دانشگاه صنعتی شیراز

دانشکده مهندسی و علم مواد

عنوان پایان نامه:

بررسی خواص ساختاری، مغناطیسی و الکتریکی نانوذرات فریت بیسموت آلاییده شده با عنصر گادولونیوم سنتز شده به روش هم‌رسوبی

پایان‌نامه کارشناسی ارشد

در رشته مهندسی مواد –گرایش الکتروسرامیک

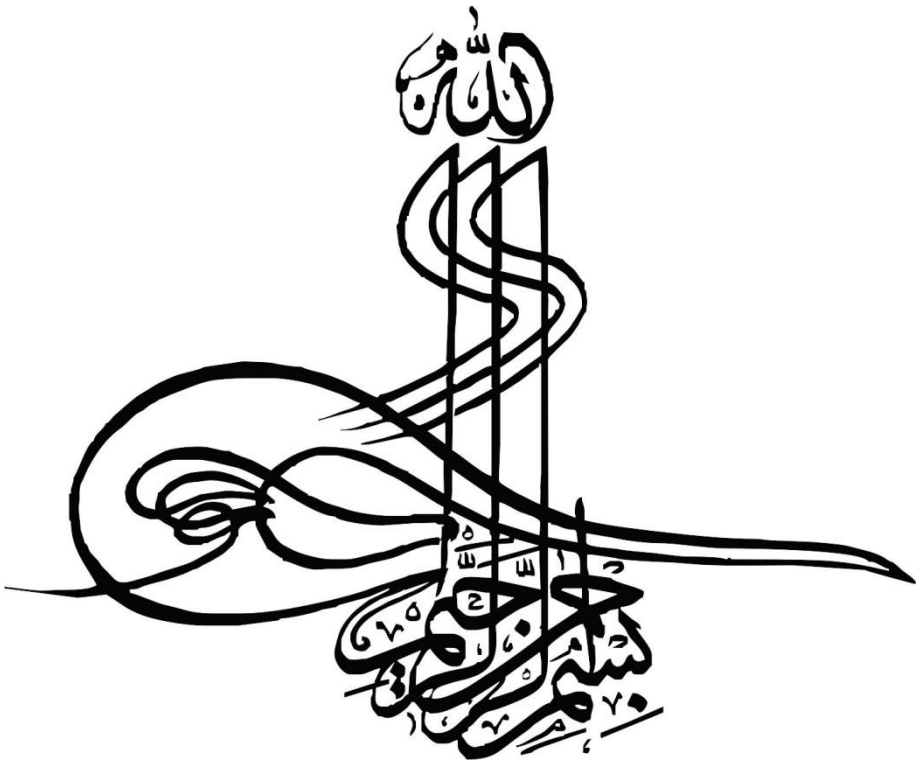
نگارش:

سجاد محمدی

استاد راهنما:

دکتر هومان شکراللهی

آبان ماه ۱۳۹۲


الله
بسم الله الرحمن الرحيم

بسمه تعالی

بررسی خواص ساختاری، مغناطیسی و الکتریکی نانو ذرات فریت بیسموت آلاییده شده با عنصر گادولونیوم سنتز شده به روش هم‌رسوبی

پایان نامه ارائه شده به عنوان بخشی از فعالیتهای تحصیلی

توسط:

سجاد محمدی

برای اخذ درجه کارشناسی ارشد

گروه مهندسی و علم مواد دانشگاه صنعتی شیراز

ارزیابی پایان نامه توسط هیات داوران با درجه: **عالی**

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 (استاد داور).....

مدیر امور آموزشی و تحصیلات تکمیلی دانشگاه: نصرت‌الله علی‌قنبری.....

حق چاپ محفوظ و مخصوص به دانشگاه صنعتی شیراز است.

تقدیم به:

خدایی که آفرید،

جهان را، انسان را، عقل را، علم را، معرفت را، عشق را

و به کسانی که عشقشان را در وجودم دمید.

از استادان گرامیم

جناب آقای دکتر شکراللهی و جناب آقای دکتر مشرقی سپاسگذارم چراکه بدون راهنمایی های ایشان، تامین این

پایان نامه بسیار مشکل می نمود.

چکیده:

بررسی خواص ساختاری، مغناطیسی و الکتریکی نانوذرات فریت بیسموت آلاییده شده با عنصر گادولونیوم سنتز شده به روش هم‌رسوبی

نگارش:

سجاد محمدی

فریت بیسموت $BiFeO_3$ (BFO) را می‌توان تنها اکسید مولتی فروییک دانست که در دمای محیط می‌تواند دو خاصیت مغناطیسی ضعیف و فروالکتریکی قوی را همزمان از خود نشان دهد. به دلیل خواص مغناطیسی ضعیف این ماده، در سالهای اخیر پژوهشگران شروع به تحقیقات گسترده در زمینه افزایش خواص مغناطیسی و همچنین بهبود خواص دی‌الکتریک این ماده نموده اند که از آن جمله می توان به آلاییدن عناصر شبکه فریت بیسموت با عناصر دیگر نظیر عناصر کمیاب خاکی اشاره کرد. گادولونیوم یکی از عناصر کمیاب خاکی می‌باشد که در این تحقیق تاثیر آن بر فریت بیسموت مورد بررسی قرار گرفته است. در این تحقیق نانوبلورهای سرامیکی فریت بیسموت آلاییده شده با عنصر گادولونیوم با فرمول عمومی $Bi_{(1-x)}Gd_xFeO_3$ (BGFO) (x= ۰ و ۰/۰۵ و ۰/۱۰ و ۰/۱۵) به‌روش هم‌رسوبی شیمیایی در دمای محیط سنتز گردید و سپس با استفاده از دو روش تفجوشی معمولی و تفجوشی ماکروویو نمونه‌های حجیم ساخته شد. خواص ساختاری و خواص مغناطیسی ماده به ترتیب با استفاده از آزمون پراش اشعه ایکس و دستگاه مغناطش متر لرزشی مورد تحلیل قرار گرفت. نتایج بررسی ساختاری نشان داد افزودن گادولونیوم تا مقدار حدود x=۰/۱۰ تقریبا باعث حذف فازهای ناخالصی غنی از آهن و بیسموت در کنار تشکیل فاز اصلی می‌گردد. همچنین افزایش مقدار x تا ۰/۱۵، باعث شروع تغییر ساختار کریستالی ماده از رومبوهدرال به اورتورمبیک خواهد گردید. تصاویر میکروسکوپ الکترونی روبشی تحت گسیل میدانی نشان داد، تفجوشی به روش ماکروویو باعث جلوگیری از رشد بی‌رویه دانه‌ها، که عامل مخرب در خواص دی‌الکتریک ماده به شمار می‌آید، گردیده است. بررسی های مغناطیسی نیز نشان داد که افزودن گادولونیوم تا ۵ برابر باعث بهبود مغناطش اشباع ماده شده است، بطوریکه از(emu/g) ۰/۱۳ برای نمونه خالص تا حدود (emu/g) ۰/۶۳ برای نمونه $Bi_{0/85}Gd_{0/15}FeO_3$ افزایش یافته است.

کلید واژه‌ها: فریت بیسموت، نانوبلورهای سرامیکی، مولتی فروییک، آلاییده شده با گادولونیوم، خواص مغناطیسی و فروالکتریکی.

فهرست مطالب

عنوان ..... صفحه

فصل۱ : مقدمـــه ۱

پیشگفتار ۲

۱-۱. پیشینه تحقیق ۴

۱-۲. هدف از تحقیق ۶

فصل۲ :زمینه موضـــوع و مروری بر پژوهش‌ها ۸

۲-۱. مقدمه‌ای بر ویژگی‌های مواد ۹

۲-۱-۱. قطبیدگی و خاصیت فروالکتریک ۹

۲-۱-۲. فرومغناطیس ۱۲

۲-۱-۳. پیزوالکتریسیته ۱۵

۲-۲. مقدمه‌ای بر فریت بیسموت و $Bi_{(1-x)}Gd_xFeO_3$ ۱۷

۲-۲-۱. ساختار کریستالی ۱۷

۲-۲-۲. خواص فروالکتریکی ۱۹

۲-۲-۳. خواص پیزوالکتریک ۲۳

۲-۲-۴. خواص مغناطیسی ۲۵

۲-۲-۵. حوزه و دیواره‌حوزه‌ها ۲۹

۲-۲-۶. تزویج مگنتوالکتریکی ۳۱

۲-۲-۷. روشهای سنتز $BiFeO_3$ ۳۲

۲-۲-۸. روش‌های تفجوشی ۳۹

فصل۳ : روش انجام آزمـــایش ۴۴

۳-۱. مواد اولیه وتجهیزات مورد استفاده ۴۵

۳-۲. سنتز به روش هم‌رسوبی ۴۶

۳-۳. تفجوشی ۴۸

۳-۴. آزمون‌ها و اندازه‌گیری خواص ۴۸

فصل۴ :بحث و نتـــایج ۵۱

۴-۱. آنالیز آزمون پراش اشعه ایکس ۵۲
۴-۲. آنالیز تصاویر میکروسکوپ الکترونی ۵۹
۴-۳. آنالیز آزمون طیف سنجی پراکندگی انرژی اشعه ایکس(EDS) ۶۶
۴-۴. آنالیز خواص مغناطیسی ۶۸
۴-۵. اندازه‌گیری ثابت دی‌الکتریک وتلفات الکتریکی ۷۲
۴-۶. بررسی منحنی‌های پسماند الکتریکی ۷۵
فصل۵ :نتیجه‌گیری وپیشنهادات ۷۷
۵-۱. جمع‌بندی و نتیجه‌گیری ۷۸
۵-۲. راه آینده ۷۹
فهرست مراجع ۸۰

