



Mani_azadmand@yahoo.com

مهندس مانی آزادمند مولف
اصلی این مقاله، دانشجوی
کارشناسی ارشد دانشگاه
آزاد اسلامی واحد علوم و
تحقیقات تهران می‌باشد.

بررسی تاثیر شرایط زینترینگ بر خواص برقگیرهای نانو کامپوزیتی بر پایه ZnO

مانی آزادمند^۱، علی نعمتی^۱، کاووه ارزانی^۱، نسترن ریاحی نوری^۲، تورج عبادزاده^۳

^۱ دانشکده مهندسی مواد، دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم و تحقیقات

^۲ گروه پژوهشی مواد غیر فلزی، پژوهشگاه نیرو

^۳ پژوهشگاه مواد و انرژی

چکیده: در تحقیق حاضر به بررسی تاثیر شرایط زینترینگ بر ریزاسختار و خواص الکتریکی برقگیرهای نانو کامپوزیتی بر پایه ZnO پرداخته شده است. به این منظور با انتخاب یک فرمول ثابت بر اساس فرمول شیمیایی برقگیرهای تجاری، نمونه‌های برقگیر نانو کامپوزیتی بر پایه ZnO تهیه شد. جهت بررسی تاثیر مکانیزم حرارت دهنده در زینترینگ نمونه‌ها از کوره‌های میکروویو و مقاومتی استفاده شد. نمونه‌های برقگیر در کوره‌ی میکروویو در دماهای بیشینه مختلف زینتر شدند. همچنین تاثیر نگهداری در دماهای بیشینه بر خواص نهایی برقگیر مورد بررسی قرار گرفت. تاثیر اتمسفر کوره در زینترینگ نمونه‌ها با استفاده از دمیدن نیتروژن به داخل کوره و همچنین استفاده از بستر کرین برای نمونه‌ها بررسی شد. همچنین جهت بررسی تاثیر مکانیزم حرارت دهنده در زینترینگ و خواص نهایی نمونه‌های برقگیر، غیر از نمونه‌های زینتر شده در کوره‌ی میکروویو، یک سری از نمونه‌ها در کوره‌ی مقاومتی زینتر شدند. به منظور بررسی ریزاسختار نمونه‌ها از تصاویر میکروسکوپ الکترونی SEM، و جهت بررسی توزیع عناصر در تصویر با استفاده از آشکارساز EDX تصویر Scan Map تهیه شد. شناسایی فازها در نمونه‌ها با استفاده از پراش اشعه X توسط دستگاه XRD انجام شد. دانسیته نمونه‌ها به روش ارشمیدسی اندازه گیری شد. همچنین خواص الکتریکی برقگیر توسط دستگاه تست V-I صورت گرفت. نمونه‌ی زینتر شده در کوره‌ی میکروویو در دماهای ۱۱۰°C در اتمسفر هوا و نگهداری شده به مدت نیم ساعت در دماهای بیشینه به عنوان نمونه ی بهینه انتخاب شد. این نمونه دارای ریزاسختار همگن، دانسیته بالا برابر با ۹۷٪ دانسیته تئوری، ضریب غیر خطی $\alpha = 41$ و $V_T = 1730$ V/cm بود.

کلمات کلیدی: برقگیر، اکسید روی، نانو کامپوزیت، میکروویو

۱- مقدمه

برقگیرهای بر پایه ZnO سرامیک‌های پلی کریستال با مقاومت متغیر هستند که در جهت محافظت قطعات الکترونیکی و همچنین تجهیزات الکتریکی به کار رفته در خطوط انتقال و توزیع نیرو از ولتاژهای اضافی زودگذر، با منحرف کردن مسیر اضافه ولتاژ به کار می‌روند. در واقع برقگیرها ولتاژ اضافی در مدار را تشخیص داده و با تغییر مسیر آن به سمت زمین، از آسیب رسیدن به قطعه‌ی اصلی جلوگیری می‌کنند. جهت محافظت قطعات الکترونیکی در مقابل اضافه ولتاژ، از قرص‌های کوچک برقگیر در مدار این قطعات استفاده می‌شود. این برقگیرها بسته به کاربردشان معمولاً با قابلیت تحمل ولتاژ بین چند ولت تا چند هزار ولت طراحی شده‌اند. در ولتاژ عادی که برقگیرها در معرض ولتاژی پایین‌تر از ولتاژ آستانه (ولتاژ‌سوئیچینگ) یا ولتاژ شکست هم گفته می‌شود) قرار دارند، تنها یک جریان نشتی از آن‌ها عبور می‌کند و برقگیر عایق جریان الکتریسیته می‌باشد. اما در هنگام بروز ولتاژ ناپایدار یا جرقه، برقگیر در زمان کوتاهی در حد نانو ثانیه تغییر ماهیت داده و به میزان زیادی رسانا می‌گردد و جریان را از میان خود به طرف زمین هدایت می‌نماید. زمانیکه ولتاژ به حالت نرمال بازمی‌گردد، برقگیر به حالت مقاومت بالای خود برگشت می‌کند. برقگیرهای استاندارد باید بتوانند بدون آسیب‌دیدگی، به دفعات این عمل را تکرار کنند. این قطعات برای محافظت از قطعات موجود در مدار به صورت موازی در مدار قرار داده می‌شوند و بنابراین ولتاژ ناخواسته باعث عبور جریان از این اتصال کوتاه می‌گردد و قطعه‌ی اصلی در مدار

محافظت می‌گردد. در ولتاژ عادی برقگیرها در معرض ولتاژی پایین‌تر از ولتاژ آستانه (ولتاژ سوئیچینگ) یا ولتاژ شکست هم گفته می‌شود) قرار دارند، تنها یک جریان نشتی از آن‌ها عبور می‌کند و برقگیر عایق جریان الکتریسیته می‌باشد. اما در هنگام بروز ولتاژ ناپایدار یا جرقه، برقگیر در زمان کوتاهی در حد نانو ثانیه تعییر ماهیت داده و به میزان زیادی رسانا می‌گردد و جریان را از میان خود به طرف زمین هدایت می‌نماید. زمانیکه ولتاژ به حالت نرمال بازمی‌گردد، برقگیر به حالت مقاومت بالای خود برگشت می‌کند. برقگیرهای استاندارد باید بتوانند بدون آسیب‌دیدگی، به دفعات این عمل را تکرار کنند. این قطعات برای محافظت از قطعات موجود در مدار به صورت موازی در مدار قرار داده می‌شوند و بنابراین ولتاژ ناخواسته باعث عبور جریان از این اتصال کوتاه می‌گردد و قطعه‌ی اصلی در مدار محافظت می‌گردد. ویژگی اصلی این قطعات خاصیت غیر خطی بالای جریان-ولتاژ (I-V) آن‌ها می‌باشد.

