

بررسی تاثیر آلایش نقره بر خواص ساختاری و الکتریکی فریت روی

گلاره علیزاده^{۱*}، وحید دادمهرا^۱، نیلوفر رضائی^۱، فاطمه معماریان^۱، فاطمه شهباز تهرانی^۱

^۱ دانشجوی ارشد، دانشگاه الزهراء، تهران

^۲ استاد، دانشگاه الزهراء، تهران

تاریخ ثبت اولیه: ۹۱/۱۰/۶، تاریخ دریافت نسخه اصلاح شده: ۹۱/۱۱/۱۱، تاریخ پذیرش قطعی: ۹۱/۱۱/۱۵

چکیده به دلیل کاربردهای فراوان الکتریکی، مغناطیسی و شیمیایی نانو فریت های اسپینلی در سال های اخیر توجه بسیاری از محققین را به خود جلب کرده اند. نانو فریت روی با گستره وسیعی از کاربردها و فرمول عمومی $ZnFe_2O_4$ ماده ای نارسا با مقاومت الکتریکی بالا است که نمی تواند جریان الکتریکی مستقیم را از خود عبور دهد. جانشینی یون های فلزی مختلف (همانند نیکل، کبالت، مس و ...) می تواند به دلیل تغییر آرایش یون های آهن در سایت های اکتاهدرال و تتراهدرال بسیاری از خواص فریت ها را تغییر دهد. در این تحقیق برای بررسی این مطلب که آیا یون های نقره همانند کاتیون های فلزی ذکر شده قادر به جانشینی در ساختار فریت روی و تغییر خواص الکتریکی آن می باشند نانو فریت روی آلاییده به نقره با آلایش های ۰، ۱۰ و ۱۰۰ درصدی به روش سل ژل ساخته شد. الگوی پراش نمونه ها شکل گیری ساختار اسپینلی تک فاز را برای فریت روی در نمونه ها تایید و نشان می دهد برخلاف دیگر کاتیون های فلزی نقره وارد ساختار فریت نمی شود. همچنین اندازه گیری رسانندگی و ضریب دی الکتریک دو نمونه آلاییده ۰ و ۱۰ درصدی انجام گرفت و از آنجایی که نمودارها برای دو نمونه خالص و ۱۰ درصد آلاییده فریت روی روند یکسان و مقادیر نزدیک به هم داشتند، این مطلب که یون های نقره وارد ساختار فریت روی نمی شوند دوباره تایید شد.

واژه های کلیدی: فریت، اسپینل، اکتاهدرال، تتراهدرال، رسانندگی، ضریب دی الکتریک

Investigation of the effect of Ag doping on electrical and structural properties of Zn ferrite

Gelareh Alizadeh^{1*}, Vahid Daadmehra¹, Niloofar Ramezani¹, Fatemeh Memarian¹ and Fatemeh Shabbaz Tehrani¹

¹University of Alzahra, Tehran, Iran

Abstract Because of rich electrical, magnetic, chemical and structural properties, spinel ferrites have been a matter of interest among researchers in recent years. Zinc ferrite with a wide range of applications and having the general formula of $ZnFe_2O_4$ is a resistant material with high resistivity that cannot conduct DC electrical currents. Substitution of different metallic ions (such as copper, nickel, cobalt and ...) can easily modify ferrites' properties, because these dopings cause a rearrangement of Fe^{2+} ions into two preexisting octahedral and tetrahedral sites. In this paper Zinc ferrite doped with 0, 10, 100 % Ag prepared using sol gel method in order to investigate whether Ag ions can substitute in ferrite's structure and modify its electrical properties or not. X-ray diffraction patterns confirm the single spinel structure for the prepared samples, and show that silver does not enter ferrites' structure. Also measuring AC electrical conductivity and dielectric constant of both 10 % doped and pure Zn ferrite were done, and as the graphs related to both pure and 10 % doped zinc ferrites showed the same trend and equal values, the fact that Ag ions cannot enter ferrites' structure was again proved.

