

## بررسی ویژگی‌های الکترومغناطیسی کامپوزیت گرافیت-کربنیل آهن

کیانی، اسماعیل؛ پوربافرانی، احمد

مرکز تحقیقات الکتروسرام، دانشگاه صنعتی مالک اشتر، شاهین شهر، ایران

### چکیده

نفوذ پذیری مغناطیسی و گذردهی الکتریکی کامپوزیت‌های گرافیت/پارافین و گرافیت-کربنیل آهن/پارافین برای بررسی قابلیت‌های جذب مایکروویو آنها اندازه‌گیری شد. اندازه‌گیری در بازه فرکانسی ۱-۱۸ GHz با استفاده از دستگاه تحلیل گر شبکه انجام شد. نتایج اندازه‌گیری نشان می‌دهد که کامپوزیت‌های گرافیت-کربنیل آهن/پارافین دارای گذردهی الکتریکی بزرگی هستند و در پهنای فرکانسی ۵-۶ GHz جذب خوبی از خود نشان می‌دهند.

## Investigation of the Electromagnetic Properties of graphite-carbonyl Iron composites

Kiani, Esameil; Poorbafrani, Ahmad

Electrocera Research Center, Malek Ashtar University of Technology, Shahin Shahr, Iran

### Abstract

The complex permittivity and permeability spectra of graphite/paraffin and graphite-carbonyl iron/paraffin (gcp) composites were measured to assess the application potential of these composites as microwave absorbers. A vector network analyzer in the frequency range 1-18 GHz was used to measure the complex quantities. The obtained results showed that gcp composites had the highest permittivity and good absorbing properties in the 5-6 GHz.

PACS No. 70

بر اینکه با تغییر درصد کم گرافیت در کامپوزیت نفوذپذیری دی-الکتریک کامپوزیت در گستره‌ی وسیعی تغییر می‌کند. با این وجود گرافیت دارای خاصیت مغناطیسی نیست ( $\mu=1$ ). برای بهره‌گیری از تلفات مغناطیسی می‌توان به کامپوزیت یک ماده‌ی مغناطیسی همانند کربنیل آهن اضافه کرد تا با افزایش امیدانس لایه باعث کاهش ضخامت آن گردد.

### سازو کار تجربی

نمونه‌ها در دو گروه تهیه شدند. در گروه اول گرافیت به عنوان فیلر استفاده شد و در گروه دوم از مخلوطی از گرافیت و کربنیل آهن، کامپوزیت ساخته شد. کامپوزیت‌های گروه اول در درصدهای وزنی ۳، ۱۰، ۲۰، ۳۰، ۴۰، ۵۰ گرافیت تهیه شد و کامپوزیت‌های گروه دوم با ۲۰ درصد وزنی پارافین ۵، ۱۰، ۱۵،

### مقدمه

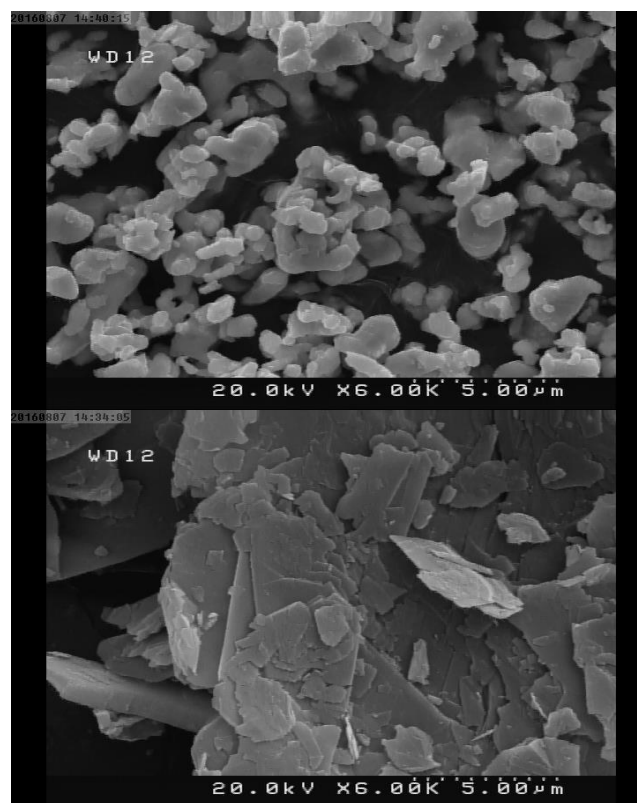
مواد جذب امواج مایکروویو دارای استفاده روزافزونی در صنایع مخابرات و صنایع نظامی هستند. این مواد باید دارای وزن و ضخامت کمی باشند و در عین حال توانایی جذب امواج مایکروویو آنها زیاد باشد. قابلیت جذب مواد مختلف بسیار مورد بررسی قرار گرفته‌اند که مهم‌ترین این مواد شامل فریت‌ها، آلیاژهای مغناطیسی، مواد کربنی و ... است. در این میان کربنیل آهن به دلیل مغناطش اشباع بزرگ و حد اسنوک بزرگ، نامزد مناسبی به عنوان فیلر در کامپوزیت‌های جذب است [۱]. گرافیت در توسعه مواد سبک وزن و رسانا مورد مطالعه قرار گرفته است [۲]. در مقایسه با مواد جاذبی همانند کربونیل آهن و فریت‌ها، گرافیت دارای چگالی کم و تلفات الکتریکی قوی‌تر است. علاوه

