



فصلنامه علمی ((دفاع هوافضایی))

دوره ۱، شماره ۲، شهریور ۱۴۰۱

عنوان مقالات

مقاله پژوهشی

مقایسه میزان جذب امواج راداری دو ماده با ضریب نفوذپذیری مغناطیسی و ضریب

دی الکتریک بالا با استفاده از دستگاه تحلیل گر شبکه

علی شیرپای^۱، مهدی نظیرزاده^۲

۱- استادیار فیزیک، گروه فیزیک، مرکز علوم پایه، دانشگاه پدافند هوایی خاتم الانبیاء (ص)، تهران، ایران.

۲- استادیار فیزیک، گروه فیزیک، مرکز علوم پایه، دانشگاه پدافند هوایی خاتم الانبیاء (ص)، تهران، ایران.

چکیده

اطلاعات مقاله

جاذب‌های الکترومغناطیسی با جذب امواج و تبدیل آن‌ها به دیگر انرژی‌ها، شدت تابش امواج الکترومغناطیسی را کاهش می‌دهند. عملکرد این جاذب‌ها از دو جنبه، حداقل واکنش روی سطح از مواد، که این امر به تطابق امپدانس بین سطح ماده و فضای آزاد درون ماده نیاز دارد و همچنین تبدیل امواج تابشی الکترومغناطیسی به سایر اشکال انرژی قابل بررسی است. لذا برای تطابق امپدانس به استفاده از روابط پیچیده بین ضریب دی الکتریک و نفوذپذیری ماده نیاز است. لذا در این تحقیق، دو ماده متفاوت مهم با ضریب دی الکتریک بالا ($Ba_{0.7}Sr_{0.3}TiO_3$) و ضریب نفوذپذیری مغناطیسی بالا (فریت $Mn_{0.5}Zn_{0.5}Fe_2O_4$) که از مواد مهم برای مواد جاذب امواج راداری می‌باشد را انتخاب نموده و با استوکیومتری معین به روش سل-ژل سنتز شدند. جهت مطالعه ساختار فازی تشکیل شده و همچنین تخمین اندازه بلورک‌ها و مشاهده مورفولوژی آن‌ها اندازه‌گیری‌های پراش اشعه ایکس و میکروسکپ الکترونی روبشی انجام شد. برای بررسی میزان جذب امواج راداری از نانوپودرهای تهیه شده رنگ‌دانه مخصوص آن‌ها را با رزین اپوکسی کر ۸۲۸ تهیه و بر روی سطح بدون جاذب لایه نشانی شد و مقدار جذب امواج راداری آن‌ها با استفاده از دستگاه تحلیل گر شبکه در محدوده ۸-۱۲ GHz مورد بررسی قرار گرفته است.

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۰۴/۱۱

تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۱۱/۲۳

کلمات کلیدی:

پروسکایت، فریت، جاذب امواج راداری، تحلیلگر شبکه.



نویسنده مسئول:

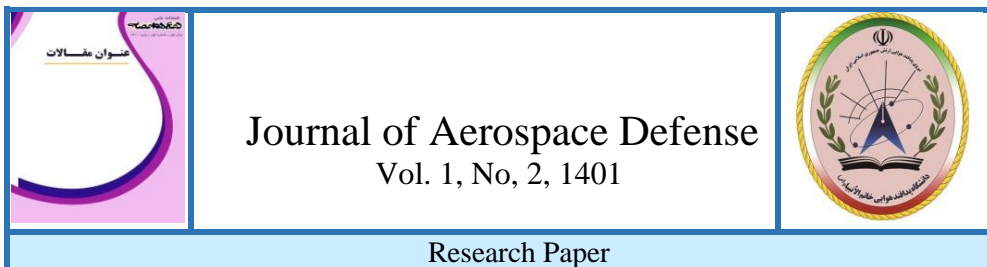
علی شیرپای

ایمیل:

Ali_shirpaei@yahoo.com

استناد به مقاله: علی شیرپای، مهدی نظیرزاده، مقایسه میزان جذب امواج راداری دو ماده با ضریب نفوذپذیری

مغناطیسی و ضریب دی الکتریک بالا با استفاده از دستگاه تحلیل گر شبکه، مجله علمی دفاع هوافضایی دوره ۱، شماره ۲، شهریور ۱۴۰۱.



Research Paper

Comparison of radar wave absorption of two materials with magnetic permeability coefficient and high dielectric coefficient using network analyzer

Ali Shirpay¹ Mehdi Nazirzadeh²

1. Assistant Professor, Khatam Al Anbia (PBU) University, Tehran, Iran.

2. Assistant Professor, Khatam Al Anbia (PBU) University, Tehran, Iran.

Article Information

Accepted: 1401/04/11

Received: 1400/11/23

Keywords:

Artillery weapons, Fractional projectile equation, Shooting method (shooting), Inverse problem.



