فصلنامه‌ی علمی پژوهشی

علم و مهندسی سرامیک

دوره‌ی ۵، شماره‌ی ۱، بهار ۱۳۹۵

بهینه سازی انطباق امواج الکترومغناطیسی کامپوزیت آهن کربونیل – $La_{0/8}Sr_{0/2}MnO_3$ در جذب امواج میکروویو

دنیز مطمئن، عباس کیان‌وش*

دپارتمان مهندسی مواد، دانشکده مهندسی مکانیک، دانشگاه تبریز

* akianvash@tabrizu.ac.ir

اطلاعات مقاله:

دریافت: ۱۳۹۴/۱۰/۱۲

پذیرش: ۱۳۹۵/۹/۱۵

کلید واژه:

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

چکیده:

در این پژوهش نخست نانو ذرات $La_{0/8}Sr_{0/2}MnO_3$ (LSMO) به روش سل ژل سنتز شدند. سپس درصد جذب امواج میکروویو رنگ‌های جاذب شامل نسبت‌های مختلف پرکننده‌های آهن کربونیل – LSMO بصورت ۸۰-۰، ۷۹-۱، ۷۷-۳، ۷۴-۶، ۷۲-۸ و ۲۰٪ وزنی چسب پلی استر و سخت کننده در گستره فرکانسی ۸ – ۱۲GHz مورد بررسی قرار گرفت. مواد کامپوزیتی با ضخامت‌های مختلف ۰/۷، ۰/۹ و ۱/۱mm به صورت رنگ بر روی یک زیر لایه آلومینیومی به ابعاد استاندارد ($۲۲/۸ \times ۱۰/۱ \times ۰/۸\ mm^3$) اعمال گردید. آنالیز فازی و اندازه بلورک‌ها، مورفولوژی 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 ۷۴-۶ در ضخامت ۰/۹ mm دارای یک اتلاف انعکاس تشدید برابر ۱۰/۸۹ dB- در فرکانس ۱۱/۵۵ GHz و بالای ۶۰٪ جذب در کل پهنای باند ۸/۹- ۱۲ GHz بود. با افزایش ضخامت پوشش از ۰/۷ تا ۱/۱ mm، خواص جذب رنگ بهبود یافت. بنابراین، رنگ کامپوزیتی آهن کربونیل – LSMO به عنوان یک ماده‌ی جاذب بسیار مناسب در باند X شناسایی شد.

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 گسترده مورد توجه قرار گرفته است. استفاده از امواج میکروویو در کاربردهای نظامی، امکان شناسایی اهداف توسط رادار را فراهم کرده است. یکی از موثرترین روش‌هایی که برای کاهش قابلیت آشکار شدن یک هدف پرنده توسط رادار به کار می‌رود، استفاده از مواد جاذب رادار (RAMs)[1] با پهنای جذب گسترده، دانسیته کم و ضخامت نازک است. در ساخت جاذب‌های امواج الکترومغناطیس[2]، به

[1] Radar absorbing materials
[2] Electromagnetic

[Downloaded from ijcse.ir on 2025-11-02]

[DOR: 20.1001.1.23222352.1395.5.1.4.4]

ویژه برای کاهش ضخامت جاذب، مقدار بالای نفوذ پذیری مغناطیسی و ثابت دی الکتریک و ترکیب مناسبی از آن‌ها منجر به انطباق امپدانس امواج در داده‌های مورد نیاز فرکانس و ضخامت خواهد شد. اولین نسل از مواد جاذب رادار بر پایه آهن کربونیل[1] در جنگ جهانی دوم توسط آلمانی‌ها به کار گرفته شد [۱].

فاکتورهای موثر در جذب امواج الکترومغناطیس شامل اتلاف دی‌الکتریک، اتلاف مغناطیسی، رسانایی الکتریکی، اثر ابعاد نانو و ساختار ماده می‌باشند [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 نفوذپذیری دی‌الکتریکی ('ε) پایین و در نتیجه با اتلاف دی‌الکتریکی ("ε) 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 تهیه می‌شود. آهن کربونیل بسته به اندازه ذرات و دمای تفجوشی می‌تواند در محدوده‌ی فرکانسی مگاهرتز و گیگا هرتز جاذب باشد. فرکانس تشدید آن نیز بستگی به اندازه ذرات دارد. پودر آهن کربونیل تراوایی مغناطیسی نسبی بالا ولی خواص دی‌الکتریک بسیار ضعیفی دارد. مقادیر تراوایی مغناطیسی و دی‌الکتریک آهن کربونیل توسط ترکیب آن با مواد دیگر تنظیم می‌شود [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 گرما، خواص فروالکتریکی، پیزوالکتریکی، پیروالکتریکی، توان هدایتی و مغناطیسی فوق‌العاده [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 $La_{1-x}Sr_xMnO_3$ 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) نسبتا 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 [۱۵و۱۴]. تا کنون روش‌های متفاوتی برای سنتز این ترکیبات از قبیل روش حالت جامد در دمای بالا [۱۶]، روش هیدروترمال [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