مقادیر مختلط گذردهی دی‌الکتریک نسبی کامپوزیت‌های گرافیت در شکل ۲ رسم شده است. گرافیت ماده‌ای غیرمغناطیسی است و به این دلیل نفوذپذیری مغناطیسی آن ۱ است. ویژگی‌های دی‌الکتریک مواد به قطبش بین صفحه‌ای، قطبش جهت‌گیری، قطبش یونی و قطبش الکترونی وابسته است [۳]. قطبش‌های الکترونی و یونی، پاسخ‌های تشدیدیهی هستند که به ترتیب در فرکانس‌های اپتیکی و فرسرخ برانگیخته می‌شوند. در طیف مایکروویو دو قطبش جهت‌گیری و بارهای بین صفحه‌ای سهم عمده را دارند که فرآیندهای واهلشی هستند. در ذرات گرافیت چون دوقطبی‌های دائمی نداریم، پس تنها سهم اصلی در تابع دی‌الکتریک قطبش بین صفحه‌ای است که بیشتر در کامپوزیت‌هایی روی می‌دهد که تفاوت محسوسی بین رسانش اجزای کامپوزیت وجود داشته باشد. رسانندگی گرافیت در برابر پارافین قابل ملاحظه است که موجب تشکیل مقدار زیاد بارهای بین صفحه‌ای در مرز صفحات گرافیت و پارافین شده و مقدار گذردهی الکتریکی را زیاد می‌کند. با افزایش درصد وزنی مقدار گرافیت در کامپوزیت، مقدار این بارهای بین صفحه‌ای نیز افزایش یافته و باعث افزایش گذردهی الکتریکی کامپوزیت می‌شود. صفحات رسانای گرافیت دارای سطح منظری بزرگی هستند، بنابراین با افزایش درصد گرافیت این صفحات با یکدیگر تماس برقرار می‌کنند و شبکه‌های رسانایی تشکیل می‌دهند. این شبکه‌های رسانا باعث افزایش قسمت موهومی گذردهی الکتریکی می‌شوند [۴]. هنگامی که درصد گرافیت در کامپوزیت از مقدار معینی عبور کند (آستانه نفوذ) تمام کامپوزیت یک شبکه یکپارچه رسانا می‌شود و رسانش DC به ناگهان افزایش یافته باعث افزایش سریع  $\epsilon''$  می‌شود [۵]. وابستگی بسامدی گذردهی دی‌الکتریک کامپوزیت‌های کربونیل آهن-گرافیت در شکل ۳ نشان داده شده است. مقایسه شکل ۲ و شکل ۳ مشخص می‌کند که افزودن گرافیت به کامپوزیت کربونیل آهن باعث افزایش شدید مقادیر حقیقی و موهومی گذردهی الکتریکی می‌شود.

