بسم الله الرحمن الرحیم

دانشکدهٔ علوم
گروه فیزیک

پایان نامه جهت اخذ درجهٔ کارشناسی ارشد
رشته **فیزیک حالت جامد**

عنوان:

ساخت نانوسیم‌های مغناطیسی آلیاژی آهن–کبالت در قالب آلومینای نانوحفره‌دار و بررسی خواص مغناطیسی و ساختاری آنها

استاد راهنما:
دکتر عبدالعلی رمضانی

استاد مشاور:
دکتر محمد الماسی کاشی

دانشجو:
فاطمه اسحقی

دی ماه ۱۳۸۷

تقدیم به

پدر، مادر

و

خواهر عزیزم

تشکر و قدردانی

در اینجا بر خود لازم می‌دانم از تمامی اساتید بزرگوار بخصوص اساتید دورهٔ کارشناسی ارشد که تا این مرحله از تحصیلم مرا یاری نمودند کمال تشکر را داشته باشم. برای همهٔ آنها موفقیت،کامروایی و شادکامی را خواستارم.

از استاد بزرگوار جناب آقای دکتر عبدالعلی رمضانی که راهنمایی اینجانب را در این پروژه به عهده داشته و دلسوزانه مرا یاری نمودند عمیقاً سپاسگزارم و توفیق روزافزون را برای ایشان آرزو دارم.

از استاد گرامی جناب آقای دکتر محمد الماسی کاشی که انجام این پروژه بدون مشاوره-های راهگشای ایشان ممکن نبود کمال تشکر را دارم و سلامتی و موفقیت ایشان را آرزومندم.

از جناب آقای دکتر پیروز مرعشی به‌عنوان استاد داور مدعو خارج از دانشگاه و جناب آقای دکتر سید احسان روزمه به‌عنوان استاد داور داخل دانشگاه که پایان نامهٔ اینجانب را مورد مطالعه قرار داده و در جلسهٔ دفاع بنده شرکت نمودند تشکر می‌نمایم. همینطور از جناب آقای دکتر رضا جهانی‌نژاد که به‌عنوان نمایندهٔ تحصیلات تکمیلی دانشگاه قبول زحمت نمودند کمال تشکر را دارم.

در ادامه از تمامی دوستانی که در طول انجام این پروژه در آزمایشگاه نانومغناطیس دانشگاه کاشان با من همکاری داشتند بخصوص دوست خوبم خانم عاطفه کریم‌زاده سپاسگزارم و همینطور از تمامی دوستان و اقوامی که بدون مساعدت‌های روحی آنها طی این مرحله برایم دشوار بود و آنها بدون چشمداشت مرا مورد لطف و حمایت خود قرار دادند از صمیم قلب متشکرم و بهترین‌ها را برایشان آرزو می‌کنم.

در پایان از خانواده‌ام که نه در ایام کارشناسی ارشد که در تمامی سال‌های زندگیم پشتوانه‌ام بوده‌اند تقدیر می‌نمایم، گرچه این اندک در برابر زحمات آنها ناچیز است.

چکیده

با پیشرفت تکنولوژی، نیاز به محیط‌های ثبت مغناطیسی با ظرفیت بالا کاملاً احساس می‌شود. سیستم‌های ثبت مغناطیسی عمودی بخاطر پایداری گرمایی زیادشان یکی از نامزدهای حافظه‌های ثبت با چگالی بالا محسوب می‌شوند. در این میان محیط‌هایی که بتوانند ناهمسانگردی عمودی لازم برای حافظه‌های مغناطیسی را فراهم سازند بسیار مورد توجه قرار گرفته اند. نانوسیم‌های آلیاژی FeCo و FeNi توجه زیادی را به خود معطوف ساخته‌اند، زیرا با تغییر و تنظیم آلیاژ به آسانی می‌توان به وادارندگی و نسبت مربعی مورد نیاز برای محیط‌های ثبت مغناطیسی دست یافت. بعلاوه برخلاف Fe ، Co و Ni، آلیاژ FeCo دارای مغناطش اشباع بزرگ، ناهمسانگردی بلوری کوچک و دمای کوری بالا است که آن را برای کاربردهای دمای بالا مناسب ساخته است.