Corresponding author:

Ali Shirpay

Email:

Ali_shirpaei@yahoo.com

Abstract

Artillery weapons have an important role in low height artilleries. In the first step of these weapons, due to reach a stable and controllable projectile, aerodynamically, finding angle and the initial velocity are very essential. Until now, scientists have obtained these items by modelling based on ordinary differential equations. But, in this paper, fractional differential equations of the projectile motion, which are very efficient in artillery weapons and more compatible with nature, are introduced. Then some of its properties such as trajectory, range, flight time and maximum height are studied. In addition, an inverse projectile motion is considered, i.e., we consider a problem that we know the position of motion in a special time and then we obtain angle and the initial velocity. In this way, the shooting method is applied. This method is an efficient and applicable method for solving boundary value problems. Finally, in order to study the efficiency and accuracy of the method a numerical example is given.

HOW TO CITE: Ali Shirpay, Mehdi Nazirzadeh (1401), Comparison of radar wave absorption of two materials with magnetic permeability coefficient and high dielectric coefficient using network analyzer, Journal of Aerospace Defense. Vol. 1, No. 2, 1401.

۱. مقدمه

جاذب‌های الکترومغناطیسی می‌توانند با جذب مؤثر امواج و تبدیل آن‌ها به انواع دیگر انرژی مانند انرژی گرمایی، تابش EM را کاهش داده و محافظت از تداخل EM را بهبود بخشند [۱ و ۲]. به‌طور کلی عملکرد جذب EM با دو جنبه همراه است:

(۱) امواج EM تابشی می‌توانند با حداقل واکنش روی سطح از مواد عبور کنند، که این امر به تطابق امپدانس بین سطح ماده و فضای آزاد درون ماده نیاز دارد. تطابق امپدانس را می‌توان با استفاده از ارتباط پیچیده بین ضریب دی‌الکتریک و نفوذپذیری تحقق بخشید.

(۲) امواج تابشی EM را می‌توان به سایر اشکال انرژی تبدیل کرد، در این صورت به خصوصیات الکتریکی یا مغناطیسی قوی خاص ماده نیاز است.

جاذب‌های ایده‌آل EM باید نسبتاً سبک، بسیار پایدار از نظر حرارتی، قابلیت جذب فرکانس گسترده EM و مقرون‌به‌صرفه باشد [۳]. برای تأمین این نیازهای مهم، تلاش‌های گسترده‌ای در زمینه تحقیقات جهانی برای تولید مواد جاذب موج EM جدید با عملکرد عالی جذب EM انجام شده است. در چند سال گذشته جاذب‌های ساخته‌شده از مواد مختلف مانند کربن و پلیمر رسانا ساخته شده است [۴-۷]. متأسفانه، مواد کربنی معمولاً دارای ضریب دی‌الکتریک بالا و ضریب نفوذپذیری کم هستند، که در نتیجه آن‌ها برای دستیابی به تطابق امپدانس مشکل دارند. مواد رسانای پلیمری عمدتاً به آماده‌سازی دقیق نیاز دارند و پهنای باند جذب آن‌ها معمولاً کم است. علاوه بر این، مقاومت حرارتی و شیمیایی مواد کربنی و مواد پلیمری رسانا در دمای بالا رضایت‌بخش نیست که کاربردهای گسترده آن‌ها را محدود می‌کند.

یک هواپیمای پنهان‌کار قادر است خود را از دید تجهیزات مختلف کشف هدف از جمله سامانه‌های راداری، لیزری، مادون قرمز، امواج مرئی، امواج نزدیک مادون قرمز^۱ (NIR) و حساسه‌های آکوستیک پنهان نگه دارد که از میان آن‌ها رادارها به دلیل اینکه در گسترده فرکانسی وسیعی از امواج میکروویو تا امواج رادیویی فعالیت می‌کنند تهدید اصلی به محسوب می‌شوند. رادارها قادرند به‌صورت شبانه‌روز و در تمامی شرایط آب و هوایی در زمین، دریا، هوا و فضا مستقر شده و اطلاعات دقیقی از پارامترهای هدف از جمله برد، سمت، ارتفاع و سرعت را محاسبه نمایند و امکان درگیر شدن با هدف را به‌طور مؤثری افزایش دهند [۸]. فرکانس کار رادارها در محدوده ۳ MHz تا ۳ GHz است. مهم‌ترین محدوده‌های فرکانسی برای کاربردهایی از جمله کاوش برد بلند، هواپیماهای نظامی و غیرنظامی و هوا و فضایی شامل باند L (۱-۲ GHz)، باند S (۲-۴ GHz)، باند C (۴-۴ GHz)

¹ Near infrared

۸)، باند X (۸-۱۲ GHz)، باند Ku (۱۲-۱۸ GHz)، باند K (۱۸-۲۴ GHz)، باند Ka (۲۴-۳۰ GHz) و باند V (۴۰-۷۵ GHz) است. اکثر رادارها در حوزه هوانوردی و دریا در محدوده باندهای فرکانسی ۱-۱۸ GHz فعالیت می‌کنند [۹]. در سال‌های اخیر محققان تلاش‌های زیادی در جهت کاهش سطح مقطع راداری (RCS) هواپیماها بر پایه کامپوزیت‌های پلیمری ماتریسی^۱ (PMC) معروف به ساختارهای جاذب راداری و جایگزینی آن روش معمول استفاده از سطوح فلزی با میزان پراکندگی بالا در بدنه هواپیماها انجام داده‌اند.

