



**Keywords:** *M-type Ba-ferrite, Micro-wave, Electromagnetic wave absorption, X band*

امپدانس ورودی	$Z_{in}$	(MA/m) ناهمسان گردی بلوری مغناطیسی	$H_A$
تراوایی مختلط مغناطیسی	$\mu_r$	(cgs:Oe,SI:A/m) نیروی پسماند زدایی	$H_{CI}$
تراوایی مختلط الکتریکی	$\epsilon_r$	(cgs:G,SI:T) مغناطش اشباع	$J_S$

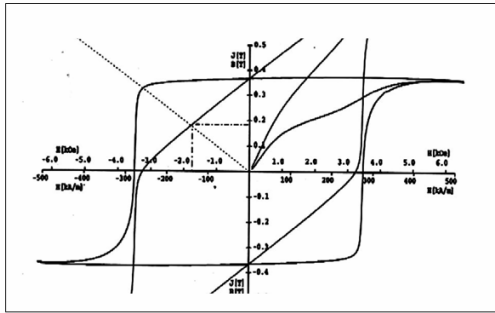
## ۱- مقدمه

محدوده‌ی بسامدی رادار مطرح شود. در این کار پژوهشی فریت باریم آلیایده شده با Zr و Mn با فرمول کلی  $BaFe_{10.6}(Zr_xMn_{1-x})_{1.4}O_{19}$  با [۱۱]  $x = 0, 0.2, 0.4, 0.5, 0.6, 0.7, 0.8, 0.9, 1$  با هدف دستیابی به یک ترکیب شیمیایی بهینه با بالاترین میزان جذب امواج EM در محدوده‌ی باند X مورد مطالعه قرار گرفته است.

## ۲- مواد و روش تحقیق

برای تهیه ترکیبات با فرمول کلی  $BaFe_{10.6}(Zr_xMn_{1-x})_{1.4}O_{19}$  با  $x = 0, 0.2, 0.4, 0.5, 0.6, 0.7, 0.8, 0.9, 1$  از ابتدا عملیات خردایش و اختلاط مواد اولیه شامل اکسید آهن، اکسید منگنز، اکسید زیرکونیوم و کربنات باریم، در یک آسیاب دورانی و در حضور استون انجام گرفت. درجه خلوص تمامی مواد مورد استفاده در حد  $99\%+$  بود. عملیات کلسینه کردن در دمای  $1250^\circ C$  به مدت زمان ۳ ساعت انجام و پس از آن نمونه‌ها مجدداً در یک آسیاب سیاره‌ای آسیاب شدند. نمونه‌های کامپوزیتی در مقطعی به ابعاد  $22/86 \text{ mm} \times 10/16 \text{ mm}$ ، مطابق با اندازه‌ی مقطع موج‌بر باند بسامدی ۸-۱۲ GHz، از اختلاط پودر فریت باریم با رزین آرائدیت + سخت کننده پرس شدند. ضخامت تمامی نمونه‌های کامپوزیتی در اندازه ۶ mm ثابت نگه داشته شد اما در ترکیب با  $BaFe_{10.6}Zr_{0.28}Mn_{1.12}O_{19}$  یعنی  $x=0.2$  میزان جذب در

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 تجهیزات الکترونیکی برای به حداقل 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<sup>۴</sup> به کار می‌روند. 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]. فریت‌های متداول شامل اسپینل‌ها، گارنت‌ها و فریت‌های هگزاگونال اند. در سال‌های اخیر توجه زیادی به فریت‌های هگزاگونال به عنوان مواد جاذب رادار شده است. یکی از انواع فریت‌های هگزاگونال، فریت باریم  $(BaFe_{12}O_{19})$  است. میدان ناهمسان گردی ( $H_A$ ) فریت باریم نوع M در حدود  $1/36 \text{ MA/m}$  است و این ماده در بسامد  $47/6 \text{ GHz}$  تشدید می‌شود، لذا این فریت نمی‌تواند در محدوده‌ی بسامدهای رادار (۸-۱۲ GHz) به عنوان یک جاذب عمل کند. با جانشینی یون‌های  $Ba^{+2}$  و  $Fe^{+3}$  مغناطش 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 می‌تواند به عنوان یک جاذب مؤثر در

