مجله علمی پژوهشی «الکترومغناطیس کاربردی»
سال دوم، شماره ۴، زمستان ۱۳۹۳؛ ص ۴۲-۳۹

بررسی تلفات انعکاس مواد جاذب فریتی آلائیده‌شده با نانولوله‌های کربنی (MWCNT)

اکبر چراغی[1*]، مرضیه پریشانی[2]، رسول ملک‌فر[3]

۱- دانشجوی دکتری ۲- کارشناسی ارشد، ۳- استاد، دانشگاه تربیت مدرس

(دریافت: ۹۳/۱۱/۲۰، پذیرش: ۹۴/۰۹/۱۷)

چکیده: در این تحقیق، اثر افزودن نانولوله‌های کربنی چندلایه‌ای (MWCNT) بر تلفات انعکاس نمونه‌های فریتی Cu0.2Ni0.4Zn0.4Fe2O4، Mg0.95 Zn0.05TiO3 و Ca0.6La0.8TiO3 بررسی شد. ابتدا، فریت‌های آلائیده‌شده، به روش واکنش حالت جامد و شوک حرارتی تهیه شد. سپس به نسبت وزنی ۹۸ به ۲ درصد (فریت به MWCNT) درون حمام آلتراسونیک قرار گرفتند. شناسایی فازهای موجود توسط پراش پرتو ایکس صورت گرفت. اندازه و ریخت‌شناسی ذرات فریت بر روی نانولوله‌های کربنی توسط میکروسکوپ الکترونی روبشی گسیل میدان (FESEM) بررسی گردید. به‌منظور بررسی خواص مایکروویو (RL) نانوکامپوزیت‌ها با محلول زایلن مخلوط و منحنی‌های تلفات انعکاس رسم گردید. حداکثر تلفات انعکاس با پهنای باند مناسب برای نمونه Cu0.2Ni0.4Zn0.4Fe2O4 حاصل شد. همچنین تصاویر (FESEM) گویای این مطلب است که مواد فریتی سنتزشده دارای ابعادی در حد نانو (۵۰ نانومتر) می‌باشد.

واژه‌های کلیدی: تلفات انعکاس، فریت، نانولوله‌های کربنی چندلایه‌ای، نانوکامپوزیت، واکنش حالت جامد

۱- مقدمه

طی سالیان اخیر بازتابندگی در محدوده امواج الکترومغناطیسی به خصوص در ناحیه امواج میکروویو به دلیل کاربرد وسیع سامانه‌های راداری مورد توجه طراحان و متخصصان حوزه دفاعی بوده است. در این بین، امروزه توجه ویژه‌ای به محدوده امواج رادیویی با ناحیه بسامدی MHz-GHz جهت پنهان‌سازی و کاهش مشاهده‌پذیری سامانه‌های نوین صورت پذیرفته و به‌عنوان یک چالش جدی مطرح بوده است. بنابراین استفاده از جاذب‌های الکترومغناطیسی مختلف به‌عنوان، پوشش روی سامانه‌های دفاعی (هوایی، زمینی و دریایی) برای کاهش حداکثری بازتابندگی و افزایش میزان جذب موردنظر می‌باشد.