Keyword: ferrite, spinel, octahedral, tetrahedral, conductivity, dielectric constant

*عهددهدار مکاتبات

نشانی: دانشگاه الزهراء- تهران

تلفن: ۰۰۲۱-۸۸۴۳۰۴۰۰، دورنگار: .- پیام نگار: princemelody@yahoo.com

۱- مقدمه

در میان نانو مواد، نانو کریستال‌های فریت اسپینلی با فرمول عمومی MFe_2O_4 (که M نشان دهنده یون‌های فلزی دو ظرفیتی است) دسته مهمی از مواد مغناطیسی هستند که به دلیل خواص الکتریکی و ساختاریشان در گستره پهنای فرکانس از علوم دارای اهمیت می‌باشند. در این میان فریت روی $ZnFe_2O_4$ با خواص کاتالیستی، فوتوکالیستی و کاربردهای فراوانی در سنسورهای گازی، رطوبتی و بعنوان ماده جاذب توجه بسیاری را در سالهای اخیر به خود جلب کرده است، این ماده دارای مقاومت الکتریکی ویژه، بیشتر از ۱ مگا اهم-متر است از این رو مشخصه‌یابی الکتریکی DC آن بسیار دشوار خواهد بود. سلول واحد نانو فریت‌های اسپینلی آرایشی از ۳۲ یون اکسیژن به صورت تنگ پکیده مکعبی می‌باشد که کاتیون‌ها هشت بخش تتراهدرال (چهاروجهی) و شانزده بخش اکتاهدرال (هشت وجهی) را اشغال می‌کنند [۱]. این توزیع کاتیونی و جهش الکترونی ظرفیت میان آنها مکانیزم اصلی رسانش در فریت‌ها و در نتیجه خواص دی الکتریکی را تعیین می‌نماید. مطالعه‌ی رسانندگی الکتریکی AC در جامدات به تنهایی یکی از موضوعات مورد علاقه‌ی محققین است. از آن جهت که مطالعه آن کارایی این مواد را برای کاربردهای مختلف آشکار کرده و رفتار حاملین بار تحت میدان و مکانیزم‌های رسانش را بررسی می‌کند. خواص نانوفریت‌های اسپینلی به شدت به مواد اولیه، روش ساخت و اضافه کردن ناخالصی‌ها وابسته است که می‌تواند توزیع کاتیون‌ها و در نتیجه خواص الکتریکی را تغییر دهد. تاثیر آرایش یون‌های فلزی چون نیکل، مس، کبالت و... بر خواص ساختاری و الکتریکی فریت روی توسط محققین زیادی گزارش شده است اما هدف مقاله حاضر بررسی اثر آرایش نقره بر خواص الکتریکی نانو فریت روی در مقایسه با، نمونه خالص آن و تایید این مطلب است که نقره برخلاف یون‌های فلزی مذکور وارد ساختار فریت نمی‌شود و در بین ساختار فریت جای می‌گیرد، علاوه بر این نشان

دادیم که نقره قادر به تشکیل ساختار فریت نقره با فرمول عمومی $AgFe_2O_4$ نمی‌باشد.

۲- روش ساخت

از میان روش‌های ساخت نانو فریت‌ها روش سل ژل به دلیل دمای پایین واکنش، خلوص بالا و سادگی یکی از پرکاربردترین روش‌ها است. برای تهیه محلول اولیه مقادیری نیترات روی آبدار $(Zn(NO_3)_2 \cdot 6H_2O)$ ، نیترات آهن آبدار $(Fe(NO_3)_3 \cdot 9H_2O)$ ، اسید سیتریک $(C_6H_8O_7)$ و میزان ۰،۱۰ و ۱۰۰ درصد وزنی نیترات نقره $(AgNO_3)$ را طبق مقادیر به دست آمده از استوکیومتری توزین کرده و جداگانه در آب غیریونی با غلظت نیم مولار حل کردیم. پیش ماده‌ها را قطره قطره با یکدیگر مخلوط نمودیم تا سل مورد نظر آماده شود. برای پایدار کردن ذرات کیلوئیدی و جلوگیری از ته‌نشین شدن آنها از یک عامل پایدار کننده یعنی کنترلر PH استفاده کرده و به کمک اتیلن دی آمین PH سل را به ۱ رساندیم. سل مورد نظر را به صورت متناوب در دمای ۶۰ تا ۷۰ درجه سانتی‌گراد به هم زدیم تا آبهای فیزیکی تبخیر شده و ژل غلیظی حاصل شود. ژل به دست آمده را به مدت ۲۴ ساعت در دمای ۱۳۵ درجه سانتی‌گراد قرار دادیم تا خشک شود. پودر حاصل را پس از ساییدن در دمای ۶۰۰ درجه به مدت ۴ ساعت در داخل کوره مکعبی در مجاورت هوا کلسینه کردیم و در نهایت محصول بدست آمده در دو آلیش ۰ و ۱۰ درصدی نقره پودر نانوفریت روی آلاینده به نقره به میزان ۰ و ۱۰ درصد وزنی است و در نمونه ۱۰۰ درصد وزنی پودری خاکستری رنگ مایل به بنفش کم‌رنگ می‌باشد.