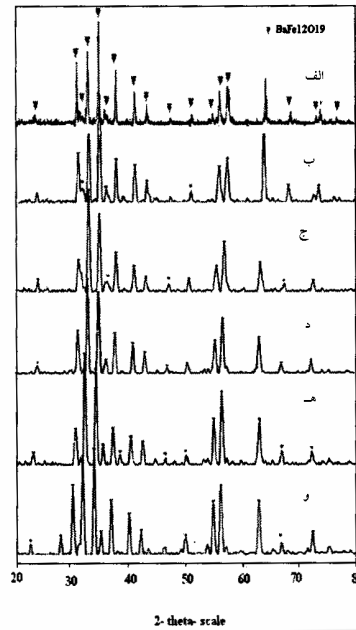


شکل ۲- (الف) فریت باریم آلیایده نشده [۸] (ب) فریت باریم آلیایده شده با Mn و Zr

مقادیر ۱، ۰/۵، ۰/۴، ۰/۲، ۰ به همراه الگوی XRD فریت باریم خالص نشان داده شده‌اند. همان‌طوری که مشاهده می‌شود تمامی نمونه‌های فریت آلیایده شده دارای ساختمان‌های بلوری از نوع فریت باریم نوع M هستند. قله‌های موجود در نمونه‌های آلیایده شده با Zr و Mn دقیقاً در محل قله‌های مربوط به فریت باریم خالص تشکیل شده‌اند و تنها تفاوت آن‌ها در شدت قله‌هاست که علت این امر را می‌توان به پر شدن برخی تهی‌جای‌های احتمالی ناشی از فقدان یون  $Fe^{+3}$  موجود در شبکه هگزاگونال فریت باریم به همراه جایگزینی آن در این شبکه توسط یون‌های Zr و Mn ارتباط داد. لذا تصور می‌شود که هیچ فاز ثانویه‌ای ناشی از آلیایده شدن فریت باریم خالص توسط یون‌های Zr و Mn تشکیل نشده است [۱۰ و ۹].

### ۳-۲- خواص مغناطیسی

منحنی‌های هیستریزس فریت باریم خالص و فریت باریم آلیایده شده با ترکیب  $BaFe_{10.6}Zr_{0.7}Mn_{0.7}O_{19}$  ( $x = 0.5$ ) در شکل (۲) مورد مقایسه قرار گرفته‌اند. همچنانکه مشاهده



شکل ۳- 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)  $x = 0$ ، (ج)  $x = 0.2$ ، (د)  $x = 0.4$ ، (ه)  $x = 0.5$  و (و)  $x = 1$

ضخامت‌های بین ۲ تا ۶/۵ mm با یک بازه افزایشی ۰/۵ mm نیز مورد بررسی قرار گرفت.

تحلیل فازی نمونه‌ها، توسط یک دستگاه اشعه X مدل زمینس D5000، با اشعه  $K\alpha$  مربوط به Cu، با ولتاژ ۶۰ kV و جریان ۳۰ mA انجام شد. ویژگی‌های مغناطیسی نمونه‌ها توسط یک دستگاه هیستریزس گراف مدل Magnet Physik C-300 اندازه‌گیری شد و ویژگی جذب امواج الکترومغناطیس نمونه‌ها 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) نمونه‌های پودری ترکیب  $BaFe_{10.6}(Zr_xMn_{1-x})_{1.4}O_{19}$  با

عنوان جاذب عمل کنند [۱۲، ۱۴ و ۱۵].

### ۳-۳- ویژگی جاذب امواج الکترومغناطیسی

تلفات انعکاسی یک ماده جاذب با میزان امپدانس ورودی آن طبق نظریه خطوط انتقال با فرمول زیر مشخص می شود:

$$R(\text{dB}) = 20 \log |(Z_{in} - 1) / (Z_{in} + 1)| \quad (1)$$

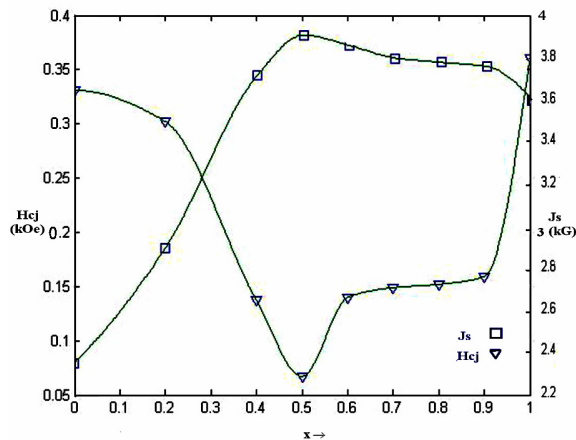
که  $Z_{in}$  توسط معادله زیر به پارامترهای مغناطیسی ماده جاذب ارتباط پیدا می کند:

$$Z_{in} = (\mu_r / \epsilon_r)^{(1/2)} \tanh[j(2\pi / C)(\mu_r \epsilon_r)^{(1/2)} f.d] \quad (2)$$

که در آن  $\mu_r$  و  $\epsilon_r$  به ترتیب تراوایی مختلط مغناطیسی و الکتریکی محیط جاذب،  $C$  سرعت نور در فضای آزاد،  $f$  بسامد و  $d$  ضخامت ماده جاذب است. در یک ماده جاذب ایدئال شرایط باید به گونه ای باشد که امپدانس ورودی برابر ۱ شود. فریت باریم خالص، به دلیل بالا بودن بسامد تشدید در آن دارای جذب مناسبی در باند X نیست. آلاییدن این فریت با یون های مناسب، بسامد تشدید این ماده را کاهش و میزان جذب آن در باند X را افزایش می دهد [۵-۱۳].

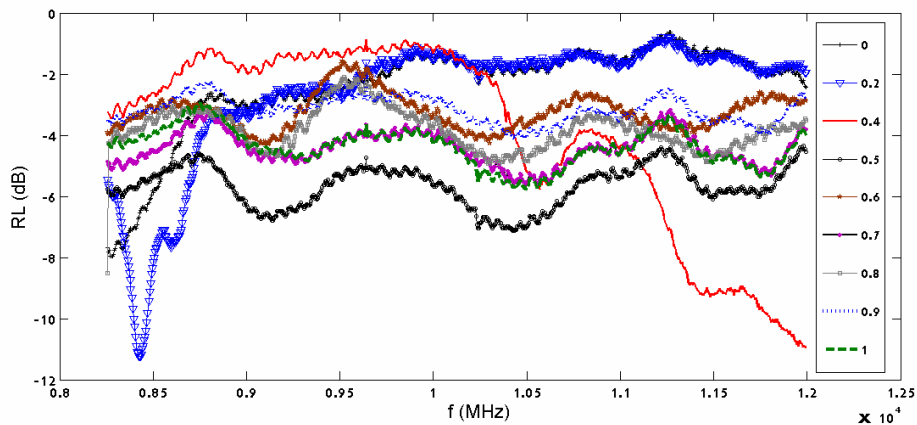
نمودارهای میزان جذب انعکاسی با بسامد در نمونه های با ترکیب  $\text{BaFe}_{10.6}(\text{Zr}_x\text{Mn}_{1-x})_{1.4}\text{O}_{19}$ ، به ازای مقادیر ۱، ۰/۹، ۰/۸، ۰/۷، ۰/۶، ۰/۵، ۰/۴، ۰/۳، ۰/۲،  $x = 0$  در شکل (۴) نشان داده شده اند. ضخامت تمامی نمونه ها در این بررسی mm ۶ است. ترکیب  $\text{BaFe}_{10.6}\text{Zr}_{0.7}\text{Mn}_{0.7}\text{O}_{19}$  (به ازای  $x = 0.5$ ) در محدوده بسامدی باند X دارای گستره جذب انعکاسی وسیع تری نسبت به ترکیبات دیگر است (۷/۶۷ dB-). ترکیب  $\text{BaFe}_{10.6}\text{Zr}_{0.28}\text{Mn}_{1.12}\text{O}_{19}$  به ازای  $x = 0.2$ ، در بسامد ۸/۴ GHz جذبی برابر ۱۱/۲۴ dB- و ترکیب  $\text{BaFe}_{10.6}\text{Zr}_{0.56}\text{Mn}_{0.84}\text{O}_{19}$  به ازای  $x = 0.4$ ، از بسامد حدود ۱۱/۲ GHz به بعد شروع به نشان دادن جذب بالاتر از خود می کند، بدین معنی که احتمال تشدید در این ترکیب در بسامدهای بالاتر و یا در ضخامت های دیگر وجود دارد.

