

عباس کیان وش و سمیرا دادستان<sup>\*</sup> دانشکده مکانیک–گروه مهندسی مواد، دانشگاه تبریز

(دریافت مقاله: ١٣٨٩/٥٩/١٧ - دریافت نسخه نهایی: ١٣٩١/٥٥/٦)



## Investigation of EM Waves Absorbtion Behavior at X Band in Mn-Zr Doped Ba-Ferrite

A. Kianvash and S. Dadsetan

1.Department of Material Science and Engineering, Faculty of Mechanical Engineering, University of Tabriz, Tabriz, Iran.

**Abstract:** In this research, M-type Mn-Zr doped Ba-ferrites powders with a general chemical composition of  $BaFe_{10.6}(Zr_xMn_{1-x})O_{19}$  (x=0, 0.2, 0.4, 0.5, 0.6, 0.7, 0.8, 0.9, 1) were synthesized and prepared by a solid state method, and were then mixed with an Araldite + hardner and processed into polymer matrix composite specimens. Phase analyses of synthesized samples were performed by an XRD technique and magnetic properties of the composite specimens were measured using a hysteresis graph system. EM absorbtion characteristics of the composite samples in the (8-12 GHz) frequency ranges were determined using a VNA system. Among the compositions investigated in the present work, the highest absorbtion of -11.25 dB accured in  $BaFe_{10.6}Zr_{0.28}Mn_{1.12}O_{19}$  (x=0.2) at a frequency of 8.4 GHz. Based on EM absorbtion behaviors and magnetic properties,  $BaFe_{10.6}Zr_{0.28}Mn_{1.12}O_{19}$  is classified as a potential EM absorber material.

\* : مسئول مكاتبات، پست الكترونيكي: samira.dadsetan@gmail.com

امیدانس ورودی	Z <sub>in</sub>	(MA/m) ناهمسان گردی بلوری مغناطیسی	H <sub>A</sub>
ته او این مختلط مغناطیسی	u,	(cgs:Oe,SI:A/m) نیروی پسماند زدایی	$H_{CJ}$
تراوایی مختلط الکتریکی	ε <sub>r</sub>	(cgs:G,SI:T) مغناطش اشباع	$J_{S}$

#### ۱- مقدمه

در سالهای اخیر تداخل امواج الکترومغناطیس، با توجه به کاربرد وسیع امواج الکترومغناطیس در محدوده بسامد GHZ در تلفنهای همراه، شبکههای محلی<sup>۳</sup>، سیستمهای اختفایی رادار و غیره به عنوان یک مشکل جدی مطرح بوده و هست[۱-۳] بنابراین استفاده از انواع جاذبهای امواج میکروویو به عنوان پوشش روی تجهیرزات الکترونیکی برای به حدداقل رساندن تداخل الکترومغناطیسی و کمینه کردن برگشت امواج ضروری است [۳-۶].

فریتها گروه مهمی از مواد مغناطیسی شامل اکسیدهای فلزی هستند و به عنوان مواد جاذب رادار ۲ به کار می روند. علت کاربرد گسترده فریتها به عنوان RAM به دلیل تراوایی مغناطیسی بالا، مغناطش بالا و خواص دی الکتریک خوب آنها در بسامدهای میکروویو است [۶]. فریت های متداول شامل اسپینل ها، گارنت ها و فریت های هگزاگونال انـد. در سـال هـای اخیر توجه زیادی به فریتهای هگزاگونال به عنوان مواد جاذب رادار شده است. یکی از انواع فریت،ای هگزاگونال، فریت باریم (BaFe<sub>12</sub>O<sub>19</sub>) است. میدان ناهمسان گردی (H<sub>A</sub>) فریت باریم نوع M در حدودMA/m ۱/۳۶ است و این ماده در بسامد ۴۷/۶ GHz تـ شدید مـی شـود، لـذا ایـن فریـت نمـی توانـد در محدودهی بسامدهای رادار (۸–۱۲ GHz) به عنوان یک جـاذب عمـل کنـد. بـا جانـشيني يـونهـاي Ba<sup>+2</sup> وFe<sup>+3</sup> مغنـاطش و ناهمسانگردی بلوری مغناطیسی این فریت اصلاح و تغییر در آن منجر به جابهجایی در بسامد تشدید آن میشود[۷ – ۱۰]. بدین ترتیب فریت مزبور می تواند به عنوان یک جاذب مؤثر در

محدوده ی بسامدی رادار مطرح شود. در این کار پژوهشی فریت باریم آلاییده شده با Zr و Mn با فرمول کلی BaFe<sub>10.6</sub>(Zr<sub>x</sub>Mn<sub>1-x</sub>)<sub>1.4</sub>O<sub>19</sub> با ۱، ۹،۰، ۸/۰، ۷/۰، ۶/۰، ۵/۰، ۴/۰، ۲/۰، ۰ = x با هدف دستیابی به یک ترکیب شیمیایی بهینه با بالاترین میزان جذب امواج EM در محدوده ی باند X مورد مطالعه قرار گرفته است.