در استفاده از PMC ها علاوه بر خواص جاذب راداری، عملکرد ساختاری آن‌ها نیز مدنظر است. توسعه بکارگیری PMC ها به جنگ جهانی دوم برمی‌گردد که در آن زمان به دنبال استفاده از مواد بسیار مستحکمی بودند که نسبت به فلزات بکار گرفته در بدنه هواپیماها از میزان خوردگی کمتری نیز برخوردار باشند که PMC ها حائز هر دو ویژگی نیز بودند [۱۰-۱۲]. ویژگی‌های کامپوزیت‌ها به دلیل لایه‌ای بودن مواد، قابل تنظیم‌اند. علاوه بر این، خاصیت پنهان‌کار بودن در مقابل امواج الکترومغناطیس را می‌توان به‌سادگی در مقایسه با سایر مواد به کامپوزیت‌ها اضافه نمود.

پلیمر ماتریسی هم می‌تواند خاصیت ترموستی^۲ داشته باشد و هم خاصیت ترموپلاستیک و یا هر ترکیب آن‌ها را هم‌زمان دارا باشد. رزین‌های ترموست مورد استفاده معمولاً اپکسی‌ها^۳، سیانات استر^۴ و بیسمالیماید^۵ هستند و رزین‌های ترموپلاستیک نیز معمولاً شامل پلی اتر کتان^۶، سولفات پلی پلین، پلی اتر آمید و یا رزین‌های واکنشی بر پایه منومر هستند. موادی که جهت استحکام بدنه بکار می‌روند دارای ساختار شیشه‌ای، کربنی و یا کولاری اند. برای اهداف پنهان‌کاری، استفاده از ساختار کربنی به دلیل ماهیت رسانایی بالا و انعکاس کامل امواج راداری به سمت گیرنده رادار، دارای محدودیت است. فیلرها که موادی نیمه‌رسانا (بر پایه کربن مانند کربن سیاه، نانولوله‌های چند جداره کربنی^۷ (MWCNT) الیاف کربنی کوتاه^۸ (SCF)، با نفوذپذیری بالا (دی‌الکتریک) که موادی از جنس اکسیدها، تیتانیت‌ها و با تراوایی مغناطیسی بالا مانند فریت‌ها که مواد رسانا با پوشش مغناطیسی هستند. برای مثال فلیک‌های سه‌بعدی Bi_2Ti_3 نمونه‌ای از مواد نیمه‌رسانای جاذب رادار هستند که به‌عنوان فیلر مورد استفاده قرار گرفته‌اند که علاوه بر قطبش سطحی بالا، میزان انعکاس امواج از سطح را به میزان قابل توجهی کاهش می‌دهد [۱۳].

اخیراً در تلاش برای استفاده از فیلرهای سبک‌وزن به‌عنوان مواد جاذب رادار، از پوشش پلی‌فیلین سولفات بر روی نانولوله‌های کربنی استفاده شده است و توانایی جذب امواج الکترومغناطیس را در

¹ Matrix polymer composites

² Thermosetting characteristics

³ Epoxy

⁴ Cyanate ester

⁵ Bismaleimides

⁶ Polyether ketone

⁷ Multi-walled carbon nanotube

⁸ Short carbon fiber

باند X تا حد قابل ملاحظه‌ای افزایش داده‌اند [۱۴]. استفاده از ابزارهای چندلایه مشبک در ترکیب با مواد جاذب رادار به دلیل سادگی ساختار، کاهش ضخامت و بهبود عملکرد در گستره فرکانسی وسیع مورد اقبال محققان واقع شده است. برای مثال در مطالعه اخیر که صورت گرفته نوع خاصی از طراحی EM بر پایه تحلیل RAS بر روی متامواد ارایه شده است. در این طرح با استفاده جفت نوار کوتاه یکنواخت و غیریکنواخت از متامواد، پارامترهای EM مواد استخراج و مطالعه گردید. ترکیب RAS بهینه به نفوذپذیری نزدیک صفر در محدوده ۹-۱۱ GHz رسیده و RAS با جفت نوار کوتاه باعث تضعیف EM در باند X شده است [۱۵].

مطالعات جدید بر روی طراحی، ساختار کامپوزیت‌ها و تکامل آن‌ها برای پهنای باند وسیع با استفاده از سطوح مقاومت فرکانسی فرامواد جاذب راداری چندلایه فلزی در حال انجام است و هم-زمان نتایج در حال مقایسه با سطوح جاذب رادار بر پایه انتخاب فرکانس است [۱۶].

