دانشگاه صنعتی شیراز
دانشکده مهندسی و علم مواد

فرآوری شیمیایی نانوذرات سرامیکی فریت کبالت و مطالعه ویژگی‌های ساختاری، مغناطیسی و مگنتواپتیک آن و بررسی اثر عناصر افزودنی بر این خواص

دررشته مهندسی مواد- گرایش الکتروسرامیک

نگارش:
یاسر محمدی‌فر

استاد راهنما:
دکتر هومان شکراللهی

شهریورماه ۱۳۹۲

بسمه تعالی

فرآوری شیمیایی نانوذرات سرامیکی فریت کبالت و مطالعه ویژگی های ساختاری، مغناطیسی و مگنتواپتیک آن و بررسی اثر عناصر افزودنی بر این خواص

پایان نامه ارائه شده به عنوان بخشی از فعالیتهای تحصیلی

توسط:

یاسر محمدی‌فر

برای اخذ درجه کارشناسی ارشد

گروه الکتروسرامیک دانشکده مهندسی و علم مواد

دانشگاه صنعتی شیراز

ارزیابی پایان نامه توسط هیات داوران با درجه: .....

دکتر هومان شکراللهی استادیار مهندسی و علم مواد (استاد راهنما) : .....

دکتر علی مشرقی استادیار مهندسی و علم مواد (استاد مشاور) : .....

دکتر فرهاد شهریاری نوگورانی استادیار مهندسی و علم مواد (داور) : .....

مدیر امور آموزشی و تحصیلات تکمیلی دانشگاه:

حق چاپ محفوظ و مخصوص به دانشگاه صنعتی شیراز است.

شهریور ۱۳۹۲

تقدیم به:

مادر، پدر، و دو برادرم

که عزیزترین کسانم اند.

و سپاس از:

راهنمودها و رنج های دلسوزانه استاد ارجمندم دکتر شکرالله‌ی

که معلم علم و اخلاق من بودند.

چکیده

فرآوری شیمیایی نانوذرات سرامیکی فریت کبالت و مطالعه ویژگی های ساختاری، مغناطیسی و مگنتواپتیک آن و بررسی اثر عناصر افزودنی بر این خواص

توسط:

یاسر محمدی‌فر

فریت کبالت با سختی و ناهمسانگردی مغناطیسی بالا، مغناطش اشباع قابل قبول و دمای کوری کنترل پذیر از جمله الکتروسرامیک‌های مطرح در حوزه‌ی مواد مغناطیسی و مگنتواپتیک است که در مغناطیس‌های دائم، حافظه‌های مغناطیسی، سیالات مغناطیسی مورد استفاده در پزشکی، کاتالیزورهای شیمیایی، مباحث مگنتوکالریک، مگنتواستریکشن و مگنتواپتیک کاربردهای در حال توسعه دارد. از این رو بررسی و بهینه سازی خواص ریزساختاری، مغناطیسی و مگنتواپتیک آن هدفی است که در این تحقیق دنبال شده است. ترکیب شیمیایی (نوع و مقدار عناصر موجود در ساختار) اولین عامل موثر و تعیین کننده در تغییر خواص است؛ بنابراین، تاثیر افزودن مقادیر اندکی (۱ تا ۱۰ درصد اتمی) از دو عنصر دیسپروسیم و هولمیم بر خواص ریزساختاری و مغناطیسی فریت بررسی شد و با توجه به تاثیر بهتر دیسپروسیم، خواص مگنتواپتیک فریت کبالت-دیسپروسیم نیز مورد بررسی قرار گرفت. بدین منظور چند ترکیب مشخص از نانو پودر فریت کبالت با اضافه کردن مقادیر مشخص عناصر دیسپروسیم و هولمیم با استفاده از روش شیمیایی همرسوبی سنتز شده و پس از مطالعه‌ی ریزساختار تحت اندازه‌گیری‌ها و تحلیل‌های مغناطیسی قرار گرفتند. پس از آن اقدام به تهیه‌ی لایه نازک از نمونه‌ها به روش رسوبدهی با لیزر (PLD) شده و خاصیت مگنتواپتیک کِر این لایه مورد اندازه‌گیری قرار گرفت. مشخص شد که اضافه کردن دیسپروسیم باعث رشد بیشتر دانه‌ها می‌شود. همچنین حرکت توزیع کاتیونی شبکه به سمت وارونگی بیشتر که منشا بهبود خواص مغناطیسی و مگنتواپتیک بوده است نتیجه‌ی اضافه کردن آن بود. اضافه کردن ۰٫۵ دیسپروسیم افزایش ۲/۵ برابری ناهمسانگردی مغناطیسی را به دنبال داشت و دمای کوری محاسبه شده $20^{\circ}C$ کاهش نشان داد. طیف چرخش کر فریت کبالت دارای دو پیک در ۵۶۰ و ۶۷۰ nm بود و در ۶۲۵ nm مقدار صفر به خود می‌گرفت. همچنین برای طول موج ۶۳۰ nm ترکیب $Co_{0.95}Dy_{0.05}Fe_2O_4$ پاسخ بسیار بهتری داشت تا $CoFe_2O_4$.