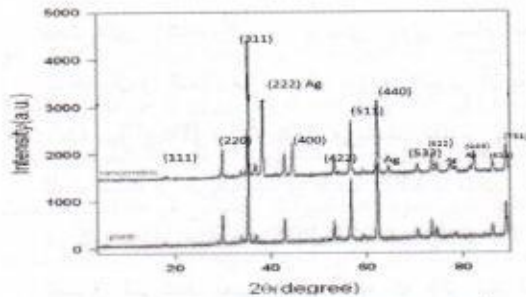
۳- بحث و بررسی نتایج

۳-۱- بررسی نتایج ساختاری

مشخصه‌یابی نمونه‌ها از جمله ساختار، ثابت شبکه و اندازه بلورک‌ها توسط دستگاه پراش اشعه X (XRD)، در مقیاس ۲θ، بین ۴-۹۰ درجه، با تابش $(CuK\alpha)$ به طول موج $\lambda=1.54056 \text{ \AA}$ مورد بررسی قرار گرفت. حضور صفحات

(hkl) اندیس‌های میلر مربوط به این صفحات هستند بدست آورد.

$$a = d(h^2 + k^2 + l^2)^{1/2} \quad (\text{معادله ۲})$$



شکل ۱. الگوی پراش فریت روی آلائیده به نقره به میزان ۱۰ درصد وزنی (نمودار بالا)، فریت روی خالص (نمودار پایین)

همانطور که از شکل ۱ مشخص است، در نمونه فریت روی با میزان ۱۰ درصد وزنی آلائیش نقره، مکان پیک‌هایی که مربوط به فاز فریت روی می‌باشند، نسبت به نمونه فریت روی خالص تغییر قابل ملاحظه ای نمی‌کنند، فقط شدت پیک‌های آن نسبت به نمونه خالص کاهش یافته است پس کاملاً مشخص می‌شود که یون‌های Ag^+ داخل ساختار اسپینلی فریت روی نشده‌اند زیرا تغییراتی در مکان پیک‌ها مشاهده نشده است. از نرم‌افزار MAUD می‌توان برای بررسی ساختاری، توزیع کاتیونی، تعیین ثابت شبکه و تعیین فازهای موجود در نمونه‌ها که بر اساس روش ریتولد می‌باشد، به‌طور کامل مشخصات ساختاری مناسب برای نمونه‌ها را بدست آورد. از اینرو طیف XRD این دو نمونه را با استفاده از نرم‌افزار MAUD برازش کردیم و مکان یونها، عدد اشغال و تعداد یونها در هر سلول واحد را بدست آوردیم. شکل ۲ الگوی پراش اشعه X محاسبه شده توسط نرم‌افزار MAUD و طیف اندازه‌گیری شده (تجربی) و اختلاف این دو طیف را برای نمونه نانو فریت روی خالص نشان می‌دهد. برازش طیف XRD این نمونه‌ها توسط نرم‌افزار تشکیل ساختار مکعبی با تقارن $Fd3m$ را در نانوبلورهای فریت روی و ساختار مکعبی با تقارن $Fm3m$ را برای نقره تأیید می‌کنند که با مقادیر ثبت شده در کارت‌های استاندارد JCPDS که