### ۲- مواد و روش تحقیق

برای تهیسه ترکیبات با فرمول کلی برای تهیسه ترکیبات با زای ۱، ۹/۵، ۸/۵، ۷/۵، BaFe<sub>10.6</sub>(Zr<sub>x</sub>Mn<sub>1-x</sub>)<sub>1.4</sub>O<sub>19</sub> ۹/۵، ۵/۵، ۴/۵، ۲/۵، ۹ x ابتدا عملیات خردایش و اختلاط مواد اولیه شامل اکسید آهن، اکسید منگنز، اکسید زیرکونیوم و گربنات باریم، در یک آسیاب دورانی و درحضور استون انجام گرفت. درجه خلوص تمامی مواد مورد استفاده در حد ۹۹٪+ بود. عملیات کلسینه کردن در دمای °C۰۵۲ به مدت زمان ۳ ساعت انجام و پس از آن نمونهها مجدداً در یک آسیاب ساعت انجام و پس از آن نمونهها مجدداً در یک آسیاب ساعت انجام و پس از آن مونههای کامپوزیتی در مقطعی به سایرهای آسیاب شدند. نمونههای کامپوزیتی در مقطعی به موجبر باند بسامدی ۲۲/۸۶ mm با ندازهی مقطع فریت باریم با رزین آرالدیت + سخت کننده پرس شدند. محامت تمامی نمونههای کامپوزیتی در اندازه میران جدی بی BaFe<sub>10.6</sub>Zr<sub>0.28</sub>Mn<sub>1.12</sub>O<sub>19</sub> میزان جدی در در کره میران جدی در ا



شکل ۱- الگوی پراش اشعه x (الف) فریت باریم خالص و نمونههای پودری ترکیب  $BaFe_{10.6}(Zr_xMn_{1-x})_{1.4}O_{19}$  با مقادیر(ب) x = x ، (ج) x = x ، (د)y = x ، (د)y = x ، (د)x = x ، (د)x = x ، (و) x = x

ضخامتهای بین ۲ تا ۳/۵ mm با یک بازه افزایشی mm ۵/۰ نیز مورد بررسی قرار گرفت.

تحلیل فازی نمونه ها، توسط یک دستگاه اشعه X مدل زیمنس D5000 ، با اشعه Ka مربوط به Cu، با ولتاژ V ۶۰ و جریان ۳۰ mA انجام شد. ویژگی های مغناطیسی نمونه ها توسط یک دستگاه هیسترزیس گراف مدل Magnet Physik C-300 اندازه گیری شد و ویژگی جذب امواج الکترومغناطیس نمونه ها با استفاده از یک دستگاه تحلیلگر شبکهی برداری (VNA) مدل HP 8410C صورت پذیرفت.

۳- نتایج و بحث
۳-۱- تحلیل فازی
در شکل(۱)، الگوهای پراش اشعه ایکس (XRD)
نمونیهای پودری ترکیب BaFe<sub>10.6</sub>(Zr<sub>x</sub>Mn<sub>1-x</sub>)<sub>1.4</sub>O<sub>19</sub> با





شکل ۲–(الف) فریت باریم آلاییده نشده [۸] (ب) فریت باریم آلاییده شده با Mn و Zr

مقادیر ۱، ۵/۵، ۹/۵، ۲/۵، ۵ = x به همراه الگوی XRD فریت باریم خالص نشان داده شدهاند. همان طوری که مشاهده می شود تمامی نمونه های فریت آلاییده شده دارای ساختمان های بلوری از نوع فریت باریم نوع M هستند. قله های موجود در نمونه های آلاییده شده با Z و Mn دقیقاً در محل قله های مربوط به فریت باریم خالص تشکیل شده اند و تنها تفاوت آن ها در شدت قله هاست که علت این امر را می توان به پر شدن برخی تهی جاهای احتمالی ناشی از فقدان یون <sup>4+</sup> ۲ موجود در شبکه هگزاگونال فریت باریم به همراه جایگزینی آن در این شبکه توسط یون های اگریده شدن ارتباط داد. لذا تصور می شود که هیچ فاز ثانویه ای ناشی از آلاییده شدن فریت باریم خالص توسط یون های Zn و Mn و Zr

