



دانشگاه بیرجند
دانشکده علوم

پایان نامه کارشناسی ارشد فیزیک حالت جامد

ساخت و بررسی خواص فیزیکی نانوذرات



استاد راهنما :

دکتر احمد امیرآبادی زاده

نگارش :

طیبه امیرآبادی

شهریور ۱۳۹۱



بیچ است... آباء رسم ادب

تقدیم بہ

آقا علی بن موسی الرضا (ع)

و

ساحت مقدس حضرت ولی عصر (عج)

او کہ خود حاضر است و نظر، شاید ما روزی از نعت خویش آگاہ شویم.

تقدیم بہ

شہدای راہ علم و دانش

آنها کہ رد پای رفتشان، تا ابد بر شاخہ های زمان باقی است، آنها کہ ہمیشہ، مستند و جادہ ای کہ فراروی ما گسترده اند، تکلیف تمام خطہ ایمان را روشن کردہ است.

و تقدیم بہ

پدرو مادرم

بہ پاس ہمہ خوبیہایان، اولین نگارش آموختہ ایم را تقدیمتان می کنم.

پاس خداوندگار حکیم را که بالطف بی کران خود آدمی را به زیور عقل آراست.

پروردگارا! بر محمد و آل او درود فرست، و دشمنی سخت دشمنان را درباره من به دوستی تبدیل کن، و حسد و بدخواهی سرکشان را به محبت تغییر ده، و بدگمانی صاحبان را به اطمینان، و دشمنی نزدیکان را به دوستی، و بدرفتاری خویشان را به خوشرفتاری، و خوار کردن نزدیکان را به یاری، و دوستی مدارکنندگان را به دوستی واقعی مبدل فرما.

و به مصداق «من علمنی حرفاً فقد صیرنی عبداً»

از تاملی معطلین و اساتید فرزانه که در تاملی دوران تحصیل از راهبانی و یاری شان بهره فراوان برده ام، کمال شکر و قدردانی را می نمایم. و از نگاه باری تعالی سعادت، سلامت و فرجامی نیک برای ایشان خواستارم.

بدینوسید از زحمات صمیمانه استاد ارجمند آقای دکتر احمد امیرآبادی زاده که در انجام پژوهش حاضر مرار، نمونه بوده اند تقدیر و برای ایشان آرزوی سلامتی و موفقیت روز افزون می نمایم.

از بهکاری های بی دریغ خانم زبیده مومنی و دوستان خوبم خانم سعیده اقبالی و آقای سید محمدی علیدینی، صمیمانه شکر و قدردانی می نمایم. همچنین مراتب تشکر و سپاسگذاری خویش را از داوران ارجمند، خانم دکتر ابراهیمی و آقای دکتر رفیعی که زحمت بازخوانی و داوری این مجموعه را به عهده داشتند، و همچنین آقای مهندس شکر... محمدی به عنوان نماینده هیئت تکمیلی ابراز نموده و در پایان تلاکمه اساتید کران قدرگروه که در دوران تحصیل از محضرشان کسب فیض نموده ام، شکر می نمایم.

طیبه امیرآبادی

چکیده

هدف اصلی در این پایان نامه ساخت نانوذرات فریت نیکل-کبالت به روش سل ژل خود احتراقی، و همچنین بررسی اثرات افزودن مقادیر مختلف یون آلومینیوم غیر مغناطیس، بر روی خواص ساختاری و مغناطیسی نانوذرات تهیه شده می باشد. بررسی و مطالعه روش های مختلف تهیه نانوذرات، نشان می دهد که روش سل ژل خوداحتراقی، به دلیل تولید محصولی همگن با درجه ی خلوص بالا و پایین بودن نسبی دما و زمان تکلیس آن، از بهترین روش های تهیه این نانوذرات می باشد.

نانوذرات فریت نیکل-کبالت-آلومینیوم به روش سل ژل خوداحتراقی، از نیترات های فلزی، محلول آمونیاک (برای تنظیم pH) و اسید سیتریک، به عنوان مواد اولیه تهیه شدند. همه ی الگوهای پراش اشعه ایکس نشان دادند که نمونه ها به شکل تک فاز اند و تطابق خوبی با ساختار اسپینل مکعبی دارند. میانگین اندازه ی نانوبلورک ها با افزایش غلظت آلومینیوم، کاهش یافتند. همچنین تصاویر SEM نیز با نتایج XRD در تطابق اند. اندازه گیری های مغناطیسی نشان دادند که با افزایش غلظت آلومینیوم، مغناطش اشباع، پسماند و میدان وادارندگی کاهش می یابند که نشان می دهد فریت نیکل-کبالت با جانشانی یونهای Al^{3+} تبدیل به یک ماده ی مغناطیسی نرم می شود، که می تواند کاندیدای مناسبی برای کاربردهای مواد مغناطیسی نرم، مانند ضبط مغناطیسی و ابزارهای میکروویو باشد.

