم- آهن- کبالت.....
۲۲۷.....	۳-۲-۶- تاثیر لایه بافر بر ساختار مغناطیسی لایه‌های تریبوم- آهن- کبالت.....
۲۳۰.....	۳-۳- ارزیابی رفتار میکروسکوپی لایه‌های تریبوم- آهن- کبالت.....
۲۳۱.....	۳-۳-۱- تاثیر ساختار مغناطیسی بر مغناطومقاومت لایه تریبوم- آهن- کبالت.....
۲۳۷.....	۳-۳-۲- تاثیر لایه بافر بر سازوکار چرخش بردار مغناطش.....
۲۴۲.....	۳-۳-۳- چگالی جریان بحرانی در لایه‌های تریبوم- آهن- کبالت.....
۲۴۸.....	۳-۳-۴- مغناطیس زدایی لایه تریبوم- آهن- کبالت و تاثیر آن بر ساختار مغناطیسی.....
۲۵۰.....	۳-۳-۵- مشخصه‌های ویژه لیزر در حافظه‌های مغناطواینتیک تریبوم- آهن- کبالت.....
۲۵۵.....	مراجع.....

فصل چهارم: لایه‌های نازک نئودیموم آهن بور..... ۲۶۱

۲۶۱..... مقدمه

۲۶۱..... ۴-۱- لایه‌های نئودیمیم- آهن - بور

۲۶۸..... ۴-۲- ویژگی‌های ساختاری نئودیمیم - آهن- بور و کاربرد لایه نازک مغناطیسی

۲۷۰..... ۴-۲-۱- ساختار کریستالی نئودیمیم - آهن - بور

۲۷۱..... ۴-۲-۲- نمودار فازی نئودیمیم - آهن - بور

۲۷۲..... ۴-۳- مغناطیس فیری تبدیلی

۲۷۳..... ۴-۴-۱- تاثیر پارامترهای فرآیند بر رفتار مغناطیسی لایه نئودیمیم - آهن - بور

۲۷۴..... ۴-۳-۱- نیر لایه بافر و لایه محافظ بر خواص مغناطیسی لایه نئودیمیم - آهن - بور

۲۷۴..... ۴-۳-۱-۱- تاثیر لایه بافر و لایه محافظ دیسپروسیم بر رفتار مغناطیسی لایه نئودیمیم - آهن - بور

۲۷۴..... ۴-۳-۱-۲- تاثیر لایه‌های تیتانیم، تانتالوم، نیوبیم، مولیبدن، کروم، وانادیوم بر رفتار مغناطیسی لایه

۲۷۹..... نئودیمیم - آهن - بور

۲۹۱..... ۴-۳-۲- تاثیر ضخامت لایه بافر و لایه محافظ بر خواص مغناطیسی لایه نئودیمیم - آهن - بور

۲۹۸..... ۴-۳-۳- تاثیر دمای لایه بافر بر خواص مغناطیسی لایه نئودیمیم - آهن - بور

۳۰۶..... ۴-۳-۴- تاثیر دمای زیر لایه بر خواص مغناطیسی و ساختاری لایه نئودیمیم - آهن - بور

۳۰۶..... ۴-۴- تاثیر پارامترهای لایه مغناطیسی بر خواص ساختاری و مغناطیسی لایه نازک

۳۲۳..... نئودیمیم - آهن - بور

۳۲۴..... ۴-۴-۱- تاثیر ضخامت لایه نئودیمیم - آهن - بور بر خواص مغناطیسی و ساختاری

۳۵۴..... ۴-۴-۱- تاثیر ترکیب لایه بر خواص مغناطیسی و ساختاری لایه نئودیمیم - آهن - بور

۳۶۳..... ۴-۴-۲- تاثیر دمای آیل بر خواص مغناطیسی و ساختاری لایه نئودیمیم - آهن - بور

۳۸۷..... ۴-۴-۳- تاثیر عناصر آلیاژ بر خواص مغناطیسی و ساختاری لایه نئودیمیم - آهن - بور

۴۰۲..... مراجع

فصل پنجم: لایه‌های نازک ساماریوم کبالت ۴۱۱

مقدمه ۴۱۱

۱-۵- تاثیر پارامترهای موثر فرآیند کندوپاش بر تشکیل لایه ساماریوم کبالت ۴۱۲

۲-۵- رشد لایه‌های نازک SmCo_5 با ناهمسان‌گردی طولی ۴۲۱

۳-۵- رشد لایه‌های نازک SmCo_5 با ناهمسان‌گردی عمودی ۴۳۸

۴-۵- رشد لایه‌های SmCo_5 بر لایه Cu/Ta ۴۴۸

۵-۵- رشد لایه‌های SmCo_5 روی لایه بافر Cu/Ti ، Cu/W ۴۶۳

۶-۵- لایه‌های نازک SmCo_5 با ناهمسان‌گردی عمودی انباشت شده روی لایه‌های

میانی آلیاژ نیکل ۴۶۷

۷-۵- رشد لایه SmCo_5 بر روی لایه‌های نیکل تنگستن ۴۷۶

مراجع ۴۸۵

فصل ششم: لایه‌های نازک آهن کبالت ۴۹۱

مقدمه ۴۹۱

۱-۶- مقدمه‌ای بر لایه‌های نازک آهن کبالت ۴۹۱

۲-۶- پارامترهای موثر بر خواص ساختاری و مغناطیسی لایه‌های آهن کبالت ۴۹۳

۱-۲-۶- نقش زیرلایه در رفتار ساختاری و مغناطیسی لایه‌های آهن کبالت ۴۹۳

۲-۲-۶- نقش لایه بافر در رفتار ساختاری و مغناطیسی لایه‌های آهن کبالت ۵۰۶

۱-۲-۲-۶- تاثیر لایه بافر کبالت بر خواص ساختاری و مغناطیسی لایه نازک آهن کبالت ۵۰۶

