

بهینه سازی انتباط امواج الکترومغناطیسی کامپوزیت آهن کربونیل -

در جذب امواج $\text{La}_{0.8}\text{Sr}_{0.2}\text{MnO}_3$

دنیز مطمئن، عباس کیان‌وش*

دپارتمان مهندسی مواد، دانشکده مهندسی مکانیک، دانشگاه تبریز

* akianvash@tabrizu.ac.ir

چکیده:

در این پژوهش نخست تابو ذرات ($\text{La}_{0.8}\text{Sr}_{0.2}\text{MnO}_3$) (LSMO) به روش سل ژل سنتز شدند. سپس درصد جذب امواج میکروویو رنگ‌های جاذب شامل نسبت‌های مختلف پرکننده‌های آهن کربونیل - LSMO - بصورت $0\text{-}10\text{-}17\text{-}27\text{-}37\text{-}67\text{-}87\%$ وزنی چسب پائی استر و سخت کننده در گستره فرکانسی $1\text{-}12\text{GHz}$ مورد بررسی قرار گرفت. مواد کامپوزیتی با خصامت‌های مختلف $0\text{/}7\text{/}9\text{/}10\text{/}11\text{mm}$ به صورت رنگ بر روی یک زیر لایه آلومینیومی به ابعاد استاندارد $(10\text{/}1\text{/}1\text{/}1\text{mm}) \times 22\text{/}8$ در این پژوهش. آنالیز فاری و اندازه بلوک‌ها، مورفلوژی پودرها و میزان جذب امواج الکترومغناطیس رنگ‌های کامپوزیتی حاصل از آنها بترتیب توسط الگوی پراش اشعه X (XRD)، میکروسکوپ الکترونی روبشی (FE-SEM) و آنالیزگر شبکه‌ی برداری (VNA) تعیین گردید. رنگ کامپوزیتی آهن کربونیل - LSMO با نسبت رنگ 67% در ضخامت $0\text{/}9\text{ mm}$ دارای یک اتلاف انعکاس تشید برابر $-10\text{/}-19\text{ dB}$ در فرکانس $11\text{/}55\text{ GHz}$ و بالای 46% جذب در کل پهنه‌ی باند $-1\text{/}9\text{ GHz}$ بود. با افزایش ضخامت پوشش از $0\text{/}7\text{ mm}$ تا $1\text{/}1\text{ mm}$ خواص جذب رنگ بهبود یافت. بنابراین، رنگ کامپوزیتی آهن کربونیل - LSMO به عنوان یک ماده‌ی جاذب بسیار مناسب در باند X شناسایی شد.

اطلاعات مقاله:

دربافت: ۱۳۹۴/۱۰/۱۲

پذیرش: ۱۳۹۵/۹/۱۵

کلید واژه:

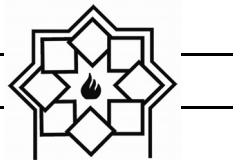
آهن کربونیل، LSMO سل ژل، خاصیت جذب امواج میکروویو، رنگ کامپوزیتی

توسط رadar را فراهم کرده است. یکی از موثرترین روش‌هایی که برای کاهش قابلیت آشکار شدن یک هدف پرنده توسط رadar به کار می‌رود، استفاده از مواد جاذب رadar^۱ با پهنه‌ی جذب گستردگی، دانسیته کم و ضخامت نازک است. در ساخت جاذب‌های امواج الکترومغناطیسی^۲، به

۱- مقدمه

امروزه استفاده از امواج میکروویو با فرکانس بالا در صنایع مرتبط با سیستم‌های ارتباطی بی‌سیم، شبکه‌های محلی، تجهیزات پزشکی و رادارها بیش از پیش و به صورت بسیار گستردگی مورد توجه قرار گرفته است. استفاده از امواج میکروویو در کاربردهای نظامی، امکان شناسایی اهداف

¹ Radar absorbing materials² Electromagnetic



دیالکتریک آهن کربونیل توسط ترکیب آن با مواد دیگر تنظیم می شود [۹].