فهرست جداول ز

فهرست شکل ها ح

فصل اول : فریت و کاربرد ها

۱.۱ مقدمه ۲

۲.۱ طبقه بندی مواد مغناطیسی ۳

 ۱.۲.۱ دیامغناطیس ۳

 ۲.۲.۱ پارامغناطیس ۴

 ۳.۲.۱ فرومغناطیس ۵

 ۴.۲.۱ آنتی فرومغناطیس ۸

 ۵.۲.۱ فری مغناطیس ۹

۳.۱ فریت ۱۱

 ۱.۳.۱ طبقه بندی ساختار های بلوری در فریت ها ۱۱

 ۲.۳.۱ اسپینل ۱۳

 ۱.۲.۳.۱ توازن بار یونی و ساختار بلوری ۱۴

 ۲.۲.۳.۱ تقدم مکانی یون ها ۱۵

 ۳.۲.۳.۱ اسپینل نرمال ۱۵

 ۴.۲.۳.۱ اسپینل معکوس ۱۶

 ۵.۲.۳.۱ اسپینل مخلوط ۱۷

 ۶.۲.۳.۱ برهمکنش بین ممان های مغناطیسی در مکان های شبکه ۱۷

 ۳.۳.۱ مغناطیس در فریت های اسپینلی ۱۹

 ۱.۳.۳.۱ فری مغناطیس در فریت های اسپینلی ۱۹

 ۲.۳.۳.۱ سوپر پارامغناطیس در فریت های اسپینلی ۲۰

 ۳.۳.۳.۱ ناهمسانگردی مغناطیسی ۲۱

۲۲	..... ذرات تک حوزه ۴.۳.۳.۱
۲۳	..... طبقه بندی و کاربرد ها ۴.۳.۱
۲۴	..... فریت های نرم ۱.۴.۳.۱
۲۵	..... مزیت فریت ها بیش از دیگر مواد مغناطیسی ۲.۴.۳.۱

فصل دوم : روش سل ژل برای سنتز نانوفریت های مخلوط

۲۸	..... مقدمه ۱.۲
۲۹	..... روش سل ژل ۲.۲
۳۰	..... فرآیند سل ژل ۱.۲.۲
۳۰	..... انواع ژل ها ۱.۱.۲.۲
۳۱	..... انواع فرآیند سل ژل ۲.۲.۲
۳۱	..... مسیر آلوکسیدی ۱.۲.۲.۲
۳۲	..... مسیر کلئیدی ۲.۲.۲.۲
۳۲	..... مراحل فرآیند سل ژل ۳.۲.۲
۳۳	..... مزایا و معایب فرآیند سل ژل ۴.۲.۲
۳۳	..... تهیه نانوفریت های مخلوط با روش سل ژل ۳.۲
۳۳	..... نانوذرات $Co_x Ni_{1-x} Fe_2 O_4$ ۱.۳.۲
۳۶	..... نانوذرات $Co_{0.5} Zn_{0.5} Al_x Fe_{2-x} O_4$ ۲.۳.۲
۴۱	..... نانوذرات $Ni_{0.7} Zn_{0.3} Fe_{2-x} Al_x O_4$ ۳.۳.۲
۴۵	..... نانوذرات $Ni_{0.2} Cd_{0.3} Fe_{2.5-x} Al_x O_4$ ۴.۳.۲
۴۸	..... نانوذرات $Ni_{0.65} Zn_{0.35} Cu_{0.1} Fe_{1.9} O_4$ ۵.۳.۲
۵۲	..... نانوذرات $Ni_{0.3} Zn_{0.6} Cu_{0.1} Fe_2 O_4$ ۶.۳.۲

فصل سوم : سنتز نانوفریت NiCoAl

۵۷	..... مقدمه ۱.۳
۵۷	..... اهداف تحقیق ۲.۳

۵۷	.....	تهیه نانو ذرات $(0 \leq x \leq 0.3)$ $\text{Ni}_{0.6}\text{Co}_{0.4}\text{Fe}_{2-x}\text{Al}_x\text{O}_4$ به روش سل-ژل خود احتراقی
۵۸	.....	۱.۳.۳ مراحل ساخت
۶۲	.....	تهیه نمونه $x=0/1$ ، $\text{Ni}_{0.6}\text{Co}_{0.4}\text{Fe}_{2-x}\text{Al}_x\text{O}_4$
۶۲	.....	تهیه نمونه $x=0/3$ ، $\text{Ni}_{0.6}\text{Co}_{0.4}\text{Fe}_{2-x}\text{Al}_x\text{O}_4$
۶۳	.....	۴.۳.۳ بررسی اثر pH و اسید سیتریک

فصل چهارم : مشخصه یابی و تحلیل نتایج

۶۵	.....	۱.۴ مقدمه
۶۵	.....	۲.۴ آنالیز TG-DTA نمونه ها
۶۶	.....	۳.۴ آنالیز XRD نمونه ها
۷۱	.....	۴.۴ آنالیز منحنی پسماند نمونه ها با VSM
۷۶	.....	۵.۴ تحلیل تصاویر SEM نمونه ها
۷۸	.....	۶.۴ نتایج کلی و پیشنهادات
۷۹	.....	مراجع