فهرست شکل‌ها

عنوان شکل..... صفحه

شکل۲-۱. رفتار و جهت فروالکتریکی ناشی از تغییر جهت میدان. P قطبش‌پذیری الکتریکی، E میدان الکتریکی اعمالی و P_s قطبش‌پذیری خودبه‌خودی ماده در غیاب میدان خارجی می‌باشد[۲۶]..... ۱۰

شکل۲-۲. ساختار مکعبی در دماهای بالا(سمت چپ) ؛ ساختار تتراگونال در دمای پایین (سمت راست) برای ساختار فروالکتریکی تیتانات سرب[25] ۱۲

شکل۲-۳. نمای شماتیک نظم‌های متفاوت دوقطبی در مواد مغناطیسی (a) پارامغناطیس (b) فرومغناطیس (c) آنتی‌فرومغناطیس (d) فری‌مغناطیس[۲۹]..... ۱۴

شکل۲-۴. مکانیزم تبادلی کرامرز-آندرسون برای ایجاد خاصیت آنتی‌فرومغناطیس در مواد..... ۱۵

شکل۲-۵.a) پیزوالکتریک مستقیم b) پیزوالکتریک معکوس[۲۸]. ۱۶

شکل۲-۶. ساختار کریستالی $BiFeO_3$. a) ارتباط بین جهت‌ها در واحدهای شبکه (c) مکعبی (r)رومبوهدرال و (h) هگزاگونال. b) سلول واحد هگزاگونال که اتم های بیسموت با رنگ روشن و هشت‌وجهی‌های اکسیژن با رنگ تیره‌تر نشان داده شده..... ۱۸

شکل۲-۷. قطبش‌پذیری در ساختار پروسکایت $BiFeO_3$ بوسیله اختلاف در جابجاییs و t که به ترتیب جابجایی کاتیون‌های بیسموت و آهن در شبکه می‌باشد. [۴۱]..... ۲۱

شکل۲-۸. ارتباط دمای کوری فروالکتریکیT_c با میزان آلایش عنصر Nd در فریت بیسموت[۳۷]..... ۲۲

شکل۲-۹. قطبش‌پذیری در ساختار پروسکایت در اثر اعمال میدان خارجی(بالا) و در اثر اعمال تنش مکانیکی(پایین)[۲۵]..... ۲۴

شکل۲-۱۰. تغییرات دمای کوری بر خاصیت پیزوالکتریک‌های سرامیکی[۴۴]..... ۲۵

شکل۲-۱۱. ساختار و جهت‌گیری آنتی‌فرومغناطیسی G-type. در این ساختار ممان‌های مغناطیسی در هر مکان برخلاف جهت ممان های مجاور خود چه در لایه ها و چه در زیرلایه‌ها می‌باشد[۴۶]..... ۲۶

شکل۲-۱۲.(a) مکانیزم آنتی‌فرومغناطیس با اسپین‌های مغناطیسی مخالف بین دو اتم آهن (b).ساختار چرخش-یافته، یک ممان مغناطیسی کوچک ناشی از اختلاف زاویه بین اسپین‌های مغناطیسی ایجاد می‌کند که با M نشان داده شده است..... ۲۷

شکل۲-۱۳. ممان‌های مغناطیسی ضعیف ناشی از چرخش اسپین‌های مغناطیسی که در یک تناوب ۶۲-۶۴ نانومتری تکرار می‌شوند[۲۱]..... ۲۷

شکل۲-۱۴. حلقه پسماند مغناطیسی برای نمونه فریت بیسموت ۱۱۰-۱۶۰ نانومتری و نمونه‌های حجیم[۳۹]..... ۲۹