نانو اکسیدهای نوع پروسکیت (با فرمول عمومی ABO_3) به عنوان گروهی از مواد سرامیکی، ناشی از خواص فیزیکی و شیمیایی منحصر به فرد خود مانند پایداری زیاد در مقابل گرمایش، خواص فروالکتریکی، پیزوالکتریکی، پیروالکتریکی، توان هدایتی و مغناطیسی فوق العاده [۱۰] برای بیش از دو دهه مورد توجه فراوانی قرار گرفته‌اند. بخشی از کاربردهای این مواد در زمینه‌ی جذب میکروویو است [۱۱]. بررسی تجربی ویژگی‌های الکتریکی و مغناطیسی این ترکیبات اولین بار در سال ۱۹۵۱ صورت گرفت [۱۲]. یک ماده مخصوص در این زمینه $\text{La}_{1-x}\text{Sr}_x\text{MnO}_3$ است، که از سال ۱۹۹۴ دور تازه‌ای از پژوهش‌ها بر روی آن آغاز شده است. این مواد دارای خواص مغناطیسی قوی و مقاومت ویژه پایین هستند. دارا بودن دمای کوری (T_c) نسبتاً بالا و نزدیک به دمای اتاق و همچنین داشتن بالاترین دمای گذار بین منگنایتها باعث افزایش پتانسیل‌های کاربردی این ماده شده است [۱۳]. این ترکیبات توانایی‌های جالب توجهی دارند و برای کاربردهای گوناگونی همانند حافظه‌های مغناطیسی، حسگر میدان مغناطیسی، حسگر فشار، هد مغناطیسی، یخچال مغناطیسی و جاذب امواج از آن‌ها بهره گرفته می‌شود [۱۴ و ۱۵]. تا کنون روش‌های متفاوتی برای سنتز این ترکیبات از قبیل روش حالت جامد در دمای بالا [۱۶]، روش هیدرورتمال [۱۷] و روش سل ژل در دمای پایین [۱۸] به کار گرفته شده‌اند.

در این پژوهش، خواص جذب امواج میکروویو کامپوزیت‌های زمینه پلیمری شامل پر کننده‌های مغناطیسی

ویژه برای کاهش ضخامت جاذب، مقدار بالای نفوذ پذیری مغناطیسی و ثابت دیالکتریک و ترکیب مناسبی از آن‌ها منجر به انطباق امیدانس امواج در داده‌های مورد نیاز فرکانس و ضخامت خواهد شد. اولین نسل از مواد جاذب رادار بر پایه آهن کربونیل^۱ در جنگ جهانی دوم توسط آلمانی‌ها به کار گرفته شد [۱۱].

فакتورهای موثر در جذب امواج الکترومغناطیس شامل اتلاف دیالکتریک، اتلاف مغناطیسی، رسانایی الکتریکی، اثر ابعاد نانو و ساختار ماده می‌باشد [۲]. مواد جاذب امواج الکترومغناطیس از دیدگاه اجزای سازنده به دو دسته‌ی جاذب‌های دیالکتریکی و جاذب‌های مغناطیسی طبقه‌بندی می‌شوند [۳]. جاذب‌های دیالکتریک از مواد با نفوذ پذیری دیالکتریکی (") پایین و در نتیجه با اتلاف دیالکتریکی ("") بالا ساخته می‌شوند [۴]. از جمله مزایای جاذب‌های مغناطیسی نسبت به جاذب‌های دیالکتریک پایین بودن ضخامت مورد نیاز (حدود ۰/۱) برای رسیدن به جذب معادل جاذب‌های دیالکتریک است [۵]. جاذب‌های مغناطیسی معمول شامل آهن کربونیل [۶]، آلیاژهای فلزی مغناطیسی [۷] و فریت‌ها [۸] و نانو اکسیدهای نوع پروسکیت هستند. آهن کربونیل آهنی با درجه خلوص بسیار بالا است که از تجزیه‌ی شیمیایی پنتاکربونیل آهن تخلیص شده تهییه می‌شود. آهن کربونیل بسته به اندازه ذرات و دمای تفحوشی می‌تواند در محدوده‌ی فرکانسی مگاهرتز و گیگا هرتز جاذب باشد. فرکانس تشید آن نیز بستگی به اندازه ذرات دارد. پودر آهن کربونیل تراوایی مغناطیسی نسبی بالا ولی خواص دیالکتریک بسیار ضعیفی دارد. مقادیر تراوایی مغناطیسی و