از آنجایی که ما بین نمونه های مورد بررسی در باند X، جذب رزنانسی فقط در نمونه با  $x = 0.2$  اتفاق افتاد، لذا نمونه

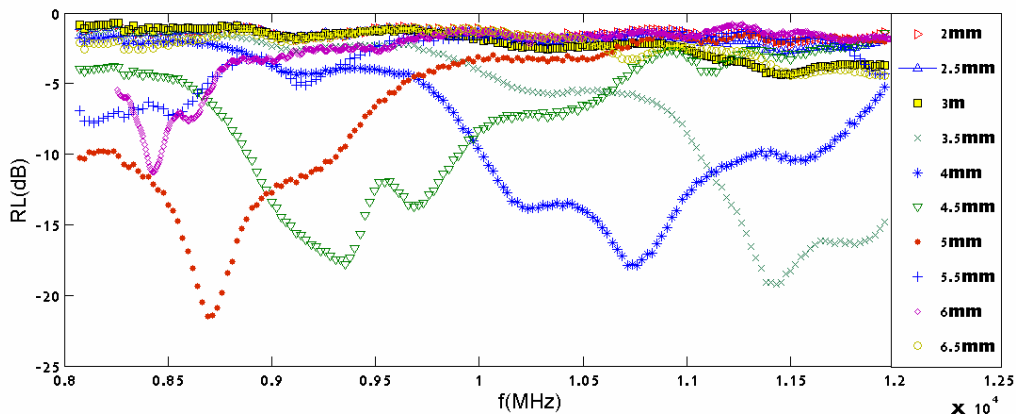


شکل ۳- منحنی های تغییرات H<sub>CJ</sub> و J<sub>S</sub> نسبت به x

می شود، نمونه فریت باریم خالص، شکل (۲-الف) از مرجع [۸] گرفته شده است، دارای یک نیروی پسماندزدایی بالاتری (در حدود  $H_J = 3/5$  kOe در مقایسه با نیروی پسماندزدایی نمونه آلاییده شده (۰/۰۶۷ kOe) است. بالا بودن این پارامتر باعث می شود که فریت باریم خالص مانند یک ماده مغناطیسی سخت رفتار کند و لذا به صورت یک جاذب EM موثر در باند X عمل نکند. با جانشین سازی یون های Zr و Mn 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 تغییر جهت آسان مغناطش از محور c، در ساختمان بلوری شش وجهی فریت باریم به صفحه موازی با صفحه قاعده آن (ناهمسان گردی صفحه ای) در فریت باریم آلاییده شده ارتباط داده شده است [۱۲، ۱۴ و ۱۵]. منحنی های تغییرات H<sub>CJ</sub> و J<sub>S</sub> (مغناطش اشباع) نسبت به x در شکل (۳) نمایش داده شده اند. با افزایش مقدار x تا ۰/۵، H<sub>CJ</sub> نمونه ها کاهش و J<sub>S</sub> آن ها افزایش و مجدداً با افزایش آن تا  $x = 1$ ، H<sub>CJ</sub> افزایش و J<sub>S</sub> کاهش می یابند. مقدار متوسط H<sub>CJ</sub> در نمونه های مذکور نشان می دهد که مکانیزم غالب جذب امواج EM در نمونه های فریتی آلاییده شده حرکت دیواره حوزه های مغناطیسی است، لذا هر قدر نمونه های مذکور از نظر مغناطیسی نرم تر و J<sub>S</sub> آن ها بالاتر باشد، به همان اندازه بهتر می توانند به



شکل ۴- منحنی‌های تغییرات جذب نسبت به بسامد در نمونه‌های کامپوزیتی با ترکیب کلی  $BaFe_{10.6}(Zr_xMn_{1-x})_{1.4}O_{19}$  به ازای  $x$  های مختلف



شکل ۵- منحنی‌های تغییرات جذب نسبت به بسامد در نمونه‌های کامپوزیتی با ترکیب شیمیایی  $BaFe_{10.6}Zr_{2.8}Mn_{3.2}O_{19}$  در ضخامت‌های متفاوت

توجهی مشاهده نشد. لذا پیش بینی می‌شود که ترکیب  $BaFe_{10.6}Zr_{0.28}Mn_{1.12}O_{19}$  (به ازای  $x=0/2$ ) با کنترل ضخامت نمونه، می‌تواند به عنوان یک جاذب خوب در باند X عمل کند.

