تاثیر توزیع دانه بندی گرانول بر روی خواص الکتریکی وریستور اکسید روی

فهیمه عابد سعیدی [۱]، نرگس بهادری [۲]

۱- شرکت برقگیر توس، شهرک صنعتی طوس

۲- شرکت برقگیر توس، شهرک صنعتی توس

na.bahadori@gmail.com

نام ارائه‌دهنده: نرگس بهادری

خلاصه

وریستورهای اکسید روی سرامیک‌های نیمه رسانا بوده که خصوصیات الکتریکی غیر خطی عالی داشته که ناشی از مرز دانه ها و ریز ساختار آن می‌باشد. از نظر تئوریکی، گرانول های ریزتر با توزیع اندازه محدودتر، خواص الکتریکی بهتری ارائه می‌دهند. خصوصیات الکتریکی به اندازه و مورفولوژی گرانول ها بستگی دارد. در این تحقیق، توزیع دانه بندی متفاوتی از گرانول ها، زینتر شده و تأثیر توزیع دانه بندی گرانول بر روی خواص الکتریکی وریستورهای ZnO مورد بررسی قرار گرفت. نتایج نشان می‌دهد که استفاده از توزیع دانه بندی مناسب برای تولید وریستورها موجب بهبود پرس پذیری، افزایش دانسیته وریستور و در نتیجه خواص الکتریکی بهتر مانند کاهش جریان نشتی به میزان ۷۵ درصد در وریستور می شود.

کلمات کلیدی: وریستور اکسید روی، توزیع دانه بندی، گرانول، دانسیته، خواص الکتریکی

۱. مقدمه

وریستورها سرامیک های نیمه رسانا هستند که میتوانند خطوط برق را در برابر افزایش ولتاژ محافظت نمایند. وریستورها دارای یک مشخصه غیر خطی ولتاژ- جریان می باشند که می‌توان توسط رابطه زیر نشان داد:

$$I = (V/C)^{\alpha}$$

V ولتاژ اعمالی، I جریان، C ثابت مربوط به مقاومت غیر خطی و α توان مشخصه است[۱]. معروف‌ترین وریستورها، وریستورهای اکسید فلزی (MOV) هستند که به عنوان وریستورهای ZnO شناخته می‌شوند. اهمیت این وریستورها به دلیل مشخصه الکتریکی غیر خطی و توانایی جذب بالای انرژی آنها است [۲]. ترکیب عمومی وریستورهای پایه ZnO شامل ZnO و چند درصد مولی از دیگر اکسیدهای افزودنی مانند Bi2O3، Sb2O3، Co3O4، Cr2O3 و MgO میباشد. این اکسیدهای فلزی به علت جریان نشتی کم و ضریب غیر خطی عالی در سیستم‌های الکترونیکی و خطوط برق مانند تجهیزات حفاظت صاعقه استفاده می‌شوند. در عمل، وریستور اتصالی بین نیروی صاعقه و زمین می‌باشد. به هنگام افزایش جریان الکتریکی، اضافه جریان از وریستور عبور کرده و در نتیجه موجب محدود شدن ولتاژ خطوط میشود. بنابراین، با کنترل خصوصیات وریستور می‌توان مشخصات حفاظتی مورد نیاز را بهینه کرد [۳]. این وریستورها از دانه های اکسید روی به عنوان زمینه و دیگر اکسیدها به عنوان ذرات تشکیل می‌شوند. مرز دانه های ZnO ضخامتی در حدود چند نانومتر دارد. روش ساختبرای نگارش مقالات فارسی ضروری است از نرم افزار Word 2007 در محیط Windows XP استفاده شود. از فونت (B Zar 10pt) و فاصله خطوط single در تهیه متن اصلی مقاله استفاده گردد. متن مقاله بصورت تک ستونی و با حاشیه ۳۰ میلیمتر از راست و ۲۵ میلیمتر از چپ و ۳۰ میلیمتر از بالا و پایین تهیه گردد. عنوان هر بخش با فونت (B Titr 10pt)، با شماره بخش و با فاصله دو خط خالی از بخش قبلی و یک خط خالی از متن نوشته شود. اولین خط همه پاراگراف ها، بجز اولین پاراگراف بعد از متن، بصورت هماهنگ ۱۰ میلیمتر

---

[۱] کارشناس واحد R&D

[۲] کارشناس واحد R&D

فرورفتگی داشته باشد. وریستورها همانند روش تولید سرامیک‌ها است که شامل مخلوط کردن اجزای پودر، با تشکیل فاز کلسینه یا بدون تشکیل این فاز، همراه با پرس و زینتر در دماهای بالا می‌باشد [۶-۴].