شکل۲-۱۵. حرکت دیواره‌حوزه ها متناسب با سوئیچ فروالکتریکی[۲۵]..... ۳۰

شکل۲-۱۶. تصویر دیواره‌حوزه‌ی 71^{o} در فریت بیسموت. دیواره‌حوزه‌ی 71^{o} با رنگ خاکستری روشن و جهت قطبش‌پذیری با بردار P و صفحه اسپین‌های چرخش یافته مغناطیسی در شکل با رنگ خاکستری تیره نمایش داده شده است[۲۱]. ۳۲
شکل۲-۱۷. دیاگرام فازی فریت بیسموت خالص[۵۴]. ۳۷
شکل۲-۱۸. تصویر میکروسکوپ الکترونی گسیل میدانی بعد از تف‌جوشی به روش معمولی در کوره جعبه‌ای برای نمونه $Bi_{0/90}Gd_{0/10}FeO_3$. ۴۲
شکل۲-۱۹. تصویر میکروسکوپ الکترونی گسیل میدانی بعد از تف‌جوشی به روش معمولی در کوره جعبه‌ای برای نمونه $Bi_{0/90}Gd_{0/10}FeO_3$. ۴۲
شکل۳-۱. تصویر شماتیک از سنتز فریت بیسموت بروش هم‌رسوبی.(a) روش قدیمی (b) روش بهینه شده [۵۷]. ۴۷
شکل۳-۲. مدار ساویر- تاور برای اندازه گیری حلقه‌ی پسماند الکتریکی[۴۸]. ۵۰
شکل۴-۱. الگوی پراش اشعه ایکس نمونه خالص فریت بیسموت تولید شده به روش هم‌رسوبی. ۵۳
شکل۴-۲. الگوی پراش اشعه ایکس نمونه خالص فریت بیسموت تولید شده به روش سیترات-نیترات. ۵۳
شکل۴-۳. الگوی پراش اشعه ایکس برای نانوذرات $Bi_{0/95}Gd_{0/05}FeO_3$. ۵۵
شکل۴-۴. الگوی پراش اشعه ایکس برای نانوذرات $Bi_{0/90}Gd_{0/10}FeO_3$. ۵۶
شکل۴-۵. الگوی پراش اشعه ایکس برای نانوذرات $Bi_{0/85}Gd_{0/15}FeO_3$. ۵۶
شکل۴-۶. الگوی پراش اشعه ایکس برای نانوذرات $Bi_{0/80}Gd_{0/20}FeO_3$. ۵۷
شکل۴-۷. الگوهای پراش اشعه ایکس $Bi_{1-x}Gd_xFeO_3$ سنتزشده به روش همرسوبی. تغییر مکان پیک‌های ایجاد شده به سمت راست در اثر تغییر مقدار آلایش اتفاق افتاده است. ۵۸
شکل۴-۸. تصویر میکروسکوپ الکترونی تحت گسیل میدانی(FESEM) قبل از تف‌جوشی، برای نمونه فریت بیسموت خالص سنتز شده به روش هم‌رسوبی. ۶۰
شکل۴-۹. تصویر میکروسکوپ الکترونی تحت گسیل میدانی(FESEM) قبل از تف‌جوشی، برای نمونه $Bi_{0/95}Gd_{0/05}FeO_3$ سنتز شده به روش هم‌رسوبی. ۶۱
شکل۴-۱۰. تصویر میکروسکوپ الکترونی تحت گسیل میدانی(FESEM) قبل از تف‌جوشی، برای نمونه $Bi_{0/90}Gd_{0/10}FeO_3$ سنتز شده به روش هم‌رسوبی ۶۱
شکل۴-۱۱. تصویر میکروسکوپ الکترونی تحت گسیل میدانی(FESEM) قبل از تف‌جوشی، برای نمونه $Bi_{0/85}Gd_{0/15}FeO_3$ سنتز شده به روش هم‌رسوبی ۶۲
شکل۴-۱۲. تصویر میکروسکوپ الکترونی تحت گسیل میدانی(FESEM) بعد از تف‌جوشی به روش ماکروویو، برای نمونه فریت بیسموت خالص. ۶۳
شکل۴-۱۳. تصویر میکروسکوپ الکترونی تحت گسیل میدانی(FESEM) بعد از تف‌جوشی به روش ماکروویو، برای نمونه $Bi_{0/95}Gd_{0/05}FeO_3$ ۶۳

شکل۴-۱۴. تصویر میکروسکوپ الکترونی تحت گسیل میدانی(FESEM) بعد از تف‌جوشی به روش ماکروویو، برای نمونه $Bi_{0/90}Gd_{0/10}FeO_3$ ۶۴
شکل۴-۱۵. تصویر میکروسکوپ الکترونی تحت گسیل میدانی(FESEM) بعد از تف‌جوشی به روش ماکروویو، برای نمونه $Bi_{0/85}Gd_{0/15}FeO_3$ ۶۴
شکل۴-۱۶. طیف سنجی پراکندگی انرژی اشعه ایکس(EDS) برای نمونه فریت بیسموت خالص. ۶۷
شکل۴-۱۷. طیف سنجی پراکندگی انرژی اشعه ایکس(EDS) برای نمونه $Bi_{0/95}Gd_{0/05}FeO_3$. ۶۷
شکل۴-۱۸. طیف سنجی پراکندگی انرژی اشعه ایکس(EDS) برای نمونه $Bi_{0/90}Gd_{0/10}FeO_3$. ۶۸
شکل۴-۱۹. طیف سنجی پراکندگی انرژی اشعه ایکس(EDS) برای نمونه $Bi_{0/85}Gd_{0/15}FeO_3$. ۶۸
شکل۴-۲۰. حلقه‌ی پسماند مغناطیسی نانوذرات فریت بیسموت خالص سنتز شده به روش هم‌رسوبی. ۶۹
شکل۴-۲۱. حلقه‌های پسماند مغناطیسی نانو ذرات $Bi_{(1-x)}Gd_xFeO_3$ با مقادیر مختلف گادولونیوم..... ۷۰
شکل۴-۲۲. رفتار مغناطیسی نانو ذرات $Bi_{(1-x)}Gd_xFeO_3$ با مقادیر مختلف گادولونیوم در مجاورت میدان صفر ۷۱
شکل۴-۲۳. تغییرات ثابت دی‌الکتریک نسبت به فرکانس در دمای محیط برای $Bi_{(1-x)}Gd_xFeO_3$ ، در نمونه-های تف‌جوشی شده ۷۳
شکل۴-۲۴. تغییرات تانژانت تلفات نسبت به فرکانس در دمای محیط برای $Bi_{(1-x)}Gd_xFeO_3$ ، در نمونه‌های تف‌جوشی شده ۷۳
شکل۴-۲۵. حلقه‌ی پسماند فروالکتریکی برای $Bi_{(1-x)}Gd_xFeO_3$ در نمونه‌های تف‌جوشی شده ۷۶