[1] Carbonyl iron

[Downloaded from ijcse.ir on 2025-11-02]

[DOR: 20.1001.1.23222352.1395.5.1.4.4]

آهـن کربونیـل و $La_{0/8}Sr_{0/2}MnO_3$ (LSMO) در گـستره فرکانس ۸-۱۲GHz بررسی شده است. هدف از انجام ایـن پژوهش رسیدن به خواص جذب مطلوب با ضـخامت نـازک در کل پهنای باند X می‌باشد.

۲- فعالیت‌های تجربی

در این کار پژوهشی از پودرهای آهن کربونیل و LSMO به عنوان پرکننده‌های مغناطیـسی در تهیـه رنـگ‌هـای زمینـه پلیمری جاذب امواج میکروویو استفاده شده است. نـانوذرات LSMO بـه روش سـل ژل سـنتز شـدند. بـرای ایـن کـار، مقادیراستوکیومتری نیترات لانتـانیوم [$La(NO_3)_3.6H_2O$]، نیتـــرات استرانـــسیوم [$Sr(NO_3)_2$] و نیتـــرات منگنـــز [$Mn(NO_3)_2.4H_2O$] به عنوان مواد اولیـه مـورد اسـتفاده قرار گرفتند. برای حصول یک محلول شفاف، نخست نیترات فلـزات در آب مقطـر حـل شـدند سـپس اسـید سـیتریک ($C_8H_8O_7.H_2O$) به عنوان عامل ژل ساز و پس از آن اوره (CH_4N_2O) به محلول اضافه گردیدند؛ محلول به آرامی در دمای ۸۰°C تبخیر و به ژل تبدیل شـد. ابتـدا ژل در حـدود ۲۵۰°C به مدت ۲۴ ساعت تجزیه و پس از آن پودر حاصل در ۷۰۰°C به مدت ۶ سـاعت بازپخـت گردیـد. پـودر آهـن کربونیل، ساخت کـشور آلمـان بـا خلـوص ۹۹/۹۸٪ و دانـه بندی ۴ میکـرون از شـرکت کیمیـای پارسـیان و همچنـین نیترات فلـزات بـا خلـوص ۹۹٪ و عامـل هـای ژل سـاز بـا 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 محـیط اتـانول بطـور کامل مخلوط گردیدند. مخلوط حاصل با مقـادیر مختلفـی از چسب پلی استر و سخت کننده بطور کامل مخلوط و جهـت اندازه‌گیری تلفات امواج الکترومغناطیس در روی ورقـه‌هـای آلومینیومی به ابعـاد اسـتاندارد ($۲۲/۸ \times ۱۰/۱ \times ۰/۸\ mm^3$) اعمال شد. پنج نمونه با نسبت های مختلف آهن کربونیل و LSMO در ضخامت ۰/۹ mmآماده شدند، نسبت‌های وزنی کامپوزیت آهـن کربونیـل – LSMO برطبـق CL۱-۵ بـه ترتیـب برابـر ۸۰-۰، ۷۹-۱، ۷۷-۳، ۷۴-۶، ۷۲-۸ هـستند. همچنین سه نمونه با نـسبت وزنـی ثابـت ۷۴-۶ (CL۴) در ضخامت‌های مختلف ۰/۷، ۰/۹ و ۱/۱ mm آماده شدند.

جهت بررسی فازهای تـشکیل شـده در ترکیـب LSMO از دسـتگاه پـراش اشـعه‌ی ایکـس[1] (XRD) زیمـنس مـدل D5000 با لامپ مسی، برای مشاهده ی مورفولوژی فازهـا ازمیکروسـکوپ الکترونـی روبـشی[2] (SEM-TESCAN MIRA3-FEG) و بررسی جذب امواج الکترومغنـاطیس در رنگ‌های کـامپوزیتی از آنـالیزگر شـبکه بـرداری[3] (VNA) مدل HP8510C در محدوده باند X استفاده گردید.