اصلی (۱۱۱)، (۳۱۱)، (۲۲۲)، (۴۰۰)، (۴۲۲)، (۵۱۱)، (۴۴۰) و صفحات فرعی (۲۲۰)، (۶۲۲)، (۵۳۳)، (۶۲۴) و (۷۳۱) در الگوی پراش دو نمونه نانو فریت روی خالص و نانو فریت روی با میزان ۱۰ درصد آلائیش نقره، نشان دهنده تشکیل ساختار مکعبی اسپینلی با گروه فضایی $Fd3m$ می‌باشد که نشان‌دهنده دقت بالا در شکل‌گیری فازهای تداخلی نمونه‌ها می‌باشد و همچنین حضور صفحات (۱۱۱)، (۲۰۰)، (۲۲۰)، (۳۱۱) و (۲۲۲) تشکیل ساختار مکعبی با گروه فضایی $Fm3m$ را نمایان می‌کند که مربوط به شکل‌گیری فاز نقره است (شکل ۱). تمامی نتایج با مقادیر ثبت شده در کارت‌های استاندارد JCPDS که در جدول ۱ آورده شده است همخوانی و مطابقت دارد. در الگوی پراش اشعه X این دو نمونه (شکل ۱)، پیک‌های پراش مربوط به نمونه‌های فریت روی و نقره به‌طور جداگانه مشاهده می‌شوند و با توجه به اینکه هیچ پیکی مربوط به تشکیل فاز ترکیبی فریت روی-نقره مشاهده نشد پس در یافتیم یون‌های Ag^+ داخل ساختار اسپینلی فریت روی نمی‌شوند. در نمونه‌های مورد بررسی، شاهد پیک‌هایی با شدت خیلی کم هستیم که مربوط به شکل‌گیری فاز Fe_3O_4 می‌باشد که تأثیری بر روی نتایج آزمایش ندارد. اندازه بلورک‌های فریت روی را از الگوی پراش اشعه X و مشخصات پیک اصلی (۳۱۱) و برای نقره نیز با مشخصات پیک (۱۱۱) و با استفاده از معادله ۱ که به معادله شرر معروف است، محاسبه شد و در جدول ۱ آورده شده است.

$$D_{hkl} = K\lambda / \beta \cos\theta \quad (\text{معادله ۱})$$

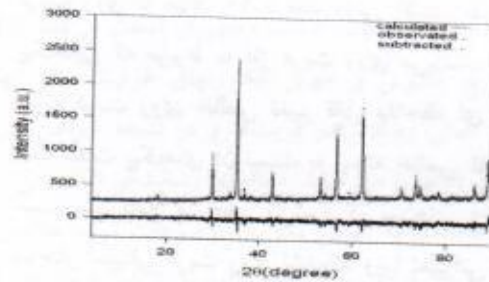
که در آن D_{hkl} ، K ، λ ، β ، θ به ترتیب نشان دهنده اندازه بلورک‌ها، ثابت شرر (که برابر با ۰.۹ در نظر گرفته شده است)، طول موج اشعه X، پهنای کامل پیک اصلی در نصف ارتفاع و زاویه پراش براگ است و نیز ثابت شبکه (a) نمونه‌ها را میتوان از رابطه (۲) که d فاصله بین دو صفحه براگ و

دارای دو فاز نقره Ag به شماره کارت استاندارد (۰۴-۰۷۸۳) و فاز اکسید آهن $\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3$ hematite به شماره کارت استاندارد (۳۳-۰۶۶۴) می‌باشد و هیچ گونه پیک اضافه که نشان دهنده وجود فاز دیگری همچون فاز فریت نقره در نمونه باشد، در الگوی پراش دیده نشد [۲] با استفاده از اطلاعات موجود در کارت های مذکور دریافتیم که فاز نقره دارای ساختار مکعبی با تقارن Fm3m بوده و فاز اکسید آهن دارای ساختار سه گوشه R3c:H می‌باشد. حضور صفحات اصلی (۱۰۴)، (۱۱۰)، (۱۱۳)، (۰۲۴)، (۱۱۶)، (۲۱۴) و (۱۰۱۰) در الگوی XRD که مطابق با صفحات اصلی فاز اکسید آهن و حضور صفحات اصلی (۱۱۱)، (۲۰۰)، (۲۲۰) و (۳۱۱) که همخوانی کامل با صفحات اصلی فاز نقره دارد، دلالت بر تشکیل فاز اکسید آهن و نقره دارد.