واژه‌های کلیدی: فریت کبالت، همرسوبی، دیسپروسیم، مگنتواپتیک، اثر کِر

فهرست مطالب

۱- پیشگفتار ۱

۲-مروری بر پژوهش‌های انجام شده ۶

۲-۱- مروری بر دانش مگنتواپتیک ۷

۲-۱-۱- اثر کِر ۱۰

۲-۱-۲- اثر فارادی ۱۰

۲-۱-۳- اثر وویت ۱۲

۲-۲- مواد مگنتواپتیک ۱۲

۲-۳- فریت کبالت: سرامیکی با کاربردهای مغناطیسی و مگنتواپتیک ۱۳

۳- مباحث نظری ۱۸

۳-۱- پاسخ مواد مختلف به میدان مغناطیسی ۱۹

۳-۲- فری مغناطیس ۲۱

۳-۲-۱- رفتار فری‌مغناطیس بالای دمای کوری ۲۲

۳-۲-۲- رفتار فری‌مغناطیس زیر دمای کوری ۲۵

۳-۳- ساختار فریت کبالت ۲۶

۳-۴- خواص مغناطیسی نانوذرات فریت کبالت ۲۸

۳-۵- دیسپروسیم و هولمیم ۳۰

۳-۶- روش سنتز همرسوبی ۳۱

۳-۷- روش لایه نشانی با لیزر پالسی ۳۴

۳-۸- مکانیسم پدیده‌های مگنتواپتیک ۳۵

۳-۸-۱- نور و نور قطبیده ۳۵

۳-۸-۲- سازوکار برهمکنش‌های مگنتواپتیک ۳۸

۳-۸-۳- اندازه‌گیری‌های مگنتواپتیک ۴۰

۴-روش تحقیق ۴۴

۴-۱- روش همرسوبی برای ساخت نانوذرات فریت کبالت-دیسپروسیم/ هولمیم ۴۵
۴-۲- آزمون‌های تعیین خواص نانوذرات ۴۸
۴-۲-۱- پراش اشعه‌ی ایکس ۴۸
۴-۲-۲- تصویربرداری میکروسکوپی ۴۹
۴-۲-۳- طیف نگاری فروسرخ ۴۹
۴-۲-۴- مغناطیس سنجی با دستگاه مغناطیس سنج ارتعاشی ۴۹
۴-۲-۵- اندازه‌گیری اثر مگنتواپتیک کر ۴۹
۵- یافته‌ها و بحث ۵۱
۵-۱- آنالیز پراش اشعه‌ی ایکس ۵۲
۵-۲- تصویر برداری با میکروسکوپ TEM ۵۹
۵-۳- طیف نگاری فروسرخ ۶۰
۵-۴- آنالیز خواص مغناطیسی ۶۳
۵-۴-۱- ناهمسانگردی مغناطیسی ۶۴
۵-۴-۲- مغناطش اشباع ۶۶
۵-۴-۳- دمای کوری ۶۶
۵-۴-۴- مقایسه‌ی خواص مغناطیسی فریت کبالت-هولمیم و کبالت-دیسپروسیم ۶۷
۵-۵- سنجش خواص مگنتواپتیک ۷۰
۵-۵-۱- مغناطش سنجی با استفاده از اثر کر ۷۰
۵-۵-۲- طیف نگاری چرخش کر ۷۵
۶-نتیجه‌گیری و پیشنهادات ۷۸
۶-۱- نتیجه‌گیری ۷۹
۶-۲- پیشنهادات ۸۰
مراجع ۸۱