فهرست جدول‌ها

عنوان جدول ..... صفحه

جدول۲-۱. تاثیر جانشینی عناصر مختلف کمیاب خاکی بجای بیسموت بر دمای کوری فروالکتریکی در شبکه فریت بیسموت [۳۷]..... ۲۳
جدول۲-۲. خلاصه‌ای از روش‌های سنتز فریت بیسموت[۴۸]..... ۳۵
جدول۴-۱. اندازه بلورک‌ها به دست آمده از الگوهای پراش اشعه ایکس در فریت بیسموت خالص و آلائیده شده با گادولونیوم ۵۵
جدول۴-۲. چگالی نمونه‌های حجیم فریت بیسموت آلاییده شده با عنصر گادولونیوم تف جوشی شده به روش ماکروویو..... ۶۵
جدول۴-۳. آنالیز رفتار مغناطیسی نانوذرات فریت بیسموت آلائیده با عنصر گادولونیوم..... ۷۱

فصل۱ : مقدمـــــــه

پیشگفتار

افزایش تقاضا برای بهبود کارایی و سرعت در دستگاه‌های حافظه الکترونیکی به صورت همیشگی، از مهم‌ترین دلایل علاقه‌مندی و مطالعه بر روی مواد مرتبط با این فن‌آوری می‌باشد[۱]. شاخه جدیدی که در این زمینه به تازگی مورد توجه قرار گرفته است، حافظه‌های جانبی تصادفی فروالکتریکی[۱] می‌باشد. این نوع حافظه ها ما را قادر می‌سازد تا سلول حافظه، با اندازه کوچک‌تر و همچنین حافظه‌های چهار حالته با استفاده از خواص ترکیبی دوقطبی‌های الکتریکی و مغناطیسی ایجاد نماییم[۲, ۳]. پدیده تزویج الکترومغناطیس[۲][۴] که بواسطه وابستگی خواص فروالکتریک و مغناطیس در برخی مواد بوجود می‌آید، باعث می‌شود که بتوان نوشتن اطلاعات برروی حافظه‌ها به صورت الکتریکی و خواندن آن‌ها را به صورت مغناطیسی انجام شود. از آنجا که نوشتن داده‌ها توسط قطبیدگی الکتریکی سریع‌تر از قطبیدگی مغناطیسی رخ می‌دهد، داده‌ها به صورت فروالکتریکی در آن‌ها نوشته و چون خواندن داده‌ها به صورت مغناطیسی با سهولت بیشتر و بدون تخریب اطلاعات رخ می‌دهد، اطلاعات به کمک این پدیده خوانده می‌شود[۵, ۶].

موضوع مهم دیگر در حوزه مهندسی و علم مواد که در سال‌های اخیر مورد توجه قرار گرفته است، ساخت مواد مولتی فروییک[۳] با خاصیت پیزوالکتریک[۴] و خالی از سرب می‌باشد. موادی که امروزه برای کنترل دستگاه‌های الکترومکانیکی مانند حسگرها و مبدل‌ها مورد استفاده قرار می‌گیرد، مواد سرب-زیرکنات-تیتانات[۵] می‌باشد. اما استفاده از سرب در تولیدات صنعتی به دلیل حضور در لیست مواد خطرناک برای سلامتی انسان‌ها تحت مقررات سخت قرار گرفته است[۷, ۸]. هم‌اکنون اتحادیه اروپا و کشورهای زیادی استفاده از پیزوالکتریک‌های سرب‌دار را محدود نموده و در تلاش برای جایگزین نمودن آنها می‌باشند[۹].

به راحتی می‌توان نتیجه‌گیری کرد که سرمایه گذاری و نوآوری در زمینه هایی که اشاره شد، می‌تواند علاقه‌مندی چشم‌گیری را در زمینه های علمی و اقتصادی به خود معطوف نماید.