فهرست جداول

- جدول ۱.۱ طبقه بندی مواد مغناطیسی بر حسب ضریب پذیرفتاری ۳
- جدول ۲.۱ انواع بلوری فریت ها ۱۲
- جدول ۳.۱ توزیع یون و ممان خالص برای هر مولکول CoFe_2O_4 و NiFe_2O_4 ۲۰
- جدول ۴.۱ ویژگی های مواد مغناطیسی نرم و سخت ۲۴
- جدول ۱.۲ ثابت شبکه، مغناطش اشباع و میدان وادارندگی نمونه های بازپخت شده در 1000°C ۴۰
- جدول ۱.۳ مواد اولیه به کار برده شده در ساخت نانو ذرات ۵۷
- جدول ۱.۴ اطلاعات ساختاری و اندازه نانو بلورکها از آنالیز (XRD) برای پیک (۳۱۱) ۶۹
- جدول ۲.۴ مغناطش اشباع، مغناطش پسماند، میدان وادارندگی، نسبت مغناطش پسماند و ثابت ناهمسانگردی بر حسب غلظت آلومینیوم، برای نمونه های $\text{Ni}_{0.6}\text{C}_{0.4}\text{Fe}_{2-x}\text{Al}_x\text{O}_4$ ($0 \leq x \leq 0.3$) ۷۵

فهرست شکل ها

- شکل ۱.۱ منحنی χ برحسب T در مواد دیامغناطیس ۴
- شکل ۲.۱ منحنی پذیرفتاری برحسب T در مواد پارامغناطیس ۵
- شکل ۳.۱ انتقال تدریجی سمتگیری مغناطیسی در دیواره های بلاخ ۵
- شکل ۴.۱ تأثیر اعمال میدان مغناطیسی به ساختار حوزه ای ۶
- شکل ۵.۱ تغییرات پذیرفتاری مغناطیسی بر حسب دما برای مواد فرومغناطیس ۷
- شکل ۶.۱ منحنی مغناطش (M) برحسب میدان اعمالی (H) برای فرومغناطیس ها (منحنی پر)، پارامغناطیس ها (خط چین) و دیامغناطیس ها (نقطه چین) که در آن H_C ، میدان وادارندگی، M_r ، مغناطش پسماند، M_s ، مغناطش اشباع و χ_i ، پذیرفتاری اولیه را نشان می دهد ۸
- شکل ۷.۱ منحنی پذیرفتاری بر حسب دما برای آنتی فرومغناطیس ها ۹
- شکل ۸.۱ اختلاف جهت گیری ممان های مغناطیسی در : (الف) فری مغناطیس (ب) آنتی فرومغناطیس (ج) فرومغناطیس (د) پارامغناطیس ۹
- شکل ۹.۱ حالت پایه و حالت برانگیخته دو یون فلزی M_1 و M_2 . پیکربندی اسپینی همانطور که نشان داده شده است، با هم آمیخته شده و باعث کاهش زیاد انرژی حالت پایه می شود. اگر اسپین های دو یون فلزی با هم موازی باشند، این حالت اتفاق نمی افتد. ۱۰
- شکل ۱۰.۱ تغییرات پذیرفتاری مغناطیسی یک ماده فری مغناطیس با دما ۱۱
- شکل ۱۱.۱ ساختار بلوری فریت های اسپینلی. سلول واحد شامل هشت زیر تراز می باشد. یون ها در مکان چهار وجهی A ، یون ها در مکان هشت وجهی B و همچنین اکسیژن، در دو زیر تراز نشان داده شده است..... ۱۳
- شکل ۱۲.۱ (الف) ساختار چهار وجهی با مرکزیت A و (ب) هشت وجهی با مرکزیت B ۱۴
- شکل ۱۳.۱ نحوه ی توزیع یون های فلزی در حالت های اسپینلی نرمال و معکوس ۱۶
- شکل ۱۴.۱ زاویه و فاصله ی بین یونی در ساختار اسپینلی برای انواع مختلف برهمکنش بین مکان های شبکه ۱۸
- شکل ۱۵.۱ نزدیکترین همسایه ها به یون اکسیژن، برهمکنش $A-B$ توسط یون اکسیژن را نشان می دهند ۱۸