با نگرش به اینکه سلاح‌های کنترل از راه دور و پیشرفته کنترل جایگزین اکثر سلاح‌های سنتی گردیده‌اند و با این سلاح‌ها جان هزاران انسان را مورد تهدید جدی قرار دادند، توجه به امر پدافند، طبیعی جلوه می‌نماید. اقدامات دفاع غیرعامل شامل اصول اساسی و ملاحظاتی است که در اغلب کشورهای جهان، این اصول و ملاحظات با کمی اختلاف پذیرفته شده‌اند، ولی شیوه به‌کارگیری آن‌ها ابتکاری و خردمندانه است؛ به همین دلیل وسعت هر اصل به خلاقیت‌های فکری بشر و شرایط زمان و مکان بستگی دارد و بعضاً حدودمرزی برای این اصول نمی‌توان تعیین کرد و لذا در حد غیرقابل‌تصور در نحوه به‌کارگیری اصول دفاع غیرعامل تنوع وجود دارد. از اقدامات اصول دفاع غیرعامل می‌توان به اصول استتار^۱ و اختفاء^۲ اشاره کرد. استفاده از مواد جاذب راداری در راستای اصول استتار و اختفاء برای افزایش دفاع هوایی هر کشوری می‌باشد.

مفهوم کلی استتار مدرن به مفهوم جلوگیری از استفاده قدرت کشف، آشکارسازی، شناسایی و ردیابی انواع حسگرهای الکتروپتیک، راداری، لیزری، صوتی، مغناطیسی، حرارتی و ... دشمن با بهره‌گیری از انواع روش‌ها و تجهیزات مؤثر نظیر کنترل تشعشعات راداری، اختلال در فرآیند ردگیری، بهره‌برداری از مواد جاذب امواج و حرارت، سطوح قابل‌انعطاف، جلوگیری از انعکاسات نوری، صوتی، ارتباطی و نشت هرگونه امواج الکترومغناطیسی و چندین جلوگیری دیگر در پنهان‌نگه‌داشتن تأسیسات، تجهیزات، نفرات و ... مؤثر می‌باشد [۱۷].

لذا، در این تحقیق پس از انتخاب دو ماده مهم با شرایط مناسب استتار و مشخصات جذب امواج الکترومغناطیسی خوب (دو نوع ماده با ضریب دی‌الکتریک بالا و ضریب نفوذپذیری بالا) و سنتز آن‌ها، به مشخصه‌یابی آن‌ها با استفاده از پراش اشعه ایکس، میکروسکوپ الکترونی روبشی و تحلیلگر شبکه در محدوده ۸-۱۲ GHz پرداخته شده است.

۲. مواد و روش‌ها

در این تحقیق پروسکایت $Ba_{0.7}Sr_{0.3}TiO_3$ و فریت $Mn_{0.5}Zn_{0.5}Fe_2O_4$ به روش سل-ژل سنتز گردید.

¹ Camouflage

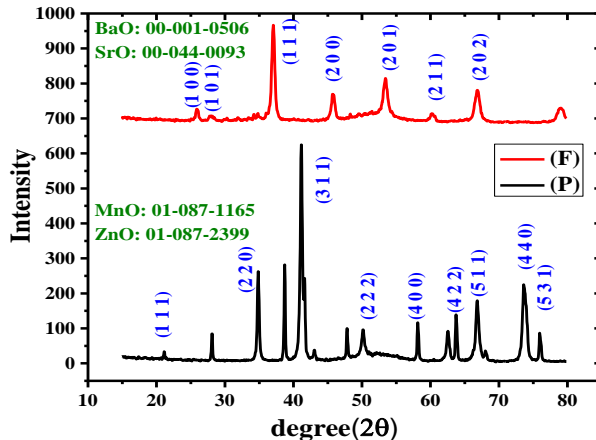
² Concealment

جهت سنتز ۵ گرم پودر فریت و پروسکایت با استوکیومتری زیر استفاده شده است [۱۸].
 $12\text{FeC}_6\text{H}_7\text{O}_7:1\text{M}(\text{NO}_3)\text{X}.6\text{H}_2\text{O}:20\text{C}_6\text{H}_8\text{O}_7:60(\text{CH}_2\text{OH})_2:300\text{H}_2\text{O}$
 که M نشان‌دهنده فلزات منگنز و روی است. جهت سنتز، ۵ گرم نانو پودر فریت $\text{Mn}_{0.5}\text{Zn}_{0.5}\text{Fe}_2\text{O}_4$ در یک بشر با ظرفیت ۵۰ cc سیترات آهن تحت همزن به آب مقطر به‌عنوان حلال اضافه شد تا کاملاً در آب حل شود. سپس اسیدسیتریک به محلول اضافه شد. سپس نیترات روی و نیترات منگنز به محلول اضافه شدند. محلول حاصل در دمای 80°C با استفاده از یک گرمکن-همزن مغناطیسی حرارت داده شد و سپس اتیلن گلیکول و اسید بنزویک به محلول اضافه شدند. این محلول در دمای 80°C به‌طور مغناطیسی هم زده شد تا باگذشت زمان حدود ۳ ساعت تبدیل به ژل تیره‌رنگ غلیظ شود. ژل حاصل در دمای 150°C به مدت ۲۴ ساعت خشک شد. ژل خشک شده توسط هاون آسیاب تا پودری ریز حاصل شود. ژل آسیاب شده در یک کوره الکتریکی در دمای 750°C بازپخت شد و در این دما به مدت ۲ ساعت نگهداری و سپس به آرامی تا دمای اتاق سرد شد.