هدف ما در این پروژه ساخت نانوسیم‌های آلیاژی Fe_xCo_{1-x} و بررسی خواص مغناطیسی و ساختار بلوری نانوسیم‌ها و چگونگی بستگی این خواص به ترکیب آلیاژ و فرکانس الکترونهشت متناوب بود. اثر تابکاری بر روی خواص مغناطیسی و ساختار بلوری نانوسیم‌ها نیز مورد مطالعه قرار گرفت. پس از ساخت نمونه‌ها منحنی پسماند آنها با استفاده از مغناطومتر گرادیان نیروی متناوب (AGFM) رسم شد. جهت بررسی تأثیر تابکاری روی نانوسیم‌های ساخته شده در شرایط مختلف، نمونه‌ها تحت دمای $570^{\circ}C$ تابکاری شدند. نانوسیم‌ها بوسیلهٔ مُد EDS میکروسکوپ الکترون روبشی ترکیب سنجی شده و بستگی ترکیب آنها به فرکانس الکترونهشت متناوب و غلظت الکترولیت بررسی شد. همچنین از میکروسکوپ الکترون روبشی(SEM) و میکروسکوپ پروبی روبشی (SPM) برای تعیین پارامترهای قالب و مشاهدهٔ نانوسیم‌ها استفاده گردید. سرانجام با مقایسهٔ داده‌ها نظیر وادارندگی قبل و بعد از تابکاری، نسبت مربعی ، طرح پراش اشعهٔ x و تهیهٔ نمودارهای مختلف به تحلیل و بررسی روندهای حاکم و تعیین شرایط لازم جهت بهینه‌سازی خواص مغناطیسی پرداختیم.

فهرست مطالب

عنوان **صفحه**

فصل اول

مقدمه..... ۱

۱-۱- کاربرد نانوسیم‌های مغناطیسی..... ۱

۱-۲- مغناطیس..... ۵

۱-۲-۱- طبقه‌بندی مواد مغناطیسی ۵

۱-۲-۲- ساختار حوزه‌ای ۸

۱-۲-۳- دیوارهٔ حوزه ۹

۱-۲-۴- خواص نانوسیم‌های فرومغناطیس ۱۰

۱-۲-۴-۱- پارامترهای اصلی مغناطیس ۱۰

۱-۲-۴-۲- عوامل تعیین کننده در خواص مغناطیسی ۱۲

۱-۲-۴-۳- کلیدزنی در ذرات تک حوزه ۱۹

۱-۲-۴-۴- چرخش همدوس ۲۲

۱-۲-۴-۵- مدل پیچشی ۲۶

۱-۲-۴-۶- سوپرپارامغناطیس ۲۸

۱-۲-۵- ویژگی‌های محیط ثبت مغناطیسی..... ۳۰

۱-۲-۶- حافظه‌های مغناطیسی ۳۱

۱-۳- گزارش فعالیت‌های انجام شده ۳۶

۱-۳-۱- مقایسهٔ خواص مغناطیسی و ساختاری نانوسیم‌ها و لایهٔ نازک Co و $Co_{۹۰}Fe_{۱۰}$..... ۳۶

۱-۳-۲- بررسی اثر تابکاری دماهای مختلف روی خواص مغناطیسی نانوسیم‌های آلیاژی FeCo..... ۳۸

۱-۳-۳- بررسی تأثیر مقدار آهن روی ساختار بلوری و خواص مغناطیسی نانوسیم‌های $Co_{1-x}Fe_x$ ۴۲
۱-۳-۴- بررسی اثر موزبار نانوسیم‌های $Fe_{1-x}Co_x$. ۴۴

فصل دوم

مقدمه ۴۷
۲-۱- ساخت آرایه نانوسیم‌ها ۴۸
۲-۱-۱- ساختار اکسید آلومینا ۴۸
۲-۱-۲- مشخصه‌های تعیین کننده یک قالب ۵۰
۲-۱-۳- آندایز آلومینیوم ۵۱
۲-۱-۳-۱- آندایز نرم ۵۴
۲-۱-۳-۲- آندایز سخت ۵۷
۲-۱-۳-۳- پیش‌طراحی آلومینیوم قبل از آندایز ۶۱
۲-۱-۳-۴- آندایز دو مرحله‌ای ۶۳
۲-۱-۳-۵- آندایز با مخلوط اسیدهای مختلف ۶۴
۲-۱-۳-۶- افزایش قطر حفره‌ها ۶۶
۲-۱-۳-۷- نازک‌سازی لایهٔ سدی ۶۶
۲-۱-۴- دو ویژگی مهم اکسید آلومینا ۶۸
۲-۱-۵- پرکردن قالب ۷۱
۲-۱-۵-۱- الکتروانباشت با ولتاژمستقیم ۷۱
۲-۱-۵-۲- الکتروانباشت با ولتاژ متناوب ۷۳
۲-۱-۵-۳- الکتروانباشت با ولتاژ پالس ۷۴
۲-۲- وسایل اندازه‌گیری ۷۵
۲-۲-۱- مغناطوسنجی نیروی گرادیان متناوب (AGFM) ۷۵