- شکل ۱۶.۱ ترسیم نموداری فری مغناطیس ها، (الف) پیکربندی اسپینی در دو زیر شبکه، (ب) تغییرات مغناطش با دما ۱۹
- شکل ۱۷.۱ نمایش کیفی رفتار وادارندگی در سیستم های خیلی ریز به عنوان تابعی از اندازه ذره، که H، اندازه ی میدان مغناطیسی (Oe) و D، قطر ذره (nm) است ۲۲
- شکل ۱۸.۱ مقایسه منحنی های پسماند فریت های مغناطیسی نرم و سخت ۲۳
- شکل ۱۹.۱ نمونه ای از فریت های تجاری ۲۵
- شکل ۱.۲ فناوری سل ژل و محصولات آن ۲۹
- شکل ۲.۲ انواع مختلف ژل (الف) هیدروژل (ب) آلکوژل (ج) آئروژل (د) گزروژل با دانسیته متوسط ۳۱
- شکل ۳.۲ الگوهای پراش اشعه X نانوذرات $\text{Co}_x\text{Ni}_{1-x}\text{Fe}_2\text{O}_4$ ($0 \leq x \leq 1$) ۳۴
- شکل ۴.۲ ثابت شبکه بر حسب غلظت کبالت برای $\text{Co}_x\text{Ni}_{1-x}\text{Fe}_2\text{O}_4$ ($0 \leq x \leq 1$) ۳۴
- شکل ۵.۲ منحنی های پسماند $\text{Co}_x\text{Ni}_{1-x}\text{Fe}_2\text{O}_4$ ، (a) $x=0$ ، (b) $x=0/2$ ، (c) $x=0/4$ ، (d) $x=0/6$ ، (e) $x=0/8$ ، (f) $x=1$ ۳۵
- شکل ۶.۲ m_s بر حسب غلظت Co ۳۶
- شکل ۷.۲ H_c و M_r/M_s بر حسب غلظت Co ۳۶
- شکل ۸.۲ الگوهای پراش اشعه ی X (a) نمونه های بدست آمده $\text{Co}_{0.5}\text{Zn}_{0.5}\text{Al}_{0.6}\text{Fe}_{1.4}\text{O}_4$ و بازپخت شده در دماهای 400°C ، (b) 600°C ، (c) 800°C ، (d) و 1000°C (e) ۳۷
- شکل ۹.۲ الگوهای پراش اشعه ی X نانوذرات $\text{Co}_{0.5}\text{Zn}_{0.5}\text{Al}_x\text{Fe}_{2-x}\text{O}_4$ ($0 \leq X \leq 1$) با (a) $x=0$ ، (b) $x=0/2$ ، (c) $x=0/4$ ، (d) $x=0/6$ ، (e) $x=0/8$ و (f) $x=1$ بازپخت شده در دمای 1000°C ۳۸
- شکل ۱۰.۲ تصویر TEM نمونه $\text{Co}_{0.5}\text{Zn}_{0.5}\text{Al}_{0.6}\text{Fe}_{1.4}\text{O}_4$ بازپخت شده در دمای 1000°C ۳۹
- شکل ۱۱.۲ حلقه های پسماند مغناطیسی نمونه ی $\text{Co}_{0.5}\text{Zn}_{0.5}\text{Al}_{0.6}\text{Fe}_{1.4}\text{O}_4$ بازپخت شده در 400°C (a) و 1000°C (b) ۳۹
- شکل ۱۲.۲ حلقه های پسماند مغناطیسی $\text{Co}_{0.5}\text{Zn}_{0.5}\text{Al}_x\text{Fe}_{2-x}\text{O}_4$ ($0 \leq X \leq 1$) با (a) $x=0$ ، (b) $x=0/2$ ، (c) $x=0/4$ ، (d) $x=0/6$ ، (e) $x=0/8$ و (f) $x=1$ بازپخت شده در دمای 1000°C ۴۰
- شکل ۱۳.۲ الگوهای پراش اشعه X نانوذرات فریت $\text{Ni}_{0.7}\text{Zn}_{0.3}\text{Fe}_{2-x}\text{Al}_x\text{O}_4$ ($0 \leq x \leq 0.5$) ۴۲
- شکل ۱۴.۲ تصاویر FE-SEM نانوذرات فریت $\text{Ni}_{0.7}\text{Zn}_{0.3}\text{Fe}_{2-x}\text{Al}_x\text{O}_4$ ($0 \leq x \leq 0.5$) ۴۳

