





دانشگاه کردستان
دانشکده علوم
گروه فیزیک

پایان نامه کارشناسی ارشد
گرایش حالت جامد

عنوان

ساخت نانوسیم‌های آلیاژی آهن-مس و بررسی اثر ولتاژ نامتقارن بر خواص مغناطیسی آنها

اساتید راهنما

دکتر زهرا عالمی پور
دکتر مرزگان نجفی

پژوهشگر

احمد رحمانی

اسفند ۱۳۹۲

تقدیم بہ

پدر و مادر مہربان و دلسوزم

سپاس‌گزاری

سپاس خداوندگار حکیم را که با لطف بی‌کران خود، آدمی را زیور عقل آراست.

در آغاز وظیفه‌ی خود می‌دانم از زحمات بی‌دریغ اساتید راهنمای خود، سرکار خانم دکتر زهرا عالمی‌پور و سرکار خانم دکتر مژگان نجفی و همچنین جناب آقای علی آفتابی صمیمانه تشکر و قدردانی کنم که قطعاً بدون راهنمایی‌های ارزنده‌ی ایشان، این مجموعه به انجام نمی‌رسید.

از اساتید دوره‌ی کارشناسی و کارشناسی ارشدم جناب آقای دکتر سروری، جناب آقای دکتر سلیمی، جناب آقای دکتر کرمی، جناب آقای دکتر حسن زاده، جناب آقای دکتر سعیدی و جناب آقای دکتر ملک‌الکلامی به پاس دلسوزی‌هایشان سپاس‌گزارم.

در پایان تشکر می‌کنم از دوستان خوبم ایمان حسن زاده، سلام علیمرادی، مسعود منصوری، پژمان امجدی، اسماعیل یوسفی، حمیدرضا الیاسی، ابولحسن محمدی، فاطمه رجیبی و افروز احمدی که هر یک به نحوی در دوره‌ی تحصیلی کارشناسی ارشد مرا یاری کردند.

چکیده

در این پژوهش ابتدا قالب‌های اکسید آلومینای آندی به روش آندایز دو مرحله‌ای ساخته می‌شوند. با این روش قالب‌هایی با حفره‌های استوانه‌ای با اسید اکسالیک ایجاد می‌شود. سپس با استفاده از این قالب‌ها، آرایه‌ای از نانوسیم‌های آهن-مس به روش الکتروانباشت متناوب ساخته و در ابتدا اثر اضافه کردن مس بررسی می‌شود. سپس نمونه‌ها در دماهای مختلف تابکاری شده و پس از تابکاری نمونه‌ی $Fe_{92.5}Cu_{7.5}$ به عنوان نمونه‌ی بهینه در نظر گرفته می‌شود. پس از آن اثر بسامد و ولتاژ نامتقارن الکتروانباشت بر خواص مغناطیسی نمونه‌ی بهینه بررسی می‌شود. خواص مغناطیسی و ساختار شیمیایی و بلوری نمونه‌ها به وسیله‌ی دستگاه‌های میکروسکوپ الکترونی روبشی (SEM)، میکروسکوپ نیروی اتمی (AFM)، طیف‌سنجی پراش اشعه ایکس (XRD)، طیف‌سنجی پراکندگی انرژی اشعه ایکس (EDX) و مغناطوسنجی نیروی گرادیان متناوب (AGFM) اندازه‌گیری می‌شوند. میدان وادارندگی نمونه‌ی بهینه از ۵۷۵ اورستد به ۱۳۴۴ اورستد و نسبت مربعی آن از ۰/۶۴ به ۰/۷۷ بعد از تابکاری بهبود پیدا می‌کند. الگوی پراش پرتو ایکس گرفته شده از این نمونه نشان داد بعد از تابکاری همه‌ی قله‌های قبل از تابکاری وجود دارند ولی شدت قله‌های آهن افزایش و شدت قله‌های مس کم شده است، یعنی ساختار از fcc به bcc در حال گذار است و همین عامل باعث شده خواص مغناطیسی بهبود پیدا کنند. با افزایش ولتاژ اکسایشی درصد مس در نانوسیم نمونه‌ی بهینه افزایش پیدا کرده است. همچنین بیشترین وادارندگی در نمونه‌ی بهینه‌ی انباشت شده با ولتاژ کاهشی ۱۳ ولت و ولتاژ اکسایشی ۱۹ ولت به دست آمده است.