به‌علت افزایش دامنه کاربرد امواج الکترومغناطیس در محدوده فرکانس GHz ۲۰-۱ در صنعت، تجارت و صنایع دفاعی، تداخل امواج الکترومغناطیس توجه زیادی را به خود معطوف کرده است. به منظور حفاظت و کاهش مضرات امواج الکترومغناطیس، تقاضای استفاده از جاذب های مایکروویو با تلفات انعکاس بالا، ضخامت کم، پهنای جذب مناسب، وزن کم، پایداری حرارتی و نیز داشتن مقاومت به سایش بالا و هزینه مناسب افزایش یافته است. بنابراین توسعه وسایل الکترونیکی که سازگاری الکترومغناطیسی دارند از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. وسایل سازگار الکترومغناطیس به صورتی تعریف می‌شوند که نه تنها از خود امواج مضر الکترومغناطیس ساطع نمی کنند بلکه، هسته های خود را نیز از امواج مضر الکترومغناطیس که از دیگر وسایل ایجاد شده محافظت می‌کنند. مشکلات عمده و ضرروی در برقراری سازگاری الکترومغناطیس کاهش نویز و توقف تابش نویزهای مضر در بین وسایل الکترونیکی می‌باشد. برای جذب امواج الکترومغناطیسی رادار مواد جذب‌کننده (RAM) وجود دارند [۱]. هدف استفاده از این مواد رسوخ انرژی در آن و کاهش بازگشت به رادار است. مواد جذب‌کننده پوشش‌هایی هستند که در آن، تغییر خواص الکتریکی و مغناطیسی را در فرکانس‌های گسسته و یا محدوده فرکانس وسیع باعث می‌شود. کاربرد این نوع مواد برای حذف تداخل الکترومغناطیسی و برای کاهش سطح مقطع راداری سامانه‌های جنگ‌افزاری است. در پژوهش حاضر از فریت های آلائیده‌شده با نانولوله کربنی به‌عنوان ماده جاذب موج الکترومغناطیسی استفاده شده است. روش‌های شیمیایی مختلفی برای سنتز این گونه مواد وجود دارد که از جمله به روش سل ژل و روش واکنش حالت جامد می‌توان اشاره کرد. روش واکنش حالت جامد نیز یک روش مناسب جهت سنتز ترکیبات می‌باشد. هدف از این تحقیق بررسی تلفات انعکاس پودرهای فریتی آلائیده‌شده با نانولوله‌های کربنی چندلایه‌ای می‌باشد. استفاده توامان ساختارهای فریتی مختلف، کامپوزیت‌های پلیمری و خانواده‌های کربنی (میهمان) در روند جذب در محدوده امواج میکروویو موثراند. یکی از دلایل استفاده ترکیبی از این گونه ساختارها به صورت لایه- لایه میزان موثر

* نویسنده پاسخگو: ampcheraghi@gmail.com

جذب در بخش وسیعی از امواج میکروویو می‌باشد. داشتن ساختاری صرفاً فریتی یا هگزافریتی از هر نوعی، می‌تواند میزان جذب مناسبی در محدوده امواج راداری را به همراه داشته باشد ولی علاوه بر تلفات انعکاس مناسب در یک ساختار، گستردگی محدوده فرکانسی در این محدوده حائز اهمیت است. پژوهش‌های متعددی برای چنین روند انجام و خروجی های بعضاً مناسبی را فقط در باریکه‌ای از محدوده فرکانسی وجود داشته است [۲].

۲- شرح آزمایش

مواد اولیه مورد استفاده در این تحقیق شامل ترکیبات اکسیدی یا کربناتی موادی نظیر مس، نیکل، روی،کلسیم، منیزیم، تیتانیوم، لانتانیوم و آهن مطابق جدول (۱) می‌باشد که با نسبت مولی معین به همراه گلوله‌هایی به قطر ۱۰ mm در یک محفظه سرامیکی مورد آسیاب‌کاری قرار گرفتند.

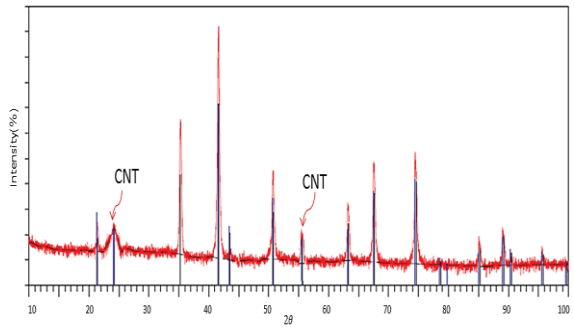
جدول (۱): سه ترکیب CLT، MZT و CNZF

ترکیبات اصلی	$Ca_{0.6}La_{0.26}TiO_3$ (CLT)	$Mg_{0.95}Zn_{0.05}TiO_3$ (MZT)	$Cu_{0.2}Ni_{0.4}Zn_{0.4}Fe_2O_4$ (CNZF)
ترکیبات اولیه	$CaCO_3$, La_2O_3 TiO_2	MgO, ZnO TiO_2	CuO, NiO_2 ZnO,Fe_2O_3