- شکل ۱۵.۲ (a) منحنی های M-H نانوذرات فریت $Ni_{0.7}Zn_{0.3}Fe_{2-x}Al_xO_4$ ($0 \leq x \leq 0.5$) در دمای اتاق. نقشه فرعی، نمایش مبسوط منحنی M-H را در رنج میدان پایین نشان می دهد. (b) مغناطش اشباع (M_s)، میدان وادارندگی (H_c)، مغناطش پسماند (M_r) بر حسب غلظت آلومینیوم ۴۴
- شکل ۱۶.۲ الگوهای پراش اشعه ی X نانوذرات فریت $Ni_{0.2}Cd_{0.3}Fe_{2.5-x}Al_xO_4$ ($0 \leq x \leq 0.5$) ۴۶
- شکل ۱۷.۲ تغییرات اندازه دانه با غلظت آلومینیوم جانشین شده ۴۷
- شکل ۱۸.۲ تغییرات ثابت شبکه با غلظت آلومینیوم جانشین شده ۴۷
- شکل ۱۹.۲ منحنی DTA-TGA ژل خشک ۴۸
- شکل ۲۰.۲ پراش اشعه ی X ذرات $Ni_{0.65}Zn_{0.35}Cu_{0.1}Fe_{1.9}O_4$ بازپخت شده در دماهای (b) $175^\circ C$ ، (c) $250^\circ C$ ، (d) $350^\circ C$ ، (e) $450^\circ C$ ، (f) $550^\circ C$ ، (g) $700^\circ C$ و (a) ژل خشک ۴۹
- شکل ۲۱.۲ تصویر TEM نانوذرات $Ni_{0.65}Zn_{0.35}Cu_{0.1}Fe_{1.9}O_4$ بازپخت شده در دمای $250^\circ C$ ۵۰
- شکل ۲۲.۲ تغییرات مغناطش اشباع (M_s) و میدان وادارندگی (H_c) ذرات $Ni_{0.65}Zn_{0.35}Cu_{0.1}Fe_{1.9}O_4$ با دمای بازپخت ۵۰
- شکل ۲۳.۲ الگوهای پراش پرتو X ذرات پخت شده در دماهای مختلف ۵۲
- شکل ۲۴.۲ تصویر SEM گرفته شده از نانوذرات فریت مس - روی - نیکل، در دمای $700^\circ C$ ۵۳
- شکل ۲۵.۲ تصویر TEM گرفته شده از نانوذرات فریت مس روی نیکل در دمای $400^\circ C$ ۵۴
- شکل ۲۶.۲ نمودار پسماند ذرات بازپخت شده در دماهای مختلف و نمودار تغییرات M_s و H_c بر حسب دما ۵۴
- شکل ۱.۳ محلول نهایی قبل از تنظیم pH ۵۹
- شکل ۲.۳ تغییر رنگ محلول (pH=7) ۵۹
- شکل ۳.۳ سل نهایی بعد از تنظیم pH ۵۹
- شکل ۴.۳ پیش ماده های ژلی محترق شده ۶۰
- شکل ۵.۳ پودرهای تهیه شده ۶۰
- شکل ۶.۳ دیاگرام مراحل ساخت نانو ذرات $Ni_{0.6}C_{0.4}Fe_{2-x}Al_xO_4$ با مقادیر مختلف ۰، ۰/۱، ۰/۳ ۶۱
- شکل ۱.۴ منحنی DTA-TG ژل خشک نمونه ی $Ni_{0.6}C_{0.4}Fe_{1.7}Al_{0.3}O_4$ ۶۵
- شکل ۲.۴ الگوهای پراش اشعه ی X نانوذرات $Ni_{0.6}C_{0.4}Fe_{2-x}Al_xO_4$ ($0 \leq x \leq 0.3$) بازپخت شده در دمای $800^\circ C$ (الف) $x=0$ (ب) $x=0.1$ (ج) $x=0.3$ ۶۷

- شکل ۳.۴ الگوهای پراش اشعه ی X نانوذرات $\text{Ni}_{0.6}\text{C}_{0.4}\text{Fe}_{2-x}\text{Al}_x\text{O}_4$ ($0 \leq x \leq 0.3$) بازپخت شده در دمای 800°C ۶۸
- شکل ۴.۴ اندازه ی نانوبلورک ها بر حسب غلظت آلومینیوم جانشین شده (X) در نمونه های $\text{Ni}_{0.6}\text{C}_{0.4}\text{Fe}_2$ - Al_xO_4 ($0 \leq x \leq 0.3$)، برای پیک اصلی (۳۱۱) ۶۹
- شکل ۵.۴ منحنی پسماند مغناطیسی نمونه های $\text{Ni}_{0.6}\text{C}_{0.4}\text{Fe}_{2-x}\text{Al}_x\text{O}_4$ ($0 \leq x \leq 0.3$) در دمای اتاق ۷۲
- شکل ۶.۴ (الف) مغناطش اشباع و (ب) مغناطش پسماند بر حسب غلظت آلومینیوم جانشین شده در نمونه های $\text{Ni}_{0.6}\text{C}_{0.4}\text{Fe}_{2-x}\text{Al}_x\text{O}_4$ ($0 \leq x \leq 0.3$) ۷۳
- شکل ۷.۴ (الف) میدان وادارندگی و (ب) نسبت مغناطش پسماند، بر حسب غلظت آلومینیوم جانشین شده در نمونه های $\text{Ni}_{0.6}\text{C}_{0.4}\text{Fe}_{2-x}\text{Al}_x\text{O}_4$ ($0 \leq x \leq 0.3$) ۷۴
- شکل ۸.۴ تصاویر SEM نانوذرات $\text{Ni}_{0.6}\text{C}_{0.4}\text{Fe}_{2-x}\text{Al}_x\text{O}_4$ ($0 \leq x \leq 0.3$)، بازپخت شده در دمای 800°C (الف) $x=0$ (ب) $x=0.1$ (ج) $x=0.3$ ۷۷