مشخصات یک وریستور عالی با میزان α بالای آن در ناحیه غیر اهمی، تغییرات شدید در رفتار الکتریکی از ناحیه خطی به ناحیه غیر خطی و دارا بودن مقاومت به نشتی بالا در ناحیه قبل از شکست شناخته می‌شود. وریستورها می‌توانند در میدان‌های AC و DC در یک محدوده وسیع ولتاژ از چند ولت تا ده‌ها کیلو ولت، و در یک محدوده وسیع از جریان، از چند میکرو آمپر تا چند کیلو آمپر مورد استفاده قرار گیرند. وریستورها دارای قابلیت جذب انرژی بالا تا هزاران ژول می‌باشند [۷]. ولتاژ شکست و مقاومت این وریستورها به شرایط ریز ساختاری شدیداً وابسته است. بنابراین اندازه دانه، توزیع دانه بندی مناسب و همگنی ریز ساختار پارامترهای بسیار مهمی در ساخت وریستور هستند [۳].

در این مقاله به بررسی ساخت وریستوری با مشخصه ولتاژ-جریان غیر خطی عالی و جریان نشتی بسیار کم با تغییر توزیع دانه بندی گرانول ها پرداختیم.

۲. روش انجام آزمایش

جهت بررسی خواص وریستور، نمونه های آزمایشگاهی با ترکیب شیمیایی مشهور Matsuka آماده شدند [۸]. ترکیب شیمیایی به کار رفته در وریستورها بر حسب درصد مولی در جدول ۱ نشان داده شده است. بدین جهت این ترکیب مورد استفاده قرار گرفت تا بتوان نتایج بدست آمده را با تحقیقات بسیاری که بر روی این ترکیب صورت گرفته مقایسه کرد و در نتیجه اثر دانه بندی را که مدنظر است به تنهایی مورد بررسی قرار داد.

جدول ۱- ترکیب شیمیایی مورد استفاده در ساخت وریستور (بر حسب درصد مولی)

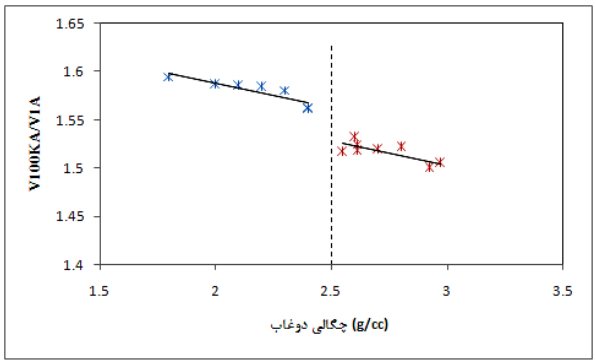
مواد اولیه	ZnO	Sb_2O_3	Bi_2O_3	MnO_2	Cr_2O_3	Co_3O_4
ترکیب شیمیایی	۹۷	۱	۰/۵	۰/۵	۰/۵	۰/۵

دوغاب با افزودن آب مقطر، بایندر آلی و مواد پراکنده ساز به مخلوط اولیه پودرهای خشک، در درون آسیاب گلوله ای تهیه گردید. با افزایش آب مقطر و بایندرهای آلی دوغاب با چگالی های متفاوت فراهم شد. این دوغاب ها پس از اسپری کردن بر روی یکسری الک مکانیکی منتقل و به مدت ۳ دقیقه تحت تکان و لرزش قرار گرفتند. بدین منظور از الک‌های ۷۰، ۱۰۰، ۱۵۰، ۲۰۰ و ۳۰۰ میکرون استفاده شد. براساس تغییر در ترکیب گرانول ها در بازه های دانه بندی مختلف، نمونه‌ها ساخته شدند. نمونه‌ها با کدهای D1، D2 و D3 نام گذاری شدند.