^۱ Carbonyl iron



چسب پلی استر و سخت کننده بطور کامل مخلوط و جهت اندازه‌گیری تلفات امواج الکترومغناطیس در روی ورقه‌های آلمینیومی به ابعاد استاندارد ($22/8 \times 10/1 \times 0/8$ mm³) اعمال شد. پنج نمونه با نسبت‌های مختلف آهن کربونیل و LSMO در ضخامت ۰/۹ mm آماده شدند، نسبت‌های وزنی کامپوزیت آهن کربونیل – LSMO بر طبق CL1-۵ به ترتیب برابر ۰-۸۰، ۱-۷۹، ۳-۷۷، ۶-۷۴، ۸-۷۲ هستند. همچنین سه نمونه با نسبت وزنی ثابت ۶-۷۴ (CL4) در ضخامت‌های مختلف ۰/۹ و ۱/۱ mm آماده شدند. جهت بررسی فازهای تشکیل شده در ترکیب LSMO از دستگاه پراش اشعه ایکس^۱ (XRD) زیمنس مدل D5000 با لامپ مسی، برای مشاهده ی مورفولوژی فازها از میکروسکوپ الکترونی روبشی^۲ (SEM-TESCAN MIRA3-FEG) و بررسی جذب امواج الکترومغناطیس در رنگ‌های کامپوزیتی از آنالیزگر شبکه برداری^۳ (VNA) مدل HP8510C در محدوده باند X استفاده گردید.

۳- نتایج و بحث

۱-۳- آنالیز XRD و SEM

شکل ۱ الگوی XRD ترکیب LSMO کلسینه شده در دمای ۷۰۰°C به مدت ۶ ساعت را نشان می‌دهد. مطابق با کارت استاندارد به شماره (۱۱۰-۰۰-۴۰) الگوی فوق مربوط به فاز خالص LSMO با ساختمان بلوری رمبودرال می‌باشد. اندازه بلورک‌ها با استفاده از معادله شرر (معادله ۱)، حدود ۲۱ nm تعیین گردید.

¹ X-ray diffraction

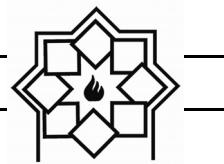
² Field Emission-Scanning Electron Microscope

³ Vector Network Analyzer

آهن کربونیل و $\text{La}_{0.8}\text{Sr}_{0.2}\text{MnO}_3$ (LSMO) در گستره فرکانس ۸-۱۲GHz بررسی شده است. هدف از انجام این پژوهش رسیدن به خواص جذب مطلوب با ضخامت نازک در کل پهنه‌ای باند X می‌باشد.

۲- فعالیت‌های تجربی

در این کار پژوهشی از پودرهای آهن کربونیل و LSMO به عنوان پرکننده‌های مغناطیسی در تهیه رنگ‌های زمینه پلیمری جاذب امواج میکروویو استفاده شده است. نانوذرات LSMO به روش سل ژل سنتز شدند. برای این کار، مقادیر استوکیومتری نیترات لاتانیوم $[\text{La}(\text{NO}_3)_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}]$ ، نیترات استرانسیوم $[\text{Sr}(\text{NO}_3)_2]$ و نیترات منگنز $[\text{Mn}(\text{NO}_3)_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}]$ به عنوان مواد اولیه مورد استفاده قرار گرفتند. برای حصول یک محلول شفاف، نخست نیترات فلزات در آب مقطر حل شدند سپس اسید سیتریک $(\text{C}_8\text{H}_8\text{O}_7 \cdot \text{H}_2\text{O})$ به عنوان عامل ژل ساز و پس از آن اوره $(\text{CH}_4\text{N}_2\text{O})$ به محلول اضافه گردیدند؛ محلول به آرامی در دمای ۸۰°C تبخیر و به ژل تبدیل شد. ابتدا ژل در حدود ۲۵۰°C به مدت ۲۴ ساعت تجزیه و پس از آن پودر حاصل در ۷۰۰°C به مدت ۶ ساعت بازپخت گردید. پودر آهن کربونیل، ساخت کشور آلمان با خلوص ۹۹/۹۸٪ و دانه بندی ۴ میکرون از شرکت کیمیای پارسیان و همچنین نیترات فلزات با خلوص ۹۹٪ و عامل‌های ژل ساز با خلوص ۹۹/۵٪ از شرکت نانو طب تبریز خریداری شدند. برای آماده سازی رنگ جاذب، نخست نسبت‌های مختلفی از پودرهای آهن کربونیل و LSMO در محیط اتانول بطور کامل مخلوط گردیدند. مخلوط حاصل با مقادیر مختلفی از