فصل اول

فریت و کاربردها

۱.۱ مقدمه

تاریخچه ی فریت ها، به قرن های گذشته با کشف سنگ های آهنربا بر می گردد. این سنگ ها به طور عمده در منطقه ی magnesia در آسیای صغیر کشف شدند و از این رو نام معدنی مگنتیت^۱ (Fe_3O_4) را گرفتند [۱]. مگنتیت به طور طبیعی در بدن موجودات زنده از قبیل: حلزون، زنبور عسل، کبوتر و جلبک وجود دارد. فریت های شکل گرفته در ساختار مگنتیت، جزء مواد مغناطیسی نرم هستند. تحقیقات علمی در آن زمان برای تولید مواد مغناطیسی نرم مشابه، نا موفق بودند تا اینکه در سال ۱۹۳۰، اولین ترکیبات فریت به طور مستقل در ژاپن و هلند ساخته شدند [۲]. از آن پس تلاش های زیادی به این عرصه ی تحقیقات اختصاص یافته اند که منجر به پیشرفت های مهمی در علوم و تکنولوژی مواد فریت شده است. ویژگی های الکتریکی و مغناطیسی منحصر به فرد فریت ها، آنها را برای کاربردهای گسترده ای نظیر وسایل فرکانس بالا، اجزاء میکروویو، سیال های مغناطیسی و همچنین کاربردهای پزشکی و غیره مناسب می سازد.

در این فصل ابتدا به بررسی انواع مواد مغناطیسی می پردازیم و سپس به بحث در مورد فریت ها، خواص، ساختمان بلوری و کاربردهای آنها می پردازیم و همچنین حالت های فری مغناطیس، سوپرپارامغناطیس و ناهمسانگردی مغناطیسی را در فریت ها بررسی می کنیم.

¹ magnetite

۲.۱ طبقه بندی مواد مغناطیسی

طبیعی ترین روش برای دسته بندی مواد مغناطیسی، توجه به پاسخگویی آنها به یک میدان مغناطیسی خارجی است. این پاسخگویی را می توان با کمیتی به نام پذیرفتاری^۱ مغناطیسی نشان داد :

$$\chi = \frac{M}{H} \quad ۱.۱$$

که در آن M مغناطش یا گشتاور مغناطیسی در واحد حجم، برحسب emu/cm^3 و H میدان خارجی اعمال شده بر حسب اورستد(Oe) است. با توجه به علامت و مقدار پذیرفتاری مغناطیسی، بطور کلی می توان پنج فاز مغناطیسی را برای مواد در نظر گرفت (جدول ۱.۱).

جدول ۱.۱ طبقه بندی مواد مغناطیسی برحسب ضریب پذیرفتاری.

نام ماده	پذیرفتاری
دیا مغناطیس	$\chi < 0$
پارامغناطیس	$\chi > 0$
فرومغناطیس	$\chi \gg 0$
پادفرومغناطیس	$\chi > 0$
فری مغناطیس	$\chi \gg 0$

دو نوع معمولی از مواد مغناطیسی، دیامغناطیس و پارامغناطیس است که بیشتر عناصر در دمای اتاق جزء این دو دسته هستند، این عناصر معمولاً منسوب به غیر مغناطیسی می باشند، در حالی که عناصری که منسوب به مغناطیسی هستند، عملاً به عنوان فرومغناطیس دسته بندی می شوند. تنها نوع دیگری از عناصر خالص در دمای اتاق مغناطیسی اند، که آنتی فرومغناطیس نام دارند. دسته ی بعدی فری مغناطیس است، اگرچه در عناصر خالص یافت نمی شوند، اما در ترکیباتی مانند اکسیدهای مخلوط که فریت نامیده می شوند، می توان آنها را یافت، بطوریکه فری مغناطیس منتج شده از اسمش می باشد.

۱.۲.۱ دیامغناطیس^۲

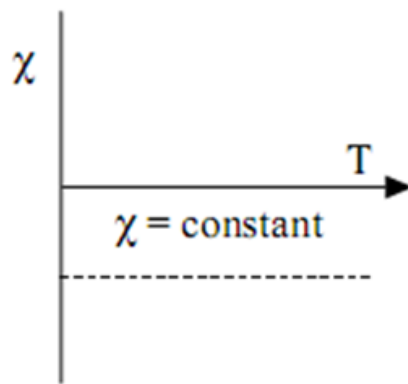
در یک ماده دیا مغناطیس، گشتاور مغناطیسی خالص ناشی از حرکت مداری و اسپینی الکترون ها، در غیاب میدان مغناطیسی اعمال شده صفر است. اعمال یک میدان مغناطیسی خارجی، باعث اختلال در

¹ Susceptibility

² Diamagnetism

سرعت‌های زاویه‌ای می‌گردد، در نتیجه گشتاور مغناطیسی خالصی بوجود می‌آید. براساس قانون لنز گشتاور مغناطیسی القاء شده همواره با میدان اعمالی مخالفت می‌کند، بنابراین چگالی شار مغناطیسی را کاهش می‌دهد و میدان را از درون خود دفع می‌کند. به عبارت دیگر از مغناطیده شدن نه تنها استقبال نمی‌کنند، بلکه با آن مخالفت می‌ورزند. این کاهش شار مغناطیسی، با مغناطیس شدگی منفی قابل توضیح است [۳].