$$I = KV^\alpha \quad (1)$$

که در این رابطه K ثابت و α ضریب غیر خطی می‌باشد. کنترل دقیق پروسه‌ی ساخت و ترکیب، اجازه‌ی استفاده‌ی برقگیرهای ZnO را هم در شبکه‌های الکتریکی ولتاژ پایین و هم ولتاژ بالا می‌دهد. سه خاصیت مهم برقگیری که نشان دهنده‌ی قابلیت کاری آن‌ها می‌باشد در زیر آورده شده است. طبق رابطه‌ی زیر ولتاژ آستانه با تعییر ضخامت برقگیر و تعییر اندازه‌ی دانه‌های ZnO تعییر می‌کند.

$$V_T = 3d/D \quad (2)$$

هدف از این تحقیق، بررسی تاثیر فرآیند ساخت و ریزساختار بر روی خواص الکتریکی برقگیرهای نانوکامپوزیتی بر پایه ZnO می‌باشد. واژه‌ی نانوکامپوزیت مطابق تعریف صورت گرفته، به کامپوزیت‌هایی گفته می‌شود که حداقل یکی از حوزه‌های فازی آن، در ابعاد نانومتری باشد. در این تعریف، منظور از کامپوزیت، مواد چند جزئی غیر گازی شامل حوزه‌های فازی چندگانه‌ی متفاوت می‌باشد که حداقل یکی از فازها به صورت فاز یکپارچه و ادامه‌دار باشد [۴]. در این تحقیق سعی شده تا با استفاده از مواد نانوسایز، کوره‌ی میکروویو و کاهش زمان پخت، برقگیرهایی با ساختار نهایی ریزدانه و هموژنیتی بالا تولید گردد. کاهش زمان پخت همچنین باعث کاهش تبخیر Bi_2O_3 و درنتیجه کنترل بهتر ترکیب می‌گردد.

۲- روش انجام آزمایش

به منظور جلوگیری از تاثیر ناخالصی در خواص نهایی برقگیر مواد اولیه‌ی مورد استفاده در این تحقیق از مواد خالص گردید آزمایشگاهی انتخاب شد. مشخصات این مواد در جدول (۱) آورده شده است.

جدول ۱- مشخصات مواد اولیه‌ی مورد استفاده در این تحقیق

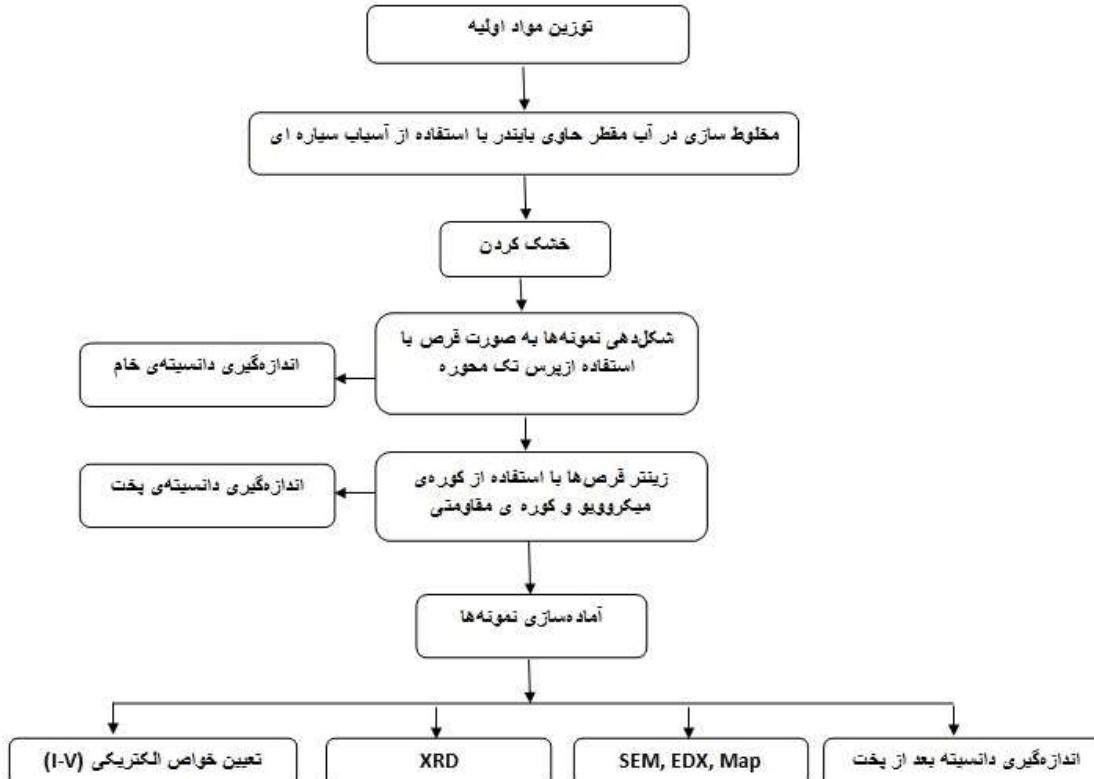
نوع ماده	خلوص %	اندازه دانه (nm)	شکل دانه	شرکت سازنده	دانسیته (gr/cm ³)
ZnO	۹۹/۵	۲۰	شبه کروی	Nano Amor	۵/۶
Bi_2O_3	۹۹/۸	۹۰-۲۱۰	شبه کروی	Nano Amor	۸/۹
Sb_2O_3	۹۹/۹	۹۰-۲۱۰	-	Nano Amor	۵/۲
CoO	۹۹/۵	۵۰	شبه کروی	Nano Amor	۶/۴۵
Polyvinyl Alcohol	-	-	-	Sigma	۱/۲

بر اساس نتایج گزارش شده در مقالات و تحقیقات سایر محققان، فرمول کلی برقگیرهای اکسید روی دارای حداقل ۹۰٪ وزنی اکسید روی و یک سری از اکسیدهای عامل از قبیل Cr_2O_3 , MnO_2 , Co_2O_3 , Sb_2O_3 , Bi_2O_3 و Al_2O_3 می‌باشد [۵]. در این تحقیق سعی شد تا حدی چهارچوب اصلی ترکیب برقگیرها حفظ گردد. ترکیب شیمیایی انتخاب شده در تحقیق حاضر بر اساس درصدوزنی مواد اولیه در جدول (۲) آورده شده است.