۲-۲-۲-۶- تاثیر لایه بافر مس بر خواص ساختاری و مغناطیسی لایه نازک آهن کبالت ۵۱۹

۳-۲-۲-۶- تاثیر لایه‌های بافر آلومینیم، پالادیم و پلاتین بر خواص ساختاری و مغناطیسی لایه نازک

آهن کبالت ۵۲۲

۴-۲-۲-۶- تاثیر لایه‌های بافر هافنیم، کروم، نقره و طلا بر خواص ساختاری و مغناطیسی لایه نازک

آهن کبالت ۵۲۵

۵۲۸.....	۳-۶- مشخصه‌های ویژه لایه مغناطیسی آهن کبالت
۵۲۸..	۳-۶-۱- تاثیر ترکیب شیمیایی بر خواص ساختاری و مغناطیسی لایه نازک آهن کبالت
۵۳۲.....	۳-۶-۲- تاثیر ضخامت بر خواص ساختاری و مغناطیسی لایه نازک آهن کبالت
۵۳۷.....	۳-۶-۳- تاثیر تعداد لایه‌ها بر خواص ساختاری و مغناطیسی لایه نازک آهن کبالت
۵۴۱.....	۳-۶-۴- تاثیر افزودن کاتیون‌های مختلف بر خواص ساختاری و مغناطیسی لایه آهن کبالت
۵۵۲.....	۳-۶-۴- مشخصه‌های ویژه رسوب لایه‌های نازک آهن کبالت
۵۵۲.....	۳-۶-۴-۱- تاثیر روش لایه نشانی بر خواص ساختاری و مغناطیسی لایه نازک آهن کبالت
۵۵۴.....	۳-۶-۴-۱- تاثیر رسوب بر خواص ساختاری و مغناطیسی لایه نازک آهن کبالت
۵۶۴.....	مراجع
۵۷۱.....	فصل هفتم: لایه‌های نازک پرمالی
۵۷۱.....	مقدمه
۵۷۲.....	۷-۱- خواص ساختاری
۵۸۰.....	۷-۲- خواص مکانیکی
۵۸۱.....	۷-۳- مقاومت به اکسیداسیون
۵۸۴.....	۷-۴- مقاومت به خوردگی
۵۸۵.....	۷-۵- خواص مغناطیسی
۵۸۵.....	۷-۵-۱- نفوذپذیری مغناطیسی پرمالوی
۵۸۹.....	۷-۵-۲- نمودار پسماند و وادارندگی
۶۰۴.....	۷-۶- مغناطومقاومت و مقاومت الکتریکی
۶۱۴.....	۷-۷- مگنتواستریکشن
۶۲۰.....	۷-۸- پارامتر میرایی
۶۲۵.....	۷-۹- تشدید فرومغناطیس

۶۲۹.....	۱۰-۷- کاربردهای پرمالوی
۶۲۹.....	۱-۱۰-۷- میکروموتورها.....
۶۳۰.....	۲-۱۰-۷- استحفاظ مغناطیسی
۶۳۲.....	۳-۱۰-۷- مدهای مغناطیسی
۶۳۳.....	۴-۱۰-۷- حسگرهای مغناطیسی
۶۳۴.....	۵-۱۰-۷- هسته ترانستورماتور
۶۳۶.....	مراجع
۶۴۳.....	فصل هشتم: مغناطیس‌های تبادلی ارتجاعی
۶۴۳.....	مقدمه
۶۴۴.....	۱-۸- مقدمه‌ای بر فناطیس‌ها، با خاصیت ارتجاعی
۶۵۰.....	۲-۸- مشخصه‌های ویژه مناسب‌ها، خاصیت ارتجاعی
۶۵۱.....	۱-۲-۸- نقش زیرلایه در چگونگی عملکرد فناطیس‌های ارتجاعی
۶۵۷.....	۲-۲-۸- نقش لایه بافر و لایه محافظ، و نقش‌های مغناطیس‌های ارتجاعی
۶۵۸.....	۳-۲-۸- نقش لایه‌های مغناطیسی در رفتار مکانیکی‌های ارتجاعی
۶۵۹.....	۱-۳-۲-۸- تاثیر ترکیب شیمیایی لایه بر رفتار مغناطیسی لایه‌های سخت/نرم
۶۶۸.....	۲-۳-۲-۸- تاثیر تعداد لایه‌ها بر رفتار مغناطیسی لایه‌های سخت/نرم
۶۷۲.....	۳-۳-۲-۸- تاثیر ضخامت لایه بر رفتار مغناطیسی لایه‌های سخت/نرم
۶۹۲.....	۳-۸- مشخصه‌های انباشت مغناطیس‌های با خاصیت ارتجاعی
۶۹۲.....	۱-۳-۸- تاثیر مشخصه‌های فرآیند پراکنش بر رفتار مغناطیسی لایه‌های سخت/نرم
۶۹۴.....	۲-۳-۸- تاثیر دمای تشکیل انباشت بر رفتار مغناطیسی لایه‌های سخت/نرم
۷۰۹.....	مراجع
۷۱۳.....	جدول اختصارات
۷۱۷.....	واژه‌نامه