دیامغناطیس خاصیت اساسی تمام مواد است، هرچند که این خاصیت بسیار ضعیف بوده و غالباً به خاطر آثار قوی تر پارامغناطیسی یا فرومغناطیسی که می‌توانند با این خاصیت همراه باشند، دیده نمی‌شود. پذیرفتاری مغناطیسی در مواد دیا مغناطیس کوچک، منفی و مستقل از دما است [۴] (شکل ۱.۱). تقریباً همه ی عناصری که اتم هایشان دارای پوسته های الکترونی بسته هستند، دیامغناطیس اند.



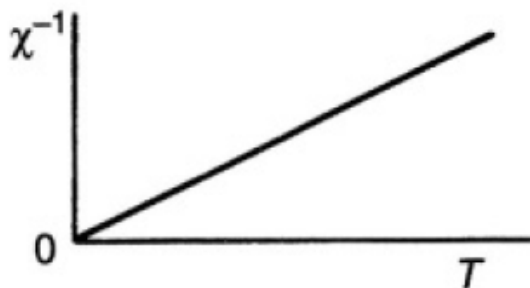
شکل ۱.۱ منحنی χ برحسب T در مواد دیامغناطیس [۵].

۲.۲.۱ پارامغناطیس^۱

در پارامغناطیس‌ها، گشتاور مغناطیسی خالص ناشی از حرکت مداری و اسپینی الکترون‌ها درغیاب میدان مغناطیسی خارجی اعمال شده، صفر نیست و اتمها و مولکولها دارای گشتاور مغناطیسی خالصی هستند. در غیاب میدان خارجی، اتمها به شکل اتفاقی در ماده توزیع شده اند و مغناطش ماده صفر است، زیرا توزیع اتفاقی گشتاورها سبب صفرشدن برآیند آنها می‌شود. حال اگر یک میدان خارجی به ماده اعمال شود، گشتاورهای اتمی تمایل دارند در جهت میدان قرار گیرند، بدیهی است اگر هیچ نیروی مخالف با این تمایل وجود نداشته باشد، تمام گشتاورهای مغناطیسی در جهت میدان قرار می‌گیرند، ولی عامل هیجان و آشفته‌گی که سعی در ایجاد و حفظ توزیع اتفاقی گشتاورها دارد، با همسو شدن آنها در جهت میدان مخالفت می‌کند. بدین ترتیب، فقط تعدادی از گشتاورهای اتمی با میدان خارجی یکسو می‌شوند که این تعداد به دما

¹ Paramagnetism

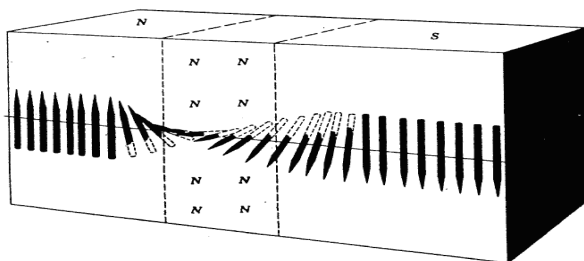
بستگی دارد (قانون کوری)^۱. مواد پارامغناطیس دارای پذیرفتاری مغناطیسی ضعیف و مثبت می‌باشند [۴] (شکل ۲.۱).



شکل ۲.۱ منحنی پذیرفتاری بر حسب T در مواد پارامغناطیس [۵].

۳.۲.۱ فرومغناطیس^۲

خاصیت مغناطیسی در فرو مغناطیس ها چند برابر قوی تر از پارا مغناطیس ها است. خاصیت فرومغناطیس بودن را می‌توان براساس حوزه های مغناطیسی توضیح داد. هر حوزه به طور خود به خودی مغناطیده است. حوزه‌ها توسط نواحی واسطه‌ای موسوم به دیواره بلاخ، از هم جدا می‌شوند. یکی از خصوصیات دیواره‌های بلاخ، قابلیت حرکت کردن آن است. یکی از عوامل حرکت دیواره ها، اعمال یک میدان مغناطیسی قوی است. در این دیواره ها، انتقال تدریجی سمت‌گیری مغناطیسی صورت می‌گیرد، این انتقال تدریجی سمت-گیری مغناطیسی، در شکل ۳.۱ نشان داده شده است.



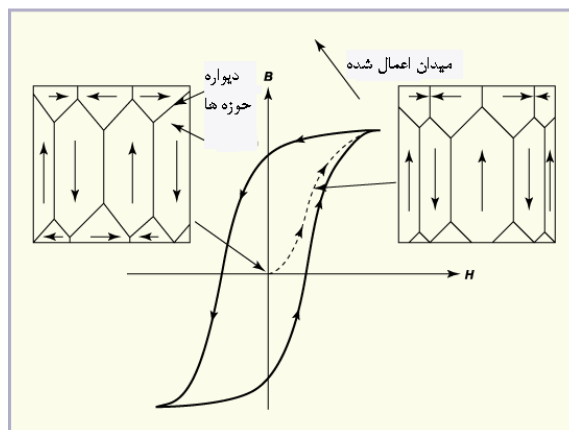
شکل ۳.۱ انتقال تدریجی سمت‌گیری مغناطیسی در دیواره های بلاخ [۴].