جدول ۲- ترکیب نمونه‌های برقگیر ساخته شده بر حسب درصد وزنی مواد اولیه

PVA	CoO	Sb ₂ O ₃	Bi ₂ O ₃	ZnO	مواد اولیه
۰/۷۵	۰/۵	۱/۵	۳	۹۵	درصد وزنی

پس از انتخاب مواد اولیه و فرمولاسیون، آماده‌سازی و ساخت نمونه‌های برقگیر صورت گرفت. بدین منظور مراحل زیر سپری شد. فلوچارت ساخت نمونه‌های برقگیر در این تحقیق در شکل (۱) آورده شده است.



شکل ۱- فلوچارت فرآیند ساخت نمونه‌های برقگیر

پس از شکل دهی نمونه‌ها توسط پرس هیدرولیک، جهت بررسی میزان اثر بخشی پرس بر فشرده‌سازی نمونه‌ها دانسیته خام قرص‌های بدست آمده بر اساس نسبت وزن به حجم تعیین گردید. به این منظور وزن نمونه‌ها با استفاده از ترازوی دیجیتالی و حجم آن با استفاده از اندازه‌گیری ابعاد قرص با کولیس تعیین شد. دانسیته نسبی این قرص‌ها با تقسیم دانسیته خام بر دانسیته تئوری محاسبه شد که دانسیته نسبی به میزان ۵۰٪ برای نمونه‌ها بدست آمد. در مورد تاثیر زینترینگ بر خواص نهایی برقگیرهای برقگیری بر پایه‌ی ZnO در مراجع [۶-۸] بحث شده است. بهمنظور زینترینگ نمونه‌های ساخته شده از دو روش مختلف استفاده شد. جهت زینترینگ نمونه‌ها با استفاده از امواج میکروویو، از یک کوره میکروویو دست ساز با توان ۹۰۰ W و فرکانس ۲/۴۵ GHz و با قابلیت حرارت دهنده تا دمای ۱۶۰۰ °C استفاده شد. از دیگر قابلیت‌های این کوره امکان کنترل اتمسفر کوره بود که در این تحقیق مورد استفاده قرار گرفت. از ویژگی‌های استفاده از کوره میکروویو امکان افزایش نرخ حرارت دهنی نمونه‌ها می‌باشد. بر اساس تحقیقات پیشین [۹-۱۰] و بعد از چند پخت آزمایشی، منحنی مناسب جهت حرارت دهنی قرص‌ها بدست آمد. بهدلیل عدم امکان کنترل دقیق دما در کوره میکروویو مورد استفاده، تا حد امکان سعی شد تا منحنی حرارت دهنی ساده‌تر و یکنواخت‌تر انتخاب گردد. بعد از انجام چند مرحله آزمون و خطا در نهایت نرخ حرارت دهنی با سرعت ۲۰ °C/min انتخاب شد. بر اساس نتایج تحقیقات پیشین، سه دمای ۱۰۰۰، ۱۱۰۰، و ۱۲۰۰ درجه سانتیگراد برای زینترینگ نمونه‌ها انتخاب شد. در مرحله‌ی بعد، با توجه به نتایج بدست آمده و انتخاب دمای زینترینگ بهینه به بررسی تاثیر زمان نگه‌داری در دمای بیشینه پرداخته شد. به این منظور نمونه‌ها در دمای زینترینگ بهینه به مدت ۳۰ دقیقه نگه داری شدند. همچنین بهمنظور بررسی تاثیر اتمسفر کوره در زینترینگ نمونه‌ها، دو روش مورد استفاده گرفت. در روش اول به منظور ایجاد اتمسفر احیایی

نمونه‌ها توسط پودر کربن پوشانده شدند. در روش دوم گاز نیتروژن به داخل کوره دمیده شد. جهت مقایسه‌ی تاثیر روش پخت در خواص نهایی قرص‌های برق‌گیر، نمونه‌ها از کوره‌ی مقاومتی با قابلیت حرارت‌دهی تا دمای 1500°C استفاده شد. نمونه‌ها پس از قرار دادن بر روی یک بستر آلومنینایی، داخل کوره قرار داده و در دمای بیشینه‌ی 1100°C زینتر شدند. جهت دستیابی به دانسیته‌ی بالا و جلوگیری از ترک خوردن نمونه‌ها در اثر شوک حرارتی و بر اساس تحقیقات پیشین [۶]، نرخ حرارت‌دهی در کوره‌ی مقاومتی بسیار کنترل شد و با سرعت $5^{\circ}\text{C}/\text{min}$ و ۱ ساعت نگهداری در دمای بیشینه انجام شد. نام گذاری نمونه‌ها مطابق جدول ۳ انجام شد.