۳. بحث و نتیجه‌گیری

۳-۱ مشخصه یابی XRD

دستگاه پراش اشعه X مورد استفاده در دانشگاه تربیت مدرس تولیدی شرکت فیلیپس با مدل X'Pert ۱۴۸۰ است. الگوی پراش اشعه ایکس نمونه‌های پروسکایت Ba-Sr، فریت Mn-Zn سنتز شده در دمای 750°C ، در شکل ۱ نشان داده شده است. الگوی XRD نمونه‌ها با مطابقت کارت استاندارد (JCPDS) جهت تعیین احتمالی وجود ناخالصی و یا تشکیل فازهای دیگر نیز بررسی شده است. در الگوی XRD نمونه سنتز شده Ba-Sr قله‌های واضح پراش اشعه ایکس که متناظر با صفحات بازتاب (100) ، (101) ، (111) ، (200) ، (201) ، (211) ، (202) ، (110) ، (111) ، (200) ، (201) ، (211) ، (202) ، (111) ، (220) ، (311) ، (222) ، (400) ، (422) ، (511) ، (440) ، (531) میانگر وجود ساختار مکعبی در پروسکایت است و نشان می‌دهد که فاز اصلی تشکیل شده در نمونه، فاز پروسکایت باریوم-استرانسیوم است و پهن‌شدگی خطوط نشان از ریز بودن دانه‌هاست.

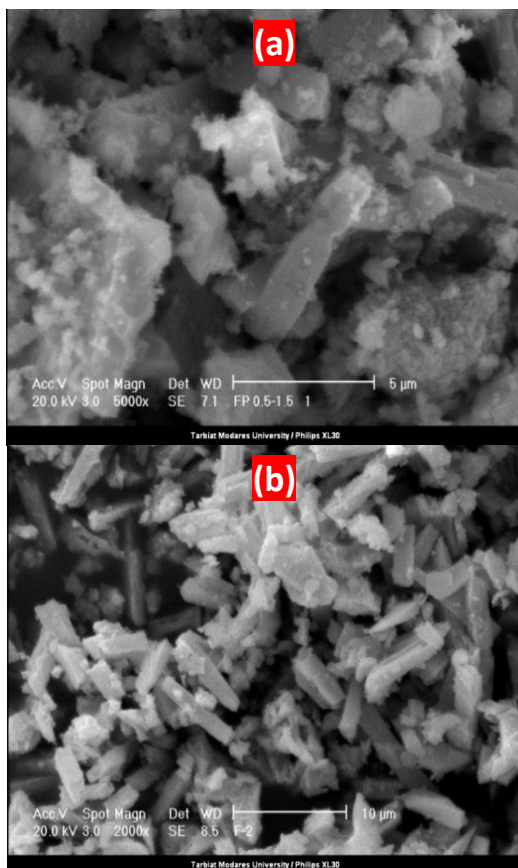


شکل ۱: الگوی پراش اشعه ایکس نمونه پروسکایت Ba-Sr

الگوی XRD نمونه سنتز شده Mn-Zn قله‌های واضح پراش اشعه ایکس متناظر با صفحات بازتاب (۱۱۱)، (۲۲۰)، (۳۱۱)، (۲۲۲)، (۴۰۰)، (۴۲۲)، (۵۱۱)، (۴۴۰) و (۵۳۱) بیانگر وجود ساختار مکعبی اسپینولی است که فاز اصلی تشکیل شده، فاز فریت منگنز-روی است و پهن‌شدگی خطوط نشانگر ریز بودن دانه‌هاست. چند پیک اضافی در زوایای $47/81^\circ$ ، $63/73^\circ$ و $38/69^\circ$ و $28/09^\circ$ مشاهده می‌شود. که به نظر می‌رسد به احتمال فراوان فاز مورد نظر با مقدار کمی از ناخالصی‌های فازی تشکیل شده باشد. پیک‌های با شدت کم نیز در الگوی پراش دیده می‌شود که برخی مربوط به Fe_2O_3 و برخی دیگر مربوط به اکسید روی می‌باشند. همان‌طور که می‌دانیم فریت‌های منگنز-روی دارای ساختار اسپینول می‌باشند، یون‌های روی در محل تتراهدرال قرار می‌گیرند و یون‌های آهن را از این مکان‌ها خارج می‌کنند، زمانی که نسبت مولی روی به منگنز طبق نسبت انتخابی باشد نظیر آنچه در اینجا اتفاق افتاده است یون‌های روی زیادی در محیط موجود می‌باشند. در اثر واکنش تشکیل فریت، تمام این یون‌ها به محل‌های تتراهدرال می‌روند و تمام محل‌های تتراهدرال توسط یون‌های روی اشغال می‌شود. از آنجایی که یون‌های روی فقط می‌توانند در محل‌های تتراهدرال بنشینند اگر مقدار اکسید روی بیش از تعداد محل‌های تتراهدرال ساختار اسپینول باشد تعدادی یون روی باقی می‌ماند که در ساختار جای نگرفته‌اند و به صورت اکسید روی در نمونه باقی می‌ماند. وجود Fe_2O_3 را نیز می‌توان به همین صورت توجیه کرد. یون‌های روی زمانی که در محل‌های تتراهدرال قرار می‌گیرند، جانشین تعداد مشابهی یون آهن در محل تتراهدرال می‌شوند. زمانی که مقدار روی در نمونه زیاد باشد تمام محل‌های تتراهدرال توسط یون‌های روی اشغال می‌شوند و تمام یون‌های آهن را از این مکان‌ها می‌رانند. یون‌های آهن رانده شده به محل‌های اکتاهدرال می‌روند و آن‌ها را پر می‌کنند اما تعداد مکان‌های اکتاهدرال هم محدودیتی دارند ضمن اینکه یون‌های منگنز نیز در این مکان‌ها قرار می‌گیرند؛ بنابراین زمانی که مکان‌های اکتاهدرال هم پر شد یون‌های اضافی آهن به شکل اکسید آهن در نمونه باقی می‌مانند. لذا مشاهده چند پیک ناخالصی در نمونه‌های فریت بدیهی به نظر می‌رسد.