۲-۲-۳- میکروسکوپ الکترونی روبشی (SEM) ۷۶
۲-۲-۴- میکروسکوپ پروبی روبشی (SPM)..... ۷۸
۲-۲-۵- پراش پرتو ایکس (XRD)..... ۸۰

فصل سوم

مقدمه..... ۸۴
۳-۱- ساخت نانوسیم‌های آلیاژی Fe_xCo_{1-x} ۸۵
۳-۱-۱- تهیه قالب اکسید آلومینا به‌روش آندایز دومرحله‌ای ۸۵
۳-۱-۱-۱- مراحل پیش از آندایز..... ۸۵
۳-۱-۱-۲- آندایز مرحله اول ۸۷
۳-۱-۱-۳- آندایز مرحله دوم ۸۸
۳-۱-۱-۴- نازک سازی قالب آلومینا ۹۰
۳-۱-۲- الکترونهشت متناوب اتم‌های آهن و کبالت درون حفره‌ها..... ۹۱
۳-۱-۳- تابکاری نمونه‌ها ۹۵
۳-۱-۴- آماده‌سازی نمونه‌ها برای آنالیز EDS و XRD ۹۸
۳-۱-۵- فهرست نمونه‌های ساخته شده ۹۸
۳-۲- آنالیزهای انجام شده ۹۹
۳-۲-۱- آنالیز EDS ۹۹
۳-۲-۲-آنالیز مغناطیسی ۱۰۳
۳-۳-۳- آنالیز XRD..... ۱۰۹
۳-۳- بررسی و تحلیل نتایج..... ۱۱۰
۳-۳-۱- قبل از تابکاری..... ۱۱۰
۳-۳-۲- بعد از تابکاری..... ۱۱۳
نتیجه گیری..... ۱۱۷
مراجع ۱۱۸

فهرست شکل‌ها

عنوان **صفحه**

فصل اول

شکل (۱-۱) : جهت‌گیری مواد پارامغناطیس و فرومغناطیس در غیاب و حضور میدان مغناطیسی.....۸

شکل (۱-۲): نمونه‌ای از منحنی پسماند (a)موازی و(b) عمود بر محور نانوسیم‌های یک مادهٔ فرومغناطیس.....۱۱

شکل (۱-۳) : شمایی از برهم‌کنش مغناطواستاتیک بین ذرات.....۱۴

شکل (۱-۴): سه بیضی ویژه برای بررسی نانوسیم‌ها.....۱۶

شکل (۱- ۵) : بستگی فاکتور وامغناطش یک بیضی کشیده شده به نسبت طول به قطر.....۱۸

شکل (۱-۶) : شعاع بحرانی بیضی کشیده شده تک حوزه برحسب ضریب وامغناطش در امتداد محورc.....۲۰

شکل (۱-۷) : بازگشت مغناطیسی در یک بیضی کشیده تک حوزه(a) مدل چرخش همدوس (b) مدل پیچشی.....۲۱

شکل (۱-۸) : سیستم مختصات استفاده شده برای بررسی چرخش همدوس.....۲۲

شکل (۱-۹) : منحنی‌های m-h برای مدل چرخش همدوس در $\theta_{\cdot} = ۰، ۳۰، ۶۰، ۹۰$.....۲۴

شکل(۱-۱۰): (a) وابستگی زاویه‌ای میدان کلیدزنی کاهش یافته ؛(b) وابستگی زاویه‌ای میدان وادارندگی کاهش یافته در دو نمونه.....۲۵

شکل(۱-۱۱): وابستگی زاویه ای میدان وادارندگی کاهش یافته مبتنی بر مدل پیچش.....۲۷

شکل(۱-۱۲): وابستگی شعاعی میدان وادارندگی برای یک بیضی باریک مبتنی بر مدل پیچش با میدان اعمالی موازی بر محور c ۲۸

شکل (۱-۱۳) : شمایی از فرآیند ثبت اطلاعات در محیط ثبت مغناطیسی طولی.....۳۳

شکل(۱-۱۴) : شمایی از یک محیط ثبت طولی یا لایهٔ نازک.....۳۴

شکل (۱-۱۵) : مقایسهٔ محیط‌های ثبت طولی و عمودی.....۳۵
شکل (۱-۱۶) : منحنی پسماند نانوسیم‌ها و لایه‌های نازک Co و $Co_{۹۰}Fe_{۱۰}$.....۳۷
شکل (۱-۱۷) : الگوی پراش پرتو ایکس نانوسیم‌های FeCo تابکاری شده در دماهای مختلف.....۳۹
شکل(۱-۱۸) : منحنی پسماند نانوسیم‌های FeCo (a) میدان موازی محور سیم (b) میدان عمود بر محور سیم.....۴۰
شکل (۱-۱۹) : بستگی وادارندگی و نسبت مربعی نانوسیم‌های FeCo به دمای تابکاری ۴۱
شکل (۱-۲۰) : پراش پرتو ایکس برای نانوسیم‌های $Co_{۱-x}Fe_x$.....۴۲
شکل (۱-۲۱) : نمودار بستگی وادارندگی و نسبت مربعی به مقدار آهنx ۴۳

