

ساخت برقگیر با استفاده از قرص اکسید روی نانوساختار و نصب در شبکه توزیع

نسترن ریاحی نوری^۱ - رسول صراف ماموری^۲ - علی مهدیخانی^۱

۱- پژوهشگاه نیرو - گروه پژوهشی مواد غیرفلزی

۲- دانشگاه تربیت مدرس - بخش مهندسی مواد- گروه سرامیک

واژه‌های کلیدی: نانو پودر ترکیبی - اکسیدروی - برقگیر - کیسینگ

چکیده

مقاومت الکتریکی قرص های برقگیر و ولتاژ شکست آنها به شدت به ریز ساختار وابسته است و لذا اندازه دانه و هموزن و یکنواخت بودن ریز ساختار از اصلی ترین عوامل تهیه قرص های برقگیر می باشد. یکی از راه ها برای نیل به این نیازها، استفاده از نانوپودر همگن جهت تهیه قرص های برقگیر اکسید روی است زیرا چنین پودری می تواند علاوه بر هموزن و یکنواخت نمودن ریز ساختار، مشخصه های الکتریکی و الکترونیکی قرص های برقگیر را به شدت تقویت نماید. در این تحقیق پس از سنتز نانو پودر ترکیبی اکسید روی و ساخت قرص برقگیر در ابعاد واقعی، آزمون long duration مطابق با استاندارد IEC60099-4 بر روی آن صورت پذیرفت و کیسینگ نهایی برقگیر با ارتفاع کمتر ستون قرص ساخته شد و کیسینگ ساخته شده در یکی از مناطق کوهستانی استان تهران (منطقه وردآورد) نصب گردید.

۱- مقدمه:

وریستورها، ابزار سرامیکی الکترونیکی هستند که تغییر ولتاژ را با استفاده از هدایت قوی ولتاژ شکست (Vc) محدود می کنند. هر وریستور از تعدادی قرص برقگیر تشکیل شده است. روند تهیه، اندازه کریستال ها و یکنواختی بودن افزودنی ها از جمله عوامل مهم برای تولید بهتر قرص های برقگیر محسوب می شود. قرص های برقگیر با ریزساختار غیریکنواخت می توانند دلیل عریض شدن زیاد مشخصه جریان/ولتاژ باشند و این امر سبب از بین رفتن خواص وریستوری در طول کارکرد آن می شود [۱-۲].

وریستورهای سرامیکی اکسید روی خواص ولتاژ - جریان غیرخطی وسیعی را نشان می دهند و به عنوان محافظی در برابر عبور ولتاژ حین عبور از وسایل الکترونیکی محسوب می شوند. این وریستورها بوسیله سینترینگ میکروکریستال های اکسید روی به همراه برخی افزودنی ها مثل Bi_2O_3 , Co_2O_3 , MnO_2 , Sb_2O_3 ,... به دست می آیند [۳]. در ساخت قرص

بیست و چهارمین کنفرانس بین‌المللی برق

ریزساختار اکسید روی برای دستیابی به میزان لازم ولتاژ شکست و ضریب غیرخطی ضروری است [۴].
Rahaman و همکارانش [۵] دریافتند که افزودن Al به میزان ۱۲۵ ppm سبب محدود شدن رشد دانه می شود. این محققان استفاده از تکنیک های HP (پرس داغ) را به طور موفقیت آمیزی در کاهش اندازه دانه و اندازه تخلخل ها موثر می دانند [۵].

در تحقیق دیگری که توسط Suresh و همکارانش [۶] صورت پذیرفت، برای تولید قرص وریستور تجاری نانو پودر اکسید روی از تکنیک اختلاط حالت جامد استفاده گردید.
نکته حائز اهمیت این است که تاکنون هیچکدام از محققان گزارشی در مورد ساخت قرص برقی با ابعاد واقعی آن ارائه ننموده اند و تاکنون انجام آزمون های استاندارد بر روی قرص های برقی ساخته شده با استفاده از نانو پودرها، صورت پذیرفته است و همچنین گزارشی از ساخت کیسینگ با استفاده از قرص های ساخته شده با نانو پودرها ارائه نشده است.

در این تحقیق برای اولین بار قرص برقی با استفاده از نانوتکنولوژی در ابعاد واقعی قرص برقی جهت قرارگیری در کیسینگ ساخته شده است و آزمون long duration که یکی از آزمون های حائز اهمیت در قرص برقی محسوب می گردد مطابق با استاندارد IEC60099-4 بر روی آنها صورت پذیرفته است و کیسینگ ساخته شده در یک محل کوهستانی در تهران نصب گردیده است.