فهرست شکل‌ها

شکل ۲-۱: اثرات مگنتواپتیک در برخورد و عبور از سطح ماده..... ۱۱

شکل ۲-۲: (a) وابستگی چرخش فارادی به ترکیب شیمیایی ماده و (b) تاثیر دما بر مغناطش ماده و چرخش فارادی ۱۱

شکل ۳-۱: نمای شماتیک ممان‌های مغناطیسی و گذردهی معکوس بر حسب دما ۲۱

شکل ۳-۲: وابستگی دمایی خواص مغناطیسی یک فری‌مغناطیس ۲۴

شکل ۳-۳: واسطه شدن اکسیژن برای تبادل کوپلینگ مغناطیسی بین یون‌های منگنز ۲۴

شکل ۳-۴: (a) تغییرات تئوریک گذردهی معکوس با دما برای یک فری‌مغناطیس بالای نقطه کوری و (b) مغناطش زیرشبکه‌ای و مغناطش خالص فری‌مغناطیس زیر دمای کوری ۲۵

شکل ۳-۵: تصویر شماتیک ساختار مغناطیسی اسپینل ۲۷

شکل ۳-۶: مدل کلی وابستگی H_c به اندازه ذره..... ۲۹

شکل ۳-۷: روش همرسوبی، یکی از روش‌های شیمی تر برای ساخت ذرات ۳۲

شکل ۳-۸: نمای شماتیک سامانه‌ی لایه نشانی لیزر پالسی ۳۴

شکل ۳-۹: نمایی طرحوار از میدان‌های الکتریکی و مغناطیسی تشکیل دهنده‌ی موج الکترومغنطیسی ۳۵

شکل ۳-۱۰: چند قطبش ممکن برای موج الکترومغناطیسی ۳۹

شکل ۳-۱۱: بیضی قطبش میدان الکتریکی که با دو پارامتر θ و η مشخص می‌شود..... ۳۷

شکل ۳-۱۲: دو مولفه با قطبش دایره‌ای در خلاف جهت هم که یک موج با قطبش خطی را می‌سازند ۳۹

شکل ۳-۱۳: چرخش صفحه‌ی قطبش موج در یک برهمکنش مگنتواپتیک ۴۰

شکل ۳-۱۴: مقایسه طیف مختلط کر و آرایه غیرقطبی برای فریت کبالت ۴۲

شکل ۳-۱۵: جزء حقیقی ϵ_1 و چرخش فارادی برای بیسموت تیتانیم اکساید ۴۳

شکل ۴-۱: سامانه‌ی سنتز نانوذرات به روش همرسوبی ۴۶

شکل ۴-۲: سامانه اندازه‌گیری اثر کِر..... ۵۰

شکل ۵-۱: الگوی پراش x نمونه‌های $Co_{1-x}Dy_xFe_2O_4$..... ۵۳

شکل ۵-۲: درون‌یابی نقاط بدست آمده از داده‌های پراش ایکس..... ۵۴

شکل ۵-۳: افزایش چگالی نظری شبکه فریت با افزودن دیسپروسیم..... ۵۶

شکل ۵-۴: تصویر TEM نانوذرات نمونه $x=0/03$ ۶۰

شکل ۵-۵: طیف جذب فروسرخ نمونه‌ها در گستره طول موج cm^{-1} ۴۰۰۰-۴۰۰..... ۶۱

شکل ۵-۶: حلقه هیسترزیس (M-H) براساس داده‌های VSM برای $Co_{1-x}Dy_xFe_2O_4$..... ۶۳

شکل ۵-۷: حلقه هیسترزیس (M-H) براساس داده‌های VSM برای $Co_{1-x}Ho_xFe_2O_4$..... ۶۸

شکل ۵-۸: مقایسه تغییرات مغناطش اشباع برای دو عنصر افزودنی Dy و Ho..... ۶۹

شکل ۵-۹: مقایسه تغییرات میدان پسماندزدا برای دو عنصر افزودنی Dy و Ho..... ۶۹

شکل ۵-۱۰: مدل برخورد پرتو لیزر با لایه نازک مغناطیسی و زیرلایه غیرمغناطیسی آن..... ۷۱