فصل دوم

شکل (۲– ۱) :تصویرSEM ساختار شش گوشی تنگ‌پکیدهٔ نانوحفره‌های قالب آلومینا.....۴۹
شکل (۲- ۲) : نیروی دافعهٔ بین حفره‌ها.....۴۹
شکل (۲-۳) : ساختار اکسید آلومینا ۵۰
شکل (۲-۴) : مشخصه‌های قالب آلومینا.....۵۰
شکل (۲-۵) : منحنی جریان آندایز بر حسب زمان.....۵۲
شکل (۲–۶) : مقایسهٔ آندایز سخت و نرم ۶۰
شکل (۲-۷) : فرآیند ساخت آلومینای آندی به روش پیش‌طراحی.....۶۲
شکل (۲-۸) : تصویر SEM از سطح آلومینای آندی تهیه شده با مهر SiC ۶۳
شکل (۲-۹) : شمایی از فرآیند آندایز دومرحله‌ای ۶۴
شکل (۲-۱۰): تصاویر SEM نانوحفره‌های بدست آمده تحت (a) مخلوط اسید سولفوریک ۰/۳ مولار و اسید اکسالیک ۰/۳ مولار (b) اسید سولفوریک ۰/۳ مولار (c) اسید اکسالیک ۰/۳ مولار ۶۵
شکل (۲-۱۱) : افزایش قطر حفره‌ها و نازک سازی و تولید ساختار شاخه‌ای کف حفره‌های اصلی.....۶۷

شکل (۲-۱۲) : مدار معادل سیستم آلومینیوم – آلومینا – الکترولیت.....۶۹
شکل (۲-۱۳) : مراحل الکتروانباشت مستقیم ۷۲
شکل (۲-۱۴) : نمونه‌ای از ولتاژ متناوب الکتروانباشت.....۷۳
شکل (۲-۱۵) : نمونه‌ای از ولتاژ و جریان پالس الکتروانباشت.....۷۴
شکل(۲-۱۶) : نمایی از سیستم مغناطومتر گرادیان نیروی متناوب (AGFM).....۷۶
شکل(۲– ۱۷): طرحی از میکروسکوپ الکترونی روبشی.....۷۷
شکل (۲-۱۸) : تصویر میکروسکوپ پروبی روبشی.....۷۹
شکل (۲–۱۹) : نمایی از سیستم پراش پرتو ایکس.....۸۱

فصل سوم

شکل (۳-۱) : منحنی جریان-زمان آندایز مرحله دوم.....۸۹
شکل (۳-۲) : تصویر SEM از بالای قالب آلومینا پس از پایان آندایز دومرحله‌ای.....۸۹
شکل (۳-۳) : منحنی کاهش ولتاژ در آندایز غیر تعادلی.....۹۰
شکل (۳-۴) : منحنی کاهش جریان در آندایز غیر تعادلی.....۹۰
شکل (۳-۵) : نمونه‌ای از منحنی‌های ولتاژ، جریان و بار لحظه‌ای الکترونهشت متناوب FeCo بر حسب زمان.....۹۱
شکل(۳-۶) : منحنی جریان متوسط نسبت به زمان در الکترونهشت متناوب.....۹۳
شکل(۳-۷) : تصویرSEM از کنار نانوسیم‌های FeCo ۹۳
شکل(۳-۸) : تصویر SPM قالب آلومینا پس از الکترونهشت FeCo ۹۴
شکل (۳-۹) : تصویر SPM قالب آلومینا پس از الکترونهشت FeCo از نمای نزدیکتر.....۹۴
شکل (۳-۱۰) : نمودار تغییرات H_c و S با دمای تابکاری برای ۶ نمونه ساخته شده در شرایط مشابه.....۹۶
شکل (۳-۱۱) : منحنی پسماند نمونه‌های تابکاری شده در دماهای مختلف جهت تعیین دمای بهینهٔ تابکاری.....۹۷
شکل (۳-۱۲) : نمونه‌ای از نتیجهٔ آنالیز EDS نانوسیم‌هایFeCo ۱۰۰