۲- روش آزمایش:

جهت سنتز نانو پودر ترکیبی اکسید روی روش سل - ژل احتراقی از نیترات های روی، بیسموت، کروم، کبالت، نیکل، منگنز، اسید سیتریک و ... تجاری استفاده گردید. فرآیند کار سنتز نانو پودر ترکیبی اکسید روی در شکل (۱) نشان داده شده است.

برقی اکسید روی همواره از افزودنی ها استفاده می شود. برخی از این افزودنی ها نقش بهبود خواص الکتریکی را در سیستم بازی می کنند و برخی دیگر از این افزودنی ها به عنوان عاملی برای جلوگیری از رشد دانه اکسید روی محسوب می شوند.

کیسینگ ها که مجموعه ای از قرص های برقی هستند، وظیفه حفاظت از مدارات و سایر تجهیزات گرانیقیمت را عهده دار هستند [۳]. مراحل ساخت کیسینگ های اکسید روی را می توان به صورت زیر دسته بندی نمود:

- رطوبت گیری: جهت رفع آلودگی ها و رطوبت از قرص های برقی از یک کوره رطوبت گیر در دمای 90°C استفاده می گردد.

- ست کردن قرص: جهت قرار دادن ستون قرص در کیسینگ، قرص ها را بر روی هم قرار می دهند تا ستون مورد نیاز را تامین نمایند.

- تزریق: جهت ایجاد فاصله خزشی مناسب در اطراف قرص برقی یک کیسینگ پلیمری در اطراف قرص ها تزریق می کنند.

- پخت رزین: پس از تزریق رزین، فرآیند پخت صورت می گیرد.

- چسب سیلیکون

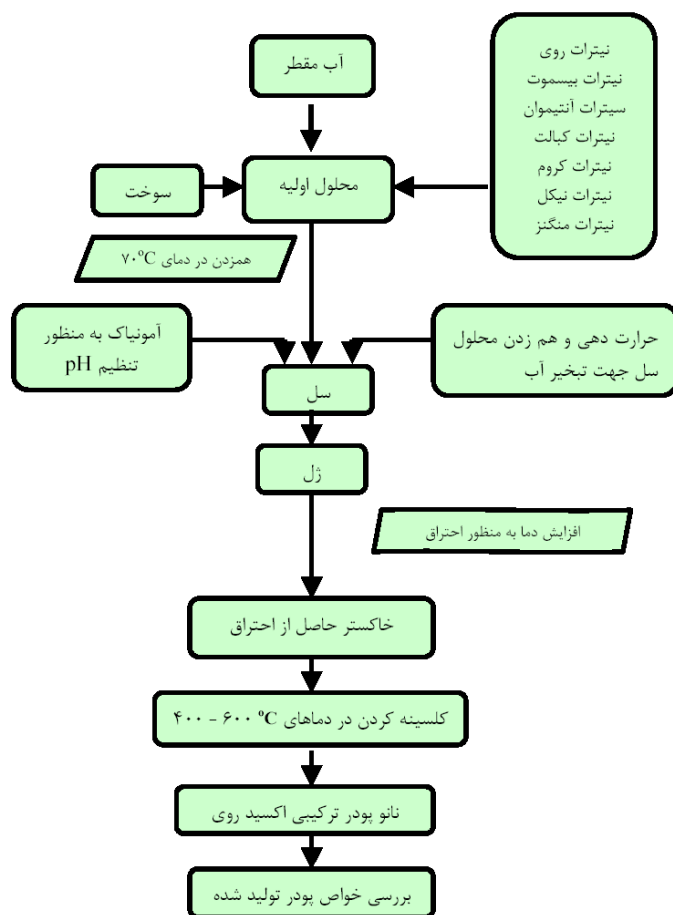
- مفره زدن

- کاپ زدن: نوشتن مشخصات برقی در کنار آن

- تست HV

امروزه با پیشرفت وسیع نانوتکنولوژی، ساخت وریستورهای اکسید روی با ساختار نانو در جهان در حال گسترش و پیشرفت است. از فعالیت های صورت پذیرفته در زمینه ساخت وریستورهای اکسید روی کار، Kang Xue Ya و همکارانش [۴] می باشد. این محققان اعلام نمودند که کنترل