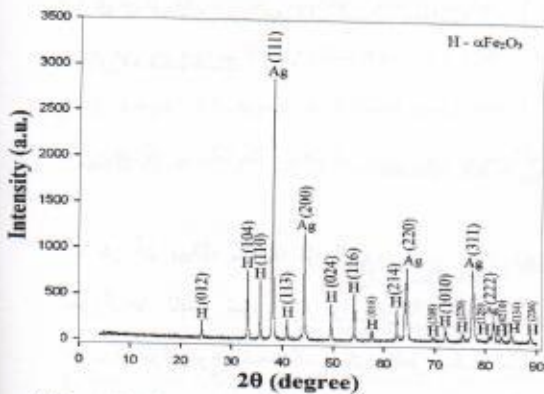
مقادیرش در جدول ۱ آورده شده است همخوانی و مطابقت دارد. بر اساس توزیع کاتیونی بدست آمده از نرم‌افزار MAUD مشاهده نمودیم که نانو بلورهای فریت روی دارای ساختار اسپینل نرمال می‌باشند که در آن یونهای آهن در بخش‌های اکتاهدرال و یونهای روی تمام بخش‌های تتراهدرال را اشغال می‌کنند که توزیع کاتیونی آن به صورت $[\text{Zn}_{1.0}^{2+}]_{\text{tet}} [\text{Fe}_{2.0}^{3+}]_{\text{oct}} \text{O}_4^{2-}$ می‌باشد. مقادیر بدست آمده ثابت شبکه از ظرفیت سازی طیف XRD با مقادیر ثبت شده در کارت‌های استاندارد JCPDS تطابق دارد که با آرایش نقره تغییری نمی‌کنند یعنی همان گونه که ذکر شد نقره وارد ساختار فریت روی نمی‌شود. در جدول ۱ تغییرات اندازه بلورک‌ها و مقادیر ثابت شبکه برای این نمونه‌ها آورده شده است.

جدول ۱. تغییرات اندازه بلورک‌ها و مقادیر ثابت شبکه دو نمونه ۰ و ۱۰ درصد وزنی نقره

نمونه	شکل فاز	اندازه بلورکها (nm)	ثابت شبکه A°	مقدار استاندارد A°
نمونه خالص	ZnFe_2O_4	۹۹: ۷۷	۸.۴۴ (۴)	۸.۴۳
نمونه آلوده	ZnFe_2O_4 Ag^+	۳۷: ۷۵ ۲۵: ۵۳	۸.۴۳ (۲۲) ۴.۰۸ (۹۸)	۸.۴۳ ۴.۰۸ (۶)



شکل ۲. الگوی پراش اشعه X محاسبه شده توسط نرم افزار MAUD برای نانو فریت روی خالص



شکل ۳. الگوی پراش نمونه ۱۰۰ درصد وزنی نقره، Ag فاز نقره و H فاز اکسید آهن را نشان می‌دهد.

۳-۱-۱- بررسی ساختاری نمونه ۱۰۰ درصد وزنی نقره

عدم جانشینی یون‌های نقره در ساختار با میزان آرایش ۱۰۰ درصدی نقره هم مورد بررسی قرار گرفته است که طبق این تحقیقات برای پاسخ به این که آیا یون نقره تمایل به جانشینی به جای یون آهن و تشکیل ساختار فریت نقره اسپینلی با فرمول شیمیایی AgFe_2O_4 را دارد یا خیر، تشکیل ساختار اسپینلی نانو بلورهای فریت نقره توسط روش سل ژل بررسی شد. پس از بررسی پیک‌های موجود و مقادیر فاصله بین صفحات بلوری بدست آمده از الگوی پراش اشعه X این نمونه (شکل ۳) و مقایسه آن‌ها با مقادیر موجود در کارتهای استاندارد JCPDS این نتیجه حاصل شد که نمونه

خازن، d ضخامت نمونه و A مساحت سطح مقطع آن است:

$$\epsilon' = C d / \epsilon_0 A \quad (\text{معادله ۳})$$

نمودار ۵ تغییرات ϵ' بر حسب فرکانس را برای نانو فریت روی خالص و نانو فریت روی با میزان ۱۰ درصد آلایش نقره را در بازه فرکانسی ۰/۱ تا ۲۰۰ کیلوهرتز نشان می‌دهد. طبق نمودارها تغییرات چندانی در مقادیر به دست آمده برای ثابت دی الکتریک در نمونه آلاییده نسبت به نمونه خالص ایجاد نشده و دو نمودار مقادیر نزدیک به هم را نشان می‌دهند. به طور کلی ϵ' با افزایش فرکانس کم می‌شود. این کاهش در فرکانس‌های پایین تر با شیب تند رخ می‌دهد و با افزایش فرکانس از آن جایی که فرکانس حامل‌های بار امکان دنبال کردن تغییرات میدان اعمالی با فرکانس معلوم را ندارند تغییرات ϵ' با فرکانس کندتر می‌گردد و نهایتاً به یک مقدار ثابت مستقل از فرکانس منتهی می‌شود [۳ و ۴]. این رفتار ثابت دی الکتریک با مدل لایه‌ای پیشنهادی ماکسول و واگنر و نظریه بنیادی کوپ مطابقت دارد. طبق این مدل قطبش فضایی بار ناشی از ساختار ناهمگن ماده دی الکتریک می‌باشد که از دانه‌های رسانایی تشکیل شده است که توسط مرز دانه‌های کمتر رسانا از یکدیگر جدا می‌شوند. در این شرایط تجمع بارها در اثر اعمال میدان سبب به وجود آمدن قطبش فضایی بار می‌گردد [۵].