شکل(۳-۱۳) : نمودار نهایی تغییرات درصد وزنی آهن و کبالت با افزایش غلظت آهن در محلول الکترونهشت.....۱۰۲
شکل (۳-۱۴) : منحنی پسماند میدان موازی و عمود بر محور نانوسیم‌های $Fe_{.۱۸}Co_{.۸۲}$ ، $Fe_{.۳۸}Co_{.۶۲}$ و $Fe_{.۴۶}Co_{.۵۴}$ در فرکانس ۴۰۰ هرتز قبل و بعد از تابکاری.....۱۰۳
شکل (۳-۱۵) : منحنی پسماند میدان موازی و عمود بر محور نانوسیم‌های $Fe_{.۵۱}Co_{.۴۹}$، $Fe_{.۵۷}Co_{.۴۳}$، $Fe_{.۶۴}Co_{.۳۶}$ و $Fe_{.۶۷}Co_{.۳۳}$ در فرکانس ۴۰۰ هرتز قبل و بعد از تابکاری.....۱۰۴
شکل(۳-۱۶) : نمودار تغییرات H_c با افزایش درصد وزنی آهن (x) قبل و بعد از تابکاری در هر فرکانس.....۱۰۷
شکل(۳-۱۷) : نمودار تغییرات Hc و S قبل و بعد از تابکاری نسبت به فرکانس در هر درصد وزنی.....۱۰۸
شکل (۳-۱۸): طرح پراش اشعه ایکس قبل و بعد از تابکاری$Fe_{.۱۸}Co_{.۸۲}$ ، $Fe_{.۳۸}Co_{.۶۲}$ ، $Fe_{.۵۱}Co_{.۴۹}$، $Fe_{.۵۷}Co_{.۴۳}$, $Fe_{.۶۴}Co_{.۳۶}$ و $Fe_{.۸۴}Co_{.۱۶}$.....۱۱۰
شکل(۳-۱۹) : گزارش کین، تغییرات وادارندگی نسبت به درصد آهن در نانوسیم‌های به قطر ۵۰ نانومتر.....۱۱۱
شکل(۳-۲۰) : گزارش چن، تغییرات وادارندگی نسبت به درصد آهن در نانوسیم‌های به قطر ۲۰ نانومتر.....۱۱۱
شکل (۳-۲۱) : نمودار تغییرات H_c برحسب درصد آهن با تغییر دمای تابکاری.....۱۱۵

فهرست جداول

عنوان **صفحه**

جدول (۱-۱) : مقایسهٔ نتایج پراش پرتو ایکس و منحنی‌های پسماند نانوسیم‌ها و لایهٔ نازک Co و $Co_{۹۰}Fe_{۱۰}$.....۳۸

جدول (۲-۱) : الکترولیت‌های مختلف و ولتاژ بهینهٔ مربوط به آنها در آندایز نرم.....۵۵

جدول (۲–۲) : مقایسه مشخصات قا لب تهیه شده در آندایز نرم و سخت.....۶۱

جدول(۳-۱) : نتایج H_c و S قبل و بعد از تابکاری ۶ نمونهٔ ساخته شده در شرایط مشابه در ۶ دمای متفاوت.....۹۵

جدول(۳-۲) : خلاصه‌ای از همهٔ نمونه‌های ساخته شده در پروژه.....۹۹

جدول (۳-۳) : نتایج اولیه EDS نانوسیم‌های $Fe_xCo_{۱-x}$ ۱۰۱

جدول(۳-۴) : جدول نهایی EDS نانوسیم‌های $Fe_xCo_{۱-x}$.....۱۰۲

جدول(۳-۵): نتایج H_c و S نمونه‌ها قبل و بعد از تابکاری.....۱۰۵

جدول (۳-۶) : ادامهٔ نتایج Hc و S قبل و بعد از تابکاری نمونه‌ها.....۱۰۶

فهرست مطالب

عنوان **صفحه**

فصل اول

مقدمه..... ۱

۱-۱- کاربرد نانوسیم‌های مغناطیسی..... ۱

۱-۲- مغناطیس..... ۵

۱-۲-۱- طبقه‌بندی مواد مغناطیسی ۵

۱-۲-۲- ساختار حوزه‌ای ۸

۱-۲-۳- دیوارهٔ حوزه ۹

۱-۲-۴- خواص نانوسیم‌های فرومغناطیس ۱۰

۱-۲-۴-۱- پارامترهای اصلی مغناطیس ۱۰

۱-۲-۴-۲- عوامل تعیین کننده در خواص مغناطیسی ۱۲

۱-۲-۴-۳- کلیدزنی در ذرات تک حوزه ۱۹

۱-۲-۴-۴- چرخش همدوس ۲۲

۱-۲-۴-۵- مدل پیچشی ۲۶

۱-۲-۴-۶- سوپرپارامغناطیس ۲۸

۱-۲-۵- ویژگی‌های محیط ثبت مغناطیسی..... ۳۰

۱-۲-۶- حافظه‌های مغناطیسی ۳۱

۱-۳- گزارش فعالیت‌های انجام شده ۳۶

۱-۳-۱- مقایسهٔ خواص مغناطیسی و ساختاری نانوسیم‌ها و لایهٔ نازک Co و $Co_{۹۰}Fe_{۱۰}$..... ۳۶