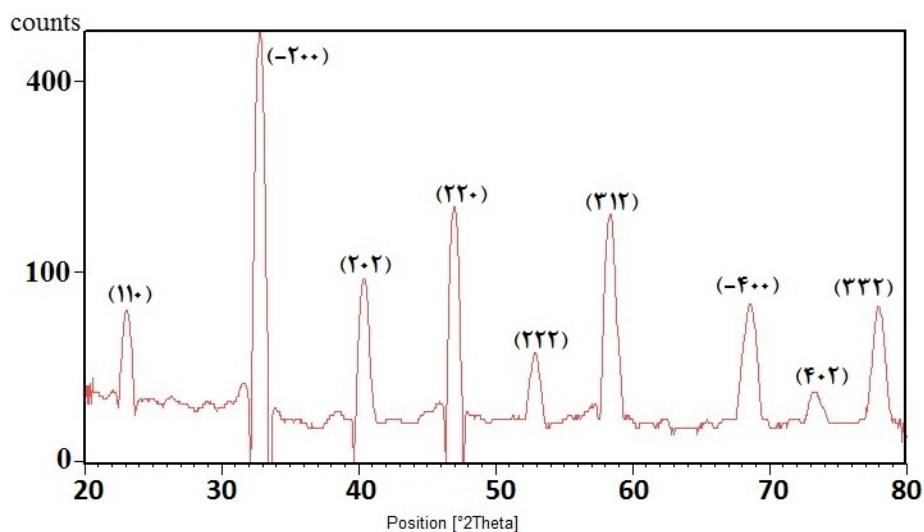


گردید. اختلاف بین اندازه‌ی ذرات به دست آمده از تصاویر FE-SEM و اندازه‌ی بلورک‌ها از معادله‌ی شرر به این دلیل است که هر ذره‌ای از چند بلورک تشکیل می‌شود و معادله‌ی شرر تنها میانگین اندازه بلورک‌ها را برآورد می‌کند. ذرات پودر آهن کربونیل (شکل ۲-ب) نیز به صورت کروی است و اندازه‌ی متوسط ذرات آن حدود ۵ μm تعیین گردید.

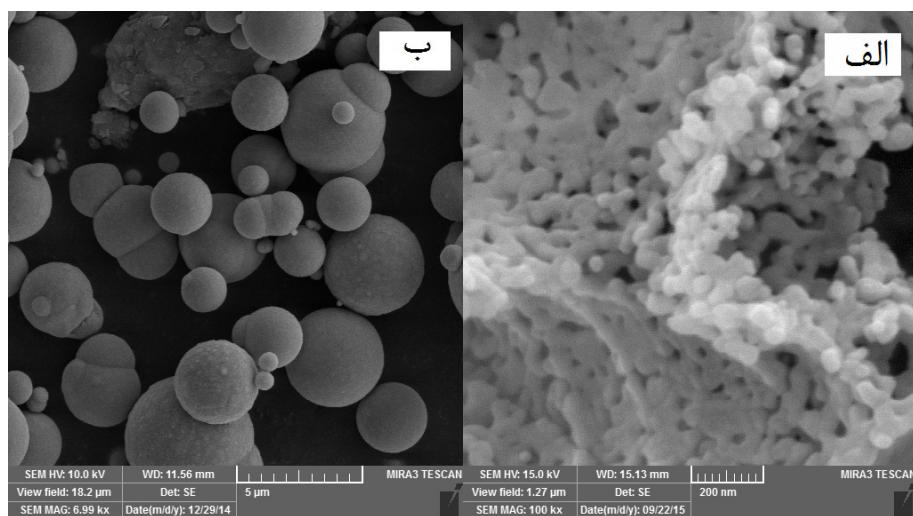
$$D = \frac{0.9\lambda}{\beta \cos \theta} \quad (1)$$

در این رابطه λ طول موج پرتوی ایکس، β پهنا در نصف بیشینه قله و θ زاویه برآگ است [۱۹].