۳-۲. میکروسکوپ الکترونی روبشی

بررسی ریخت‌شناسی پودرها با استفاده از دستگاه میکروسکوپ الکترونی روبشی دانشگاه تربیت مدرس sputter coater ساخت شرکت فیلیپس (Philips) از کشور هلند و مدل XL30 است. از نمونه‌های سنتز شده در دمای $70^\circ C$ و دمای کلسینه $750^\circ C$ عکس‌برداری SEM گرفته شد که در شکل ۲ آورده شده است:



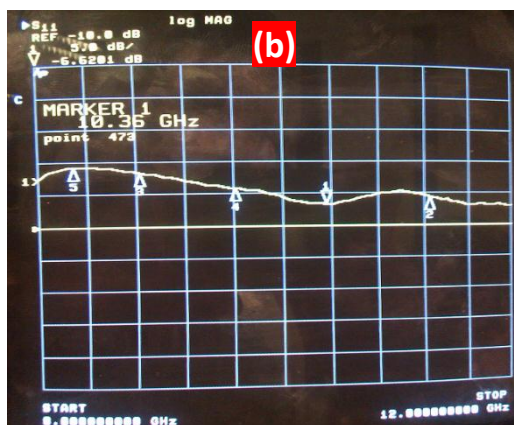
شکل ۲: تصویر SEM: (a) پروسکایت Ba-Sr و (b) فریت Mn-Zn در دمای ۷۰°C و ۷۵۰°C سینتر

تصویر میکروسکوپ الکترونی روبشی نشان می‌دهد که نانو ذرات به شکل کلوخه هستند، به طوری که خوشه‌ها از ذرات ریز به هم چسبیده تشکیل شده‌اند و با توجه به این که از توزیع کننده‌ای برای سنتز استفاده نشده است لذا حالت کلوخه‌ای شدن به دلیل برهمکنش مغناطیسی بین ذرات یا واکنش‌پذیری بالای ناشی از نسبت سطح به حجم بالا است که ذرات تمایل به یکپارچه شدن دارند و در این نانو ذرات این ویژگی مشاهده می‌شود. محاسبه اندازه دانه‌بندی‌ها و مورفولوژی نشان از وجود طیفی از ذرات در محدوده ۳۳ تا ۸۰ نانومتر است و ذرات تقریباً کروی و استوانه‌ای مشاهده می‌شوند.

۳-۳. تحلیل جذب امواج راداری

برای بررسی میزان جذب امواج راداری از دستگاه Network Analyser Hp مدل 8722D استفاده گردید. در آزمایش میزان جذب امواج، نمونه‌های تهیه‌شده در محل خاص دستگاه قرار داده می‌شود. در این دستگاه امواج تولیدشده به نمونه تابیده، سپس امواج بازتاب شده از نمونه توسط دستگاه ارزیابی می‌شود و توسط نرم‌افزار مربوطه، نمودار کاهش قدرت امواج برحسب دسی‌بل رسم می‌شود. طیفی‌های S11 گرفته‌شده توسط این دستگاه که مربوط به میزان امواج بازتابی در ناحیه

بسامدی ۸-۱۲ GHz است که در شکل ۳ آورده شده است:



شکل ۳: نمایش طیف جذبی: (a) پروسکایت Ba-Sr و (b) فریت Mn-Zn با ۹۰٪ اپوکسی و ضخامت ۱mm