شکل ۵-۱۱: حلقه‌ی هیسترزیس کر قطبی اندازه‌گیری شده ۷۴

شکل ۵-۱۲: طیف چرخش کر قطبی فیلم‌های $Co_{1-x}Dy_xFe_2O_4$ ۷۶

فهرست جداول

جدول ۲-۱: مهمترین خصوصیات مغناطیسی فریت کبالت خالص در حالت بالک..... ۱۴

جدول ۲-۲: تحقیقات انجام شده درخصوص اثر افزودن عناصر نادرخاکی بر خواص مغناطیسی فریت کبالت ۱۵

جدول ۳-۱: جرم مولی، شعاع یونی، آرایش الکترونی و ممان مغناطیسی کاتیون‌های Dy^{3+} و Ho^{3+} ۳۱

جدول ۴-۱: نسبت و غلظت محلول‌های اولیه برای سنتز نمونه‌های فریت..... ۴۸

جدول ۵-۱: پارامترهای بلورشناختی شبکه فریت کبالت ۵۵

جدول ۵-۲: فرکانس لبه‌ی جذب و ثابت نیرو برای ارتعاش در مکان چهاروجهی شبکه.....۶۲

جدول ۵-۳: مغناطش اشباع (M_S)، مغناطش اشباع بالک یا نظری ($M_{S\ Th}$)، میدان پسماندزدا (H_C)، مغناطش پسماند (M_r)، سطح حلقه هیسترزیس (S)، ثابت ناهمسانگردی مغناطیسی (K) و دمای کوری (T_C) برای درصدهای مختلف Dy ۶۵

جدول ۵-۴: مغناطش اشباع (M_S)، میدان پسماندزدا (H_C)، مغناطش پسماند (M_r)، سطح حلقه هیسترزیس (S) و ثابت ناهمسانگردی مغناطیسی (K) برای درصدهای مختلف Ho ۶۸

جدول ۵-۵: ارتباط بین مجموع مقادیر Co^{2+} و Fe^{3+} در هشت وجهی و دامنه پیک ۱ در طیف چرخش کر ۷۷

جدول ۵-۶: ارتباط بین مقدار Co^{2+} در چهاروجهی و دامنه پیک ۲ در طیف چرخش کر.....۷۷

فصل اول:

پیشگفتار

۱- پیشگفتار

برهمکنش تابش الکترومغناطیسی با ماده پدیده‌های متعدد و متنوعی را به دنبال دارد که مطالعه‌ی آنها تاکنون پرده از بسیاری خواص موج الکترومغناطیسی و ماده برداشته است. بخش اعظم دانش ما از جهان پیرامونی‌مان با نور به ما می‌رسد که استخراج و تحلیل این اطلاعات با درک برهمکنش موج الکترومغناطیسی با ماده میسر و ممکن می‌شود. حال در این مقوله با دو شاخه‌ی جداگانه مواد همسانگرد و مواد ناهمسانگرد مواجه هستیم. اصولا هرنوع ناهمسانگردی در ماده منشا اثر بر روی نوری است که با آن برهمکنش دارد. بیشتر مواد بلورین دارای چنین خاصیتی می‌باشند که دورنگی[1]، دو شکستی[2] و فعالیت اپتیکی[3] پدیده‌های ناشی از آن هستند. جالب اینجاست که با اعمال یک میدان خارجی می‌توان در یک ماده‌ی همسانگرد، ناهمسانگردی ایجاد نمود و همچنین ناهمسانگردی یک ماده را تشدید کرد. این میدان خارجی می‌تواند آکوستیکی، الکتریکی یا مغناطیسی باشد [۱] که به ترتیب تحت عناوین فوتوآکوستیک، الکترواپتیک و مگنتواپتیک بررسی می‌شوند. در این بین مبحث مگنتواپتیک که بویژه طی دهه‌های اخیر از دو منظر علمی و تکنولوژیکی مورد توجه زیاد واقع شده است، اساس پژوهش پیش‌رو را تشکیل می‌دهد. دانش مگنتواپتیک که اولین مشاهدات تجربی مربوط به آن توسط مایکل فارادی در ۱۸۴۵ م. انجام شد به ارتباط تاثیرگذار بین مواد مغناطیسی و موج الکترومغناطیس اختصاص دارد. میکروسکوپ‌های مغناطیسی، آشکارسازهای جریان‌های گردابی، بازیاب‌های علایم حک شده روی سطوح فلزی، حافظه‌های مگنتواپتیک، دیودها و فیلترهای نوری و برخی مدل‌های نمایشگرهای تصویر، مواردی هستند که بر پایه‌ی این پدیده کار می‌کنند. یکی از ساده‌ترین ابزارهای مبتنی بر این پدیده مدولاتور مگنتواپتیک است که شدت تابش نور را در وسایل ارتباطی و پردازش داده با نور کنترل می‌کند. به این ترتیب که وقتی هیچ میدان مغناطیسی به المان