آسیاب‌کاری در یک آسیای پر انرژی لرزشی به مدت ۱۰ ساعت انجام گردید و به مدت ۳ ساعت در دمای ۱۳۰۰ °C در هوا تف جوشی شد. سرعت حرارت‌دهی نمونه‌ها از دمای اتاق تا ۶۰۰°C ، ۵ °C/min بوده و سپس تا دمای نهایی تف‌جوشی با سرعت ۱۰°C/min حرارت‌دهی شد. از آنجایی که ذرات فریت به‌دست‌آمده پس از تف‌جوشی ابتدایی درشت و زبر هستند و باید به پودری نرم تبدیل شوند، بنابر این ذرات دوباره توسط آسیاب گلوله‌ای به مدت ۱۰ ساعت خرد شدند و به همراه محلول زایلن درون حمام آلتراسونیک قرار گرفتند تا ابعاد آنها در گستره ۵-۳ µm قرار گیرد. به منظور اندازه‌گیری خواص جذبی نانوکامپوزیت فریت‌ها با درصد وزنی فریت به CNT برابر ۷۰ به ۳۰ انتخاب و درون دستگاه تحلیلگر شبکه برداری (N.A) قرار گرفتند. آزمایش پراش پرتو ایکس به منظور شناسایی فازهای مغناطیسی و نانولوله‌های کربنی چندلایه‌ای انجام گرفت که تیوب به‌کاررفته در آن پرتو CUKα با طول موج ۱/۴۵۲ آنگستروم بود. نرخ روبش معادل ۰/۵ درجه بر دقیقه و زاویه پراش از ۱۰ تا ۱۰۰ درجه انتخاب گردید. به‌منظور بررسی ریزساختار و مورفولوژی ذرات نانوکامپوزیت از روش میکروسکوپ الکترونی روبشی گسیل میدان (FESEM) استفاده شد.

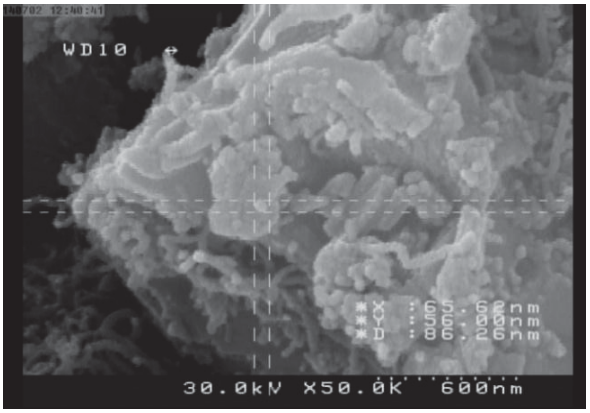
۳- تحلیل نتایج

سه ترکیب CNZF، CLT و MZT با آلایش دو درصدی از نانولوله‌های کربنی چندلایه‌ای به صورت پودر درنظر گرفته شده‌اند. شکل (۱) الگوی پراش پرتو ایکس فریت و نانوکامپوزیت آن با نانولوله‌های کربنی را نشان می‌دهد. همان‌طور که ملاحظه می‌شود، در الگوی پراش نانو کامپوزیت CNZF پیک برجسته‌ای در زاویه (2θ) ۳۵° ،۴۱/۵°،۵۱°،۶۷°،۷۰° ظاهرشده و نشان‌دهنده این است که ساختار نانولوله کربنی باحمام آلتراسونیک در فریت به‌وجود آمده است. لازم به توضیح است که ساختار نانولوله‌های کربنی به‌صورت لایه‌های تکرارشونده گرافیت است و به‌صورت لوله‌هایی با طول یک تا چند ده میکرون می‌باشد. بنابراین ساختار آنها بلوری بوده و پیک مربوط به آنها در الگوی پراش پرتو ایکس در زاویه ۲۴° و ۵۶° نمایان شده است. در این ساختار میزان آلایش نانولوله‌های کربنی به اندازه ۲٪ وزنی بوده است.