شکل ۲، تصاویر FE-SEM پودرهای LSMO و آهن کربونیل را نشان می‌دهد. ذرات پودر LSMO (شکل ۲-الف) به صورت کروی و دارای توزیع اندازه ذرات باریک است. اندازه ذرات این پودر در گستره ۴۰nm-۳۰nm براورد



شکل ۱- تصویر پراش اشعه‌ی X نمونه‌ی $\text{La}_{0.8}\text{Sr}_{0.2}\text{MnO}_2$



شکل ۲- تصویر SEM، (الف) LSMO، (ب) آهن کربونیل



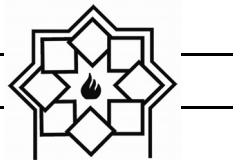
شبکه‌ی رسانا منجر به افزایش رسانایی و در نتیجه منجر به افزایش اتلاف دی‌الکتریک می‌گردد. با توجه به ترکیب افزایش اتلاف دی‌الکتریک و اتلاف مغناطیسی تقریباً ثابت، انطباق امواج الکترومغناطیسی به طور مناسب‌تری صورت می‌گیرد و جذب میکروویو افزایش می‌یابد. با افزایش بیشتر LSMO شبکه رسانا بیشتر توسعه می‌یابد و جذب و انعکاس هر دو بطور همزمان افزایش می‌یابند؛ موقعی که شدت انعکاس بیشتر از اتلاف الکتریکی باشد، در آن صورت خواص جذب بدتر می‌شود. بنابراین در کار حاضر، کامپوزیت LSMO برابر ۶ درصد وزنی نسبت به ترکیب‌های دیگر دارای خواص جذب بهتری است. خواص جذب امواج الکترومغناطیس بالای این رنگ را می‌توان به اتلاف دی‌الکتریکی و اتلاف مغناطیسی همزمان آن ارتباط داد. در شکل ۴، تغییرات اتلاف انعکاسی با فرکانس در ترکیب %۸۰ پودر کامپوزیت حاوی ۷۴٪ آهن کربونیل و ۶٪ LSMO و ۱/۱ mm چسب در ضخامت‌های مختلف ۰/۷، ۰/۹ و ۰/۱ تا ۰/۹ نشان داده شده است. با افزایش ضخامت از ۰/۷ تا ۰/۹ و ۱/۱ mm، مقدار اتلاف انعکاسی از ۸/۷۹ dB در فرکانس تشدید ۱۱/۳۸ GHz به ۱۰/۸۹ dB و ۱۱/۳۳ dB در فرکانس تشدید ۱۰/۶ GHz افزایش می‌یابد. همانطوری که مشاهده می‌شود با افزایش ضخامت، اتلاف انعکاس و پهنهای باند جذب (کمتر از -۴ dB) افزایش می‌یابد و همچنین بیشینه اتلاف انعکاس به فرکانس پایین‌تر انتقال می‌یابد، که این با رابطه بین فرکانس و ضخامت (معادله ۲) هموxonی دارد [۲۱]:

$$f_m = \frac{c}{2\pi\mu''d} \quad (2)$$

۲-۳- آنالیز VNA

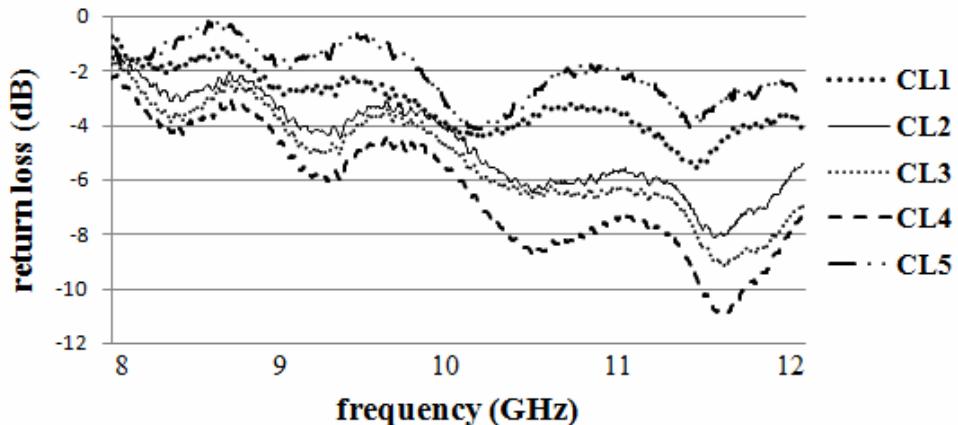
شکل ۳، تاثیر درصد پودر LSMO بر روی میزان جذب امواج الکترومغناطیسی رنگ‌های جاذب با ضخامت ۰/۹ mm شامل ۸۰٪ پودر مواد جاذب و ۲۰٪ چسب را نشان می‌دهد. داده‌های مربوط به اتلاف انعکاس بیشینه (تشدید)، فرکانس جذب و پهنهای باند جذب در جدول ۱ ارائه شده‌اند. اتلاف انعکاس پودر خالص آهن کربونیل پایین و مقدار بیشینه‌ی آن برابر -۵/۵۲ dB در فرکانس تشدید ۱۱/۴ GHz می‌باشد و پهنهای باند جذب آن (کمتر از -۴ dB) بسیار پایین (۰/۶ GHz) است. با افزایش مقدار پودر LSMO از ۱ تا ۳، ۶ و ۸ درصد وزنی، اتلاف انعکاس بیشینه به ترتیب به -۸/۱۶، -۹/۱۸ و -۱۰/۸۹ dB رسید. بدین معنی که تلفات انعکاس با درصد LSMO موجود در رنگ کامپوزیتی کنترل می‌شود. دلیل بالا بودن خواص جذب امواج رنگ جاذب آهن کربونیل – LSMO را می‌توان به شرح زیر خلاصه کرد:

پودر آهن کربونیل یک ماده‌ی مغناطیسی با اتلاف مغناطیسی بالا اما با اتلاف دی‌الکتریک پایین است [۲۰]. با افرودن LSMO به آهن کربونیل، خواص الکتریکی با تسهیل فرآیند انتقال الکترون بین دو جز افزایش می‌یابد. با در نظر گرفتن تفاوت اندازه ذرات و رسانایی آهن کربونیل و LSMO، نانو ذرات LSMO به عنوان پل بین ذرات آهن کربونیل عمل می‌کنند. اثر تونل زنی حامل‌ها منجر به هدایت بیشتر ذرات در فضای بزرگ بین ذرات همسایه می‌شود که این امر موجب تضعیف امواج الکترومغناطیس می‌گردد. با افزایش مقدار LSMO، یک شبکه‌ی رسانا مابین ذرات آهن کربونیل و LSMO شکل می‌گیرد. تشکیل



می‌یابد. اطلاعات مربوط به اتلاف انعکاس بیشینه، فرکانس جذب و پهنای باند جذب در جدول ۲ ارائه شده است.

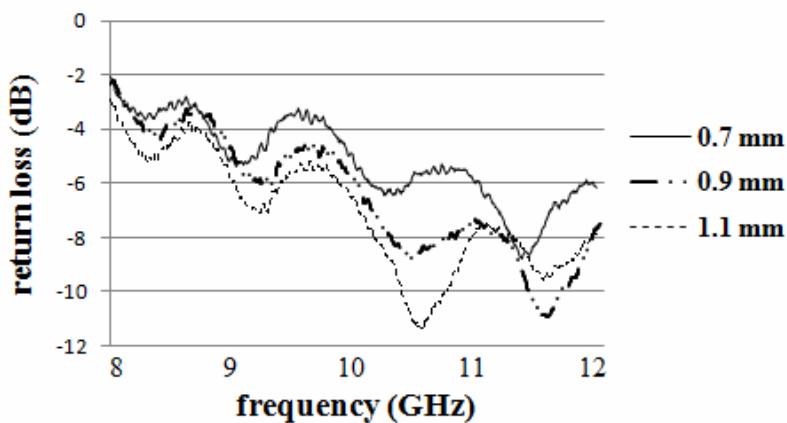
که در آن، f_m فرکانس تشدید، c سرعت نور و d ضخامت پوشش است. این رابطه بیانگر این است که با افزایش ضخامت، فرکانس تشدید به فرکانس‌های کمتر سوق