در بیشتر مواد دی الکتریک تغییرات ضریب دی الکتریک با میدان الکتریکی به قدری کوچک است که مفید نبوده و حتی قابل اندازه گیری نیست؛ اما برای مواد خاص، از جمله مواد پرانرژی و مواد با ضریب دی الکتریک بالا، این اثر می تواند کاملاً واضح باشد [۱۹]. در مواد پروسکایتی، ضریب دی الکتریک در نزدیکی دمای اتاق به طور غیرعادی بالا و غیرخطی است که باعث می شود این تغییرات چشم گیر باشد. علاوه بر این پروسکایت ها به ویژه ماده تیتانات باریم-استرانسیم دارای اتلاف دی الکتریکی بالا بوده و قادر است مؤلفه میدان الکتریکی موج الکترومغناطیس را جذب و به حرارت تبدیل کند. چنانچه از طیف ها مشاهده می شود برای حالت ۱۰٪ Ba-Sr و ۹۰٪ اپوکسی میزان جذب در حوالی ۹/۵ GHz به ۲۴ dB- نیز می رسد و این حالت در مقایسه با منابع مطالعه شده عالی به نظر می رسد. به طوری که در مطالعات بزرگمهر و همکاران [۲۰] حداکثر جذب در محدوده ۸-۱۲ GHz برای کامپوزیت با ضخامت ۷/۵ mm و فرکانس ۹/۷ GHz حدود ۲۲/۵ dB- مشاهده کرده اند. در طیف تحلیلگر شبکه مربوط به نمونه Mn-Zn تغییر محسوسی در میزان جذب ترکیب

نشان نمی‌دهد و می‌توان نتیجه گرفت که ترکیب موردنظر به تنهایی دارای قابلیت‌های مطلوب به‌عنوان پوشش‌های جاذب راداری نیست و بایستی تغییراتی در شرایط سنتز ایجاد کرد تا ناخالصی‌های نامطلوب حذف شوند. علت ناخالصی در این نمونه‌ها به کیفیت مواد شیمیایی اولیه برمی‌گردد. از این رو با حذف ناخالصی‌ها، می‌توان میزان جذب امواج را به‌طور قابل چشمگیری افزایش داد. ناخالصی اکسید آهن یک‌فاز نامطلوب با خواص پارامغناطیسی است که تأثیر منفی در جذب امواج نمونه فریتی دارد و بازتابش را افزایش می‌دهد. با حذف ناخالصی می‌توان به نمونه‌ای دست یافت که در محدود ۸-۱۲ GHz جذب امواج بالایی داشته باشد. چون فریت Mn-Zn از فریت‌های نرم است و این فریت‌ها دارای شبکه fcc و ساختار شبکه اصلی با یون‌های اکسیژن است در بین آرایه‌های انباشته‌شده یون‌های اکسیژن بزرگ دو نوع مکان بین نشین یافت می‌شود. این مکان‌ها توسط یون‌های فلزی منگنز و روی اشغال می‌شوند که نحوه قرارگیری یون‌ها در این محل‌ها خواص اصلی فریت را تعیین می‌کند. در فریت Mn-Zn یون‌های روی در محل‌های تتراهدرال قرار می‌گیرند و جایگزین یون‌های Fe^{+3} می‌شوند و یون‌های Fe^{+3} به همراه یون‌های منگنز محل‌های اکتاهدرال را پر می‌کنند. لذا با این نسبت انتخابی نحوه قرارگیری یون‌ها در محل‌ها خواصی را ایجاد نموده است که در بازه انتخابی جذب کمتری را نشان می‌دهد.

۴. نتیجه‌گیری

الگوی پراش اشعه ایکس نشان داد که ناخالصی در نمونه ماده فریت وجود دارد و این عامل باعث ایجاد قله‌های دیگر در طیف پراش شده است و همچنین پهن‌شدگی خطوط در نمونه‌ها نشان از ریز بودن دانه‌هاست. همچنین تصاویر میکروسکوپ الکترونی روبشی نشان داد که نانو ذرات به حالت کلوخه بوده و خوشه‌ها از ذرات ریز به هم چسبیده تشکیل شدند. اندازه‌گیری مورفولوژی نشان از وجود ذرات در محدوده ۳۳ تا ۸۰ نانومتر ذرات تقریباً کروی است. طیف تحلیلگر شبکه میزان جذب امواج در ناحیه بسامدی ۸-۱۲ GHz مربوط به نمونه با ضریب دی‌الکتریک بالا نشان داد که بیشترین مقدار جذب برای این ماده با مقدار تقریبی ۲۴ dB- در حوالی ۹/۵ GHz می‌باشد و ماده با ضریب نفوذپذیری بالا، از مقدار جذب کمتری برخوردار است؛ لذا در مواد جاذب راداری ماده با ضریب دی‌الکتریک بالا نسبت به ماده با ضریب نفوذپذیری بالا نقش مهمی را ایفا می‌کند.

تعارض منافع

هیچ گونه تعارض منافع از سوی نویسندگان گزارش نشده است.

تشکر و قدردانی

از مرکز تحصیلات تکمیلی دانشگاه پدافند هوایی خاتم الانبیاء (ص) تشکر و قدردانی می‌نمایم.