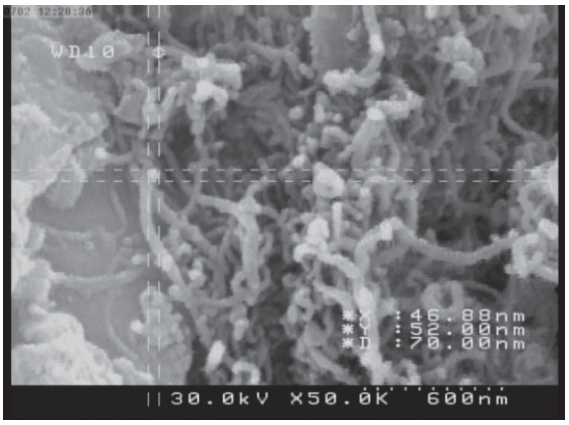


شکل (۱): الگوی پراش اشعه ایکس فریت CNZF آلائیده‌شده با CNT دو درصد وزنی

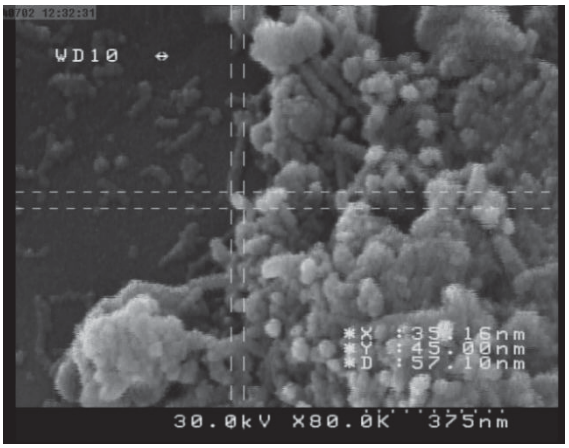
شکل‌های (۲ و۳) تصاویر SEM نانوکامپوزیت‌های فریتی MZT و CLT را نشان می‌دهد. در تصاویر SEM نمونه‌های MZT وCLT ساختار کلوخه‌ای نانولوله‌ها مشاهده می‌شود که برای نمونه CNZF کلوخه‌های ایجادشده دارای ابعاد کوچکتری هستند. نانولوله‌ها نانوذراتی رسانا و دارای تانژانت اتلاف دی‌الکتریک زیاد هستند و از قابلیت اتلاف انرژی موج الکترومغناطیس زیاد برخوردارند. بنابراین انتظار می‌رود، نانوکامپوزیت‌ها به واسطه داشتن رسانایی الکتریکی و خواص اتلافی زیاد نانولوله‌ها مقدار جذب قابل توجهی نشان دهند.



شکل (۲): تصویر (FESEM) نمونه CLT با ابعاد نانومتری



شکل (۳): تصویر (FESEM) نمونه MZT با ابعاد نانومتری



شکل (۴): تصویر (FESEM) نمونه CNZF با ابعاد نانومتری

برای محاسبه تلفات انعکاس از نظریه خطوط انتقال استفاده می شود که در آن میزان تلفات امواج الکترومغناطیسی که به صورت عمودی به جاذب برخورد می کند، طبق فرمول زیر محاسبه می شود:

$$RL(dB) = 20\log_{10}\left|\frac{Z_{in}-Z_0}{Z_{in}+Z_0}\right| \qquad (۱)$$

در رابطه فوق Z_{in} امپدانس ورودی جاذبی است که بر روی یک نگهدارنده فلزی قرارگرفته و با رابطه زیر محاسبه می گردد.