بیست و چهارمین کنفرانس بین‌المللی برق



شکل (۱): دیاگرام فرآیند کار در روش سنتز نانو پودر به روش سل - زل احتراقی

به قرص برقگیری با ابعاد $4 \times 2 \text{ cm}$ تبدیل گردید. لازم به ذکر است که اعداد ارائه شده در مورد فشار پرس، درصد چسب، دما و زمان سینتریگ و دمای آنیلینگ با استفاده از روش طراحی آزمون تاگچی به دست آمده است. در ادامه مطابق با استاندارد IEC60099-4 آزمون long duration بر روی قرص ها صورت پذیرفت که این آزمون کیفیت قرص های برقگیر از لحاظ قابلیت میزان جذب انرژی نشان می دهد. این آزمون در آزمایشگاه فشار قوی شرکت برقگیر پارس صورت پذیرفت. جهت انجام این آزمون ابتدا ولتاژ باقیمانده دو سر قرص را اندازه گیری کرده و در ادامه آزمون مقاومت در برابر ضربه جریانی طولانی مدت بر روی قرص ها اعمال می گردد ضربه های جریانی با شدت ۲۵۰-۱۰۰ آمپر در ۶ گروه سه تایی بر روی قرص اعمال می شود که فاصله زمانی مابین ضربه ها در هر گروه ۵۰-۶۰ ثانیه می باشد و پس از اعمال

جهت سنتز نانو پودر اکسید روی به روش سل - زل احتراقی ابتدا نیترات های مواد اولیه در آب دیونیزه حل گردیدند. از آنجایی که محلول غیرهمگن به احتراق ناقص منجر می گردد و به منظور حل شدن مواد جامد اولیه در محلول، محلول در دمای 70°C بطور یکنواخت توسط یک گرم کن و همزن مغناطیسی به هم زده شد. پس از آن به منظور تنظیم pH، محلول آمونیاک بطور تدریجی به محلول اضافه شد. سپس محلول حاصل حرارت داده شد تا به صورت زل در آمد. با ادامه حرارت دادن، زل به تدریج خشک شده و احتراق از یک نقطه شروع و طی مدت زمان بسیار کم تمام زل را فرا می گیرد. پس از پایان احتراق محصول حاصل از احتراق در دماهای مختلف کلسینه می شود. سپس نانو پودر ترکیبی سنتز شده با فشار 150 MPa ، درصد چسب ۴٪، دمای سینتریگ 800°C و زمان سینتریگ 30 min و دمای آنیلینگ 800°C

بیست و چهارمین کنفرانس بین‌المللی برق

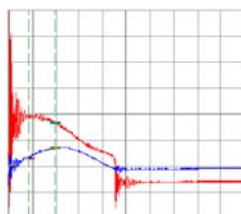


ب

شکل (۳): الف - تصویر ریزساختاری از قرص برقی ساخته شده با نانو پودر ترکیبی و ب- نمونه قرص های ساخته شده جهت استفاده در کیسینگ

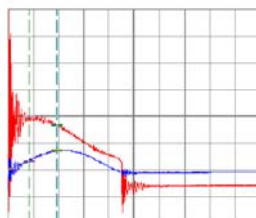
سپس مطابق با استاندارد IEC60099-4 آزمون long duration که یکی از آزمون های حائز اهمیت قرص برقی است، بر روی قرص ها صورت پذیرفت. نتیجه آزمون ولتاژ باقیمانده قبل و بعد از اعمال پالس های long duration در شکل ۴ آورده شده است. همچنین نتایج پالس های long duration بر روی قرص های ساخته شده در جدول (۱) آمده است.

Residual Voltage Test
Sample No.WM3 (NRI Block)



الف

Residual Voltage Test
Sample No.WM3 (NRI Block)



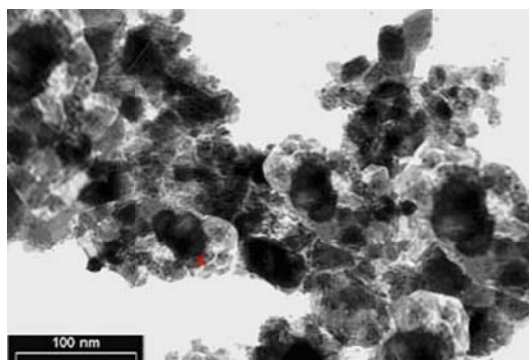
ب

شکل ۴: نتایج آزمون ولتاژ باقیمانده دو سر قرص برقی ساخته شده با نانو پودر ترکیبی اکسید روی الف- پیش از اعمال پالس های long duration ب- بعد از اعمال پالس های long duration