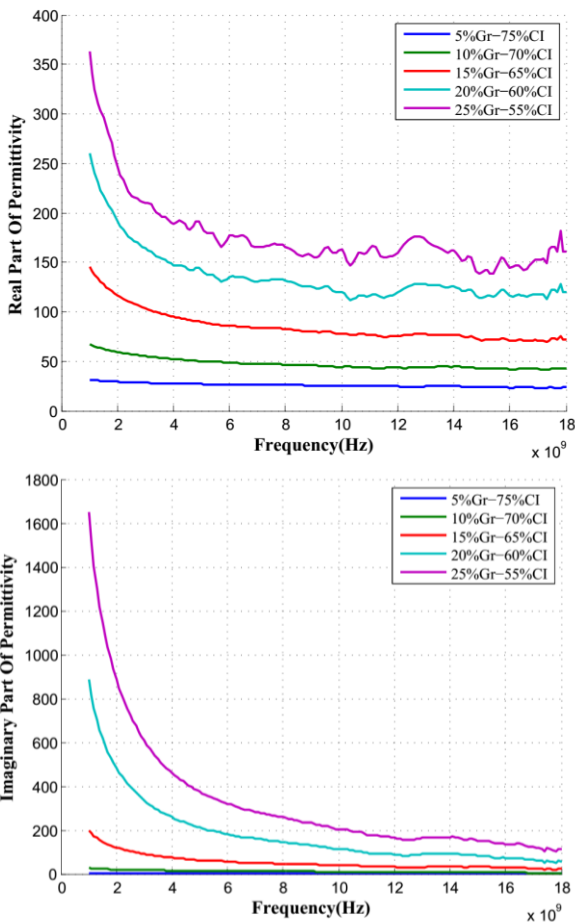
۲۰ و ۲۵ درصد وزنی گرافیت و بقیه آهن تهیه شدند. برای تهیه کامپوزیت نسبت وزنی مناسب پودر به پارافین را با تولوئن مخلوط کرده و آن را به مدت ۳ دقیقه سونیکیت می‌کنیم. سپس نمونه‌ها را در آن قرار می‌دهیم تا تولوئن حذف گردد و بعد از خروج از آن مجدداً نمونه‌ها را مخلوط می‌کنیم. برای اندازه‌گیری‌های مایکروویو نمونه‌های سیلندری با قطر داخلی ۳ و قطر خارجی ۷ میلی‌متر ساخته شد. از میکروسکوپ الکترونی روبشی اثر میدانی برای مشخص شدن شکل پودرها استفاده شد و مقادیر مختلط نفوذپذیری مغناطیسی و گذردهی الکتریکی با استفاده از تحلیل گر شبکه اندازه‌گیری شد.

## نتایج

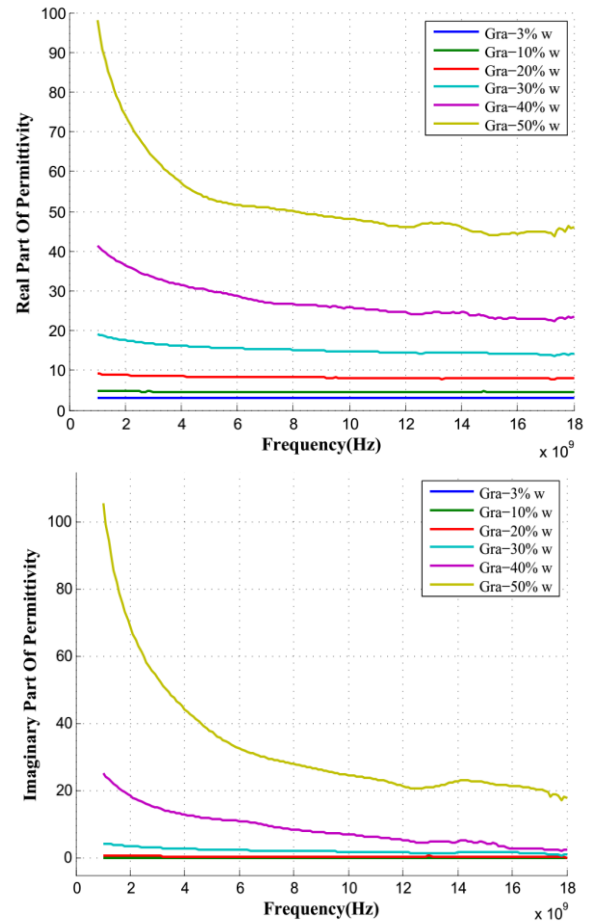
تصاویر میکروسکوپ الکترونی در شکل ۱ نشان داده شده است. ذرات کربنیل آهن شکل نامنظمی دارند و اندازه‌ی میانگین آن‌ها در حدود  $1 \mu\text{m}$  است. ذرات پودر گرافیت به صورت صفحات تخت بزرگی است که ضخامت تقریبی این صفحات در حدود  $100 \text{ nm}$  است.