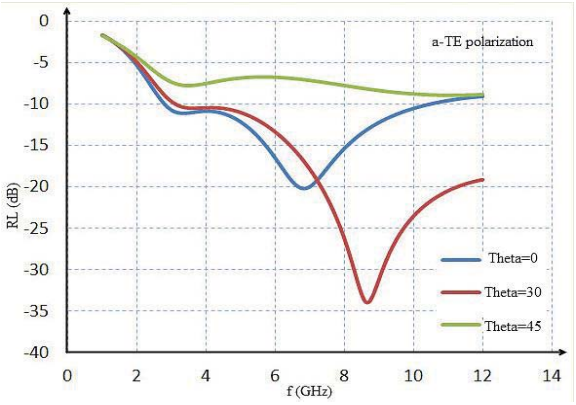
$$Z_{in} = \sqrt{\frac{\mu_r}{\varepsilon_r}}\tanh\left[j\frac{2\pi}{c}\sqrt{\varepsilon_r\mu_r}fd\right] \qquad (۲)$$

$$Z_{in} = \sqrt{\frac{\mu_r}{\varepsilon_r}}\tanh\left[j\frac{2\pi}{c}\sqrt{\varepsilon_r\mu_r}fd\right] \qquad (2)\ c$$

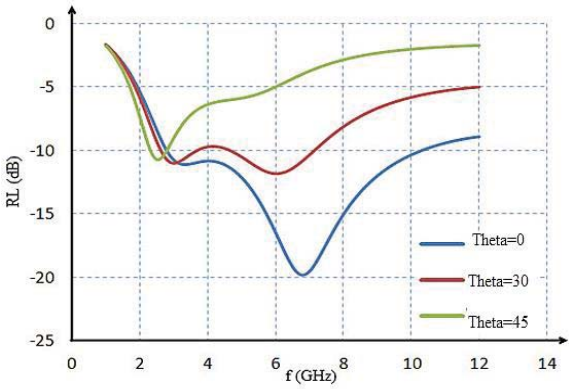
سرعت موج الکترومغناطیسی در فضای آزاد، f فرکانس موج فرودی و d ضخامت جاذب است. بیشترین میزان جذب امواج الکترومغناطیسی برای جاذب، زمانی ایجاد می‌شود که فرکانس موج فرودی با فرکانس تشدید ماده جاذب و ضخامت آن برابر ضخامت تطبیق جاذب باشد. فرکانس تشدید نیز خود تابعی از انرژی ناهمسانگردی است که از رابطه زیر قابل تعریف می باشد.

$$f = \frac{\gamma}{2\pi}H_a \qquad (۳)$$

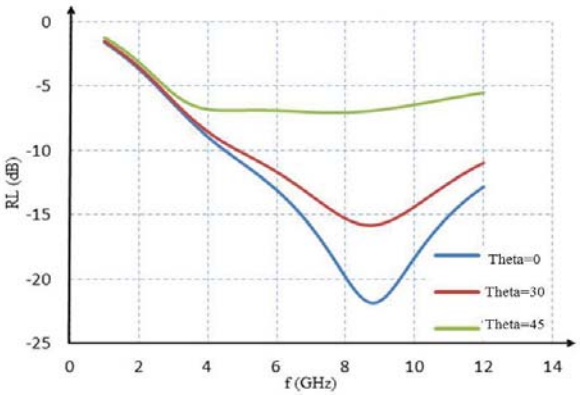
در این رابطه H_α، میدان ناهمسانگردی بلوری و γ، نسبت ژیرومغناطیسی ماده جاذب است. حضور ترکیباتی در ساختار فریت که منجر به کاهش میدان ناهمسانگردی گردد موجب کاهش فرکانس تشدید به محدوده فرکانس‌های مایکروویو می‌گردد [۳]. شکل‌های (۷-۵) تلفات انعکاسی را برای نمونه‌های MZT ، CLT و CNZF در حضور نانولولوهای کربنی در محدوده بسامدی ۱-۲۰GHz نشان می‌دهد. همان‌طور که در شکل‌های (۶-۵) مشاهده می‌گردد بیشترین میزان تلفات انعکاس به ترتیب ۳۵ dB-، ۲۰ dB- و ۲۲dB- در محدوده فرکانسی ۸/۵ GHz، ۷ GHz و ۸/۵ GHz مشاهده می‌گردد. با نگرش به کاربرد فراوان این محدوده امواج الکترومغناطیسی می‌توان از این‌گونه جاذب‌ها در کاهش ضریب بازتابندگی امواج استفاده نمود. مواد فریتی و هگزافریتی به‌عنوان میزبان و ساختار نانویی با ترکیب‌های مختلف به مانند نانوالیاف، نانولوله‌های تک‌جداره و چندجداره، گرافن ها به‌عنوان میهمان یا پرکننده‌ها نقش اصلی را در جذب امواج در محدوده راداری را ایفا می‌کنند.