کلمات کلیدی: الکتروانباشت، ولتاژ نامتقارن، نانوسیم آهن-مس، وادارندگی، نسبت مربعی، اکسید آلومینیوم

آندی

فهرست مطالب

۱	مقدمه	۱
۲	۱.۱ خواص مغناطیسی نانوسیم‌ها	۲
۳	۲.۱ کاربردهای مغناطیسی	۳
۵	۲ مواد مغناطیسی	۵
۵	۱.۲ مقدمه	۵
۷	۲.۲ حلقه پسماند و حوزه‌های مغناطیسی	۷
۸	۳.۲ دسته‌بندی مواد مغناطیسی	۸
۸	۱.۳.۲ مواد مغناطیسی نرم	۸
۹	۲.۳.۲ مواد مغناطیسی سخت	۹
۱۰	۳.۳.۲ رسانه‌های ضبط	۱۰
۱۰	۴.۲ مواد مغناطیسی سخت	۱۰
۱۱	۱.۴.۲ عملکرد آهنرباهای دائمی	۱۱
۱۷	۵.۲ رسانه‌های ضبط	۱۷
۱۸	۱.۵.۲ اصول ضبط مغناطیسی	۱۸
۲۳	۶.۲ مواد مغناطیسی نرم	۲۳
۲۵	۷.۲ بررسی اجمالی مواد	۲۵

۲۵	آهن	۱.۷.۲
۲۶	آلیاژهای $Fe - Si$	۲.۷.۲
۲۶	آلیاژهای $Fe - Ni$	۳.۷.۲
۲۷	آلیاژهای $Fe - Al - Si$ و $Fe - Al$	۴.۷.۲
۲۸	فريت‌های نرم	۵.۷.۲
۲۸	آلیاژهای آمورف	۶.۷.۲
۲۹	آلیاژهای نانوبلوری	۷.۷.۲
۳۱	۳ استفاده از قالب اکسید آلومینیوم آندی متخلخل برای ساخت نانوسیم‌های مغناطیسی	
۳۲	ساخت قالب اکسید آلومینیوم متخلخل	۱.۳
۳۲	مراحل پیش آماده‌سازی	۱.۱.۳
۳۴	آندایز	۲.۳
۳۴	تاریخچه	۱.۲.۳
۳۵	ساختار کلی آلومینای آندی متخلخل	۲.۲.۳
۳۷	الکتروشیمی آلومینای آندی	۳.۲.۳
۳۸	ترکیب اکسید	۴.۲.۳
۳۹	قطر حفره‌ها	۵.۲.۳
	تاثیر اسید اکسالیک، سولفوریک و ترکیب آنها بر اندازه و نظم حفره‌های آلومینای	۶.۲.۳
۳۹	متخلخل	
۴۰	الکترو انباشت	۳.۳
۴۱	الکترو انباشت متناوب	۱.۳.۳
۴۲	پیشینه‌ی ساخت و بررسی آلیاژهای آهن-مس	۴.۳

۴۵	ساخت نانوسیم‌های آلیاژی آهن-مس و نتایج آزمایشگاهی	۴
۴۵	۱.۴ ساخت قالب اکسید آلومینیوم آندی متخلخل	
۴۵	۱.۱.۴ آماده‌سازی آلومینیوم قبل از آندایز	
۴۶	۲.۱.۴ آندایز مرحله اول	
۴۷	۳.۱.۴ سونش	
۴۷	۴.۱.۴ آندایز مرحله دوم	
۴۹	۲.۴ ساخت نانوسیم‌های $Fe_x - Cu_{100-x}$	
۵۱	۳.۴ نتایج	
۵۱	۱.۳.۴ اثر اضافه کردن مس بر خواص مغناطیسی نانوسیم‌های آهن	
۵۴	۲.۳.۴ اثر تابکاری بر خواص مغناطیسی نانوسیم‌ها	
	۳.۳.۴ اثر بسامد الکتروانباشت بر خواص مغناطیسی نمونه ۷/۵ درصد مولی در محلول	
۵۷	الکتروانباشت	
	۴.۴ اثر ولتاژ متناوب سینوسی نامتقارن بر خواص مغناطیسی نمونه ۷/۵ درصد مولی مس در	
۵۸	الکتروولیت انباشت	
۵۸	۱.۴.۴ اثر ولتاژ سینوسی نامتقارن با ولتاژ اکسایشی ثابت ۱۹ ولت و ولتاژ کاهش‌ی متغیر	
۶۰	۲.۴.۴ اثر ولتاژ سینوسی نامتقارن با ولتاژ کاهش‌ی ثابت ۱۵ ولت و ولتاژ اکسایشی متغیر	
۶۲	۳.۴.۴ اثر ولتاژ سینوسی نامتقارن با ولتاژ کاهش‌ی ثابت ۱۶ ولت و ولتاژ اکسایشی متغیر	
۶۳	۴.۴.۴ اثر ولتاژ سینوسی نامتقارن با ولتاژ کاهش‌ی ثابت ۱۹ ولت و ولتاژ اکسایشی متغیر	
	۵.۴ اثر تغییر بسامد الکتروانباشت ولتاژ سینوسی نامتقارن با ولتاژ کاهش‌ی ۱۹ ولت و ولتاژ اکسایشی	
۶۵	۱۳ ولت نمونه‌ی ۱ درصد مولی مس در الکتروولیت	
۶۵	۶.۴ نتیجه‌گیری	