گرانول های حاصل از نمونه های مذکور به شکل دیسک و به قطر و ضخامت ۴۱ میلی متر توسط پرس هیدرولیک پرس شدند. عملیات آسیاب کردن، تهیه گرانول و پرس نمودن پودرها به گونه ای انجام می‌شود که از حضور آلودگی‌ها در گرانول که می‌توانند موجب خلل در خواص وریستور گردند، جلوگیری به عمل آید. قرص‌ها در $^{\circ}C$ ۱۲۰۰ و به مدت ۲ ساعت زینتر شدند. پس از اعمال پوشش لعاب بر روی قرص‌های زینتر شده، سطوح آن ها الکترود گذاری گردید. به منظور اندازه گیری مشخصات ولتاژ-جریان، به نمونه‌ها ولتاژهای مختلف اعمال گردید و جریان عبوری توسط دستگاه مولتی متر اندازه گیری شد. ولتاژ آستانه در چگالی جریان ۰/۱ mA/cm2 اندازه گیری گردید.

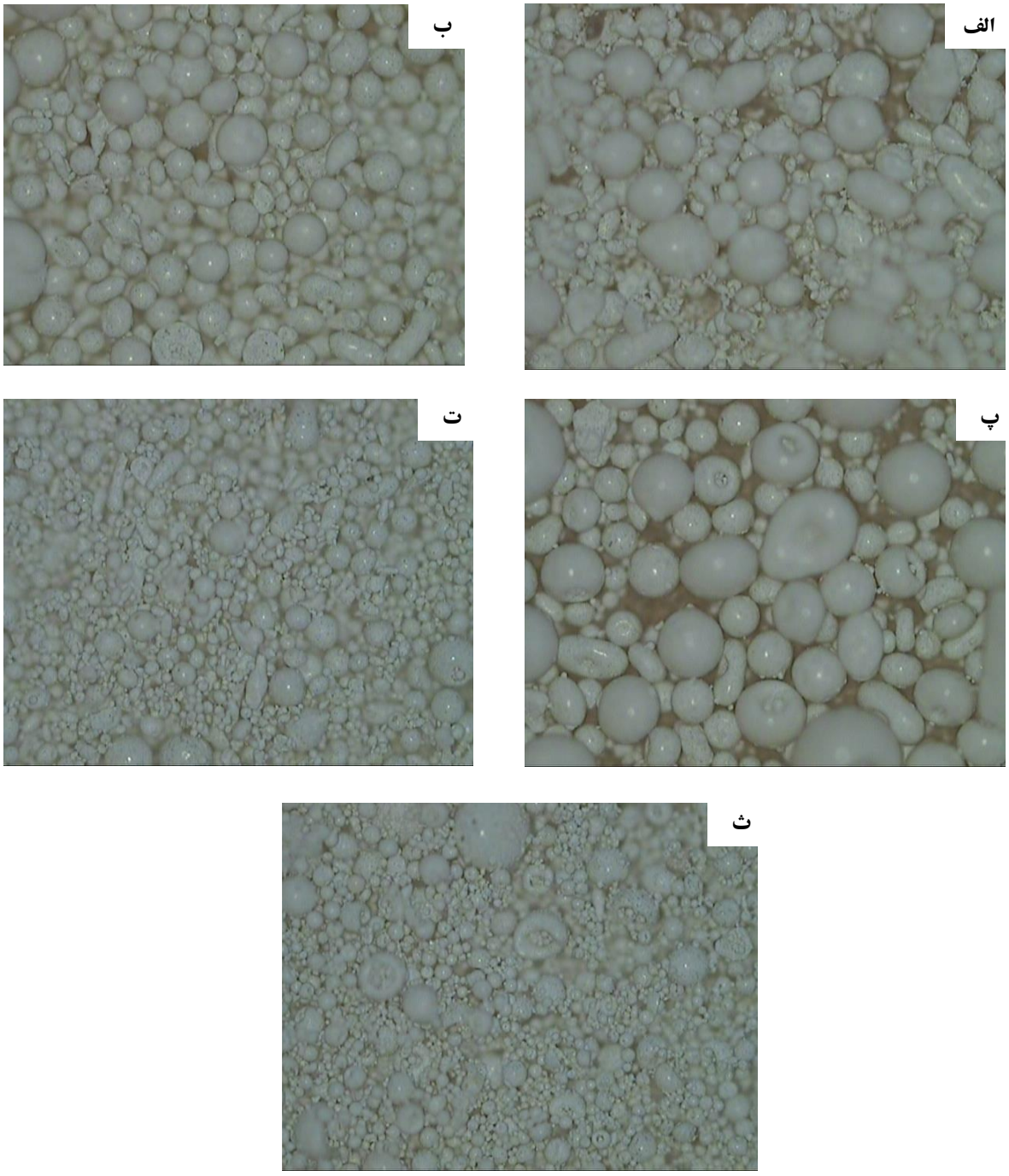
۲-۱. چگالی دوغاب

ارتباط بین دانسیته دوغاب و مشخصه ولتاژ-جریان بررسی گردید که نتایج این آزمایشات در شکل ۱ مشاهده می شود. با توجه به شکل ۱ در می یابیم مشخصه خواص