۵. منابع

- [1] A. Shirpay, "Investigation of the Magneto-Electric Radar Waves Absorption of $Ba_{0.7}Sr_{0.3}TiO_3-Mn_{0.5}Zn_{0.5}Fe_2O_4$ and their Composite by Using a Network Analyzer Device", *Journal of Advanced Defense Science and Technology*, 2019, 03, 19–28.
- [2] Zhang, H; Xu, Y; Zhou, J; Jiao, J; Chen, Y; Wang, H; Liu, C; Jiang, Z and Wang Z. "Stacking fault and unoccupied densities of state dependence of electromagnetic wave absorption in SiC nanowires", *J. Mater. Chem. C*, 2015, 3, 4416–4423.
- [3] Y. Ren, C. Zhu, S. Zhang, C. Li, Y. Chen, P. Gao, P. Yang and Q. Ouyang, "Three-dimensional $SiO_2@Fe_3O_4$ core/shell nanorod array/graphene architecture: synthesis and electromagnetic absorption properties", *Nanoscale*, 2013, 5, 12296–12303.
- [4] Y. J. Zhang, X. M. Liu, L. F. Cheng and L. T. Zhang, "Electromagnetic wave absorption properties of graphene modified with carbon nanotube/poly(dimethyl siloxane) composites", *Carbon*, 2014 73, 185–193.
- [5] W. L. Song, M. S. Cao, M. M. Lu, J. Liu, J. Yuan and L. Z. Fan, "Improved dielectric properties and highly efficient and broadened bandwidth electromagnetic attenuation of thickness-decreased carbon nanosheet/wax composites", *J. Mater. Chem. C*, 1, 2013, 1846–1854.
- [6] Y. Sun, F. Xiao, X. Liu, C. Feng and C. Jin, "Preparation and electromagnetic wave absorption properties of core-shell structured Fe_3O_4 -polyaniline nanoparticles", *RSC Adv.* 2013, 3, 22554–22559.
- [7] M. K. Han, X. W. Yin, L. Kong, M. Li, W. Y. Duan, L. T. Zhang and L. F. Cheng, "Graphene-wrapped ZnO hollow spheres with enhanced electromagnetic wave absorption properties", *J. Mater. Chem. A*, 2014, 2, 16403–16409.
- [8] Kumar, N.; Vadera, S. R. In *Aerospace Materials and Material Technologies: Volume 1: Aerospace Materials*; 1st ed.; Springer Singapore: Singapore; 2017, p 519.
- [9] IEEE Standard Letter Designations for Radar-Frequency Bands. IEEE Std 521-2002 (Revision of IEEE Std 521-1984); p 1, 2003.
- [10] Mallick, P. K. *Fiber Reinforced Composite Materials, Manufacturing and Design*. Vol. 2; CRC Press, Taylor and Francis group: Boca Raton, 2007, FL. p. 1.
- [11] Khatavalkar, N.; Kandasubramanian, B. "Composite materials for supersonic aircraft radomes with ameliorated radio frequency transmission-a review", *RSC Adv*, 2016 6,6709.
- [12] Inamdar, A.; Cherukattu, J.; Anand, A.;Kandasubramanian, B. "Thermoplastic-toughened high-temperature cyanate esters and their application in advanced composites", *Ind. Eng. Chem. Res*, 2017, 57, 4479.
- [13] Chen, J.; Liang, X.; Quan, B.; Yang, Z.; Du, Y.; Ji, G. "3D Flake-Like Bi_2Te_3 with Outstanding Lightweight Electromagnetic Wave Absorption Feature", *Particle. Part. Syst. Charact*, 2018, 35, 1700468.
- [14] Folgueras, L. C.; Alves, M. A.; Rezende, M. C. "Evaluation of a nanostructured microwave absorbent coating applied to a glass fiber/polyphenylene sulfide laminated composite", *Mater. Res.* 2014, 17, 197.
- [15] Girish, K.; Dutta, M.; Singh, H. In *Proceedings of the International Conference on Electromagnetic Interference and Compatibility*; IEEE; 2017, p 519.
- [16] Li, W.; Chen, M.; Zeng, Z.; Jin, H.; Pei, Y.; Zhang, Z. "Broadband composite radar absorbing structures with resistive frequency selective surface: Optimal design, manufacturing and characterization", *Compos. Sci. Technol*, 2017, 145, 10.
- [17] Kumar, N.; Dixit, A. "Camouflage and Stealth Technology Based on Nanomaterials. In: *Nanotechnology for Defence Applications*" (2019) Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-030-29880-7_5.

- [18] Chen, D.H.; Chen, Y.Y. "Synthesis of Strontium ferrite nanoparticles by Coprecipitation in the presence of Polyacrylic acid", *Materials Research Bulletin*, 2002, 37, 4, 801-810.
- [19] Robert A. York; "Tunable Dielectrics for RF Circuits"; University of California at Santa Barbara; Publishing 2009.
- [20] Madah, B.; Davoudi, A.; Khakbaz, M. R. "Investigation of X Frequency Microwave Absorbance of Ferrite Nano-Composite in Polyurethane Matrix" *Advanced Defence Sci.& Tech.* 2016, 6, 1-8.