فهرست تصاویر

۲	تغییرات نسبت مربعی حلقه پسماند برای نانوسیم کبالت برحسب میدان مغناطیسی اعمالی [۱].	۱۰.۱
۷	حلقه پسماند یک ماده مغناطیسی [۶].	۱۰.۲
۹	حلقه پسماند هر دو ماده مغناطیسی نرم و سخت. [۴۲].	۲۰.۲
۱۲	مغناطش اولیه و منحنی وامغناطش آهنربای دایمی، نقطه P نقطه عملکرد است [۸].	۳۰.۲
۱۳	مدار مغناطیسی باز [۸].	۴۰.۲
۱۴	چپ: منحنی وامغناطش، راست: مقادیر انرژی حاصلضرب مربوطه برحسب B های یکسان [۸].	۵۰.۲
۱۴	منحنی های وامغناطش دو ماده آهنربای دایمی ۱ و ۲ [۸].	۶۰.۲
۱۵	آهنربای حلقه ای نشان دهنده شار (a) حاشیه و (b) نشی [۸].	۷۰.۲
۱۷	منحنی وامغناطش آلنیکو و فریت سخت (به تفاوت بین H_{ci} و H_c در فریت سخت دقت کنید.) [۸].	۸۰.۲
۱۸	رفتار وامغناطش آهنربای دایمی با H_{ci} بالا [۸].	۹۰.۲
۱۹	هد ثبت دو نوع فناوری ضبط مغناطیسی (a) طولی و (b) عمودی [۱۰].	۱۰۰.۲
۲۱	شکاف هد ثبت با عرض g و خطوط با شدت یکسان [۱۰].	۱۱۰.۲
۲۲	هد عمودی نشان دهنده تصویر آینه ای شکل گرفته زیر زیرلایه نرم (SUL) [۱۰].	۱۲۰.۲
	حلقه پسماند آلیاژ $Fe - Ni$ تابکاری شده، (A) در حضور و (B) بدون حضور میدان مغناطیسی خارجی	۱۳۰.۲
۲۷	[۱۱].	
۲۸	ساختار حوزه ها در یک آلیاژ چندبلور $Ni - Fe$ [۱۱].	۱۴۰.۲

۲۹	طرح‌واره‌ای از دستگاه مورد استفاده در روش مذاب ریسی [۱۲].
۳۰	مقایسه مشخصات مغناطیسی چندین دسته از مواد مغناطیسی نرم [۱۱].
۳۶	(A) ساختار آلومینای آندی متخلخل ایده‌آل، (B) سطح مقطع لایه‌ی آندایز شده [۱۹].
۲۰۳	تصویر SEM توزیع حفره‌ها در آلومینیوم آندایز شده، (A) اسید سولفوریک ۰/۴۵ مولار، (B) اسید اکسالییک ۰/۳ مولار و (C) مخلوطی از اسید اکسالییک ۰/۳ مولار و سولفوریک ۰/۴۵ مولار [۳۱].
۳۰۳	تصویر میکروسکوپ نیروی اتمی آلیاژهای $Fe_x - Cu_{100-x}$ ، $x = 0$ (a)، $x = 10$ (b) و $x = 38$ (d)
۴۳	[۳۶].
۴۳	گشتاور مغناطیسی در واحد اتم آلیاژهای $Fe_x - Cu_{100-x}$ بر حسب درصد Fe [۳۶].
۴۴	(a) زمان انباشت بر حسب پتانسیل مربوط به جریان پالسی و (b) ساختار فیلم مربوط به a [۳۷].
۴۴	(a) مغناطش اشباع و (b) ثابت شبکه آهن بر حسب ضخامت لایه‌ی مس (t_{Cu}) [۳۷].
۱۰۴	نمودار جریان پولیش بر حسب زمان.
۲۰۴	تصویر میکروسکوپ نیروی اتمی حفره‌های تشکیل شده در آندایز اول.
۳۰۴	نمودار جریان آندایز مرحله دوم و کاهش پله‌ای ولتاژ.
۴۰۴	تصویر میکروسکوپ نیروی اتمی حفره‌های منظم تشکیل شده بعد از آندایز مرحله دوم با اسید اکسالییک.
۵۰۴	نمودار تغییرات وادارندگی و نسبت مربعی نانوسیم‌ها بر حسب غلظت مولی مس در الکترولیت انباشت
۵۰	در $pH = 4$.
۶۰۴	حلقه پسماند نمونه‌هایی با درصدهای مختلف یونی آهن و مس در الکترولیت الکتروانباشت.
۷۰۴	نمودار تغییرات وادارندگی و نسبت مربعی نانوسیم‌ها بر حسب غلظت مولی مس در الکترولیت انباشت.
۸۰۴	طیف مربوط به EDX نمونه ۷/۵ درصد مولی مس در الکترولیت.
۹۰۴	تصویر SEM مربوط به نانوسیم‌های ساخته شده.
۱۰۰۴	نمودار وادارندگی در دماهای مختلف بر حسب درصد مولی مس در الکترولیت.