شکل ۳- تغییرات اتلاف انعکاس با فرکانس در نسبت‌های مختلف آهن کربونیل به LSMO

جدول ۱- پارامترهای جذب امواج الکترومغناطیسی کامپوزیت آهن کربونیل – LSMO

کامپوزیت آهن کربونیل (LSMO)	انعکاس (db)	شدت اتلاف	فرکانس (GHz)	پهنای باند (GHz) (کمتر از -4dB)
CL1 (۸۰:۰)	-۵/۵۲	۱۱/۴	۱۱/۲ - ۱۱/۸	
CL2 (۷۹:۱)	-۸/۱۶	۱۱/۵	۸/۹ - ۱۲	
CL3 (۷۷:۳)	-۹/۱۸	۱۱/۵۵	۹/۶ - ۱۲	
CL4 (۷۴:۶)	-۱۰/۸۹	۱۱/۵۵	۸/۹ - ۱۲	
CL5 (۷۲:۸)	-۴/۱۵	۱۰/۱		



شکل ۴- تغییرات اتلاف انعکاس با فرکانس کامپوزیت CL4 در ضخامت‌های مختلف ۰.۷، ۰.۹ و ۱.۱ mm

جدول ۲- پارامترهای جذب امواج الکترومغناطیس کامپوزیت CL⁴ با ضخامت‌های مختلف

ضخامت (mm)	شدت اتلاف انعکاس (db)	فرکانس (GHz)	پهنهای باند (GHz) (کمتر از -4dB)
۰/۷	-۸/۷۹	۱۱/۳۸	۹/۸-۱۲
۰/۹	-۱۰/۸۹	۱۱/۵۵	۸/۹-۱۲
۱/۱	-۱۱/۳۳	۱۰/۶	۸/۴-۱۲

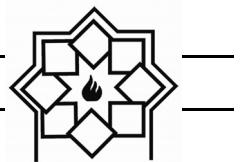
۱۲GHz است که می‌تواند کاندید مناسبی عنوان یک مخلوط جاذب میکروویو باشد.

مراجع

- [1] G. Marsh, "Going stealthy with composites", Reinforced Plastics, vol. 54, pp. 30-33, 2010.
- [2] B. Lu, H. Juang, X. Dong, X. Zhang, J. Lei, J. Sun, Ch. Dong, "Influence of alloy components on electromagnetic characteristics of core/shell-type Fe-Ni nanoparticles", J. Appl. Phys, vol.104, pp.114313, 2008.
- [3] R. Parida, D. Singh, N. Agarwal, "Implementation of multilayer ferrite radar absorbing coating with genetic algorithm for radar cross-section reduction at X-band", India Journal of Radio & Space Physics, vol.36, pp.145-152, 2007.
- [4] V. Petrov and V. Gagulin, "Microwave absorbing materials", Inorganic Materials, vol. 37, pp.93- 98, 2001.
- [5] C. K. Yuzcelik, "Radar absorbing material design", DTIC Document, 2003.
- [6] B. Zhang, Y. Feng, J. Xiong, Y. Yang, H. Lu "Microwave-Absorbing Properties of De- Aggregated Flake-shaped Carbonyl-Iron Partical", IEEE Transactions on Magnetic, vol.42, (2006).
- [7] T. Itoi, A. Inoue, "Thermal stability and soft magnetic properties of Co-Fe-MB (M= Nb, Zr) amorphous alloys with large supercooled liquid region," Materials Transactions, JIM, vol.41(9), pp.1256-

۴- نتیجه‌گیری

برای ساخت ماده‌ی جاذب امواج الکترومغناطیس، از مخلوطی از پودرهای آهن کربونیل و LSMO به عنوان پرکننده‌های مغناطیسی و چسب پلی استر به عنوان زمینه استفاده شد. خواص جذب میکروویو کامپوزیت آهن کربونیل -12 GHz به صورت رنگ در باند فرکانس X (11/55 GHz) با نسبت‌ها و ضخامت‌های مختلف مورد مطالعه قرار گرفت. تجزیه و تحلیل داده‌های تجربی نشان داد که با افزایش مقدار LSMO از ۱ تا ۶ درصد وزنی خواص جذب میکروویو بهبود می‌یابد. کامپوزیت CL⁴ با ۶ درصد وزنی LSMO اتلاف انعکاسی برابر ۱۰/۸۹ dB در فرکانس 11/55 GHz را نشان داد که این بالاترین اتلاف در ترکیب‌های فوق بود. تصور می‌رود که انتلاق امواج الکترومغناطیس خوب ناشی از ترکیب افزایش اتلاف دیکتریک و اتلاف مغناطیسی تقریباً ثابت با افزودن LSMO موجب این افزایش در تلفات شده است. همچنین با افزایش ضخامت پوشش از ۰/۷ تا ۰/۹ و ۱/۱ mm نمونه بهینه CL⁴، پهنهای باند جذب افزایش و بیشینه اتلاف انعکاس به ۱۱/۳۳ dB- می‌رسد. این کامپوزیت در کل دارای اتلاف انعکاس کمتر از ۴dB- (مربوط به ۶۰٪ جذب امواج الکترومغناطیس) در گستره‌ی فرکانس ۸/۵-