فریت بیسموت با فرمول عمومی $BiFeO_3$ (BFO) را می‌توان تنها ماده‌ی اکسیدی دانست که می‌تواند در دمای محیط هر دو خاصیت مغناطیسی و فروالکتریکی را از خود نشان دهد. به

---

۱ Ferroelectric Random Access Memory(FeRAM)

۲ Electromagnetic coupling

۳ Multiferroics

۴ Pizoelectric

۵ Lead(Pb) Zirconate Titanate (PZT)

همین منظور است که فریت بیسموت بخش اعظم پژوهش‌ها و تحقیقات در زمینه مواد مولتی-فروییک را تا به امروز به خود اختصاص داده است[۱۰]. مواد مولتی فروییک به دسته‌ای از مواد گفته می‌شود که می‌توانند دو یا چند نظم فروییکی را همزمان دارا باشند. نظم‌های فروییکی شامل چهار نظم فرومغناطیس[۱]، نظم فروالکتریک، نظم فروالاستیک[۲] و نظم فروتروییدیک[۳] می‌باشد.

در مولتی‌فروییک‌ها با حضور چند نظم از نظم‌های فروییکی به طور همزمان، چندین حالت مغناطش، قطبیدگی، الاستیکی و تروییدیکی به وجود خواهد آمد . استفاده از ترکیب این نظم‌ها، در صورت کاربردی شدن، راندمان کاری این مواد را به شدت افزایش می‌دهد. چنانچه در یک حافظه مولتی‌فروییک نظم فروالکتریکی و فرومغناطیس با هم وجود داشته باشد، یک جفت‌شدگی[۴] قوی میانشان ایجاد خواهد شد که مزیت‌های هر دو حافظه‌ی فرومغناطیسی و فروالکتریکی را یکجا دارا می‌باشد و علاوه بر آن معایب همدیگر را نیز همپوشانی می‌نمایند. همچنین سازگاری فریت بیسموت با Si و SiO_2 ،که به عنوان مواد پایه در صنعت الکترونیک مدرن مورد استفاده قرار می‌گیرند، باعث شده $BiFeO_3$ و ترکیبات جانبی آن جایگاه بسیار والایی برای معرفی و استفاده در تولید انبوه و صنعتی به خود اختصاص دهند[۱].

علی رغم اینکه هنوز تحقیقات در زمینه کاربردی‌سازی خواص مولتی‌فروییک فریت بیسموت در شاخه اسپینترونیک[۵] به نتایج نهایی نرسیده اما درواقع علاقه‌مندی‌های جدید بر روی این ماده در آخرین پژوهش‌هایی که توسط آقای رامش[۶] و همکاران [۱۱] در سال ۲۰۰۳ انجام گرفت، ایجاد شده است، بطوریکه آنها توانستند برای فریت بیسموت خواص مغناطیسی بالا و قطبش‌پذیری بسیار خوب تا ۱۵ برابر نمونه‌های حجیم[۷] را در تحقیقات خود گزارش نمایند. همچنین محققان دیگر[۱۲, ۱۳] نیز توانستند در زمینه عملکرد همزمان خواص فروالکتریکی و مغناطیسی و تزویج مگنتوالکتریکی در این ماده پرداخته و به بررسی بیشتر پدیده جفت‌شدگی الکترومغناطیس در این ماده بپردازند.

در این پژوهش نیز که به منظور بهبود خواص مگنتوالکتریک در فریت بیسموت انجام گرفته

---

۱ Ferromagnetic

۲ Ferroelastic

۳ Ferrotroidicity

۴ Coupling

۵ Spintronic

۶ Ramesh

۷ Bulk

است، نانوبلورهای فریت بیسموت آلاییده شده با عنصر گادولونیوم با درصد های مولی۰ و ۵ و ۱۰ و ۱۵ با استفاده از روش هم‌رسوبی شیمیایی فرآوری گردید. به منظور بررسی مفیدتر تغییرات فازی، نمونه با جانشینی ۲۰ درصد مولی عنصر آلاینده نیز تهیه و در بررسی خواص ساختاری مورد استفاده قرار گرفت. سنتز به روش هم‌رسوبی یکی از روش‌های ساده و کم‌هزینه و در عین حال مناسب برای سنتز فریت بیسموت به لحاظ کاستن از درصد فازهای ثانویه می‌باشد. دمای تبخیر پایین بیسموت، باعث خروج بیسموت از شبکه در دماهای بالا می‌گردد[۱۰]، بنابراین کاهش مقدار عنصر بیسموت باعث تغییر در استوکیومتری واکنش گردیده و سبب تولید فازهای ثانویه در پودر سنتز شده می‌گردد. در روش هم‌رسوبی به واسطه انجام واکنش در دمای محیط، کاهش خروج بیسموت از شبکه وکاستن از فازهای ثانویه نامطلوب در کنار $BiFeO_3$ را خواهیم داشت. در فصل بحث و نتایج به بررسی بیشتر در مورد مقدار فازهای ثانویه در دو روش مورد آزمایش برای سنتز فریت بیسموت پرداخته خواهد شد.