سومین ضربه در هر گروه به قرص فرصت داده می شود تا به دمای محیط باز گردد. در انتها مجدداً ولتاژ باقیمانده دو سر قرص اندازه گیری می گردد میزان ولتاژ باقیمانده تحت ضربه صاعقه ۱۰ کیلوآمپر قبل و بعد از اعمال ۱۸ ضربه جریانی باید اختلافی کمتر از ۰.۵٪ داشته باشد. در نهایت با استفاده از قرص های ساخته شده کیسینگ برقی ساخته شد.

۳- بحث و بررسی:

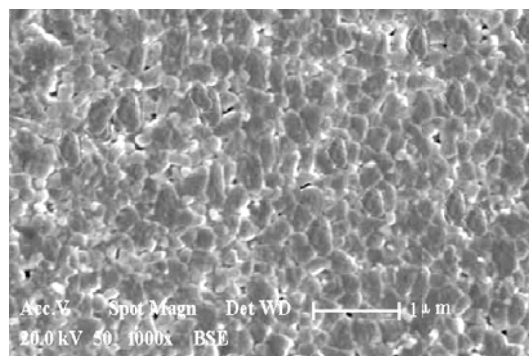
شکل ۲، تصویر میکروسکوپ الکترونی عبوری از نانو پودر ترکیبی اکسید روی را نشان می دهد.



شکل (۲): تصویر میکروسکوپ الکترونی عبوری از نانو پودر اکسید روی به همراه افزودنی ها

همانگونه که از شکل ۲ قابل رویت است، مخلوطی از عناصر مورد نیاز در ساخت وریستور اکسید روی در کنار هم و با اندازه نانو وجود دارد و این امر همان نتیجه مثبتی است که از ساخت همزمانی نانو پودرهای اکسید روی به همراه افزودنی ها انتظار می رفت.

شکل ۳ نیز تصاویری از قرص های برقی ساخته شده با نانو پودر ترکیبی و ریزساختارهای آنها را نشان می دهد.



الف

بیست و چهارمین کنفرانس بین‌المللی برق

جدول (۱): نتایج آزمون long duration بر روی قرص برقی ساخته شده با نانو پودر ترکیبی

| | گروه ۱ | | | گروه ۲ | | | گروه ۳ | | | گروه ۴ | | | گروه ۵ | | | گروه ۶ | | |
|-------|--------|------|------|--------|------|------|--------|------|------|--------|------|------|--------|------|------|--------|------|------|
| I (A) | ۸۰ | ۹۶ | ۸۸ | ۸۸ | ۹۶ | ۸۴ | ۸۴ | ۹۲ | ۹۶ | ۱۰۰ | ۹۶ | ۱۰۰ | ۹۶ | ۱۰۴ | ۹۶ | ۱۰۸ | ۱۰۸ | ۱۲۴ |
| V (v) | ۴۳۴۰ | ۴۴۰۰ | ۴۴۰۰ | ۴۴۰۰ | ۴۴۰۰ | ۴۴۰۰ | ۴۳۳۰ | ۴۴۰۰ | ۴۴۰۰ | ۴۴۰۰ | ۴۴۰۰ | ۴۴۰۰ | ۴۴۰۰ | ۴۴۸۰ | ۴۴۰۰ | ۴۴۰۰ | ۴۴۰۰ | ۴۸۸۰ |



ب

شکل ۵: الف- تصویر ستون قرص ساخته شده با نانو پودر ترکیبی در مقایسه با ستون قرص معمولی ب- قرارگیری فاصله‌های آلومینیومی بر روی ستون قرص جهت ساخت کیسینگ

همانگونه که از شکل ۴ مشخص است، با مقایسه دو منحنی می‌توان به این نتیجه رسید که اختلاف ولتاژ کمتر از ۵٪ بوده است پس نمونه‌ها از لحاظ استاندارد قابل قبول می‌باشند. در ادامه جهت قرار دادن قرص‌های برقی درون کیسینگ، ابتدا ستون‌های قرص ساخته شدند. با توجه به اینکه قرص‌های ساخته شده با نانو پودر ترکیبی به دلیل هموژن بودن و افزایش تعداد مرز دانه‌ها، ولتاژ شکست و ضریب غیرخطی بالاتری دارند، برای ساخت ستون قرص به تعداد کمتری قرص نیاز داشتند. شکل ۴ تصویر ستون قرص ساخته شده در دو حالت استفاده از قرص برقی نانویی و قرص میکرونی را نشان می‌دهد.