۱-۳-۲- بررسی اثر تابکاری دماهای مختلف روی خواص مغناطیسی نانوسیم‌های آلیاژی FeCo..... ۳۸

۱-۳-۳- بررسی تأثیر مقدار آهن روی ساختار بلوری و خواص مغناطیسی نانوسیم‌های $Co_{1-x}Fe_x$ ۴۲
۱-۳-۴- بررسی اثر موزبار نانوسیم‌های $Fe_{1-x}Co_x$. ۴۴

فصل دوم

مقدمه ۴۷
۲-۱- ساخت آرایه نانوسیم‌ها ۴۸
۲-۱-۱- ساختار اکسید آلومینا ۴۸
۲-۱-۲- مشخصه‌های تعیین کننده یک قالب ۵۰
۲-۱-۳- آندایز آلومینیوم ۵۱
۲-۱-۳-۱- آندایز نرم ۵۴
۲-۱-۳-۲- آندایز سخت ۵۷
۲-۱-۳-۳- پیش‌طراحی آلومینیوم قبل از آندایز ۶۱
۲-۱-۳-۴- آندایز دو مرحله‌ای ۶۳
۲-۱-۳-۵- آندایز با مخلوط اسیدهای مختلف ۶۴
۲-۱-۳-۶- افزایش قطر حفره‌ها ۶۶
۲-۱-۳-۷- نازک‌سازی لایهٔ سدی ۶۶
۲-۱-۴- دو ویژگی مهم اکسید آلومینا ۶۸
۲-۱-۵- پرکردن قالب ۷۱
۲-۱-۵-۱- الکتروانباشت با ولتاژمستقیم ۷۱
۲-۱-۵-۲- الکتروانباشت با ولتاژ متناوب ۷۳
۲-۱-۵-۳- الکتروانباشت با ولتاژ پالس ۷۴
۲-۲- وسایل اندازه‌گیری ۷۵
۲-۲-۱- مغناطوسنجی نیروی گرادیان متناوب (AGFM) ۷۵

۲-۲-۳- میکروسکوپ الکترونی روبشی (SEM) ۷۶
۲-۲-۴- میکروسکوپ پروبی روبشی (SPM)..... ۷۸
۲-۲-۵- پراش پرتو ایکس (XRD)..... ۸۰

فصل سوم

مقدمه..... ۸۴
۳-۱- ساخت نانوسیم‌های آلیاژی Fe_xCo_{1-x} ۸۵
۳-۱-۱- تهیه قالب اکسید آلومینا به‌روش آندایز دومرحله‌ای ۸۵
۳-۱-۱-۱- مراحل پیش از آندایز..... ۸۵
۳-۱-۱-۲- آندایز مرحله اول ۸۷
۳-۱-۱-۳- آندایز مرحله دوم ۸۸
۳-۱-۱-۴- نازک سازی قالب آلومینا ۹۰
۳-۱-۲- الکترونهشت متناوب اتم‌های آهن و کبالت درون حفره‌ها..... ۹۱
۳-۱-۳- تابکاری نمونه‌ها ۹۵
۳-۱-۴- آماده‌سازی نمونه‌ها برای آنالیز EDS و XRD ۹۸
۳-۱-۵- فهرست نمونه‌های ساخته شده ۹۸
۳-۲- آنالیزهای انجام شده ۹۹
۳-۲-۱- آنالیز EDS ۹۹
۳-۲-۲-آنالیز مغناطیسی ۱۰۳
۳-۳-۳- آنالیز XRD..... ۱۰۹
۳-۳- بررسی و تحلیل نتایج..... ۱۱۰
۳-۳-۱- قبل از تابکاری..... ۱۱۰
۳-۳-۲- بعد از تابکاری..... ۱۱۳
نتیجه گیری..... ۱۱۷
مراجع ۱۱۸

فهرست شکل‌ها

عنوان **صفحه**

فصل اول

شکل (۱-۱) : جهت‌گیری مواد پارامغناطیس و فرومغناطیس در غیاب و حضور میدان مغناطیسی.....۸

شکل (۱-۲): نمونه‌ای از منحنی پسماند (a)موازی و(b) عمود بر محور نانوسیم‌های یک مادهٔ فرومغناطیس.....۱۱