شکل ۱: تصویر FESEM از ذرات کربونیل آهن (بالا) و گرافیت (پایین)



شکل ۳. گذردهی دی الکتریک کامپوزیت های کربونیل آهن-گرافیت



شکل ۴. گذردهی الکتریکی مختلط کامپوزیت های گرافیت

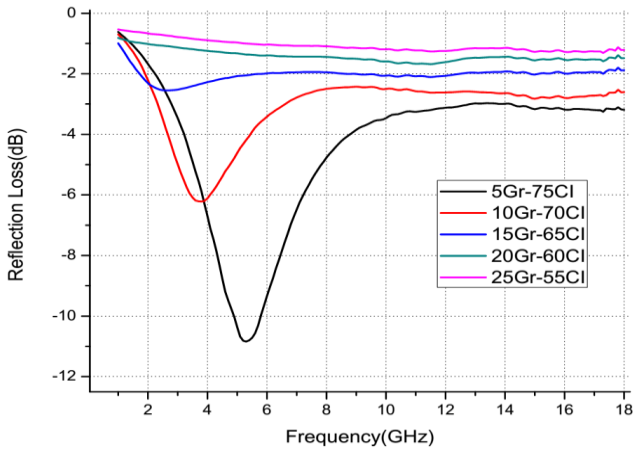
رسانش DC تنها در قسمت موهومی تابع دی الکتریک اثر دارد [۴]. همان گونه که از معادله ۱ مشخص است رفتار این قسمت از تابع دی الکتریک که ناشی از رسانش DC است، به صورت  $1/\omega$  است و با افزایش رسانش DC افزایش می یابد. بنابراین هنگامی که درصد گرافیت و کربنیل آهن در کامپوزیت افزایش می یابد به دلیل افزایش رسانش DC در قسمت موهومی تابع دی الکتریک جمله دوم در معادله ۱ سهم غالب را خواهد داشت. نفوذپذیری مغناطیسی کامپوزیت ها در شکل ۴ نشان داده شده است. مشاهده می شود که با افزایش درصد گرافیت مقادیر حقیقی و موهومی نفوذپذیری مغناطیسی کاهش کمی دارند. گرافیت و پارافین، مواد غیر مغناطیسی هستند و سهم مغناطیسی توابع پاسخ مربوط به وجود کربنیل آهن است.

ذرات گرافیت به شکل صفحه ای هستند و هنگامی که بین ذرات کربونیل آهن قرار می گیرند، باعث اتصال الکتریکی بین این ذرات می شوند. بنابراین خوشه های رسانشی زیادی به وجود می آید که کنار همدیگر یک شبکه رسانشی تشکیل می دهند و باعث افزایش شدید گذردهی الکتریکی می شود. از شکل ۳ مشخص است که قسمت موهومی تابع دی الکتریک رفتار  $1/\omega$  دارد. تابع گذردهی دی الکتریک را می توان به شکل زیر نوشت [۶]:

$$\varepsilon = \frac{\Delta\varepsilon}{(1+i\omega\tau)^\beta} + \frac{\sigma}{i\varepsilon_0\omega} \quad (1)$$

که در این رابطه  $\omega$  فرکانس زاویه ای،  $\tau$  زمان واهلش و  $\sigma$  رسانش الکتریکی است. رسانش الکتریکی شامل قسمت های حقیقی و موهومی است که می توانند تابع فرکانس هم باشند.

ایجاد شده را به گونه‌ای حذف کرد. یکی از روش‌های ممکن استفاده از لاستیک طبیعی به جای پارافین و استفاده از دما و فشار برای نفوذ لاستیک بین شبکه‌های رسانشی و کاهش رسانش است.



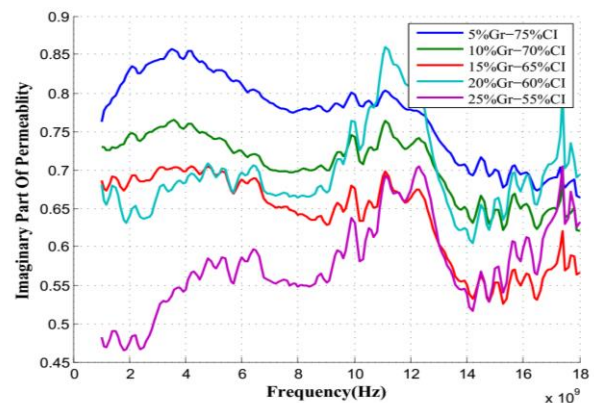
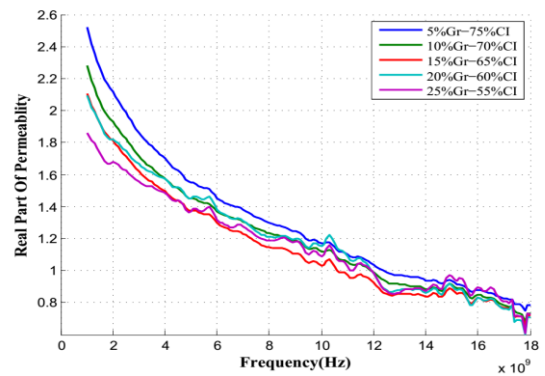
شکل ۵: تلفات انعکاسی کامپوزیت‌ها