- ۱۱.۴ تغییرات نسبت مربعی در دمای اتاق و تابکاری شده در دمای ۵۷۵ درجه‌ی سانتی‌گراد بر حسب درصد مولی مس در الکترولیت. ۵۵
- ۱۲.۴ الگوی پراش پرتو ایکس نمونه‌ی ۷/۵ درصد مولی مس در محلول الکترولیت، قبل از تابکاری (پایین) و تابکاری شده در دمای ۵۷۵ درجه‌ی سانتی‌گراد (بالا). ۵۶
- ۱۳.۴ نمودار میدان وادارندگی نمونه ۷/۵ درصد مولی مس در الکترولیت، قبل از تابکاری و تابکاری شده در دماهای مختلف بر حسب بسامد الکتروانباشت. ۵۶
- ۱۴.۴ نمودار تغییرات نسبت مربعی نمونه ۷/۵ درصد مس قبل از تابکاری و تابکاری شده در دمای ۵۵۰ درجه‌ی سانتی‌گراد بر حسب بسامد الکتروانباشت. ۵۷
- ۱۵.۴ ولتاژ سینوسی نامتقارن. ۵۸
- ۱۶.۴ جریان الکتروانباشت نمونه‌ی ۷/۵ درصد مولی مس در الکترولیت با ولتاژ اکسایشی ثابت ۱۹ ولت و ولتاژهای کاهش‌ی مختلف بر حسب زمان الکتروانباشت. ۵۹
- ۱۷.۴ نمودار تغییرات وادارندگی و نسبت مربعی نمونه ۷/۵ درصد مولی مس در الکترولیت برای ولتاژهای کاهش‌ی مختلف. ۵۹
- ۱۸.۴ جریان الکتروانباشت نمونه‌ی ۷/۵ درصد مولی مس در الکترولیت با ولتاژ کاهش‌ی ثابت ۱۵ ولت و ولتاژهای اکسایشی مختلف بر حسب زمان الکتروانباشت. ۶۰
- ۱۹.۴ نمودار تغییرات وادارندگی و نسبت مربعی نمونه ۷/۵ درصد مولی مس در الکترولیت برای ولتاژهای اکسایشی مختلف. ۶۱
- ۲۰.۴ جریان الکتروانباشت نمونه‌ی ۷/۵ درصد مولی مس در الکترولیت با ولتاژ کاهش‌ی ثابت ۱۶ ولت و ولتاژهای اکسایشی مختلف بر حسب زمان الکتروانباشت. ۶۱
- ۲۱.۴ نمودار تغییرات وادارندگی و نسبت مربعی نمونه ۷/۵ درصد مولی مس در الکترولیت برای ولتاژهای اکسایشی مختلف. ۶۲

- ۲۲.۴ جریان الکتروانباشت نمونه‌ی ۷/۵ درصد مولی مس در الکترولیت با ولتاژ کاهش‌ی ثابت ۱۹ ولت و ولتاژهای اکسایشی مختلف بر حسب زمان الکتروانباشت. ۶۳
- ۲۳.۴ نمودار تغییرات وادارندگی و نسبت مربعی نمونه ۷/۵ درصد مولی مس در الکترولیت برای ولتاژهای اکسایشی مختلف. ۶۳
- ۲۴.۴ نمودار تغییرات درصد مس در نانوسیم نمونه‌ی ۷/۵ درصد مولی مس در الکترولیت با ولتاژ کاهش‌ی ثابت ۱۹ ولت بر حسب ولتاژ اکسایشی. ۶۴
- ۲۵.۴ نمودار تغییرات وادارندگی و نسبت مربعی نمونه‌ی ۱ مولی مس در الکترولیت انباشت شده با ولتاژ کاهش‌ی ثابت ۱۹ ولت و ولتاژ اکسایشی ۱۳ ولت بر حسب بسامد. ۶۵

فصل ۱

مقدمه

در سال‌های اخیر، تحقیقات زیادی در زمینه نانوسیم‌ها و نانولوله‌های فلزی و شبه رسانا، بخاطر مشخصات فیزیکی منحصر به فردشان انجام شده است. نانوسیم‌ها دارای دو بعد کوانتومی محدود شده و یک بعد آزاد هستند. بنابراین رفتار رسانایی الکتریکی نانوسیم‌ها با رفتار ماده حجیم آن‌ها متفاوت است. نانوسیم‌های فلزی و نیمه رسانا رفتار الکتریکی، مغناطیسی، نوری، ترموالکتریکی و شیمیایی منحصر به فردی در مقایسه با حالت حجیمشان دارند. خواص جالب نانوسیم‌ها آن‌ها را برای کاربرد در زمینه‌های الکترونیک، نورشناسی، رسانه‌های مغناطیسی، ترموالکترونیک، حسگرها و ... مناسب ساخته است [۱].