همانگونه که از شکل ۵ قابل رویت است، ستون قرص در حالت استفاده از نانو پودر ترکیبی کاهش یافته است و برای قرار دادن ستون قرص درون کیسینگ‌های آماده مجبور به استفاده از فاصله‌های آلومینیومی گردید. سپس سایر مراحل ساخت کیسینگ در شرکت برقی پارس صورت پذیرفت و کیسینگ‌های نهایی ساخته شدند. شکل ۶، تصویر کیسینگ‌های نهایی ساخته شده را نشان می‌دهد.

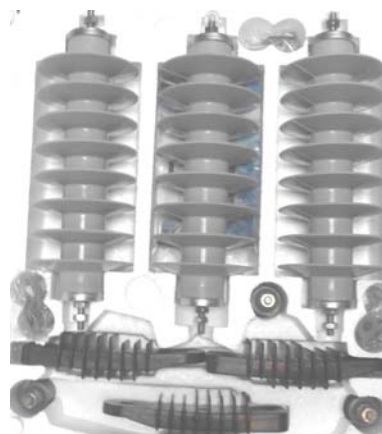


الف

بیست و چهارمین کنفرانس بین‌المللی برق

۳- اختلاف مابین ولتاژ اولیه شکست و ولتاژ ثانویه در آزمون long duration صورت پذیرفته بر روی قرص های برقگیر اکسید روی ساخته شده با نانو پودر ترکیبی برابر صفر درصد به دست آمد که نشان از یکنواخت بودن خواص در قرص برقگیر می باشد.

۴- پس از گذشت ۸ ماه از نصب کیسینگ ها در منطقه ورد آورد، تاکنون عملکرد قابل قبولی از خود نشان داده اند.



شکل ۶: تصویر نهایی کیسینگ های ساخته شده با نانو پودر ترکیبی اکسید روی

مراجع:

- [1]- K.Mukae, "Zinc Oxide Varistor with Praseodymium Oxide", Am. Ceram. Soc. Bull., 66 [9]: 1329-31 (1987).
- [2]- W. H. Hirschwald et. al., "Zinc Oxide", Current Topics in Materials Science, 7: 143-482 (1981).
- [3]- M. Leda, Y. Suzuoki, M. Nakayawa, "Electrical Properties of ZnO/Bi₂O₃ Two - Layer Composites", IEEE Transactions on Electrical Insulation, 25 [3]: 25-32 (1990).
- [4]- Kang Xue Ya, Han Yin, Tao Ming De, and Tu Ming Jing, "Analysis of ZnO Varistors Prepared from Nanosize ZnO Precursors", Materials Research Bulletin, 33[11]: 1703-1708 (1998).
- [5]- M. N. Rahaman, "Low-Temperature Sintering of Zinc Oxide Varistors", Journal of Materials Science 25: 737-742 (1990).
- [6]- Suresh C. Pillai et al., "The effect of processing conditions on varistors prepared from nanocrystalline ZnO", Journal of Materials Chemistry, 13: 2586-2590, (2003).

این کیسینگ ها سپس در منطقه وردآورد نصب گردیدند. شکل ۷ تصویری از سه عدد کیسینگ نصب شده در منطقه وردآورد را نشان می دهد. با توجه به مطالب عنوان شده امکان تغییر در طراحی کیسینگ به سمت کوچکتر شده کیسینگ ها با رعایت فاصله خزشی استاندارد، وجود دارد.



شکل ۷: کیسینگ های نصب شده در منطقه وردآورد

۴- نتیجه گیری نهایی:

با توجه به مطالب عنوان شده می توان نتایج زیر را عنوان نمود:

۱- ساخت قرص برقگیر با ابعاد واقعی جهت نصب در کیسینگ، در حالت استفاده از نانو پودر ترکیبی اکسید روی امکان پذیر است.

۲- در صورت استفاده از نانو پودر ترکیبی اکسید روی، می توان طول ستون های قرص به کار رفته در کیسینگ ها را کاهش داد.