### ۳-۲- خواص مغناطیسی

منحنیهای هیسترزیس فریت باریم خالص و فریت باریم آلاییده شده با ترکیب BaFe<sub>10.6</sub>Zr<sub>0.7</sub>Mn<sub>0.7</sub>O<sub>19</sub> (۵.»-x ) در شکل (۲) مورد مقایسه قرار گرفتهاند. همچنانکه مشاهده

مواد پیشرفته در مهندسی، سال ۳۲، شمارهٔ ۱، بهار ۱۳۹۲



مي شود، نمونه فريت باريم خالص، شكل (٢-الف) از مرجع [٨] گرفته شده است، دارای یک نیروی پـسماندزدایی بـالاتری (در حدود H<sub>J</sub> =۳/۵ kOe در مقایسه با نیروی پسماندزدایی نمونه آلاييده شده (۰/۰۶۷ kOe) است. بالا بودن ايـن پـارامتر باعـث می شود که فریت باریم خالص مانند یک ماده مغناطیسی سخت رفتار کند و لذا به صورت یک جاذب EM موثردر باند X عمل نکند. با جانشین سازی یون های Mn و Zr در فریت باریم، نیروی پسماندزدایی نسبت به نیروی پسماندزدایی فریت باریم خالص کاهش می یابد. دلیل این کاهش، به افت ناهمسان گردی بلوری مغناطیسی و تغییرجهت آسان مغناطش از محور ، در ساختمان بلوری شش وجهی فریت باریم به صفحه موازی با صفحه قاعده آن (ناهمسانگردی صفحهای) در فریت باریم آلاييده شده ارتباط داده شده است [ ۱۲، ۱۴و10]. منحنى هاى تغییرات H<sub>C</sub> و J<sub>S</sub> (مغناطش اشباع) نسبت به x در شکل (۳) نمایش داده شدهاند. با افزایش مقدار x تا H<sub>CJ</sub> ، ۰/۵ نمونه ها کاهش وJ<sub>S</sub> آنها افزایش و مجدداً با افزایش آن تـا H<sub>CI</sub> ، x = ۱ افزایش و Js کاهش می یابند. مقدار متوسط H<sub>CJ</sub> در نمونه های مذکور نشان میدهد که مکانیزم غالب جذب امواج EM در نمونههای فریتی آلاییده شده حرکت دیواره حوزههای مغناطیسی است، لذا هر قدر نمونههای مذکور از نظر مغناطیسی نرم تر و Js آنها بالاتر باشد، به همان اندازه بهتر می توانند به

عنوان جاذب عمل کنند[۱۴،۱۲و۱۵].

۳-۳- ویژگی جذب امواج الکترومغناطیس
تلفات انعکاسی یک ماده جاذب با میزان امپدانس ورودی آن طبق نظریه خطوط انتقال با فرمول زیر مشخص می شود :
(۱) |(1+1)/(Z in +1)|
که nZ توسط معادله زیر به پارامترهای مغناطیسی ماده جاذب ارتباط ییدا می کند :

نمودارهای میزان جذب انعکاسی با بسامد در نمونههای با ترکیب BaFe<sub>10.6</sub>(Zr<sub>x</sub>Mn<sub>1-x</sub>)<sub>1.4</sub>O<sub>19</sub> ، به ازای مقادیر ۱، ۹۹ ، ۸/۵، ۹/۵، ۹/۵، ۹/۵، ۲/۵، ۵ = x در شکل (۴) ۱۹ مین داده شدهاند. ضخامت تمامی نمونهها در این بررسی mm ۹ است. ترکیب BaFe<sub>10.6</sub>Zr<sub>0.7</sub>Mn<sub>0.7</sub>O<sub>19</sub> (به ازای ۵/۵ = x) در ۹ است. ترکیب وBaFe<sub>10.6</sub>Zr<sub>0.7</sub>Mn<sub>0.7</sub>O<sub>19</sub> (به ازای ۵/۵ = x) در محدوده بسامدی باند X دارای گستره جذب انعکاسی وسیع محدوده بسامدی باند X دارای گستره جذب انعکاسی وسیع ۱۰٫۵۶ میری نسبت به ترکیبات دیگر است (40 ۷/۶۷ –). ترکیب ۱۹ مرک مدر بسامد ۱۹ مرک محدود ازای ۲/۵ = x ، در بسامد ۱۹ مرک محدود BaFe<sub>10.6</sub>Zr<sub>0.56</sub>Mn<sub>0.84</sub>O<sub>19</sub> می ۱۹ مرک منده بعد شروع به نشان دادن جذب بالاتر از خود میکند، بدین معنی که احتمال تشدید در این ترکیب در بسامدهای بالاتر و یا در ضخامتهای دیگر وجود دارد.