شکل (۱-۳) : شمایی از برهم‌کنش مغناطواستاتیک بین ذرات.....۱۴

شکل (۱-۴): سه بیضی ویژه برای بررسی نانوسیم‌ها.....۱۶

شکل (۱- ۵) : بستگی فاکتور وامغناطش یک بیضی کشیده شده به نسبت طول به قطر.....۱۸

شکل (۱-۶) : شعاع بحرانی بیضی کشیده شده تک حوزه برحسب ضریب وامغناطش در امتداد محورc.....۲۰

شکل (۱-۷) : بازگشت مغناطیسی در یک بیضی کشیده تک حوزه(a) مدل چرخش همدوس (b) مدل پیچشی.....۲۱

شکل (۱-۸) : سیستم مختصات استفاده شده برای بررسی چرخش همدوس.....۲۲

شکل (۱-۹) : منحنی‌های m-h برای مدل چرخش همدوس در $\theta_{\cdot} = ۰، ۳۰، ۶۰، ۹۰$.....۲۴

شکل(۱-۱۰): (a) وابستگی زاویه‌ای میدان کلیدزنی کاهش یافته ؛(b) وابستگی زاویه‌ای میدان وادارندگی کاهش یافته در دو نمونه.....۲۵

شکل(۱-۱۱): وابستگی زاویه ای میدان وادارندگی کاهش یافته مبتنی بر مدل پیچش.....۲۷

شکل(۱-۱۲): وابستگی شعاعی میدان وادارندگی برای یک بیضی باریک مبتنی بر مدل پیچش با میدان اعمالی موازی بر محور c ۲۸

شکل (۱-۱۳) : شمایی از فرآیند ثبت اطلاعات در محیط ثبت مغناطیسی طولی.....۳۳

شکل(۱-۱۴) : شمایی از یک محیط ثبت طولی یا لایهٔ نازک.....۳۴

شکل (۱-۱۵) : مقایسهٔ محیط‌های ثبت طولی و عمودی.....۳۵
شکل (۱-۱۶) : منحنی پسماند نانوسیم‌ها و لایه‌های نازک Co و $Co_{۹۰}Fe_{۱۰}$.....۳۷
شکل (۱-۱۷) : الگوی پراش پرتو ایکس نانوسیم‌های FeCo تابکاری شده در دماهای مختلف.....۳۹
شکل(۱-۱۸) : منحنی پسماند نانوسیم‌های FeCo (a) میدان موازی محور سیم (b) میدان عمود بر محور سیم.....۴۰
شکل (۱-۱۹) : بستگی وادارندگی و نسبت مربعی نانوسیم‌های FeCo به دمای تابکاری ۴۱
شکل (۱-۲۰) : پراش پرتو ایکس برای نانوسیم‌های $Co_{۱-x}Fe_x$.....۴۲
شکل (۱-۲۱) : نمودار بستگی وادارندگی و نسبت مربعی به مقدار آهنx ۴۳

فصل دوم

شکل (۲– ۱) :تصویرSEM ساختار شش گوشی تنگ‌پکیدهٔ نانوحفره‌های قالب آلومینا.....۴۹
شکل (۲- ۲) : نیروی دافعهٔ بین حفره‌ها.....۴۹
شکل (۲-۳) : ساختار اکسید آلومینا ۵۰
شکل (۲-۴) : مشخصه‌های قالب آلومینا.....۵۰
شکل (۲-۵) : منحنی جریان آندایز بر حسب زمان.....۵۲
شکل (۲–۶) : مقایسهٔ آندایز سخت و نرم ۶۰
شکل (۲-۷) : فرآیند ساخت آلومینای آندی به روش پیش‌طراحی.....۶۲
شکل (۲-۸) : تصویر SEM از سطح آلومینای آندی تهیه شده با مهر SiC ۶۳
شکل (۲-۹) : شمایی از فرآیند آندایز دومرحله‌ای ۶۴
شکل (۲-۱۰): تصاویر SEM نانوحفره‌های بدست آمده تحت (a) مخلوط اسید سولفوریک ۰/۳ مولار و اسید اکسالیک ۰/۳ مولار (b) اسید سولفوریک ۰/۳ مولار (c) اسید اکسالیک ۰/۳ مولار ۶۵
شکل (۲-۱۱) : افزایش قطر حفره‌ها و نازک سازی و تولید ساختار شاخه‌ای کف حفره‌های اصلی.....۶۷