با آن که هر حوزه به طور خود به خودی مغناطیده است اما جهت مغناطش حوزه‌ها متفاوت است، طوری که مغناطش کل نمونه صفر است. در فرآیند مغناطیده شدن با اعمال میدان، یک نمونه چند حوزه-

¹ Curie Law

² Ferromagnetism

ای، به یک نمونه تک حوزه‌ای تبدیل می‌گردد، که حوزه‌ی حاصل جهتی در جهت میدان اعمال شده دارد. به عبارت دیگر، حجم آن حوزه‌ها نسبت به سایر نواحی افزایش می‌یابد، در نتیجه چگالی شار مغناطیسی افزایش می‌یابد. اگر میدان اعمال شده باز هم قوی تر شود، همه حوزه‌ها هم راستا شدن با میدان اعمالی را تجربه می‌کنند. در این مرحله می‌گوییم ماده مغناطیسی به حالت اشباع رسیده است [۴] (شکل ۴.۱).

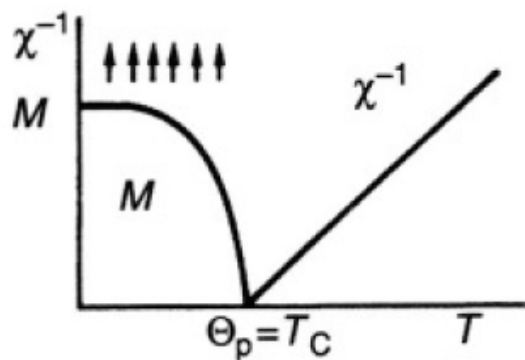


شکل ۴.۱ تأثیر اعمال میدان مغناطیسی به ساختار حوزه‌ای [۴].

قابل توجه است که فرومغناطیس‌ها دارای مغناطش خود به خودی^۱ می‌باشند، که عبارتست از مغناطش خالصی که در غیاب میدان، درون یک حجم میکروسکوپی که به صورت یکنواخت دارای خاصیت مغناطیسی است، وجود دارد. اندازه این مغناطش در صفر کلوین، بستگی به گشتاورهای مغناطیسی اسپینی الکترون‌ها دارد. و همچنین مغناطش در فرومغناطیس‌ها، وابسته به دما می‌باشد [۵].

پذیرفتاری مواد فرومغناطیس بسیار بزرگتر از مواد پارامغناطیس است و تابعی از میدان مغناطیسی اعمالی (H) است. شکل ۵.۱ تغییرات پذیرفتاری مغناطیسی در مواد فرومغناطیس را با دما نشان می‌دهد. دمای کوری (T_c)، دمایی است که در آن انرژی حرارتی، بر نیروهای بین ممان‌های اتمی غلبه کرده و باعث آشفتگی ممان‌ها می‌گردد. مواد فرومغناطیس در دمای پایین‌تر از این دما منظم، و در دماهای بالاتر به هم ریخته خواهند بود. مواد فرومغناطیس در دمای بالاتر از دمای کوری دیگر خاصیت مغناطیسی نداشته و پارامغناطیس خواهند بود. از آن جهت دارای خاصیت پارامغناطیسی می‌باشند که هنوز با اتم‌های دارای ممان مغناطیسی سر و کار داریم [۵].

¹ Spontaneous Magnetization



شکل ۵.۱ تغییرات پذیرفتاری مغناطیسی بر حسب دما برای مواد فرومغناطیس [۵].

مواد فرومغناطیس می توانند میدان مغناطیسی اعمالی را بعد از حذف میدان در خود حفظ کنند که به این رفتار هیستریزیس^۱ و به نمودار مغناطش بر حسب میدان مغناطیسی، حلقه ی هیستریزیس می گویند. مغناطش اشباع^۲ (M_s) نقطه ای است که در آن همه ی اسپین ها موازی میدان مغناطیس خارجی می شوند. با کاهش میدان به صفر، مغناطش به سمت صفر نمی رود. مقدار مغناطش باقیمانده در میدان صفر را مغناطش پسماند^۳ (M_r) گویند. با افزایش میدان در جهت عکس، میدان القایی کاهش می یابد و در میدانی که به آن وادارندگی^۴ (H_c) می گویند، به صفر می رسد. پارامترهای مختلف هیستریزیس، ذاتی نبوده و به اندازه ی ذره، حالت حوزه و دما بستگی دارند [۱]. شکل ۶.۱ موقعیت نقاط فوق الذکر را در یک منحنی هیستریزیس نشان می دهد [۱].

در جدول تناوبی تنها Fe ، Ni و Co در دمای اتاق و بیشتر از آن، فرومغناطیس اند.

¹ Hysteresis

² Saturation Magnetization

³ Remanence Magnetization

⁴ Coercivity