[1] Dichroism
[2] Birefringence
[3] Optical activity

مگنتواپتیک مدولاتور اعمال نمی‌شود تغییری در نور عبوری مشاهده نمی‌گردد اما بهنگام اعمال میدان، متناسب با شدت آن، از شدت نور هم کاسته می‌شود.

از جمله موادی که خواص مغناطیسی و مگنتواپتیک جالب توجهی از خود نشان می‌دهند فریت‌های اسپینل هستند که فریت کبالت یکی از آنهاست [۲]. سختی و ناهمسانگردی مغناطیسی بالا، مغناطش اشباع قابل قبول و کنترل پذیری دمای کوری، ویژگی‌هایی است که باعث شده فریت کبالت در مغناطیس‌های دائم، حافظه‌های مغناطیسی، سیالات مغناطیسی با کاربردهای پزشکی، کاتالیزورهای شیمیایی، مباحث مگنتوکالریک، مگنتواستریکشن و مگنتواپتیک کاربرد پیدا کند. این سرامیک در دامنه‌های مشخصی از طیف الکترومغناطیسی خواص مگنتواپتیک خوبی از خود نشان می‌دهد که شامل اتلاف الکترومغناطیسی نسبتا کم و اثرگذاری مگنتواپتیک بالاست اگرچه محدودیت عمده، دمای کوری بالای آن است [۳]. از طرف دیگر، کوچک کردن ابعاد ماده تا مقیاس نانو باعث می شود به کلی خواص و رفتار جالب توجه و متفاوتی از آن شاهد باشیم؛ ضمن اینکه می‌توان با تغییر و کنترل پارامترهایی نظیر ترکیب، شکل، اندازه، غلظت و توزیع نانوذرات خواص آن ها را تغییر داد و بهینه کرد که نانوذرات فریت کبالت هم از این قاعده مستثنی نیستند. بسیاری از محققان در حال بررسی خواص، آنالیز، ساخت و به کارگیری نانوذرات مغناطیسی برای کاربردهای جدید در زمینه‌های مهندسی، نانوتکنولوژی، علوم پایه و پزشکی هستند.

باتوجه به کاربردهایی که خواص اپتیکی و مگنتواپتیک فریت کبالت –چه بصورت لایه نازک و کامپوزیت و چه به شکل فروفلوید- دارد و مهمترین آن بحث ذخیره و مخابره اطلاعات [۴و۵] از طریق ادوات مغناطیسی و اپتیکی و همچنین بکارگیری آن در صنایع نظامی و لیزر می‌باشد [۶]، بر آن شدیم تا در این پژوهش گامی مثبت در این راستا برداشته و با بررسی خواص ریزساختاری، مغناطیسی و مگنتواپتیک ترکیبات متنوعی از این ماده در مقیاس نانو، ضمن دنبال کردن وابستگی این خواص به ترکیب شیمیایی، ترکیبی را که در آن بهترین خواص مورد نظر حاصل می‌شوند مشخص کنیم. منظور از تغییر ترکیب، اضافه کردن یک عنصر دیگر –در مقادیر اندک- به ساختار فریت است که در این تحقیق از عناصر افزودنی دیسپروسیم[۱] و هولمیم[۲] استفاده شد. انتخاب دو عنصر یاد شده از آن رو بوده