الکتریکی عالی وریستور برای دانسیته بزرگ‌تر یا مساوی با g/cc ۲/۵ فراهم می‌گردد. چگالی دوغاب وریستور بر طبق JIS R 1639-2 اندازه گیری می‌شود. چگالی‌های دوغاب پایین‌تر، باعث به وجود آمدن تخلخل‌هایی در وریستور اکسید روی می‌شود و بین گرانول‌های وریستور اکسید روی ارتباط کمتری خواهد بود. اگر دانسیته دوغاب کمتر از این مقدار باشد باعث ایجاد شکاف‌هایی در وریستور می‌شود که مشخصه ولتاژ-جریان وریستور را معیوب می کند.



شکل ۱- چگالی دوغاب وریستور

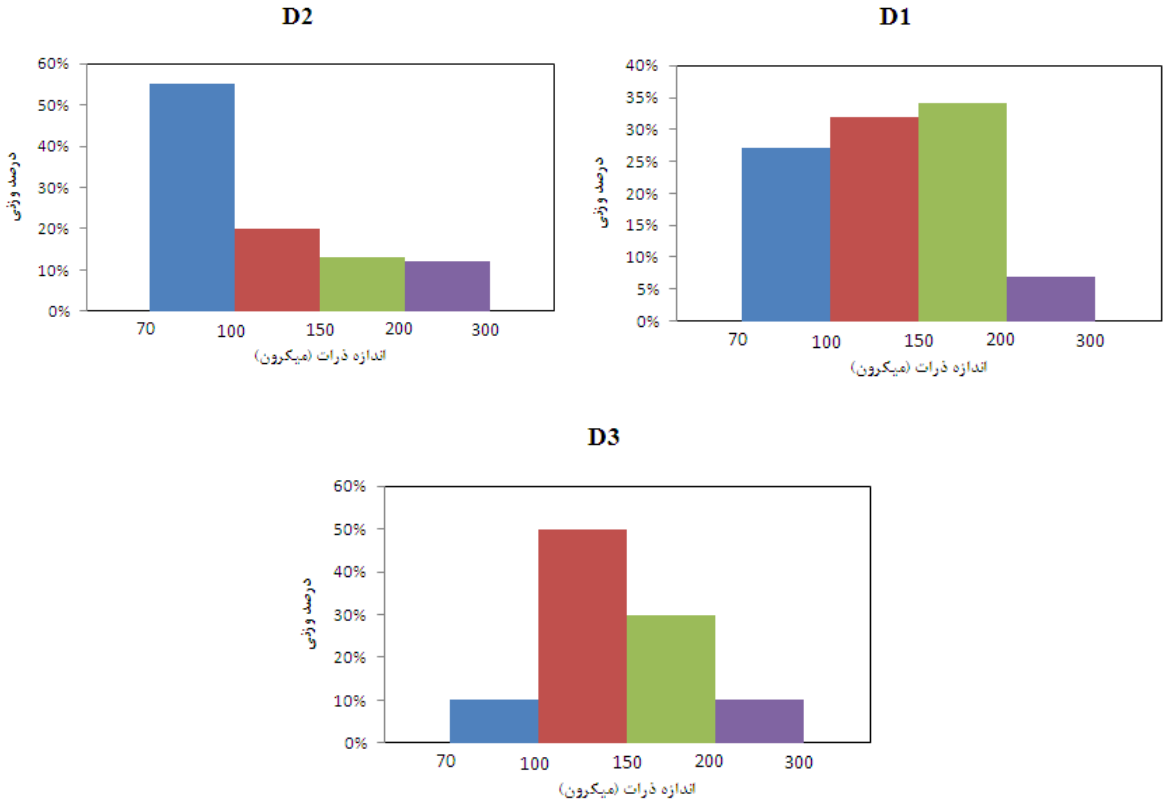
همچنین در گرانول های حاصل از اسپری کردن دوغاب با دانسیته کمتر از ۲/۵ g/cc میزان پوک بودن گرانول ها بیشتر می گردد و گرانول ها از شکل کروی خود خارج می شوند، در دانسیته بالاتر از ۲/۵ g/cc گرانول های کروی تر و چگالتری خواهیم داشت که این امر موجب کاهش تخلل ها در مرحله پرس و در نتیجه موجب بهبود خواص وریستور می شود (شکل۲).