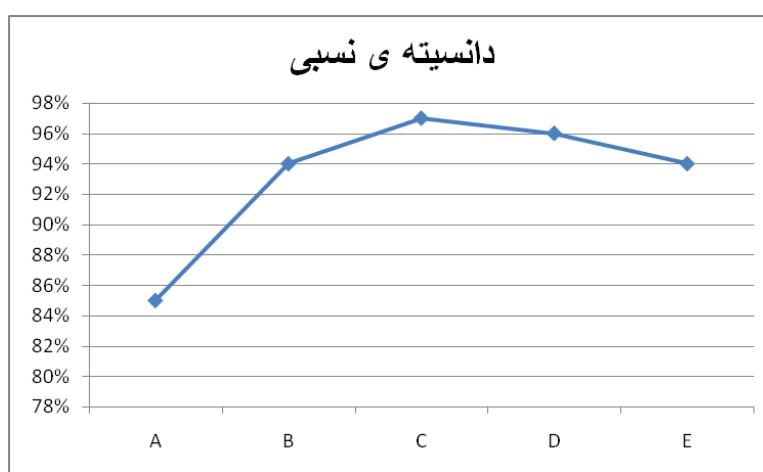
جدول ۳- نام گذاری نمونه‌ها بر اساس شرایط زینترینگ

کد نمونه	A	B	C	D	E	F	G	پخت	شرایط
میکروویو	میکروویو	میکروویو	میکروویو	کوره میکروویو	مقاومتی، یک ساعت نگه داری	میکروویو، اتمسفر	بستر کربن	میکروویو و نیم ساعت نگه داری	1100°C
میکروویو	میکروویو	میکروویو	میکروویو	کوره میکروویو	مقاومتی، یک ساعت نگه داری	میکروویو	1100°C	1100°C	1100°C
میکروویو	میکروویو	میکروویو	میکروویو	میکروویو	میکروویو	میکروویو	1100°C	1100°C	1100°C

جهت بررسی میزان اثر بخشی زینترینگ بر فشرده‌سازی نمونه‌ها، دانسیته‌ی بعد از پخت نمونه‌ها به روش ارشمیدس اندازه‌گیری شد. جهت بررسی ریزساختاری نمونه‌ها، آنالیز SEM توسط میکروسکوپ الکترونی XMU TESCAN مدل VEGII استفاده شد. به منظور بررسی آنالیز عنصری از آشکارساز EDX استفاده شد. همچنین بررسی توزیع عناصر در ترکیب از تصاویر Map scan استفاده شد. بررسی فازی نمونه‌ها با استفاده از پراش اشعه X گرفته شده توسط دستگاه STADI-MP مدل XRD ساخت شرکت STOE کشور آلمان صورت گرفت. در نهایت جهت اندازه‌گیری خواص الکتریکی نمونه‌های برق‌گیر، از دستگاه تست ۷-I استفاده شد. به منظور هدایت جریان الکتریکی از درون قرص و جلوگیری از نشت جریان از حاشیه‌ی آن، سطح نمونه‌ها توسط اسپری گرافیت ساخت شرکت KONTAKT CHEMIE کشور بلژیک پوشش داده شد. جهت جلوگیری از آغشته شدن کناره‌های قرص به کربن هادی با استفاده از شابلون ماسک شده و کربن هادی بر روی سطح قطعه اسپری گردید. به این صورت درصد بیشتری از جریان از درون قطعه عبور می‌کند. استفاده از شابلون همچنین به یکسان‌سازی سطح مفید عبور جریان کمک کرده و باعث افزایش دقت در اندازه‌گیری α و β می‌گردد.

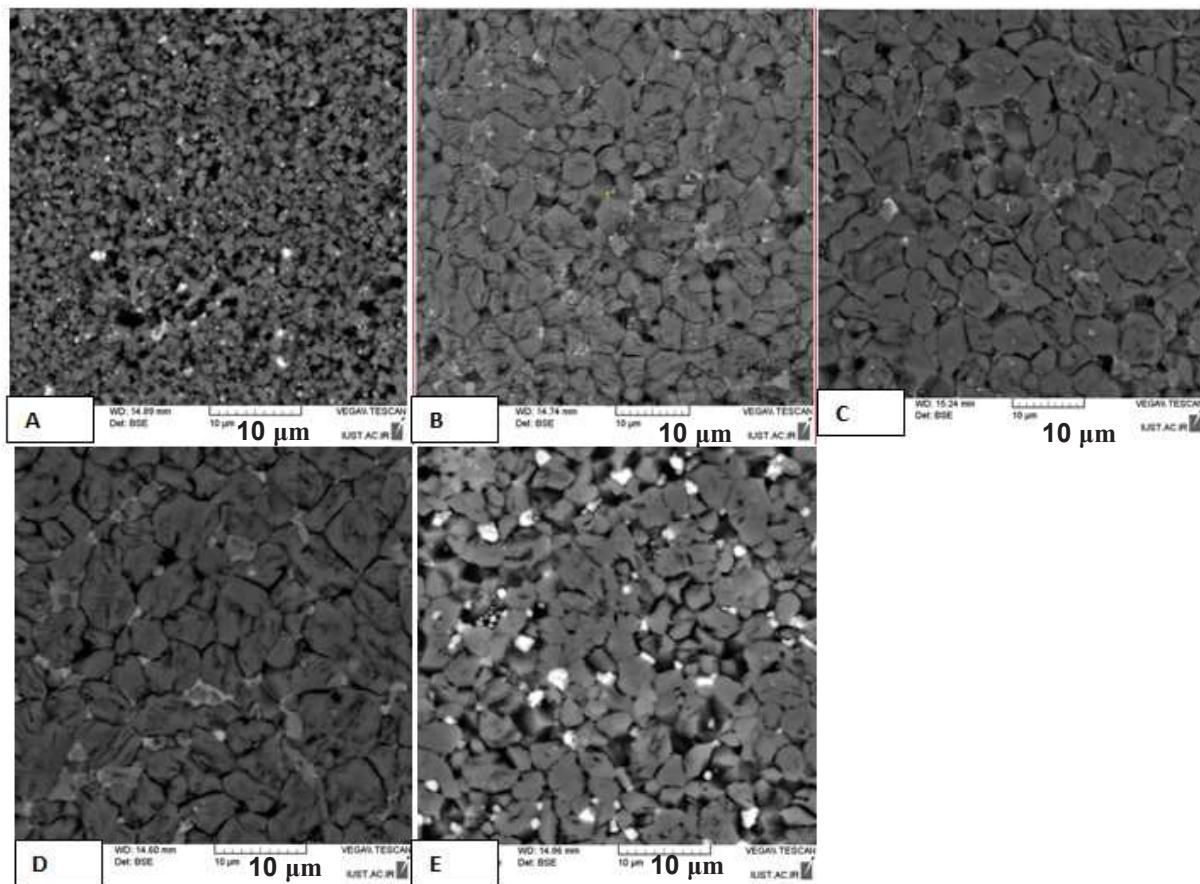
۳- بحث و بررسی نتایج

به دلیل عدم زینترینگ مناسب نمونه‌ها در اتمسفر نیتروژن و همچنین در بستر کربن، امکان تهیه‌ی تصویر و همچنین انجام سایر تست‌ها از این نمونه‌ها نبوده و لذا نمونه‌های F و G مورد بررسی قرار نگرفتند. در نتیجه استفاده از اتمسفر احیایی و یا خنثی در زینتر نمونه‌ها اثر مطلوبی نداشته و تنها نمونه‌های زینتر شده در اتمسفر هوا مورد بررسی قرار گرفتند. دانسیته نسبی نمونه‌ها بر اساس روش ارشمیدس محاسبه شد که نتایج آن در شکل ۲ آورده شده است.