[۱] Dysprosium
[2] Holmium

است که خواص مغناطیسی آن‌ها بعنوان عناصر نادرخاکی[1]، منحصر بفرد بوده و وارد کردن آن‌ها به شبکه فریت کبالت هم بنابر پیش مطالعات انجام شده اثرات مثبتی برجا می‌گذارد. خواص مغناطیسی یون‌های این دسته از عناصر جدول تناوبی گستره وسیعی دارد: تغییرات ممان مغناطیسی آن‌ها بین ۰ (La^{3+}) و ۱۰/۵ (Dy^{3+}) بوهرمگنتون است. بعلاوه اینکه درجات مختلفی از ناهمسانگردی مغناطیسی را به نمایش می‌گذارند. جفت‌شدگی مغناطش اسپینی-اوربیتالی[2] در این یون‌ها عموما نسبت به فلزات واسطه[3] بسیار بزرگتر است. از طرفی رفتار مغناطیسی و تبعا خواص مگنتواپتیک فریت‌ها تحت تاثیر برهمکنش پادفرومغناطیسی کاتیون‌های Fe^{3+} است که ورود کاتیون‌های RE^{3+} ایجاد پیوند مغناطیسی Fe^{3+}- RE^{3+} می‌کند و نتیجتا خواص گفته شده را تغییر می‌دهد. Dy^{3+} و Ho^{3+} دارای بزرگترین ممان مغناطیسی در بین یون‌های خاکی و واسطه هستند [۷].

روش همرسوبی یکی از روش‌های شیمیایی سنتز مواد به شمار می‌رود که به علت سادگی روش و همگن‌تر بودن محصول روشی مناسب در تهیه نانوذرات فریت می‌باشد. پس با این روش چند ترکیب مشخص از نانو پودر فریت کبالت با اضافه کردن مقادیر مختلف عناصر دیسپروسیم و هولمیم سنتز شده و پس از مطالعات اولیه ریزساختاری شامل ساختار کریستالی، ریخت شناسی ذرات پودر، کم و کیف توزیع کاتیون‌ها در ساختار و پیوند شیمیایی آن‌ها با یکدیگر، تحت اندازه‌گیری‌ها و تحلیل‌های مغناطیسی قرار می‌گیرند. دمای کوری، مغناطش اشباع، ناهمسانگردی مغناطیسی و اتلاف الکترومغناطیسی از مولفه‌هایی هستند که نقش اساسی در ارزیابی و کاربرد یک ماده مگنتواپتیک دارند. پس از آن اقدام به تهیه‌ی لایه نازک[4] از نمونه‌ها به روش PLD[5] شده و برخی خواص مگنتواپتیک این لایه مورد اندازه‌گیری قرار می‌گیرد. در نهایت ارتباط معنی‌دار موجود بین خواص ریزساختاری، مغناطیسی و مگنتواپتیک نمونه‌ها مشخص خواهد شد. پس از آن ضمن روشن شدن تاثیر واردکردن عناصر فوق بر خواص ذکر شده‌ی فریت کبالت، می‌توان بهترین ترکیب را از میان نمونه‌های سنتز شده برای یک کاربرد مشخص مغناطیسی یا مگنتواپتیک انتخاب نمود. کاربرد فریت کبالت در مدولاتورها، موجبرها و حافظه‌های مگنتواپتیک پذیرفته شده و در دست توسعه می‌باشد [۲-۶] و در این راستا

---

[1] Rare-Earth (RE)
[2] Spin-orbit coupling
[3] Transition metals
[4] Thin film
[5] Pulsed Laser Deposition

کسب اطلاعات بیشتر در خصوص اثر تغییر ترکیب شیمیایی بر میزان جذب، چرخش و بطورکلی رفتار مگنتواپتیک این سرامیک در طول موج‌های مختلف ارزشمند است.