شکل۲- تاثیر دانسیته دوغاب بر روی شکل ظاهری و توزیع اندازه گرانول ها، الف)۲/۶۱، ب) ۲/۵۵، پ) ۲/۳، ت) ۲/۲، ث)۱/۸.

۲-۲. توزیع دانه بندی

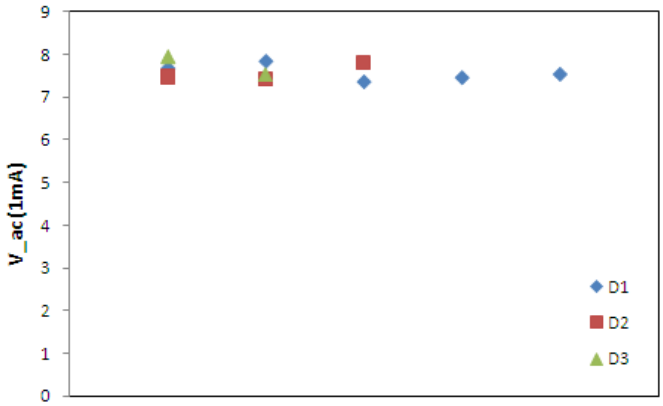
شکل ۳ توزیع دانه بندی در وریستور اکسید روی را نشان می‌دهد. محور عمودی درصد وزنی تجمعی و محور افقی قطر ذرات را نشان می‌دهد.



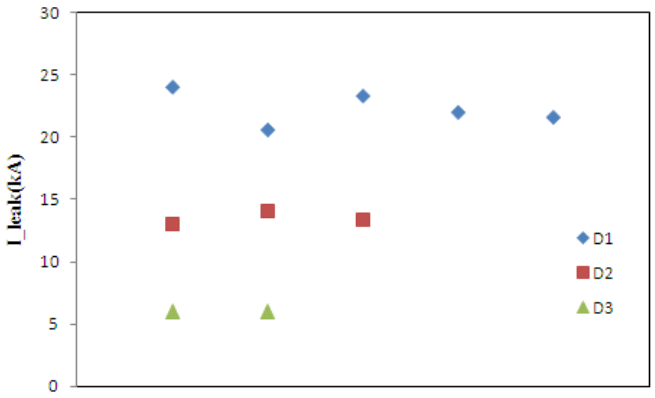
شکل ۳- توزیع دانه بندی در نمونه های ساخته شده