- Chen, "Double peak behavior of resistivity curves in Cd doped LaMnO₃ perovskite systems", Journal of Magnetism and Magnetic Materials, vol. 260, pp.375-379, 2003.
- [17] R. Zenati, C. Bernard, C. Calmet, S. Guillemet, G. Fantozzi and B. Durand, "Internal friction investigation of phase transformation in nearly stoichiometric LaMnO₃", J. Euro. Ceram. Soci., vol. 25, pp. 935-941, 2005.
- [18] W. Wang, H-b. Zhang, G-d. Lin, Z-t. Xiong,"Study of Ag/La_{0.6}Sr_{0.4}MnO₃ catalysts for compleat oxidation of methanol and ethanol at low concentrations", Appl. Catal. B, vol. 24, pp. 219-232, 2000.
- [19] B. D. Cullity, Elements of X-Ray Diffraction, Second ed., Addison Wesley Publishing Company, 1978.
- [20] W. Zhang, Sh. Bie, H. Chen, Y. Lu, J. Jiang, " Electromagnetic and microwave absorption properties of carbonyl iron/MnO₂ composite, Journal of magnetism and Magnetic Materials, vol.358-359, pp.2, 2014.
- [21] T. Maeda, S. Sugimoto, T. Kagotani, N. Tezuka, K. Inomata, J. Magn. Magn. Mater. Vol.28, pp.195–205, 2004.
- [8] N. K. Saeed Choopani, Ali Ghasemi, Ali Sharbati, Reza Shams Alam, "Structural, magnetic and microwave absorption characteristics of BaCo_xMn_xTi_{2x}Fe_{12-4x}O₁₉," Materials Chemistry and Physics, vol. 113, pp. 717–720, 2009.
- [9] Ch. Zhou, Q. Fang, F. Yan, W. Wang, K. Wu, Y. Liu, Q. Lv, H. Zhang, Q. Zhang, J. Li, Q. Ding, "Enhanced microwave absorption in ZnO/carbonyl iron nanocomposites by coating dielectric material", Journal of Magnetism and Magnetic Materials, vol.324, pp.1720, 2012.
- [10] G. H. Zheng, Y. P. Sun, X. B. Zhu, W. H. Song, "Magnetic and electronic transport properties of Y- and Ho-doped La_{0.9}Te_{0.1}MnO₃", Physics Letters A.,vol. 356, pp. 79-84, 2006.
- [11] K. P. Shinde, S. S. Pawar, S. H. Pawar,"Influence of annealing temperature on morphological and magnetic properties of La_{0.9}Sr_{0.1}MnO₃", Applied Surface Science, vol. 257, pp.9996, 2011.
- [12] S. Jin, T. Tiefel, H. M. Mc. Cormack, R. Fastnacht, A. Ramesh, L.H. Chen, "Thousand fold Change in Resistivity in Magneto resistive La-Ca-Mn-O Films", Science, vol. 264, pp.413, 1994.
- [13] E. Dagotto, T. Hotta, A. Moreo, "Colossal Magneto resistant Materials: The Key Role of Phase Separation", Physics Reports, vol. 344, pp.1, 2001.
- [14] U. N. Gupta, H. Muthurajan, H. Kumar, N. Koteswara Rao, S.P. Gokhale, V. Ravi, "Synthesis of LSMO at low temperature by novel hydroxide precursor technique", Matterials Letters, vol. 62, pp. 527, 2008.
- [15] K. P. Shinde, S. S. Pawar, S. H. Pawar, "Influence of annealing temperature on morphological and magnetic properties of La_{0.9}Sr_{0.1}MnO₃", Applied Surface Science, vol.257, pp.9996, 2011.
- [16] G. N. Rao, S. Roy, R. C. Yang, J. W. 1262,2000.