### نتیجه گیری

کامپوزیت‌های گرافیت/پارافین و گرافیت-کربنیل آهن/پارافین تهیه شدند و ویژگی‌های الکترومغناطیسی آن‌ها در بازه‌ی فرکانسی ۱-۱۸ GHz مورد بررسی قرار گرفت. نتایج اندازه‌گیری‌ها نشان می‌دهد که گرافیت به دلیل ساختار صفحه‌ای و رسانندگی الکتریکی، تشکیل شبکه‌های رسانشی داده باعث افزایش گذردهی دی‌الکتریکی کامپوزیت‌ها می‌شود. این افزایش گذردهی دی‌الکتریکی تطبیق امپدانس کامپوزیت با خلأ را کم کرده و باعث کاهش تلفات انعکاسی کامپوزیت‌ها می‌شود. این کامپوزیت‌ها به دلیل داشتن گذردهی دی‌الکتریکی بزرگ، به منظور تطبیق امپدانس در طراحی جاذب‌های چند لایه استفاده می‌شوند.

### مرجع‌ها

- [۱] B.J. Park, F.F. Fang, H.J. Choi, *Soft Matter* **6**, (2010) 5246–5253.
- [۲] D. Micheli, C. Apollo, R. Pastore, M. Marchetti, *Composites Science and Technology* **70**, (2010) 400–409.
- [۳] F.Qin, C.Brosseau, *J. Appl. Phys.* **111**, (2012) 061301
- [۴] L. Liu, S. Matitsine, Y.B. Gan and K.N. Rozanov, *J. Phys. D: Appl. Phys.*, **40**, (2007) 7534–7539
- [۵] A.N. Yusoff, M.H. Abdullah, S.H. Ahmad, S.F. Jusoh, A.A. Mansor, *J. Appl. Phys.* **92**, (2002) 876
- [۶] Y.D. Liu, F.F. Fang, H.J. Choi, *Langmuir* **26** (2010) 12849–12854.
- [۷] R.C. Che, L.M. Peng, X.F. Duan, Q. Chen, X.L. Liang, *Advanced Materials* **16**, (2004) 401–405.



شکل ۴: نفوذپذیری حقیقی و موهومی مغناطیسی کامپوزیت‌ها

تلفات انعکاسی کامپوزیت‌ها بر روی زیر لایه فلزی را می‌توان با استفاده از توابع گذردهی دی‌الکتریکی و نفوذپذیری مغناطیسی از معادله‌ی زیر محاسبه کرد [۷]:

$$R = 20 \log |(Z_{in} - Z_0) / (Z_{in} + Z_0)| \quad (۲)$$

$$Z_{in} = \sqrt{\mu_r \mu_0 / (\epsilon \epsilon_0)} \tanh(J 2\pi d \sqrt{\mu_r \epsilon_r} / \lambda) \quad (۳)$$

در این معادلات  $\lambda$ ،  $d$ ،  $Z_0$  به ترتیب طول موج، ضخامت کامپوزیت و امپدانس فضای آزاد هستند. تلفات انعکاسی برای کامپوزیت‌های مختلف محاسبه و در شکل ۵ رسم شد. همان‌گونه که مشاهده می‌شود با افزایش درصد گرافیت در کامپوزیت تلفات انعکاسی کاهش زیادی دارد. این کاهش به دلیل افزایش شدید گذردهی الکتریکی کامپوزیت‌ها ناشی از اثرات رسانشی گرافیت است. هنگامی که گذردهی الکتریکی افزایش می‌یابد، امپدانس لایه کامپوزیتی کاهش می‌یابد. این کاهش امپدانس، تطبیق امپدانس موج را بین هوا و کامپوزیت کاهش می‌دهد. بنابراین مقدار زیادی از موج تابشی قبل از ورود به لایه‌ی جاذب، در مرز لایه بازتاب می‌کند. برای افزایش جذب کامپوزیت‌ها لازم است که شبکه رسانشی