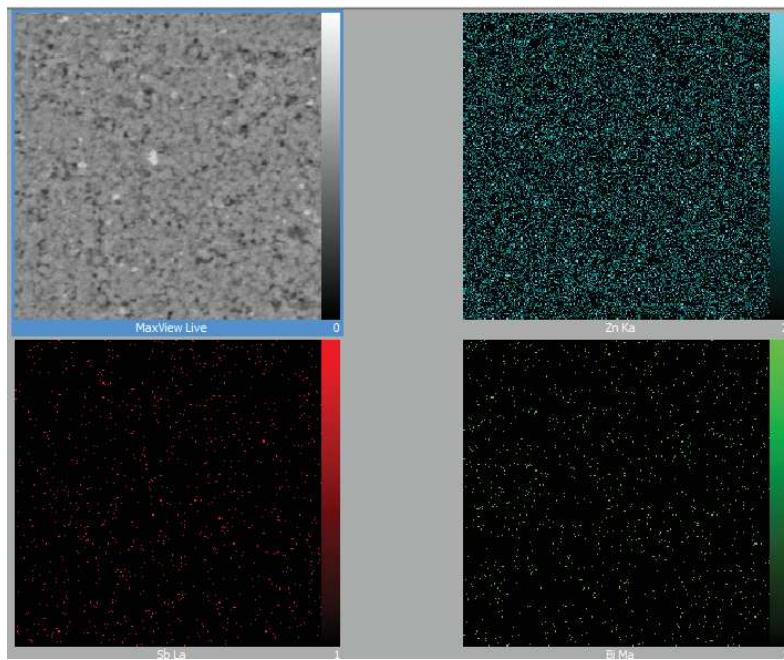
شکل ۲- دانسیته نسبی نمونه‌های برق‌گیر

شکل ۳ نشان دهنده ریز ساختار نمونه‌های برقگیر تهیه شده در این پژوهش می‌باشد.



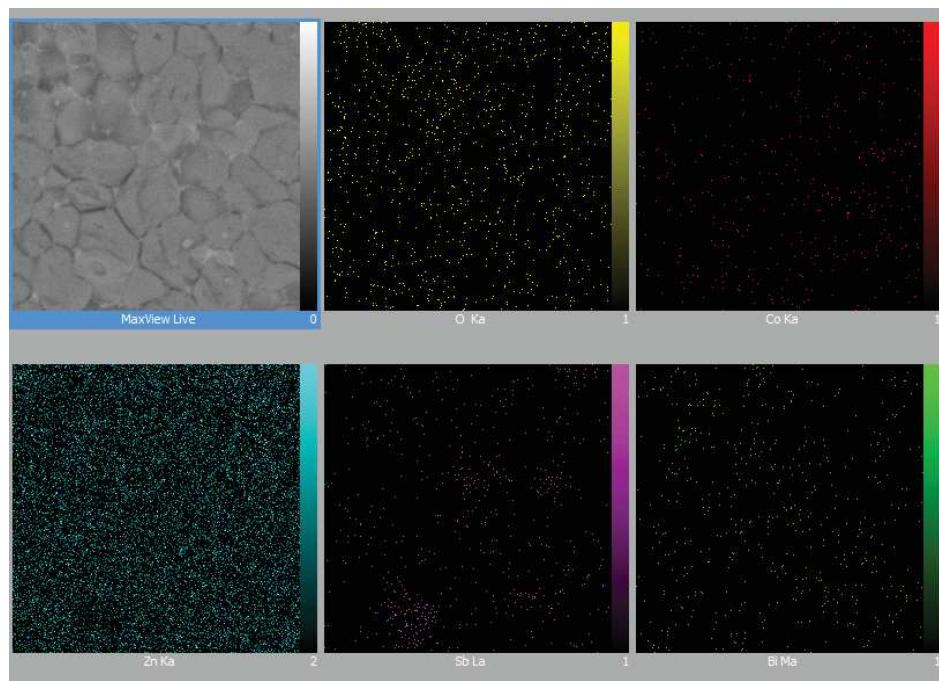
شکل ۳ - ریز ساختار نمونه‌های A , B , C , D , E بدست آمده از الکترون های برگشتی