شکل (۵): تلفات انعکاس برای نمونه MZT با آلایش دودرصدی CNT در سه زاویه فرودی ۰، ۳۰ و ۴۵ درجه با پلاریزاسیون TM



شکل (۶): تلفات انعکاس برای نمونه MZT با آلایش دودرصدی CNT در سه زاویه فرودی ۰، ۳۰ و ۴۵ درجه با پلاریزاسیون TE



شکل (۷): تلفات انعکاس برای نمونه CNZF با آلایش دودرصدی CNT در سه زاویه فرودی ۰، ۳۰ و ۴۵ درجه با پلاریزاسیون TE

مکانیزم تلفات در فریت‌های مورد اشاره از نوع مغناطیسی می‌باشد و تلفات ناشی از تشدید عامل جذب موج مایکروویو برای فریت‌ها به شمارمی‌رود. در فریت‌ها تلفات دی‌الکتریک ضعیف می‌باشد و از آنجایی که موج الکترومغناطیسی شامل دو میدان هم فاز مغناطیسی و الکتریکی عمود بر هم است، لذا سازوکار تلفات دی‌الکتریک از اهمیت بالایی برخوردار می‌شود. نانو لوله‌های کربنی همراه با فریت ها می‌تواند تلفات دی‌الکتریک و قسمت موهومی تراوایی الکتریکی را افزایش دهد و باعث شود کامپوزیت، جذب بهتری نسبت به فریت تنها داشته باشد. هرچه میزان نانو لوله‌های کربنی در نانوکامپوزیت افزایش یابد مقدار تلفات انعکاس نیز بیشتر می‌شود. بیشترین مقدار تلفات انعکاس برای نانوکامپوزیت‌های MZT ، CLT و CNZF با درصد حجمی دو درصد نانولوله کربنی در محدوده فرکانسی ۲-۱۲ GHz (با حداقل میزان ۲۰ dB-) می‌باشد.

۴- نتیجه‌گیری

به‌طور کلی می‌توان نمونه‌های نانوکامپوزیت تهیه‌شده در این تحقیق را جزء بهترین نمونه‌های جاذب امواج الکترومغناطیسی در بین فریت های هگزاگونال به حساب آورد زیرا پارامترهای موثر بر تلفات انعکاس را به‌خوبی در حالت بهینه دارا می‌باشد. نقش مواد فریتی، مواد کربونیل آهن‌ها، مواد کامپوزیتی، مواد کامپوزیتی پلیمری، ساختار نانویی کربنی در جذب امواج الکترومغناطیسی محدوده میکروویو، مخصوصاً راداری بسیار حائز اهمیت است. در ارتباط با ترکیبات CNZF، MZT و CLT به‌عنوان میزبان با درصد آلایش‌های مختلف از خانواده‌های کربنی به مانند CNT می‌تواند در میزان جذب در محدوده امواج میکروویو به‌خصوص راداری موثر باشد. با نگرش به این‌که استفاده توامان از این‌گونه ترکیبات به‌صورت لایه - لایه در روند جذب موثر است، لذا با لحاظ نمودن میزان ماده میزبان (فریت‌ها و کامپوزیت‌های پلیمری)، درصد آلایش خانواده‌های کربنی به‌عنوان میهمان، اولویت لایه‌ها، قطبش موج فرودی، ضخامت لایه‌ها، انتخاب گستردگی محدوده فرکانسی، نوع زیر لایه رسانای انتخابی و نحوه بهینه‌سازی این‌گونه ساختارها از اولویت‌های مهم کار به‌شمار می‌رود.