یکی از محدودیت‌هایی که پیش روی تولید نمونه‌های حجیم از نانوذرات فریت بیسموت وجود دارد ، تف‌جوشی و ساخت نمونه های حجیم با چگالی بالا و در عین حال جلوگیری از رشددانه‌ی بی‌رویه در این ماده می‌باشد که باعث تخریب خواص دی‌الکتریک می‌گردد. روش تف‌جوشی ماکروویو روش مورد استفاده در این تحقیق می‌باشد که برای تولید نمونه‌های حجیم با چگالی بالا و رشد دانه کم مورد استفاده قرار گرفته است. استفاده از این روش در این تحقیق باعث بهبود خواص الکتریکی و افزایش چشمگیر در ثابت دی‌الکتریک ماده گردیده است.

۱-۱. پیشینه تحقیق

ایده اولیه در مورد اینکه کریستال‌ها می توانند به طور همزمان خاصیت مغناطیسی و الکتریکی (مولتی فرویک) داشته باشند توسط پی‌یر کوری[۱] در قرن ۱۹ میلادی ارائه گردید[۱۰]. در سال ۱۹۲۰ میلادی بعد از کشف‌های جدید در زمینه سوییچ‌زنی در برخی از مواد فروالکتریک، تلاش هایی توسط پری‌یر[۲] برای پیشنهاد اولین ماده مولتی فرویک انجام گرفت ولی موادی که پیشنهاد داده شد ترکیبات نیکل بوده که امروزه دریافته‌اند که وجود خواص مولتی‌فرویکی در آن غیرممکن می‌باشد[۱۴, ۱۵]. بعد از آن تحقیقات در مورد مواد

۱ Pierre Curie

۲ Perrier

مولتیم‌فروییک در آزمایشگاه‌ها به نتیجه‌ای نرسید و تنها در سال ۱۹۵۹ آقای ژیالوشینسکی[۱] توانست خاصیت مگنتوالکتریکی مواد را به صورت رابطه‌ای خطی با انرژی آزاد بیان کند[۱۶].

$$G(P,M,T)=\alpha_{ij}P_iM_j \qquad (۱-۱)$$

در این رابطه P قطبش‌پذیری الکتریکی و M مغناطش‌پذیری ماده می‌باشد. اگرچه Cr_2O_3 یک ماده پارالکتریک و آنتی فرومغناطیس بود اما پیش‌بینی این رابطه در مورد خواص فروالکتریکی و مغناطیسی با نتایج تجربی بدست آمده از آن که توسط آستروف[۲] بدست آمد، مطابقت داشت[۱۷]. می‌توان گفت بعد از آن تا چند سال گزینه‌ی مناسبی برای انتخاب به عنوان مولتی‌فروییک وجود نداشت تا اینکه آقای اشمید[۳] کار بر روی بروسایدها[۴] را به عنوان اولین ماده مولتی‌فروییک شناخته شده شروع کرد ولی این ماده تنها در دماهای بسیار پایین این خاصیت را از خود نشان می‌داد[۱۸] و عملاً استفاده کاربردی از آن امکان‌پذیر نبود.

آقای اسمولنسکی[۵] وهمکاران در لنینگراد که از سال ۱۹۵۹ تحقیقات خود را برروی فریت بیسموت $BiFeO_3$ آغاز کرده بودند توانستند سرانجام به خواص مولتی‌فروییک این ماده پی ببرند[۱۹] و فریت بیسموت را به عنوان تنها ماده مولتی‌فروییک که در دمای محیط می‌تواند این خواص خود را در خود حفظ کند، معرفی نمودند. آنها همچنین دریافتند به علت اینکه رسانایی زیادی در این ماده وجود دارد استفاده کاربردی از آن در ساخت قطعات کاربردی امکان پذیر نیست[۲۰]. آنها تلاش نمودند تا با آلاییدن عناصر مختلف در مکان های A و B در ساختار کریستالی ABO_3 از این ماده استفاده کاربردی نمایند اما تحقیقات آنها به نتیجه ای نرسید و منجر به استفاده کاربردی از این ماده نشد. بعد از آن تا چندین سال پیشرفت در فعالیت های آزمایشگاهی انجام نشد تا اینکه در سال ۲۰۰۳ آقای رامش[۶][۱۱] وهمکاران با پژوهشی که برروی فریت بیسموت به صورت لایه نازک انجام دادند، توانستند بهبود چشمگیری در خواص این ماده ایجاد نمایند و قطبیدگی باقی‌مانده[۷] الکتریکی P_r این ماده را تا ۱۵ برابر نسبت به اعدادی که برای نمونه‌های حجیم گزارش شده بود افزایش دهند. همچنین مغناطش‌پذیری