همانطور که از شکل ۳ مشخص است، ریزساختار نمونه A زینتر شده در کوره میکروویو در دمای ۱۰۰۰ درجه سانتیگراد دارای دانه‌های ZnO با میانگین قطر حدود $1\text{ }\mu\text{m}$ و فاز غنی از بیسموت نانومتری (نقطه‌های سفید رنگ) می‌باشد. از شکل کروی ذرات بیسموت و نحوه پراکنده شدن آن‌ها می‌توان نتیجه گرفت که دمای 1000°C جهت نفوذ فاز مذاب غنی از بیسموت بین دانه‌های ZnO کافی نبوده است. همچنین وجود تخلخل در سرتاسر تصویر مشهود است. همان‌طور که از تصاویر مشخص است، در نمونه‌ی B با افزایش دمای زینترینگ از دمای 1000°C به دمای 1100°C ، دانه‌های ZnO رشد کرده و به قطر $3\text{-}6\text{ }\mu\text{m}$ و میانگین قطر $4\text{ }\mu\text{m}$ رسیده اند. همچنین فاز مذاب غنی از بیسموت بین دانه‌ها نفوذ کرده و میزان تخلخل‌ها کاهش چشمگیری یافته است. در نمونه‌ی C با نگه داری نمونه‌ها در دمای 1100°C به مدت نیم ساعت رشد دانه‌ی چشمگیری رخ نداده است. اما در نمونه‌ی D با افزایش دما به 1200°C رشد دانه افزایش یافته است. اندازه دانه‌ها در این نمونه بین $3\text{-}7\text{ }\mu\text{m}$ و میانگین $6\text{ }\mu\text{m}$ می‌باشد. در مورد نمونه‌ی E که نمونه زینتر شده در کوره مقاومتی می‌باشد، همانطور که مشخص است با وجود زمان طولانی‌تر زینتر در این نمونه نسبت به نمونه مشابه زینتر شده در کوره میکروویو، عمل زینترینگ به خوبی رخ نداده و تخلخل‌های زیادی در تصویر مشخص است. اندازه دانه‌های ZnO در این نمونه $2\text{-}5\text{ }\mu\text{m}$ و میانگین $3/5\text{ }\mu\text{m}$ می‌باشد که برخلاف انتظار نسبت به نمونه‌های زینتر شده در کوره میکروویو کمتر می‌باشد. همچنین می‌توان دریافت که برخلاف نمونه‌ی C که فاز مذاب غنی از بیسموت بین دانه‌های ZnO کشیده شده بود، در نمونه‌ی E فاز غنی از بیسموت به صورت کروی باقی مانده است که نشان دهنده عدم تکامل ریزساختار این نمونه می‌باشد. به منظور مشخص شدن توزیع فازها، آنالیز Map از این نمونه گرفته شد که در شکل ۴ آورده شده است.



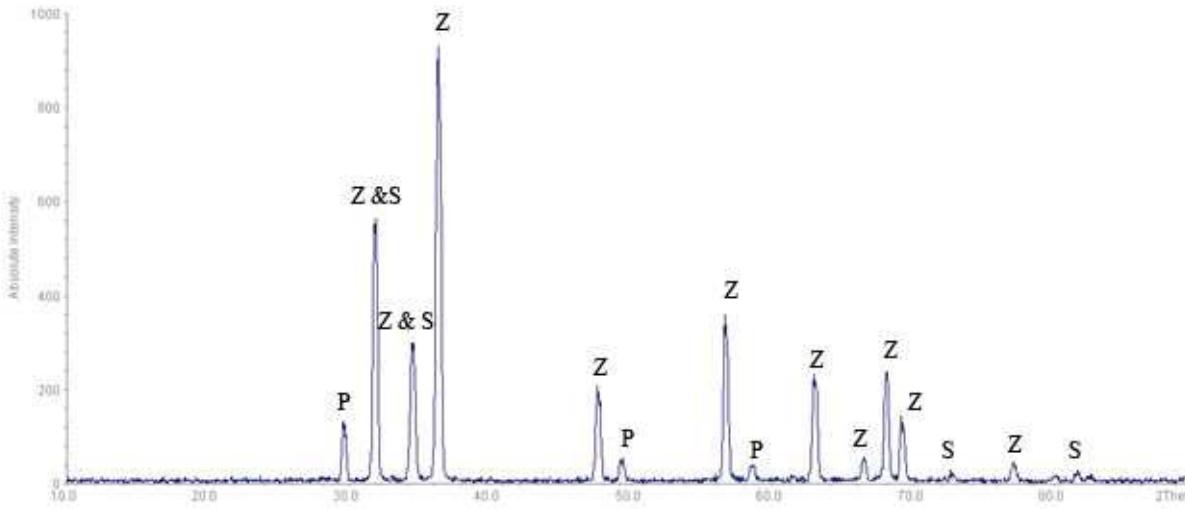
شکل ۴- آنالیز Map Scan از نمونه A

همانطور که از شکل ۴ مشخص است، توزیع اتم‌های بیسموت و آنتیموان در نمونه به صورت یکنواخت بوده و تقریباً منطقه‌ی تجمعی و متراکم برای آن‌ها وجود ندارد که این مسئله نشان‌دهنده عدم تکامل ریزاساختار مناسب به عنوان یک برقگیر می‌باشد. همچنین آنالیز Map در شکل ۵ نشان‌دهنده توزیع اتم‌های آنتیموان و بیسموت در نمونه C می‌باشد.



شکل ۵- تصویر Map Scan از نمونه C

همانطور که در شکل ۵ مشخص است، توزیع اتم‌های آنتیموان در مناطقی که در تصویر با رنگ خاکستری روشن مشخص شده است، بسیار متراکم‌تر می‌باشد. با توجه به اینکه در مناطق ذکر شده، تراکم اتم‌های بیسموت کم است، می‌توان نتیجه گرفت که احتمالاً مناطق با رنگ خاکستری روشن مربوط به دانه‌های اسپینل بوده و به دلیل فقر بیسموت در این مناطق، احتمالاً فاز پایروکلر به میزان زیادی به فاز اسپینل تبدیل شده است.