۵- مراجع

[1] C. Wei, X. Shen, F. Song, and Y. Zh, “Double-layer Microwave Absorber based on Nanocrystalline Fe Microfibers,” Mater. Design, vol. 35, pp. 363-368, 2012.

[2] B. R. Kim, H. K. Lee, and H. K. Kim, “Electromagnetic Interference Shielding Characteristics and Shielding Effectiveness of Polyaniline-Coated Films,” Thin Solid Film, vol. 519, pp. 3492-3496, 2011.

[3] Y. Yang, S. Qi, and J. Wang, “Preparation and Microwave Absorbing Properties of Nickel-Coated Graphite Nanosheet,” J. Alloy. Compd., vol. 520, pp. 114-121, 2012.

[4] W. Yang, Y. Fu, K. Zhang, and Z. Wu, “Microwave Absorption Property of Ni-Co-Fe-P-Coated Flake Graphite Prepared by Electro Less Plating,” J. Alloy. Compd., vol. 518, pp. 6-10, 2012.

[5] Sh. S. Rajput, S. Keshri, and V. R. Gupta, “Microwave dielectric properties of (1-x)Mg0.95Zn0.05TiO3–(x)Ca0.6La0.8/3TiO3 ceramic composites,” Journal of Alloys and Compounds, vol. 552, pp. 219–226, 2013.

[6] Ch. F. Tseng and Sh. Ch. Lu, “Short communication Influence of SrTiO3 modification on dielectric properties of Mg Zr0.05Ti0.95)O3,” Materials Science and Engineering B, vol. 178, pp. 358– 362, 2013.

[7] S. Sutradhar, S. Das, and P. K. Chakrabarti, “Magnetic and enhanced microwave absorption properties of nanoparticles of Li0.32Zn0.26Cu0.1Fe2.32O4 encapsulated in carbon nanotubes,” Materials Letters, vol. 95, pp. 145–148, 2013.

Journal of Applied Electromagnetics
Vol. 2, No. 4, 2015 (Serial No. 5)

Reflection Losses Investigation of Ferrite Absorber Materials Doped with Carbon Nanotubes (CNT)

A.Cheraghi*, M.Parishani, R. Malekfar

Tarbiat Modares University, Department of Physics

(Received: 091/02/2015, Accepted: 28/02/2016)

Abstract

In this study, effect of Carbon Nanotubes (CNT) ferrite samples of Cu0.2Ni0.4Zn0.4Fe2O4, Mg0.95 Zn0.05TiO3 and Ca0.6La0.8TiO3 examined for the reflection loss investigation. In first step the mentioned ferrites were prepared by solid state reaction and thermal shock techniques. Then, samples with a mixture weight ratios of ferrite and carbon nanotubes of 98 to 2 percent were placed in an ultrasonic bath. In order to identify the phases of the synthesized samples, X-ray diffraction (XRD) was used. Ferrite grain sizes were characterized by field emission scanning electron microscopy (FESEM). To investigate the microwave electromagnetic region properties, the prepared nanocomposites were mixed with xylene solution and the reflection losses curves were plotted. The maximum reflection losses with appropriate broadband was obtained for Cu0.2Ni0.4Zn0.4Fe2O4 sample. Also, field emission scanning electron microscopy images reveals that the synthesized ferrite materials have nanoscale grain sizes.

Keywords: Reflection Loss, Ferrite, Carbon Nanotubes, Nanocomposite, Solid State Reaction

* Corresponding author E-mail: ampcheraghi@gmail.com