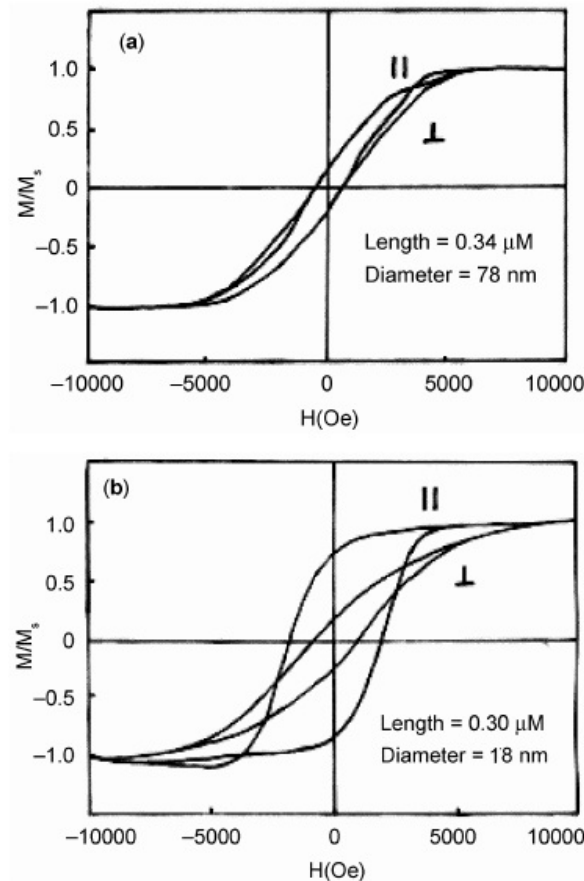
تشکیل فیلم‌های آلومینای متخلخل با یک لایه سدی به وسیله آندایز، به عنوان یک روش خوب از سال ۱۹۵۰ مورد مطالعه قرار گرفته است. آندایز آلومینیوم معمولاً در یک محلول اسیدی مناسب متشکل از اسید کرومیک، فسفریک، سولفوریک، اکسالیک، مالونیک در آب دریک چگالی جریان ثابت (گالوانوستات^۱) یا بطور معمولتر در ولتاژ ثابت (پتانسیوستات^۲) انجام می‌شود [۲]. تشکیل فیلم متخلخل حالت پایدار به وسیله تعادل بین اکسید آلومینیوم و انحلال اکسید در حفره پایه انجام می‌شود. تحت کنترل الکتروشیمیایی، غشای متخلخل کنترل می‌شود. غشاهای آلومینای متخلخل تجاری موجود حفره‌هایی با قطر حدود ۲۰ نانومتر دارند [۳]. از مهمترین مشخصه نانوسیم‌ها خواص مغناطیسی آن‌ها است، که در زیر به آن پرداخته می‌شود.

^۱Galvanostatic

^۲Potentiostatic

۱.۱ خواص مغناطیسی نانوسیم‌ها

نانوسیم‌های مغناطیسی شامل آرایه‌های مغناطیسی سوزن مانند مجزایی هستند، که اخیراً از منظر ضبط مغناطیسی گسترش قابل ملاحظه‌ای داشته‌اند. نانوسیم‌های درست شده داخل آلومینای متخلخل به وسیله الکتروانباشت قابلیت ذخیره بیت‌ها با چگالی بالغ بر $100 \frac{Gbit}{in^2}$ را دارند. زمانی که میدان مغناطیسی موازی با محور طولی نانوسیم مغناطیسی اعمال می‌شود، نقش یک میدان وادارنده را دارد که متناسب با عکس قطر حفره است. همچنین گزارش شده است که نسبت مربعی حلقه پسماند با کاهش قطر سیم، می‌تواند از سی درصد به نزدیک صد درصد افزایش یابد. شکل (۱.۱) (a) و (b) تغییرات نسبت مربعی حلقه پسماند به صورت تابعی از میدان مغناطیسی اعمالی (H) موازی و عمود بر محور سیم برای نانوسیم با قطرهای مختلف را نشان می‌دهد.



شکل ۱.۱: تغییرات نسبت مربعی حلقه پسماند برای نانوسیم کبالت برحسب میدان مغناطیسی اعمالی [۱].

همانطور که در شکل (۱.۱) دیده می‌شود در حالت میدان اعمالی موازی با کاهش قطر نانوسیم کبالت نسبت مربعی و مغناطش پسماند افزایش یافته است. و همچنین وادارندگی نیز افزایش یافته است. افزایش تدریجی

و ادارندگی با افزایش نسبت طول به قطر مشاهده شده است، تغییرات، زمانی که نسبت طول به قطر بزرگتر از ۱۰ است ناچیز است. آشکار شده است که یکی از چیزهایی که می تواند مشخصات مغناطیسی نانوسیمها را تغییر دهد، تغییر ساده ای در قطر آنهاست، که باعث تغییر و ادارندگی، مغناطش، پسماند و نسبت مربعی حلقه پسماند می شود. گزارش شده است که نانوسیمهای مغناطیسی Fe ، Co و Ni افزایش بیشتری در و ادارندگی مغناطیسی نسبت به حالت حجیمشان نشان می دهند. و ادارندگی به شدت تحت تاثیر تابکاری سیم در دماهای مختلف، نسبت سطح به حجم و قطر سیم است، بنابراین می توان خواص مغناطیسی نانوسیمها را با کنترل عامل های ساخت کنترل کرد. یک عامل مهم که خواص مغناطیسی مواد را شرح می دهد نسبت مربعی است، که نسبت مغناطش پسماند بعد از حذف میدان مغناطیسی خارجی به مغناطش اشباع را نشان می دهد. عامل مهم دیگر و ادارندگی است، که میدان و ادارنده مورد نیاز برای و امغانطیده کردن آهنربا بعد از مغناطش کامل است [۴].