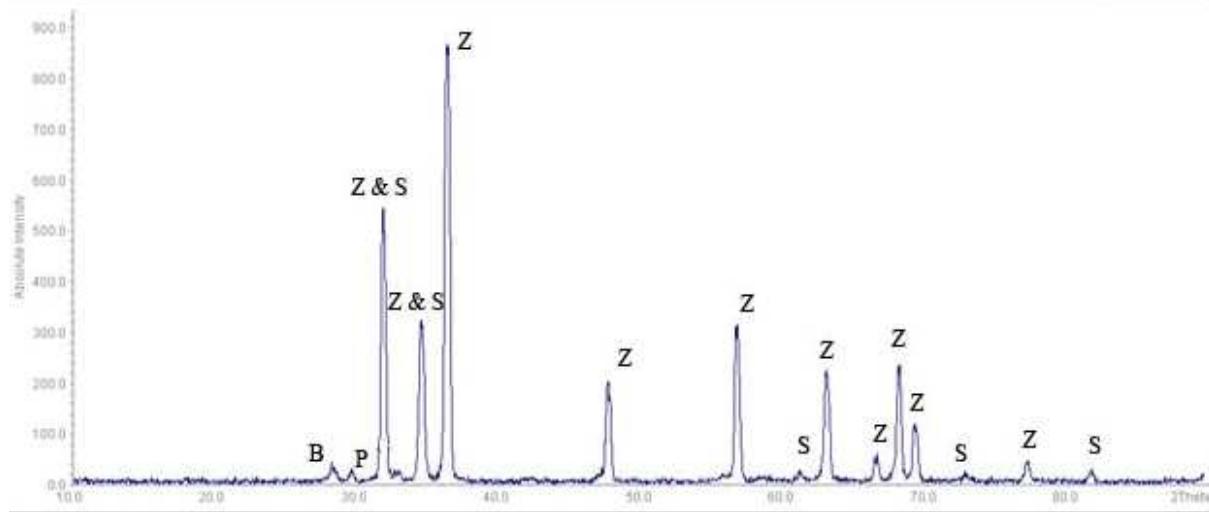


شکل ۶- آنالیز XRD مربوط به نمونه ANM1000 (P:Pyrochlore, Z:ZnO, S:Spinel)

در آنالیز XRD از نمونه A، فازهای اکسید روی، پایروکلر، $(\text{Zn}_2\text{Sb}_3\text{Bi}_3\text{O}_{14})$ و اسپینل $(\text{Zn}_7\text{Sb}_2\text{O}_{12})$ شناسایی شد. با توجه به تحقیقات پیشین [۱۱] رابطه‌ی ۳ بین دمای $950-1050^{\circ}\text{C}$ فاز پایروکلر به اسپینل و فاز غنی از بیسموت تبدیل می‌گردد.



بر اساس نتیجه‌ی XRD گرفته شده از نمونه A به نظر می‌رسد در دمای 1000°C این تبدیل به خوبی صورت نگرفته است.

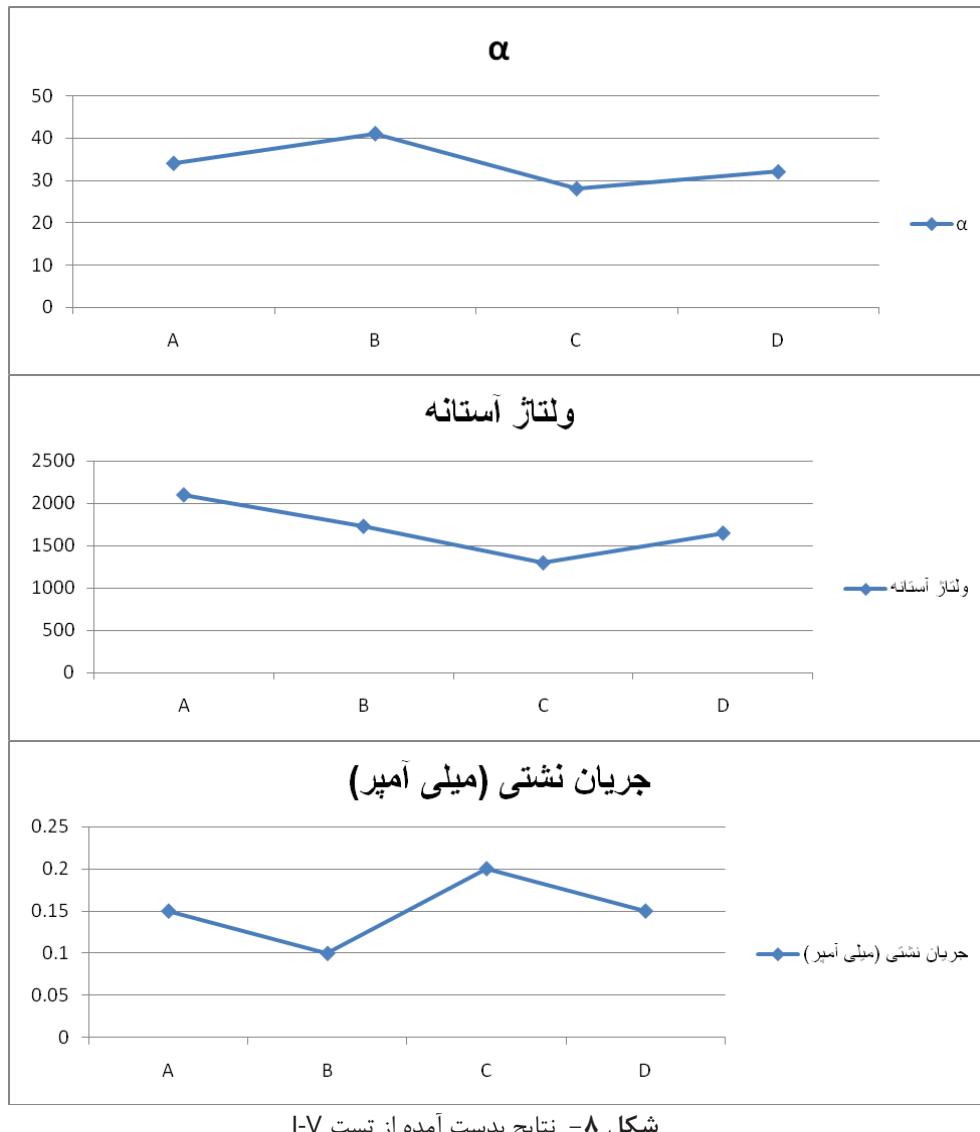


شکل ۷- آنالیز XRD مربوط نمونه C (P:Pyrochlore , Z:ZnO , S:Spinel , B:Bi₂O₃)

آنالیز XRD گرفته شده از نمونه C نیز تبدیل پایروکلر به اسپینل و فاز غنی از بیسموت را تایید می‌کند. با مقایسه‌ی آنالیز XRD نمونه‌ی A با نمونه‌ی C متوجه می‌شویم که با افزایش دمای زینترینگ از 1000°C به 1100°C ، فاز پایروکلر کاهش و اسپینل افزایش یافته است. همچنین پیک فاز اکسید بیسموت با خارج شدن بیسموت از ترکیب پایروکلر تشکیل شده است. همچنین از نمونه‌ها تست ۷-۱ به عمل آمد. شکل ۸ نشان دهنده نتایج استخراج شده از این تست می‌باشد. نمونه‌های زینتر شده در دمای 1000°C به دلیل عدم زینترینگ مناسب، به صورت عایق باقی ماندند و لذا در تست ۷-۱ خواص برقگیری از خود نشان ندادند.