قسمت موهومی ثابت دی الکتریک نشان دهنده اتلاف دی الکتریک است، با استفاده از LCR متر، مقدار اتلاف در مدار D را اندازه‌گیری کرده و با کمک رابطه ۴ قسمت موهومی ثابت دی الکتریک را به دست آوردیم:

$$\tan \delta = D \cong \epsilon'' \quad (\text{معادله ۴})$$

۲-۳- بررسی تصویر SEM نمونه ۱۰ درصد وزنی نقره



شکل ۴. تصویر SEM نانوفریت روی با آلایش ۱۰ درصد وزنی نقره

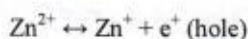
شکل ۴ تصویر SEM نمونه با ۱۰ درصد وزنی نقره را نشان می‌دهد که همان‌طور که دیده می‌شود دانه‌ها به صورت کروی هستند و متوسط اندازه آنها بین ۱۴ تا ۶۴ نانومتر توزیع شده است. همان‌طور که مشاهده می‌شود ذرات به دلیل خواص مغناطیسی به هم چسبیده‌اند.

۳-۳- خواص دی الکتریکی

برای اندازه‌گیری ثابت دی الکتریک ابتدا تحت فشار ۱۰۰ کیلوگرم بر سانتی متر مربع نمونه‌ها را به صورت یک قرص با قطر ۱۳ میلی متر درآورده، عمل کلوخه‌سازی آن‌ها را در داخل کوره استوانه‌ای به مدت ۵ ساعت در دمای ۶۲۰ درجه سانتی‌گراد در مجاورت هوا انجام دادیم و سپس آن‌ها را در میان صفحات فلزی قرار دادیم تا تشکیل یک خازن بدهند. خازن به دست آمده را به گونه‌ای در مدار قرار دادیم که ولتاژ دو سر آن ۲-۱/۵ ولت باشد. برای به دست آوردن ظرفیت این خازن از LCR متر به مدل GwINSTEK 821 استفاده کردیم. با اعمال میدان متغیر با زمان ثابت دی الکتریک خازن متشکل از دو قسمت حقیقی و موهومی خواهد بود که در آن ϵ' قسمت حقیقی و ϵ'' قسمت موهومی آن می‌باشد. با استفاده از رابطه ۳ مقدار حقیقی ثابت دی الکتریک به دست می‌آید که در آن C ظرفیت

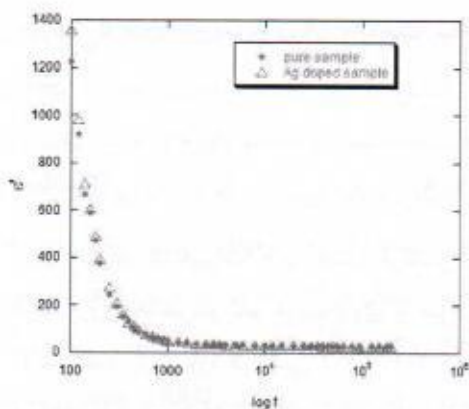
۲۰۰ کیلو هرترز اندازه گیری شد. شکل ۷ نتایج این اندازه گیری را نشان می‌دهد. نمودارها روند یکسانی برای تغییرات رسانندگی بر حسب فرکانس برای نانو فریت روی با میزان ۱۰ درصد آلیش نقره و فریت روی خالص نشان می‌دهند. طبق نمودارهای رسم شده رسانندگی هر دو نمونه با افزایش فرکانس افزایش می‌یابد. افزایش رسانندگی در فرکانس‌های پایین با شیب کندی رخ می‌دهد اما در فرکانس‌های بالا لگاریتم رسانندگی به صورت خطی با فرکانس تغییر می‌کند. به‌طور کلی در نانو فریت‌های اسپینلی کاتیون‌های سایت اکتاهدرال هستند که در فرایند رسانش شرکت می‌کنند. در نانو فریت روی آلییده با توزیع کاتیونی ذکر شده رسانندگی با مدل جهش الکترونی توجیه می‌شود [۶].