۲.۱ کاربردهای مغناطیسی

نشان داده شده است که می توان آرایه هایی از نانوسیمهای مغناطیسی تک حوزه را با کنترل قطر و طول نانوسیم آماده کرد، که در یک جهت معمول جهتگیری کرده و نزدیک به هم قرار گرفته اند [۵]. بیشترین کاربرد مورد علاقه نانوسیمها در حوزه رسانه های ذخیره سازی اطلاعات مغناطیسی است. مطالعات نشان داده است که آرایه های متناوب از نانوسیمهای مغناطیسی توانایی ذخیره اطلاعات با چگالی $10^{12} \frac{bits}{in^2}$ را دارند. نانوسیمهای با قطر کم و تک حوزه Co و Ni تولید شده در آلومینای آندی متخلخل برای اهداف ذکر شده بالا مناسبتر هستند. نانوسیمهای با نسبت سطح به طول بالا از افزایش و ادارندگی و سرکوب کردن اثر محدودیت سوپرپارامغانطیس، که تاثیر زیادی بر کاهش ضبط مغناطیسی اطلاعات بین نانوسیمها دارد، نتیجه می شوند. نانوسیمها برای تولید رسانه های مغناطیسی با چگالی تراکم $10^{11} \frac{wire}{cm^2}$ مناسب هستند [۱]. جهت مغناطش در دانه های مغناطیسی می تواند به وسیله انرژی گرمایی $K_B T$ معکوس شود، که کاهش اطلاعات ضبط شده در رسانه های ضبط مغناطیسی را نتیجه می شود. انرژی مغناطیسی در دانه ها به وسیله افزایش حجم یا ناهمسانگردی دانه ها می تواند افزایش یابد. برای یک دانه مغناطیده کروی محدودیت سوپرپارامغانطیس در دمای اتاق به $70 \frac{Gbit}{in^2}$ می رسد در حالی که در نانوسیمها تا حدودی بر این محدودیت غلبه شده است. در این تحقیق ابتدا به تشریح سه دسته ماده مغناطیسی سخت، نرم و رسانه های ضبط و خواص و مشخصات آنها می پردازیم. سپس روش ساخت نانوسیمهای $Fe - Cu$ با استفاده از قالب آلومینای

متخلخل و پیشینه‌ی ساخت و بررسی این نانوسیم‌ها توضیح داده می‌شود. و در نهایت ساخت نانوسیم‌های آلیاژی $Fe - Cu$ و تاثیر شرایط انباشت بر خواص مغناطیسی آنها تحقیق و تفسیر می‌شود.

فصل ۲

مواد مغناطیسی

۱.۲ مقدمه

داستان مغناطیس با یک ماده معدنی به نام ماگنتایت (Fe_3O_4) شروع شد، که اولین ماده مغناطیسی شناخته شده برای بشر بوده است. تاریخ اولیه پیدایش این ماده مبهم است اما قدرت آن در جذب آهن مطمئناً برای قرن‌ها قبل از میلاد مسیح شناخته شده بود. در عصر باستان این ماده به مقدار فراوان در منطقه ماگنیزیا، یعنی جایی که ترکیه امروزی نامیده می‌شود، وجود داشت و گفته می‌شود که کلمه ماگنت (مغناطیس) که از کلمه مشابه یونانی مشتق شده است نیز از نام این منطقه گرفته شده است. همچنین برای یونانی‌ها این مطلب نیز شناخته شده بود که یک قطعه آهن در تماس یا مالش با یک مغناطیس طبیعی تبدیل به یک مغناطیس می‌شود. پس از آن زمان که تاریخ آن نیز مشخص نیست، روشن شد که یک قطعه با شکل معین هندسی از ماده ماگنتایت اگر توسط یک نگهدارنده به صورت معلق قرار گیرد در نهایت تقریباً در امتداد شمال و جنوب جغرافیایی زمین قرار می‌گیرد. و همین مطلب برای یک عقربه آهنی در صورتی که اگر قبلاً به وسیله یک ماگنتایت مالش داده شود و معلق گردد اتفاق می‌افتد. از این تاریخ به بعد قطب‌نماهای مغناطیسی برای استفاده دریانوردان اختراع شدند.

این خاصیت قطب‌یابی ماگنتایت از همان لغت انگلیسی "Lodestone" برای این ماده استخراج گردیده که به دلیل نشان دادن راه بنام سنگ راه‌یاب معروف شد. اولین مطالعه علمی واقعی در خصوص مغناطیس توسط یک انگلیسی بنام ویلیام گیلبرت^۱ انجام گرفت به طوری که او کتاب کلاسیک خود را بر روی مغناطیس در سال ۱۶۰۰ میلادی به چاپ رساند. گیلبرت با انجام آزمایش بر روی لوداستن و آهن مغناطیس شده، تصویر کاملاً روشنی از میدان مغناطیسی زمین را ارائه نمود و بسیاری از ابهاماتی که بر اصل موضوع سایه افکنده بود، را روشن نمود.