۳- نتایج و بحث

۳-۱- آنالیز XRD و SEM

شکل ۱ الگـوی XRD ترکیـب LSMO کلـسینه شـده در دمای ۷۰۰°C به مدت ۶ ساعت را نشان می‌دهد. مطابق بـا کارت استاندارد بـه شـماره (۱۱۰۰-۰۴۰-۰۰) الگـوی فـوق مربوط به فاز خالص LSMO با ساختمان بلوری رمبوهدرال می‌باشد. اندازه بلورک‌ها با استفاده از معادله شرر (معادله ۱)، حدود ۲۱nm تعیین گردید.

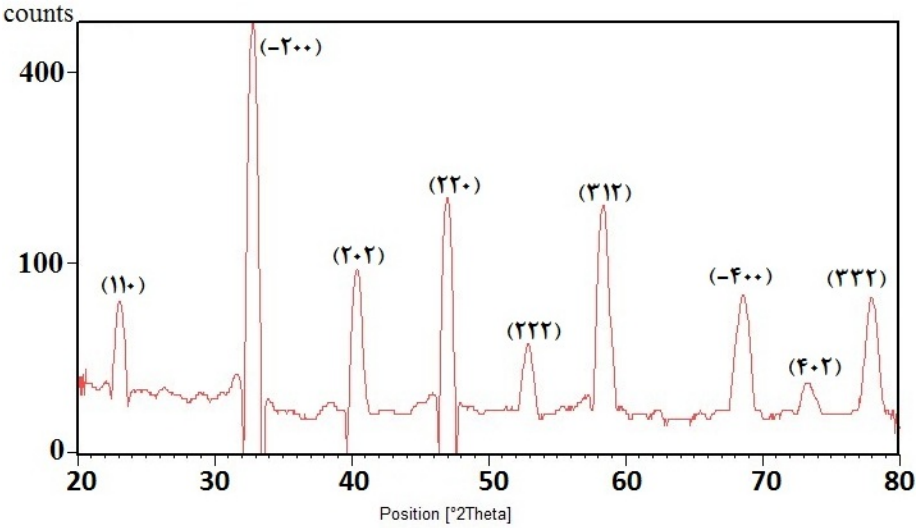
[1] X-ray diffraction
[2] Field Emission-Scanning Electron Microscope
[3] Vector Network Analyzer

[Downloaded from ijcse.ir on 2025-11-02]
[DOR: 20.1001.1.23222352.1395.5.1.4.4]

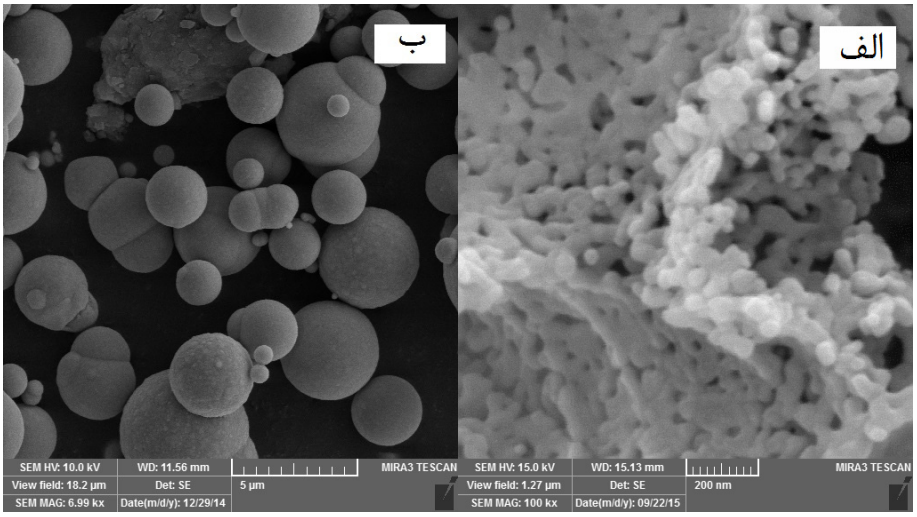
$$D = \frac{0.9\lambda}{\beta \cos\theta} \qquad (۱$$

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

شکل ۲، تصاویر FE-SEM پودرهای LSMO و آهن کربونیل را نشان می‌دهد. ذرات پودر LSMO (شکل۲- الف) به صورت کروی و دارای توزیع اندازه ذرات باریک است. اندازه ذرات این پودر در گستره ۳۰-۴۰nm برآورد 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 ۵μm تعیین گردید.