رسانش در فریت‌ها ناشی از تبادل حامل‌های بار مثبت و منفی میان کاتیون‌های یکسان و با ظرفیت‌های متفاوت در سایت اکتاهدرال می‌باشد. این تبادل بار با شکل زیر صورت می‌گیرد:



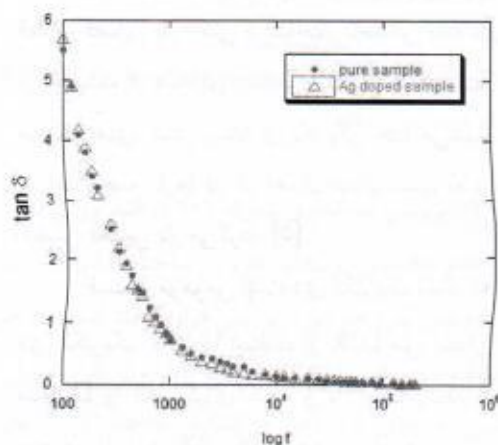
این حامل‌های بار با جهش خود را به مرزدانه‌ها رسانده و در آنجا مجتمع می‌شوند و قطبش فضایی بار رخ می‌دهد. ساختار لایه‌ای فریت‌ها که از لایه‌های رسانا تشکیل شده‌اند و این لایه‌ها توسط مرزهای نارسانا از یکدیگر جدا می‌شوند و به وسیله مدار RC قابل شبیه‌سازی است باعث می‌شود بارهای مجتمع در محل مرزدانه‌های نارسانا توانایی دنبال کردن تغییر جهت میدان را در فرکانس‌های بالاتر نداشته باشند و فریز شوند که این نوع قطبش غیزذاتی در سطح ماده رخ می‌دهد.

در حین سینتر کردن پودر فریت، دانه‌های رسانایی در ساختار آن شکل می‌گیرند که پس از خنک شدن تحت اکسیژن مرزهایی با رسانندگی کم دانه‌ها را از هم جدا می‌کند. در بررسی رسانش، دانه‌ها و مرز دانه‌ها نقش مهمی ایفا می‌کنند زیرا خواص مختلفی دارند. مرز دانه‌ها در فرکانس‌های پایین



شکل ۵ رفتار قسمت حقیقی تابع دی الکتریک برای دو نمونه نانو فریت روی خالص و ۱۰ درصد وزنی آلییده

شکل ۶ رفتار $\tan \delta$ نمونه خالص و آلییده را با تغییرات فرکانس اعمالی نشان می‌دهد. همان‌گونه که در نمودارها دیده می‌شود هر دو نمونه رفتار مشابهی دارند، مقدار اتلاف دی‌الکتریک در فرکانس‌های پایین‌تر کمتر بوده و با افزایش فرکانس کاهش می‌یابد که این رفتار نیز ناشی از ساختار ناهمگن فریت‌ها می‌باشد که مدل پیشنهادی ماکسول-واگنر آن را توجیه می‌نماید [۶ و ۷].



شکل ۶ رفتار اتلاف دی الکتریک برای هر دو نمونه نانو فریت روی خالص و ۱۰ درصد وزنی آلییده

۳-۴- رسانندگی الکتریکی AC

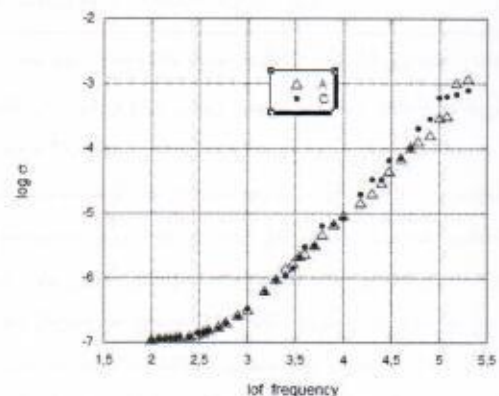
رسانندگی AC نمونه‌ها در دمای اتاق به کمک LCR متر به مدل GWINSTEK 821 در محدوده‌ی فرکانسی ۰/۱ تا

اندازه‌گیری خواص الکتریکی (رسانندگی و ضریب دی الکتریک) این نمونه آلاینده و مقایسه آن با نمونه خالص فریت روی اثبات کردیم زیرا همان‌طور که انتظار می‌رفت تغییرات چندانی در مقادیر بدست آمده از این اندازه‌گیری‌ها دیده نشد. یون نقره قادر به جانشینی در ساختار فریت نیست و نمی‌تواند خواص نانو فریت روی را آنگونه که وقتی آلاینده چون نیکل را وارد می‌کنیم و در ساختار جای می‌گیرد، تغییر دهد [۵].