^۱William Gilbert

برای حدود یک قرن ونیم بعد از گیلبرت هیچ‌گونه کشف مهمی در خصوص این موضوع به وقوع نپیوست، اگرچه عملاً بهبودهای زیادی در ساخت مغناطیس صورت گرفته است. تا اینکه در قرن هجدهم آهنربا با استفاده از فولاد ساخته شد. این آهنربا از تعداد زیادی نوارهای فولادی که بهم محکم می‌شدند ساخته شد و قادر بود ۲۸ برابر وزن خود را بلند نماید. تا این مرحله این تنها کار اساسی بود که در خصوص مغناطیس انجام گرفت. بنابراین تنها راه ساخت مغناطیس مالش یک قطعه آهنی و یا مغناطیس طبیعی با یک مغناطیس دیگر که قبلاً توسط مالش آهنربا شده است امکان‌پذیر بود. اما اولین آهنربای الکتریکی در سال ۱۸۲۵ میلادی که در واقع ادامه کشف بزرگ سال ۱۸۲۰ بود توسط ارستد^۲ بر اساس اینکه جریان الکتریکی تولید میدان مغناطیسی می‌نماید ساخته شد. در واقع تحقیقات بر روی مواد مغناطیسی از این تاریخ یعنی اختراع الکتروماگنت، که نیروی مغناطیسی به مراتب قوی‌تر از مگنت‌های طبیعی ایجاد می‌نماید، شروع شد. موضوعات اساسی که از این تاریخ به بعد مورد بررسی قرار گرفتند عبارتند از:

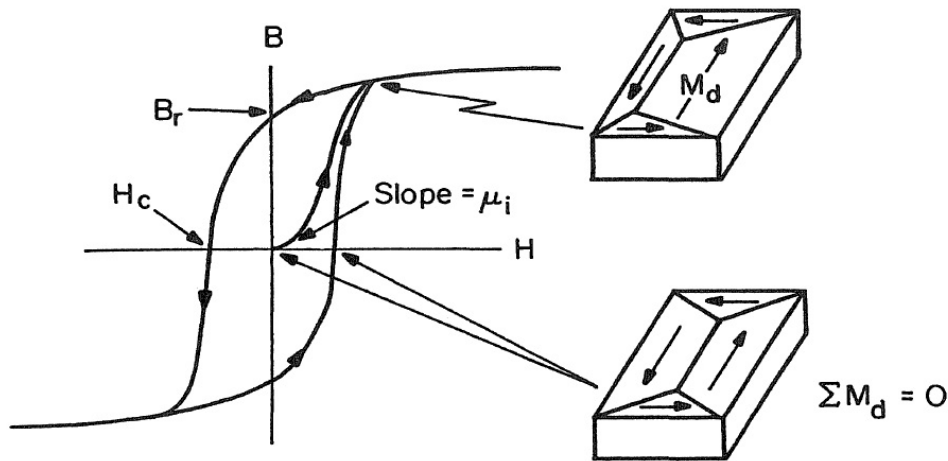
- کمیت‌های اساسی مغناطیس.
- واحد کمیت‌های مغناطیسی.
- روش‌های اندازه‌گیری کمیت‌های مغناطیسی.
- نظریه‌های مغناطیس شونده‌گی.
- رفتار مغناطیسی مواد مختلف.
- خواص مواد مغناطیسی مهم تجاری.

مغناطیس، هزاران سال به عنوان پدیده‌ای که با نیروی دافع یا جاذب که روی مواد تأثیر می‌گذارد شناخته شده است. با این حال اصول اساسی و ساز و کارهایی که این پدیده مغناطیسی را توضیح می‌دهند پیچیده و ظریف هستند. بسیاری از ابزارهای فنی ما از جمله ژنراتورهای توان الکتریکی، ترانسفورماتورها، موتورهای الکتریکی، رادیو، تلویزیون، تلفن و سامانه‌های تکثیر صدا و تصویر بر مغناطیس و مواد مغناطیسی تکیه داده‌اند. آهن، بعضی از فولادها و آهنرباهای طبیعی مثال‌های خوبی از مواد دارای مشخصات مغناطیسی هستند. تقریباً تمامی مواد تا درجه‌ای تحت تأثیر حضور میدان مغناطیسی قرار می‌گیرند.