۲-۳. تست خواص الکتریکی وریستورها

شکل‌های ۴ و ۵ نتایج مشخصه غیر خطی ولتاژ-جریان در نمونه های D1، D2 و D3 می‌باشد. توزیع دانه بندی اندازه ذرات متفاوت است. از این گراف‌ها مشخص می‌شود که بهترین مشخصه غیر خطی ولتاژ-جریان زمانی فراهم می‌شود که ۵۰٪ اندازه ذرات بین ۱۰۰µm تا ۱۵۰ µm قرار دارند. اگر وریستوری با میانگین قطر ذرات بزرگ‌تر از ۲۰۰ µm ساخته شود تخلخل‌های بزرگی در وریستور باقی می‌گذارد. در صورتی که ۵۰٪ رنج دانه بندی گرانول‌ها بین ۱۰۰µm تا ۱۵۰µm باشد گرانول‌های وریستور اکسید روی بهتر به هم متصل می‌شوند بنابراین مشخصه ولتاژ-جریان بهتری فراهم می‌کند. با توجه به شکل های ۳ و ۴ در می یابیم که با تغییر در توزیع دانه بندی، ولتاژ آستانه تغییری چندانی نمی کند اما جریان نشستی نمونه های کد D2 و کد D3 به ترتیب ۵۰ و ۷۵ درصد نسبت به جریان نشتی نمونه با کد D1 کاهش می یابند. کاهش جریان نشتی می‌تواند مربوط به کاهش تخلخل ها در گرانول پرس شده باشد.



شکل۴- تاثیر توزیع دانه بندی بر روی ولتاژ آستانه (V(1mA)



شکل۵- تاثیر توزیع دانه بندی بر روی جریان نشتی

۳. نتیجه گیری

مقاله حاضر بررسی تاثیر دانسیته دوغاب و توزیع دانه بندی گرانول ها بر روی خواص الکتریکی برقگیر می باشد. براساس این تحقیق بهینه ترین دانسیته دوغاب، دانسیته بزرگتر یا مساوی g/cc ۲/۵ است که این دانسیته موجب کروی تر شدن گرانول ها می شود. به دلیل پایداری نقاط اتصال گرانول ها برای ایجاد هدایت الکتریکی در وریستور و فاکتورهای دیگر، شکل گرانول ایده آل کروی می باشد. بهترین توزیع دانه بندی مربوط به نمونه ایست که ۵۰ درصد اندازه ذرات آن بین ۱۰۰µm تا ۱۵۰ µm می‌باشد. جریان نشتی در این رنج دانه بندی کاهش چشمگیری به میزان ۷۵ درص خواهد داشت.

۴. مراجع

[1] Chong Phui Fah, John Wang, Effect of high-energy mechanical activation on the microstructure and electrical properties of ZnO-based varistors, Solid State Ionics 132 (2000) 107–117.
[2] Mohammad Reza Meshkatoddini, Metal Oxide ZnO-Based Varistor Ceramics, InTechOpen, 2011
[3] Arman Sedghi and Nastaran Riyahi Noori, Comparison of electrical properties of zinc oxide varistors manufactured from micro and nano ZnO powder, Journal of Ceramic Processing Research. 12 (2011) 752-755.
[4] M. Matsuoka, Nonohmic properties of zinc oxide ceramics, Jpn.J. Appl. Phys. 10 (1971) 736.
[5] K. Eda, Zinc oxide varistors, IEEE Elcetr. Insul. Mag. 5 (1989) 28.
[6]T.R.N. Kutty, S. Ezhilvalavan, The influence of Bi O non- 2 3 stoichiometry on the nonlinear property of ZnO varistors, . Mater. Chem. Phys. 38 (1994) 267.
[7]A.sinba and B.P Sharma, morel runte for preparation of high voltage varistor powder, mat.resa.Bull, 32, (1997) 157.
[8]Matsuka, M., Discovery of ZnO varistors and their progress for the two decades. Ceram.Trans., 1982,3, 3-2