از آنجایی که ما بین نمونـههـای مـورد بررسـی در بانـد X، جـذب رزنانسی فقط در نمونه با x = ۰/۲ اتفاق افتاد، لذا نمونه



شکل ۴- منحنی های تغییرات جذب نسبت به بسامد در نمونه های کامپوزیتی با ترکیب کلی BaFe<sub>10.6</sub>(Zr<sub>x</sub>Mn<sub>1-x</sub>)<sub>1.4</sub>O<sub>19</sub>

یه ازای <sub>x</sub> های مختلف



شکل ۵- منحنی های تغییر ات جذب نسبت به بسامد در نمونه های کامپوزیتی با ترکیب شیمیایی BaFe<sub>10.6</sub>Zr<sub>2.8</sub>Mn<sub>3.2</sub>O<sub>19</sub>

کامپوزیتی این ترکیب در ضخامتهای متفاوت نیز مورد بررسی قرار گرفت. شکل(۵) تغییرات جذب انعکاسی نسبت به بسامد در این ترکیب در نمونههای به ضخامتهای مختلف بین ۲ تا ۸/۵ mm ، در یک بازه افزایشی mm ۵/۰ را نشان می دهد. ما بین ضخامتهای مورد بررسی، ترکیب مذکور فقط در ضخامتهای ۵/۳، ۴، ۵/۴ و mm ۵ به ترتیب در بسامدهای ضخامتهای ۱۱/۴ GHz ( 14/۲dB) ۱۱/۴ GHz –)، رزنانسی از خود نشان داد. در بقیه ضخامتها، جذب EM قابل

تـوجهی مـشاهده نـشد. لـذا پـیش بینـی مـیشـود کـه ترکیـب BaFe<sub>106</sub>Zr<sub>028</sub>Mn<sub>1.12</sub>O<sub>19</sub> (به ازای ۲/۰= x) با کنترل ضخامت نمونه، می تواند به عنوان یک جاذب خوب در باند X عمل کند.

# ۴- نتیجه گیری

 طبق نتایج XRD ، با آلاییدن فریت باریم توسط کاتیونهای Mn و Zr ، این کاتیون ها به جای Fe در شبکه ی بلورین فریت قرار می گیرند، در نتیجه هیچ فاز ثانویه ای ناشی از آلایش فریت با کاتیونه ای مذکور به وجود نمی آید.

مواد پیشرفته در مهندسی، سال ۳۲، شمارهٔ ۱، بهار ۱۳۹۲

- ۲. با جایگزین کردن Mn و Zr بهجای Fe در فریت باریم نوع H<sub>CJ</sub> (BaFe<sub>12</sub>O<sub>19</sub>) M
   ۲. باریم خالص، H<sub>CJ</sub> بهطور موثر کاهش و J<sub>S</sub> به طور نسبی افزایش مییابد.
- ۲. در نمونی ب ب خامت ۶۳۳۳، در ترکی ب BaFe<sub>10.6</sub>(Zr<sub>x</sub>Mn<sub>1-x</sub>)<sub>1.4</sub>O<sub>19</sub>, پدی ده رزنانس در محدوده باند X اتفاق افتاد (در بسامد ۸/۴ GHz با جذبی برابر ۱۱/۲۴ dB و به ازای ۵/۰= x، علی رغم عدم وقوع پدیده رزنانس، جذب یکنواختی در حدود

واژه نامه

مراجع

 ۴. بیشترین مقدار جذب رزنانس در بسامد ۸/۶ GHz ، در ترکیب به ازای ۲/۰۰ x، در نمونهای با ضخامت mm

dB /۷/۶۷ – ، در کل این محدوده مشاهده شد.

اتفاق افتاد که حدود ۲۱/۴۹ dB – بود.