فصل دوم:

مروری بر پژوهش های انجام شده

۲- مروری بر پژوهش‌های انجام شده

۲-۱- مروری بر دانش مگنتواپتیک

به عنوان یک تعریف کلی، مگنتواپتیک علمی است که به برهمکنش متقابل مغناطیس و نور یا به عبارت بهتر تاثیر دو طرفه یک ماده مغناطیسی و موج الکترومغناطیس بر یکدیگر می‌پردازد (منظور از ماده مغناطیسی، مغناطیس های دائم یا مواد مغناطش پذیر در میدان مغناطیسی می‌باشد)؛ برهمکنشی که هم پرتو نور و هم ماده‌ی مغناطیسی را تحت تاثیر قرار می‌دهد. در حقیقت در اینجا ناهمسانگردی لازم برای تاثیر بر روی نور از طریق مغناطیس تامین می‌شود. این پدیده برای اولین بار توسط مایکل فارادی[۱] (۱۸۴۵م) [۸] هنگام آزمایش بر روی نور عبوری از شیشه‌ای که بین دو قطب آهنربا قرار گرفته بود کشف شد. در ۱۸۷۳ ماکسول[۲] [۹] اولین گام را در جهت مدل کردن این پدیده برداشت. به فاصله چهار سال جان کِر[۳] [۱۰] اثر مرتبطی را که به اسم خودش نام گرفت کشف کرد. در ۱۸۹۶ مفهوم "تجزیه سطوح انرژی درون ماده تحت میدان مغناطیسی" توسط زیمن[۴] [۱۱] مطرح شد و آزمایشات وی منجر به برقراری یک ارتباط منطقی بین این علم نوپا و فیزیک حالت جامد گشت. دومین قدم در جهت فرموله کردن این مشاهدات مدل هایی بود که درود[۵] و فرزنل[۶] [۱۲] ارائه کردند. در ۱۹۰۷ اثر فارادی در محیط های مایع و گاز مشاهده شد که نتیجه‌ی کارهای وویت[۷]، کاتن[۸] و ماتن[۹] بود [۱۱]. مهمترین رخداد پس از آن گسترش مگنتواپتیک به ناحیه امواج ایکس بود [۱۳]. در ۱۹۳۲ اولین فرمولاسیونی که حاصل نگاه کوانتومی به مگنتواپتیک بود ارائه شد؛ بطور خلاصه در این

---

[1] Michael Faraday
[2] Maxwell
[3] John Kerr
[4] Zeeman
[5] Drude
[6] Fresnel
[7] Voigt
[8] Cotton
[9] Mouton

مدل جفت شدن مغناطیس حاصل از حرکت اسپینی و اوربیتالی الکترون منشا پدیده‌های مگنتواپتیک شناخته شد [۱۲]. توسعه‌ی مکانیک کوانتومی جرقه‌ی انجام آزمایش‌های گسترده‌ی مگنتواپتیک را بر روی گازها و همچنین جامدات دیامغناطیس و پارامغناطیس زد و آزمونی شد بر تئوری اتمی جدید. در دهه ۶۰ موج مطالعات بر روی اپتیک نیمرساناهای مغناطیسی براه افتاد و دریچه‌ی شناخت بهتر ساختار و پیوندهای این دسته مواد پرکاربرد را به روی پژوهشگران گشود [۱۳و۱۴]. در ۱۹۵۲ کشف یک پدیده‌ی جالب، بعد تازه‌ای به علم مگنتواپتیک بخشید: مغناطش فوتو-القایی یا آرایش مغناطیسی ماده با نور [۱۶] که بعدها "اثر فارادی معکوس" نام گرفت و یکی از محورهای تحقیقات در سال‌های اخیر می‌باشد. تحقیقات آرژیرس[1] (۱۹۵۵م) [۱۲] درزمینه کوپلینگ اسپین-اوربیت الکترون و مفهوم تفکیک سطوح انرژی و مطالعات نظری کالاوی[2] (۱۹۷۷م) [۱۷] برروی تانسور دی‌الکتریک فلز آهن و نیکل از کارهای شاخص این حوزه به شمار می‌آیند. بیدر[3] و همکارانش [۹] در ۱۹۸۵ موفق به استفاده از اثر کر در تصویربرداری مغناطیسی از سطح ماده شدند. پس از آنها پژوهشگران بسیاری برروی این کارکرد اثر کر در مد خطی و غیرخطی متمرکز شدند. و در نهایت برای ذکر مهمترین پیشرفت‌های اخیر در این مسیر باید از آشکارسازی فوق حساس اسپین مواد مغناطیسی با استفاده از اثر هال اسپینی، طیف سنجی اغتشاشات خودبخودی اسپین، توسعه اثر فارادی معکوس و تغییر فوق سریع جهت مغناطش مواد با استفاده از آن نام برد [۱۲].