مراجع

1. Alex Goldman, "Modern ferrite technology", 2nd Ed, Pittsburgh, PA, USA. 1987.
۲. شهباز تهرانی، ع.، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه الزهراء، آزمایشگاه پژوهشی مغناطیس و ابررسانا، بهمن ۹۰.
3. H. M. Zaki, "AC conductivity and frequency dependence of the dielectric properties for copper doped magnetite", *Physica. B* 363 (2005) 232-244.
4. Mohd. Hashim, Alimuddin, ShalendraKumar, SagarE. Shirsath, E. M. Mohammed, Hanshik Chung, RaviKumar, "Studies on the activation energy from the ac conductivity measurements of rubber ferrite composites containing manganese zinc ferrite", *Physica. B* 407 (2012) 4097-4103.
5. Abdul Samee Fawzi, A.D. Sheikh, V.L. Mathe "Structural, dielectric properties and AC conductivity of Ni (1-x) Zn_xFe₂O₄ spinel ferrites", *Journal of Alloys and Compounds*. 502 (2010) 231-237.
6. S.Nasir, G.Asghar, M.A. Malik, M. nis-ur-Rehman, *J Sol-Gel Sci Technol*. 59 (2011) 111-116.
7. C.G. Koops, *Phys. Rev.* 83 (1951) 121.
8. M.A. Elkestawy "AC conductivity and dielectric properties of Zn_{1-x}Cu_xCr_{0.8}Fe_{1.2}O₄ spinel ferrites", *Journal of Alloys and Compounds*. 492 (2010) 616-620.
9. S.S. Ata-Allah, M.Yehia "Transport properties and conduction mechanisms in CuFe₂O₄ and Cu_{1-x}Zn_xGa_{0.3}Fe_{1.7}O₄ compounds", *Physica. B* 404 (2009) 2382-2388.
10. S. Nasir, G. Asghar, M.A. Malik, M. Anis-ur-Rehman "Structural, dielectric and electrical properties of zinc doped nickel nanoferrites prepared by simplified sol-gel method", *Springer Science+Business Media*. LLC 2011.

فعال‌ترند، از این رو فرکانس جهش الکترون بین Fe³⁺ و Fe²⁺ کم است. با افزایش فرکانس، دانه‌های رسانا با افزایش جهش الکترون فعال‌تر می‌شوند و رسانندگی ماده با افزایش فرکانس بیشتر تغییر می‌کند [۱۰، ۹ و ۵].



شکل ۷. تغییرات رسانندگی با فرکانس (C) فریت روی خالص و (A) فریت روی آلاینده با میزان ۱۰ درصد وزنی

۴- نتیجه‌گیری

در این مقاله نانو فریت روی با میزان ۱۰، ۰ و ۱۰۰ درصد وزنی نقره سنتز شد محصول نهایی در ۰ و ۱۰ درصد آلاینده به ترتیب نانو فریت روی خالص و نانو فریت روی آلاینده به نقره است اما در آلاینده سوم پودری حاصل می‌شود که شامل دو فاز نقره و اکسید آهن است و هیچ پیکی در طیف پراش اشعه X شکل‌گیری ساختار فریت نقره را تایید نکرد. در نمونه ۱۰ درصد وزنی نقره نیز جانشینی کاتیون‌های Ag⁺ را در ساختار نانو فریت روی مورد بررسی قرار دادیم. از آن جا که طیف پراش اشعه X پیک‌های نقره و فریت روی را جدا از هم نشان داد و هیچ پیکی مربوط به تشکیل فاز فریت روی-نقره در الگوی پراش مشاهده نشد، لذا کاتیون‌های نقره برخلاف دیگر کاتیون‌های فلزی قادر به جانشینی در ساختار فریت روی نیستند. بنابراین عدم حضور نقره را در ساختار فریت با این دو آلاینده به درستی نشان دادیم. بعلاوه درستی این نتیجه‌گیری را در نمونه ۱۰ درصد وزنی نقره که هم فاز فریت روی و هم نقره را در بر دارد با