شکل (۲-۱۲) : مدار معادل سیستم آلومینیوم – آلومینا – الکترولیت.....۶۹
شکل (۲-۱۳) : مراحل الکتروانباشت مستقیم ۷۲
شکل (۲-۱۴) : نمونه‌ای از ولتاژ متناوب الکتروانباشت.....۷۳
شکل (۲-۱۵) : نمونه‌ای از ولتاژ و جریان پالس الکتروانباشت.....۷۴
شکل(۲-۱۶) : نمایی از سیستم مغناطومتر گرادیان نیروی متناوب (AGFM).....۷۶
شکل(۲– ۱۷): طرحی از میکروسکوپ الکترونی روبشی.....۷۷
شکل (۲-۱۸) : تصویر میکروسکوپ پروبی روبشی.....۷۹
شکل (۲–۱۹) : نمایی از سیستم پراش پرتو ایکس.....۸۱

فصل سوم

شکل (۳-۱) : منحنی جریان-زمان آندایز مرحله دوم.....۸۹
شکل (۳-۲) : تصویر SEM از بالای قالب آلومینا پس از پایان آندایز دومرحله‌ای.....۸۹
شکل (۳-۳) : منحنی کاهش ولتاژ در آندایز غیر تعادلی.....۹۰
شکل (۳-۴) : منحنی کاهش جریان در آندایز غیر تعادلی.....۹۰
شکل (۳-۵) : نمونه‌ای از منحنی‌های ولتاژ، جریان و بار لحظه‌ای الکترونهشت متناوب FeCo بر حسب زمان.....۹۱
شکل(۳-۶) : منحنی جریان متوسط نسبت به زمان در الکترونهشت متناوب.....۹۳
شکل(۳-۷) : تصویرSEM از کنار نانوسیم‌های FeCo ۹۳
شکل(۳-۸) : تصویر SPM قالب آلومینا پس از الکترونهشت FeCo ۹۴
شکل (۳-۹) : تصویر SPM قالب آلومینا پس از الکترونهشت FeCo از نمای نزدیکتر.....۹۴
شکل (۳-۱۰) : نمودار تغییرات H_c و S با دمای تابکاری برای ۶ نمونه ساخته شده در شرایط مشابه.....۹۶
شکل (۳-۱۱) : منحنی پسماند نمونه‌های تابکاری شده در دماهای مختلف جهت تعیین دمای بهینهٔ تابکاری.....۹۷
شکل (۳-۱۲) : نمونه‌ای از نتیجهٔ آنالیز EDS نانوسیم‌هایFeCo ۱۰۰

شکل(۳-۱۳) : نمودار نهایی تغییرات درصد وزنی آهن و کبالت با افزایش غلظت آهن در محلول الکترونهشت.....۱۰۲
شکل (۳-۱۴) : منحنی پسماند میدان موازی و عمود بر محور نانوسیم‌های $Fe_{.۱۸}Co_{.۸۲}$ ، $Fe_{.۳۸}Co_{.۶۲}$ و $Fe_{.۴۶}Co_{.۵۴}$ در فرکانس ۴۰۰ هرتز قبل و بعد از تابکاری.....۱۰۳
شکل (۳-۱۵) : منحنی پسماند میدان موازی و عمود بر محور نانوسیم‌های $Fe_{.۵۱}Co_{.۴۹}$، $Fe_{.۵۷}Co_{.۴۳}$، $Fe_{.۶۴}Co_{.۳۶}$ و $Fe_{.۶۷}Co_{.۳۳}$ در فرکانس ۴۰۰ هرتز قبل و بعد از تابکاری.....۱۰۴
شکل(۳-۱۶) : نمودار تغییرات H_c با افزایش درصد وزنی آهن (x) قبل و بعد از تابکاری در هر فرکانس.....۱۰۷
شکل(۳-۱۷) : نمودار تغییرات Hc و S قبل و بعد از تابکاری نسبت به فرکانس در هر درصد وزنی.....۱۰۸
شکل (۳-۱۸): طرح پراش اشعه ایکس قبل و بعد از تابکاری$Fe_{.۱۸}Co_{.۸۲}$ ، $Fe_{.۳۸}Co_{.۶۲}$ ، $Fe_{.۵۱}Co_{.۴۹}$، $Fe_{.۵۷}Co_{.۴۳}$, $Fe_{.۶۴}Co_{.۳۶}$ و $Fe_{.۸۴}Co_{.۱۶}$.....۱۱۰
شکل(۳-۱۹) : گزارش کین، تغییرات وادارندگی نسبت به درصد آهن در نانوسیم‌های به قطر ۵۰ نانومتر.....۱۱۱
شکل(۳-۲۰) : گزارش چن، تغییرات وادارندگی نسبت به درصد آهن در نانوسیم‌های به قطر ۲۰ نانومتر.....۱۱۱
شکل (۳-۲۱) : نمودار تغییرات H_c برحسب درصد آهن با تغییر دمای تابکاری.....۱۱۵