اثرات مگنتواپتیک براساس عبور، بازتاب و جذب نور در ماده به سه نوع مختلف تقسیم می‌شوند. اثرات گروه اول عبارتند از فارادی، وویت و کاتن-ماتن. اثر کر که به حالت بازخورد نور از ماده اشاره دارد خود شامل سه مد قطبی و طولی و عرضی می‌شود. در گروه آخر یعنی پدیده‌های جذبی نیز اثری موسوم به دو رنگی مغناطیسی را داریم که خود دو مد دایره‌ای و خطی را شامل می‌شود. کاربردهای اثرات مگنتواپتیک موارد متعدد و متنوعی را پوشش می‌دهد:

- تصویر برداری از حوزه‌های مغناطیسی و دینامیک اسپین مواد
- تجهیزات مخابراتی از جمله موج بَرها و تارهای نوری
- حافظه‌های مگنتواپتیک

[1] Argyres
[2] Callaway
[3] Bader

- وسایل مگنتواپتیک بصورت فیلم نازک شامل مدولاتور، سیرکولاتور، دفلکتور، سوئیچ، یکسوساز نوری، فیلتر سیگنال الکترومغناطیسی، نمایشگر تصویر، حسگر میدان مغناطیسی و از این قبیل
- آشکارسازی جریان‌های گردابی و ادی
- بازیابی علایم حک شده روی سطوح فلزی

که هر کدام از این موارد تنها منحصر به حوزه مگنتواپتیک می‌باشد.

کاربردی‌ترین پدیده‌های مگنتواپتیک اثر فارادی و کر هستند. یک پالس الکترومغناطیسی می‌تواند در عبور از ماده مغناطیسی و همچنین در بازخورد از سطح آن یک برهمکنش مگنتواپتیک انجام دهد که در حالت نخست، اثر فارادی و در حالت دوم، اثر کر را خواهیم داشت. محدودیتی که در مورد اثر فارادی داریم این است که نور همچنان که داخل ماده نفوذ می‌کند جذب شده دچار اتلاف می‌شود؛ بنابراین از اثر فارادی نمی‌توان برای مطالعه‌ی نمونه‌های ضخیم بهره جست. روشن است که این ضخامت به انرژی فوتون تابیده شده و جنس ماده وابسته است. موردی که در مطالعه‌ی اثر کر بایستی به آن دقت شود صیقلی بودن و درصد انعکاس، جذب و عبور نور در برخورد با سطح است. اگر انعکاس به میزان کافی نباشد سیگنال قابل دریافت و بررسی نخواهد بود. تفاوت مهم دیگر بین این دو پدیده شدت اثر یا به اصطلاح چرخشی است که بدست می‌آید که در اثر فارادی بسیار شدیدتر می‌باشد [۱۸] درحالیکه در اثر کر به ندرت چرخشی به بزرگی چند درجه حاصل می‌شود؛ ولی به هرحال هرکدام خصوصیات و کارکردهای خود را دارند. اثر کر اساس عملکرد درایوهای مگنتواپتیک خواندن / نوشتن داده است. بعلاوه اینکه میکروسکوپ‌های کر که تنها ابزار کارآمد آشکارسازی و رویت حوزه‌های مغناطیسی مواد و فصل مشترک آن‌ها می‌باشند بر این اساس ساخته شده‌اند [۸و۱۸]. اثر فارادی بطور طبیعی در فضای بین ستاره‌ای و اتمسفر زمین وجود دارد و از این موضوع جهت تشخیص و اندازه‌گیری میدان‌های مغناطیسی در هوا و فضا استفاده می‌شود [۲۰]. مطالعه اسپین الکترون‌های مواد، اندازه-گیری جرم و نسبت بار به جرم حامل‌های بار آزاد، تنظیم و تغییر پارامترهای موج الکترومغناطیسی و ایجاد یک پالس معنی‌دار برای انتقال و ذخیره اطلاعات، پژوهش بر روی تک لایه‌ها و چندلایه‌های مغناطیسی نازک مواد مختلف و کنترل و بهینه‌سازی ترانسفورماتورها از کاربردهای مهم اثر فارادی به شمار می‌آیند.