- ۹۰ با این که در کل، با کاهش H<sub>CJ</sub> و افزایش J<sub>S</sub> میزان جذب در نمونهها اصلاح شد، اما در پژوهش حاضر، بهترین ترکیب (یعنی BaFe<sub>10.6</sub>Zr<sub>0.28</sub>Mn<sub>1.12</sub>O<sub>19</sub> به ازای ۲
   ۲۰ متناظر با H<sub>C</sub> کمینه و J<sub>S</sub> بیشینه (متعلق به ۵/۵ x=۰) نبود.
- 1. EM
- 2. VNA: vector network
- 3. LAN: local area network
- Huo., Jia Wang., L., and Yu., H., "Polymeric Nanocomposites for Electromagnetic Wave Absorption," *Journal of Mater Sci*, Vol. 44, pp. 3917–3927, 2009.
- Jae-Man, S., Hyun-Jin, Y., Dong-Il, K., Su-Jung, K., Seung-Min, O., Bo-Young, K., Ki-Man, K., and Young-Goo, L., "Dependence of Electromagnetic Wave Absorption on Ferrite Particle Size in Sheet-Type Absorbers," *Journal of the Korean Physical Society*, Vol. 42, pp. 671-675, 2003.
- 3. Özgüri, U., Alivov, Y., and Morkoç, H., "Microwave Ferrites, Part 1: Fundamental Properties," *Journal of Materials Science*, Part 1: Fundamental Properties, 2009.
- Singh, P., Babbar, V.K., Razdan, A., Srivastava, S.L., Agrawal, V.K., and Goel. T.C., "Dielectric Constant, Magnetic Permeability and Microwave Absorption Studies of Hot-Pressed Ba-CoTi Hexa-Ferrite Composites in X-Band,"*Journal of Mater Sci*, Vol. 41, pp. 7190–7196, 2006.
- Tang, X., and Yang, Y., "Surface Modification of M-Ba-Ferrite Powders by Polyaniline: Towards Improving Microwave Electromagnetic Response," *Applied Surface Science*, Vol. 255, pp. 9381–9385, 2009.
- Zhang, B., Feng, Y., Xiong, J., Yang, Y., and Lu, H., "Microwave-Absorbing Properties of De-Aggregated Flake-Shaped Carbonyl-Iron Particle, "*IEEE Transactions on Magnetics*, Vol. 42, pp.1778-1781, 2006.
- 7. Meshram, M. R., Agrawal, N. K., Sinha, B., and

4. RAM: radar absorbing materials

Misra, P. S., "Characterization of M-type Barium Hexagonal Ferrite-based Wide Band Microwave Absorber,"*Journal of Magnetism and Magnetic Materials*, Vol. 271, pp. 207–214, 2004.

- Shams, M. H., Salehi, S.M.A., and Ghasemi, A., "Electromagnetic Wave Absorption Characteristics of Mg–Ti substituted Ba-hexaferrite,"*Materials Letters*, Vol. 62, pp. 1731–1733, 2008.
- Paul, K. B., "Magnetic and Structural Properties of Ba M-Type Ferrite-Composite Powders," *Physica*, Vol. 388, pp. 337–343, 2007.
- 10. Shin, J. Y., and Oh, J. H., "The Microwave Absorbing Phenomena of Ferrite Microwave Absorbers," *IEEE Transactions on Magnetics*, Vol. 29, pp. 3437-3439, 1993.
- 11. Kagotani, T., Fujiwara, D., Sugimoto, S., Inomata, K., and Homma, M., "Enhancement of GHz Electromagnetic Wave Absorption Characteristics in Aligned M-Type Barium Ferrite Ba1\_xLaxZnxFe12\_x\_y (Me0·5Mn0·5) yO19 (y = 1-3, x=0-0.5; Me: Zr, Sn) by Metal Substitution," *Journal of Magnetism and Magnetic Materials*, Vol. 272-276, pp. 1813-1815, 2004.
- Ghasemi, A., Hossienpour, A., Morisako, A., Saatchi, A., and Salehi, M., "Electromagnetic Properties and Microwave Absorbing Characteristics of Doped Barium Hexaferrite," *Journal of Magnetism and Magnetic Materials*, Vol. 302, pp. 429–435, 2006.
- 13. Ghasemi, A., and Morisako, A., "Static and High Frequency Magnetic Properties of Mn-Co-Zr

Substituted Ba-Ferrite,"Journal of Alloys and Compounds, Vol. 456, pp. 485–491, 2008.

 Ghasemi, A., Hossienpour, A., Morisako, A., Liu, X., and Ashrafizadeh, A., "Investigation of the Microwave Absorptive Behavior of Doped Barium Ferrites," *Materials and Design*, Vol. 29, pp. 112-117, 2008.

15. Shuang, V., "Magnetic Anisotropy and Coercivity in Magnetic Thin Films," a Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirments for the Degree of Master of Science, Singapore, 2000.