---

۱ Dzyaloshinskii

۲ Astrov

۳ Schmid

۴ Boracites

۵ Smolenskii

۶ Ramesh

۷ Remnant polarization

ایجاد شده در این ماده تا ۱ بورمگنتون[۱] μ_B در واحد شبکه گزارش شد. تک کریستال رشدیافته، تولید شـده از $BiFeO_3$ در سال ۲۰۰۶ مقدار بالایی از قطبیدگی الکتریکی، در حدود لایه نازک این ماده را نشـان داد و نشـان داد که قطبش‌پذیری بالا در این ماده یک ویژگی ذاتی این ماده می‌باشد[۲۱-۲۳]. در سال‌های اخیر نیز به صورت متعدد مروری بر پژوهش‌های گذشته و بیان مبانی نظری در مورد خواص فریت بیســـموت ارائه گردیده که از آن جمله می‌توان به پژوهش دکتر شـکراللهی و همکاران[۲۴] و آقای کاتالان[۲] و همکاران [۱۰] اشـاره نمود. علاقه‌مندی به تشریح مبانی فیزیکی در تبیین خواص منحصربفرد فریت بیسموت از یک طرف و پیشرفت‌های انجام شده در سال ۲۰۰۳ و بهبود چشمگیر خواص مولتی فرویکی در این ماده از طرف دیگر ، امیدواری برای اسـتفاده کاربردی از این ماده را بیش از گذشـته نموده و زمینه‌سـاز تحقیقات و پژوهش‌های جدید در این زمینه گردیده است.

۱-۲. هدف از تحقیق

هدف اصـلی از انجام این تحقیق، بررسـی خواص سـاختاری، مغناطیسـی و دی‌الکتریک در فریت بیسـموت پس از افزودن عنصـر گادولونیوم و جانشینی آن به جای عنصر بیسموت دراین شـبکه می‌باشد. همچنین افزایش مغناطش اشباع ضعیف ماده که یکی از مشکلات این ماده در اسـتفاده کاربردی از آن می‌باشـد، در این تحقیق مد نظر قرار داده شـده اسـت. بهبود خواص دی‌الکتریـک فریـت بیســـموت از دیگر اهداف این تحقیق می باشـــد که در این راه از یکی از جـدیدترین روش‌های تفجوشـــی یعنی تفجوشـــی ماکروویو برای بهبود خواص دی‌الکتریک اسـتفاده شـده اسـت. همچنین با هدف بررسـی هر چه بیشتر تاثیر تفجوشی ماکروویو، اثر دو روش مختلف تفجوشی ماکروویو و تفجوشی با کوره معمولی برمورفولوژی و رشددانه در فریت بیسـموت آلاییده شـده با عنصـر گادولونیوم با درصـدهای مشـخص مورد بررسـی قرار گرفت. بنابراین در فریت بیسـموت خالص که دارای معایب مختلف از جمله مغناطش ضـعیف و جریان نشـتی بالا می‌باشـد، با اسـتفاده از روش آلاییدن سعی شده با مهندسی ساختار کریستالی این معایب مرتفع گردد. همچنین در این پژوهش فرآوری فریت بیســموت آلاییده شـــده با عنصـــر گادولونیوم با هدف اسـتفاده از مناسـب‌ترین و ساده ترین روش به‌منظور کاهش فازهای ثانویه، مورد بررسی قرار می‌گیرد.

---

۱ Bohr magneton

۲ Catalan

مجموع اهداف موردنظر در انجام این تحقیق در محورهای ذیل مورد توجه قرار گرفته است:

۱) آلاییدن نانوذرات فریت بیسموت با عنصر گادولونیوم با هدف بهبود در خواص مغناطیسی و دی الکتریک ماده مورد توجه قرار می‌گیرد.

۲) تف‌جوشی نانوپودر فرآوری شده به روش تف‌جوشی ماکرویو که با هدف جلوگیری از رشد دانه ها و بهبود خواص دی‌الکتریک در ماده پس از تف‌جوشی مورد استفاده قرار می‌گیرد.

۳) مطالعه ساختاری شبکه فریت بیسموت خالص و آلاییده شده با گادولونیوم با در نظر گرفتن تغییر فاز کریستالی که ناشی از جانشینی عنصر گادولونیوم به جای بیسموت می‌باشد. این بررسی با هدف به دست آوردن بهترین درصد افزودنی گادولونیوم با کمترین میزان فازهای ثانویه در کنار فاز اصلی فریت بیسموت انجام می‌گیرد.

۴) اندازه‌گیری‌های الکتریکی و بررسی خواص دی‌الکتریکی به منظور رسیدن به بهترین درصد آلایش گادولونیوم در شبکه، مورد بررسی قرار خواهد گرفت.

۵) بهبود خواص مغناطیسی و افزایش مغناطیس‌پذیری ماده بمنظور از بین بردن یکی از معایب این ماده برای افزایش ثابت مگنتوالکتریک این ماده انجام خواهد شد.

فصل۲ :زمینه موضـــــوع و مروری بر پژوهش‌ها