^۲Oersted

۲.۲ حلقه پسماند و حوزه‌های مغناطیسی

یک ماده مغناطیسی بدون خاصیت مغناطیسی را در نظر بگیرید ($H = 0, B = 0$). استفاده از یک میدان ضعیف حرکت دیواره حوزه‌ها به گونه‌ای که حجم آن حوزه‌ها و مولفه مغناطش در راستای میدان افزایش یابد، را موجب می‌شود. القای مغناطیسی B اولیه تولیدشده در پاسخ به میدان کوچک H نفوذپذیری اولیه را تعریف می‌کند ($\mu_i = \frac{B}{H}$). در میدان‌های بالاتر B به صورت تیز افزایش یافته و نفوذپذیری به مقدار بیشینه خود افزایش می‌یابد (μ_{max}). زمانی که بیشترین حرکت دیواره حوزه‌ها کامل شد، خیلی وقت‌ها یک سری حوزه با مولفه مغناطش غیر صفر عمود بر جهت میدان اعمالی باقی می‌مانند. مغناطش این حوزه‌ها برای کمینه کردن انرژی پتانسیل $-\vec{M} \cdot \vec{B}$ باید در جهت میدان چرخیده شود. به طور کلی این پروسه انرژی بیشتری در مقایسه با حرکت دیواره‌ها لازم دارد، زیرا شامل چرخش مغناطش به دور از جهت آسان است. اگر اندازه میدان بقدر کافی مناسب باشد که این دو پروسه، حرکت دیواره‌ها و چرخش مغناطش، کامل شود نمونه در حالت مغناطش اشباع است ($B_s = \mu \cdot (H + M_s)$).



شکل ۱.۲: حلقه پسماند یک ماده مغناطیسی [۶].

معمولاً با کاهش اندازه میدان اعمالی، مغناطش بدون پسماند به جهت آسان خود بازمی‌گردد (چرخش معمولاً یک پروسه بازگشت‌پذیر است). همانطور که میدان اعمالی بیشتر کاهش می‌یابد، دیواره حوزه‌ها در طول نمونه به عقب حرکت می‌کنند. چون وقتی که دیواره حوزه‌ها به طور ناگهانی از یک مقدار انرژی کمینه محلی به مقدار دیگر می‌رود انرژی تلف می‌شود، حرکت دیواره حوزه‌ها یک فرایند اتلافی بازگشت‌ناپذیر است. القا و مغناطش زمانی که میدان اعمالی روی نمونه صفر می‌شود باقی می‌مانند که القای باقیمانده (B_r) و پسماند (M_r) نامیده می‌شوند.

میدان معکوس مورد نیاز برای صفر کردن B وادارندگی یا میدان وادارنده (H_c) نامیده می‌شود. وادارندگی معیار خوبی برای تعیین اینکه ماده به آسانی یا به سختی مغناطیده می‌شود، است. میدان مورد نیاز برای صفر کردن M وادارندگی ذاتی (H_{ci}) نامیده می‌شود. تفاوت بین H_c و H_{ci} فقط در آهنرباهای دائمی اهمیت دارد، زیرا $H_c \gg M$ و اساساً $M = 0$ است.

۳.۲ دسته‌بندی مواد مغناطیسی

مواد مغناطیسی از نظر خواص مغناطیسی و کاربردهایشان به سه دسته کلی زیر تقسیم می‌شوند:

- مواد مغناطیسی نرم^۳

- مواد مغناطیسی سخت^۴

- رسانه‌های ضبط^۵

که در زیر به طور مختصر به توضیح آن‌ها پرداخته و در ادامه بیشتر آن‌ها را معرفی خواهیم کرد.

۱.۳.۲ مواد مغناطیسی نرم

زمانی که فرایند مغناطش (حرکت دیواره حوزه‌ها و چرخش مغناطش حوزه‌ها) در میدان‌های ضعیف اتفاق می‌افتد ($H_c \leq 10^3 \frac{A}{m}$)، ماده آهنربای نرم نامیده می‌شود. در بعضی مواد مغناطیسی بسیار نرم مانند آلیاژهای کریستالی $NiFe$ یا آلیاژهای آمورف فلزی، H_c می‌تواند در حدود $1 \frac{A}{m}$ کم باشد. میدان مغناطیسی زمین در حدود $0.4 Oe$ یا $30 \frac{A}{m}$ است. دیگر مواد مغناطیسی نرم شامل آهن خالص، Fe با ۳ یا ۶ درصد Ni ، Si ، بسیاری از آلیاژهای $FeNiCo$ و فریت‌هایی مانند $(MnZnO)Fe_2O_3$ یا $(NiZnO)Fe_2O_3$ است. در کاربردهای مواد مغناطیسی نرم از تغییرات زیاد چگالی شار (متناسب با $\frac{\partial B}{\partial t} \approx \omega B_s$) این مواد که با تغییر کم در میدان اعمالی اتفاق می‌افتد، استفاده می‌کنند. مواد مغناطیسی نرم در ترانسفورماتورهای کوچک و بزرگ، القاگرها، موتورها و حسگرهای میدانی در ضبط مغناطیسی مورد استفاده قرار می‌گیرند. مساحت درون حلقه $B-H$ ، از مرتبه $4 B_r H_c$ ، انرژی تلف شده در واحد حجم در چرخه مغناطیده کردن ماده است که انرژی کمی است و اتلاف پسماند نامیده می‌شود.

^۳Soft magnetic materials

^۴Hard magnetic materials

^۵Recording media