شکل ۱- تصویر پراش اشعه‌ی X نمونه‌ی $La_{0/8}Sr_{0.2}MnO_2$



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

[Downloaded from ijcse.ir on 2025-11-02]

[DOR: 20.1001.1.23222352.1395.5.1.4.4]

۳-۲- آنالیز VNA

شکل ۳، تاثیر درصد پودر LSMO بر روی میزان جذب امواج الکترومغناطیس 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 پهنای باند جذب در جدول ۱ ارائه شده‌اند. اتلاف انعکاس پودر خالص آهن کربونیل پایین و مقدار بیشینه‌ی آن برابر ۵/۵۲dB- در فرکانس تشدید ۱۱/۴GHz می‌باشد و پهنای باند جذب آن (کمتر از ۴ dB-) بسیار پایین (۰/۶GHz) 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-، ۱۰/۸۹- و ۴/۱۵ 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:

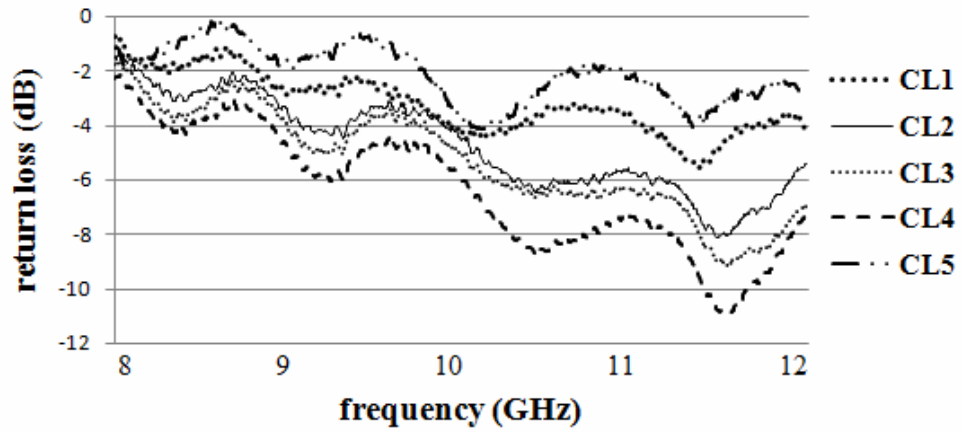
پودر آهن کربونیل یک ماده‌ی مغناطیسی با اتلاف مغناطیسی بالا اما با اتلاف دی‌الکتریک پایین است [۲۰]. با افزودن LSMO به آهن کربونیل، خواص الکتریکی با تسهیل فرآیند انتقال الکترون بین دو جز افزایش می‌یابد. با در نظر گرفتن تفاوت اندازه ذرات و رسانایی آهن کربونیل و LSMO، نانو ذرات LSMO به عنوان پل بین ذرات آهن کربونیل عمل می‌کنند. اثر تونل زنی حامل‌ها منجر به هدایت بیشتر ذرات در فضای بزرگ بین ذرات همسایه می شود که این امر موجب تضعیف امواج الکترومغناطیس می‌گردد. با افزایش مقدار LSMO، یک شبکه‌ی رسانا مابین ذرات آهن کربونیل و LSMO شکل می‌گیرد. تشکیل 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 تقریبا ثابت، انطباق امواج الکترومغناطیس 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 با LSMO برابر ۶ درصدوزنی نسبت به ترکیب‌های دیگر دارای خواص جذب بهتری است. خواص جذب امواج الکترومغناطیس بالای این رنگ را می‌توان به اتلاف دی الکتریکی 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 ۲۰٪ چسب در ضخامت های مختلف ۰/۷، ۰/۹ و ۱/۱ mm 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 پهنای 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) همخوانی دارد[۲۱]:

$$f_m = \frac{c}{2\pi\mu''d} \qquad (۲$$

[Downloaded from ijcse.ir on 2025-11-02]

[DOR: 20.1001.1.23222352.1395.5.1.4.4]