همانطور که از نتایج مشخص است با افزایش زمان نگهداری نمونه‌ها در کوره‌ی میکروویو در دمای 1100°C ضریب غیر خطی افزایش و ولتاژ آستانه و جریان نشتی کاهش یافته است. با افزایش دمای زینترینگ از 1100°C به 1200°C ، α ، α ، α و ولتاژ آستانه کاهش و جریان نشتی افزایش یافته است. همچنین تست ۷-۱ از نمونه‌های زینتر شده در کوره مقاومتی نشان دهنده α و ولتاژ آستانه پایین تر و جریان نشتی بالاتر نسبت به نمونه‌های زینتر شده در همان دما در کوره‌ی میکروویو بود. با افزایش دمای

زینترینگ و زمان نگهداری در دمای زینترینگ رشد دانه‌های ZnO افزایش یافته و طبق رابطه (۲) ولتاژ آستانه با افزایش اندازه دانه کاهش می‌یابد.



شکل ۸ - نتایج بدست آمده از تست I-V

با توجه به نتایج بدست آمده از تست I-V و همچنین بررسی ریز ساختار نمونه‌ها نمونه‌ی زینتر شده در دمای 1100°C و نیم ساعت زمان نگه داری در کوره‌ی میکروویو به دلیل هموژنیتی بالاتر دارای بالاترین α و پایین‌ترین جریان نشتی در بین نمونه‌ها بوده و به عنوان نمونه‌ی بهینه در نظر گرفته شد.

۴- نتیجه‌گیری

نمونه‌های برق‌گیر نانو‌کامپوزیت بر پایه‌ی ZnO در دما و شرایط مختلف زینتر شدند. استفاده از امواج میکروویو جهت زینترینگ نمونه‌های برق‌گیر، ضمن کاهش زمان زینترینگ و مصرف انرژی، عملکرد بهتری در افزایش دانسیتی و افزایش هموژنیتی ریز ساختار نهایی را نشان داد. نمونه‌های زینتر شده در دمای 1100°C و زمان حرارت دهی کمتر نسبت به نمونه‌ی زینتر شده در کوره‌ی مقاومتی در همین دما به دانسیتی بالاتر و هموژنیتی ساختار بهتر و همچنین خواص الکتریکی بهتری دست یافتند. همچنین نمونه‌های زینتر شده در دمای 1100°C خواص بهتری از نمونه‌های زینتر شده در دمای 1000°C و 1200°C از خود نشان دادند. نیم ساعت زمان نگه داری نمونه‌ها در دمای 1100°C باعث افزایش دانسیتی و همچنین بهبود خواص آن شد. بالاترین دانسیتی و هموژنیتی ساختار، بالاترین ضریب غیرخطی α ، بالاترین ولتاژ آستانه در بین نمونه‌ها مربوط

به نمونه‌ی زینتر شده در دمای 1100°C و نیم ساعت نگه داری در دمای بیشینه در کوره‌ی میکروویو بود. استفاده از اتمسفر نیتروژن و همچنین بستر کربن برای زینترینگ نمونه‌ها باعث ممانعت از انجام عمل زینترینگ نمونه‌ها شد.

مراجع

- [1] آزادمند، م، " تاثیر فرایند ساخت و ریزساختار بر خواص الکتریکی برقگیرهای نانو کامپوزیت ZnO/SiC زینتر شده در کوره میکروویو" ، پایان‌نامه‌ی کارشناسی ارشد در رشته مهندسی مواد-سرامیک، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد علوم و تحقیقات، ۱۳۹۲
- [2] شریعتی، م، " بهینه سازی خواص برقگیرهای پایه ZnO از طریق فرآیند ساخت" ، پایان‌نامه‌ی کارشناسی ارشد در رشته مهندسی مواد-سرامیک، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد علوم و تحقیقات، ۱۳۸۴
- [3] Mourad Houabes, Renaud Metz, (2007), "Rare earth oxides effects on both the threshold voltage and energy absorption capability of ZnO varistors", Ceramics International 33, 1191–1197.
- [4] SCENIHR Group, (2010), Scientific basis for the definition of the term "nanomaterial", European Commission. European Union 2010, ISSN 1831- ISBN 978-92-79.
- [5] هوشیار فرد، م و نوابی الوار، ح و نعمتی، ع و فقیهی ثانی، م، "بهبود خواص الکتریکی برقگیرهای اکسید روی در اثر استفاده از پودرهای نانومتری" ، فصلنامه ایران، شماره ۳، پاییز، ۱۳۸۴
- [6] XU Dong, CHENG Xiao-nong, YAN Xue-hua, (2009), "Sintering process as relevant parameter for Bi2O3 vaporization from ZnO-Bi2O3-based varistor ceramics", Trans. Nonferrous metal. Soc.China 19, 1526-1532.
- [7] Marco Peiteado, Jose Fernandez, Amador Caballero, (2007), "Varistors based in the ZnO–Bi2O3 system: Microstructure control and properties", Journal of the European Ceramic Society 27, 3867–3872.
- [8] Friedrich Raether , Mohammad Lutful Arefin, (2009), " Kinetic field approach to study liquid phase sintering of ZnO based ceramics," Jurnal of ceramics international 36, 1429-1437.
- [9] قانبیگی، ا، "بررسی خواص و ویژگی‌های نانو وریستورهای کامپوزیت ZnO-SiC زینتر شده توسط میکروویو" ، پایان‌نامه‌ی کارشناسی ارشد در رشته مهندسی مواد-سرامیک، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد علوم و تحقیقات، ۱۳۸۹
- [10] Nan Lin, Wan-Chu Lee, Kuo-Shung Liu , Hsiu-Fung Cheng, Mien-Win Wu, (2001), "On the microwave sintering technology for improving the properties of semiconducting electronic ceramics "، Journal of the European Ceramic Society 21 (2001) 2085–2088.
- [11] Mohammad Lutful Arefin, Friedrich rather, David Dolejs, Andreas Kliment, (2009), "Phase formation during liquid phase sintering of ZnO ceramics," Journal of ceramics international 35 3313-3320.