#### ۴- نتیجه‌گیری

۱. طبق نتایج XRD، با آلییدن فریت باریم توسط کاتیون‌های Zr و Mn، این کاتیون‌ها به جای Fe در شبکه‌ی بلورین فریت قرار می‌گیرند، در نتیجه هیچ فاز ثانویه‌ای ناشی از آلیش فریت با کاتیون‌های مذکور به وجود نمی‌آید.

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 ۶/۵ mm، در یک بازه افزایشی ۰/۵ mm را نشان می‌دهد. ما بین ضخامت‌های مورد بررسی، ترکیب مذکور فقط در ضخامت‌های ۳/۵، ۴، ۴/۵ و ۵ mm به ترتیب در بسامدهای ۱۱/۴ GHz (-۱۹/۲dB)، ۱۰/۷ GHz (-۱۷/۸۸ dB)، ۹/۳ GHz (-۱۷/۸۷ dB)، ۸/۶ GHz (-۲۱/۴۹ dB) جذب رزنانسی از خود نشان داد. در بقیه ضخامت‌ها، جذب EM قابل

۷/۶۷ dB - ، در کل این محدوده مشاهده شد.  
 ۴. بیشترین مقدار جذب رزنانس در بسامد ۸/۶ GHz ، در ترکیب به ازای  $x=0/2$  ، در نمونه‌ای با ضخامت ۵ mm اتفاق افتاد که حدود ۲۱/۴۹ dB - بود.  
 ۵. با این که در کل، با کاهش  $H_{CJ}$  و افزایش  $J_s$  میزان جذب در نمونه‌ها اصلاح شد، اما در پژوهش حاضر، بهترین ترکیب (یعنی  $BaFe_{10.6}Zr_{0.28}Mn_{1.12}O_{19}$  به ازای  $x=0/2$ ) متناظر با  $H_{CJ}$  کمینه و  $J_s$  بیشینه (متعلق به  $x=0/5$ ) نبود.

۲. با جایگزین کردن Mn و Zr به جای Fe در فریت باریم نوع  $(BaFe_{12}O_{19})M$   $H_{CJ}$  ، در مقایسه با فریت باریم خالص، به‌طور موثر کاهش و  $J_s$  به طور نسبی افزایش می‌یابد.  
 ۳. در نمونه با ضخامت ۶mm ، در ترکیب  $BaFe_{10.6}(Zr_xMn_{1-x})_{1.4}O_{19}$  ، به ازای  $x=0/2$  ، پدیده رزنانس در محدوده باند X اتفاق افتاد (در بسامد ۸/۴ GHz با جذبی برابر ۱۱/۲۴ dB-) و به ازای  $x=0/5$  ، علی‌رغم عدم وقوع پدیده رزنانس، جذب یکنواختی در حدود

## واژه نامه

1. EM
2. VNA: vector network
3. LAN: local area network

4. RAM: radar absorbing materials

## مراجع

1. Huo., Jia Wang., L., and Yu., H., "Polymeric Nanocomposites for Electromagnetic Wave Absorption," *Journal of Mater Sci*, Vol. 44, pp. 3917-3927, 2009.
2. 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. Özgür, U., Alivov, Y., and Morkoç, H., "Microwave Ferrites, Part 1: Fundamental Properties," *Journal of Materials Science, Part 1: Fundamental Properties*, 2009.
4. 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.
5. 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.
6. 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 Magnetism*, Vol. 42, pp. 1778-1781, 2006.
7. Meshram, M. R., Agrawal, N. K., Sinha, B., and 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.
8. 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.
9. 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 Magnetism*, 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  $Ba_{1-x}La_xZr_xFe_{12-x}O_{19}$  (Me: 0.5Mn0.5)  $yO_{19}$  ( $y=1-3$ ,  $x=0-0.5$ ; Me: Zr, Sn) by Metal Substitution," *Journal of Magnetism and Magnetic Materials*, Vol. 272-276, pp. 1813-1815, 2004.
12. 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.

14. 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 Requirements for the Degree of Master of Science, Singapore, 2000.