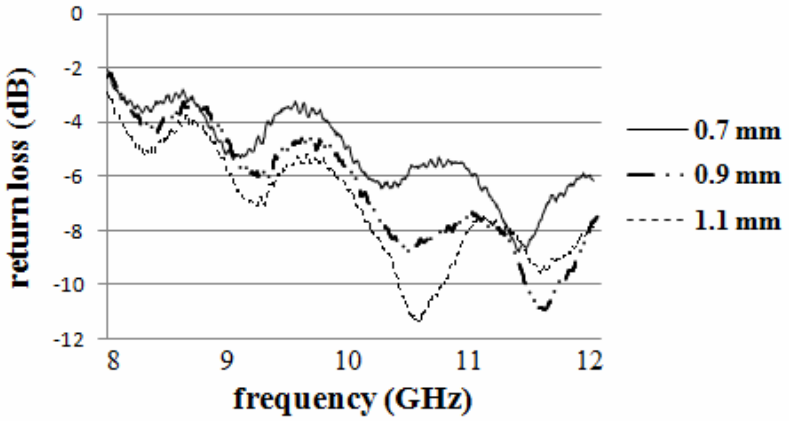
که در آن، f_m فرکانس تشدید، c سرعت نور و d ضخامت پوشش است. این رابطه بیانگر این است که با افزایش ضخامت، فرکانس تشدید به فرکانس‌های کمتر سوق می‌یابد. اطلاعات مربوط به اتلاف انعکاس بیشینه، فرکانس جذب و پهنای باند جذب در جدول ۲ ارائه شده است.



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

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

کامپوزیت (LSMO: آهن کربونیل)	شدت اتلاف انعکاس (db)	فرکانس (GHz)	پهنای باند (GHz) (کمتر از ۴dB-)
CL۱ (۸۰:۰)	-۵/۵۲	۱۱/۴	۱۱/۲ -۱۱/۸
CL۲ (۷۹:۱)	-۸/۱۶	۱۱/۵	۸/۹ -۱۲
CL۳ (۷۷:۳)	-۹/۱۸	۱۱/۵۵	۹/۶ -۱۲
CL۴ (۷۴:۶)	-۱۰/۸۹	۱۱/۵۵	۸/۹ -۱۲
CL۵ (۷۲:۸)	-۴/۱۵	۱۰/۱	



شکل ۴- تغییرات اتلاف انعکاس با فرکانس کامپوزیت CL۴ **در ضخامت‌های مختلف ۰/۷، ۰/۹، mm ۱/۱**

[Downloaded from ijcse.ir on 2025-11-02]

[DOR: 20.1001.1.23222352.1395.5.1.4.4]

جدول ۲- پارامترهای جذب امواج الکترومغناطیس کامپوزیت CL۴ با ضخامت‌های مختلف

ضخامت (mm)	شدت اتلاف انعکاس (db)	فرکانس (GHz)	پهنای باند (GHz) (کمتر از ۴dB-)
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

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 – LSMO به صورت رنگ در باند فرکانس X (۱۲ GHz-۸) 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 CL۴ با ۶ درصد وزنی LSMO اتلاف انعکاسی برابر ۱۰/۸۹ dB- در فرکانس ۱۱/۵۵ GHz را نشان داد که این بالاترین اتلاف در ترکیب های فوق بود. تصور می‌رود که انطباق امواج الکترومغناطیس خوب ناشی از ترکیب افزایش اتلاف دی‌الکتریک و اتلاف مغناطیسی تقریبا ثابت با افزودن LSMO موجب این افزایش در تلفات شده است. همچنین با افزایش ضخامت پوشش از ۰/۷ تا ۰/۹ و ۱/۱mm در نمونه بهینه CL۴، پهنای 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 ۸/۵-۱۲GHz است که می‌تواند کاندید مناسبی بعنوان 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 charachteristics 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-

[Downloaded from ijcse.ir on 2025-11-02]

[DOR: 20.1001.1.23222352.1395.5.1.4.4]

1262,2000.

[8] N. K. Saeed Choopani, Ali Ghasemi, Ali Sharbati, Reza Shams Alam, "Structural, magnetic and microwave absorption characteristics of $BaCo_xMn_xTi_{2x}Fe_{12-4x}O_{19}$," 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 nano-composites 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 $La_{0.9}Te_{0.1}MnO_3$", 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 $La_{0.9}Sr_{0.1}MnO_3$", 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 $La_{0.9}Sr_{0.1}MnO_3$", Applied Surface Science, vol.257, pp.9996, 2011.

[16] G. N. Rao, S. Roy, R. C. Yang, J. W. 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 $LaMnO_3$", J. Euro. Ceram. Soci., vol. 25, pp. 935-941, 2005.

[18] W. Wang, H-b. Zhang, G-d. Lin, Z-t. Xiong,"Study of $Ag/La_{0.6}Sr_{0.4}MnO_3$ catalysts for complet 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/MnO_2 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.

[Downloaded from ijcse.ir on 2025-11-02]

[DOR: 20.1001.1.23222352.1395.5.1.4.4]