

## استحصال انرژی الکتریکی از فروالکتریک‌ها: ساخت پیزوسرامیک PZT 95/5-2Nb متخلخل با استفاده از گرانول PMMA

رضا طبرزدی<sup>۱\*</sup>، علیرضا آقایی<sup>۲</sup>، محمدمسعود محبی<sup>۳</sup>، امیر مقصودی پور<sup>۴</sup>

۱- استادیار، ساخت ندسا ۲- استادیار، پژوهشگاه مواد و انرژی، ۳- دانشیار، دانشگاه بین‌المللی امام خمینی (ره)، ۴- دانشیار، پژوهشگاه مواد و انرژی

(دریافت: ۹۷/۰۴/۰۵، پذیرش: ۹۷/۰۷/۲۸)

**چکیده:** در ساخت سرامیک پیزوالکتریک متخلخل از  $Pb_{0.99}(Zr_{0.95}Ti_{0.05})_{0.98}Nb_{0.02}O_3$  معمولاً گرانول پلی متیل متاکریلات (PMMA) به منظور ایجاد تخلخل استفاده می‌شود. ایجاد تخلخل باعث تغییراتی در خواص الکترومکانیکی شده و باعث کاهش و یا افزایش بعضی پارامترهای پیزوالکتریکی می‌شود. افزودن PMMA از ۰/۶٪ تا ۲/۲٪ باعث کاهش ثابت پیزوالکتریک از ۷۸/۱ pC/N تا ۶۸ pC/N می‌شود. همچنین ثابت دی‌الکتریک را برای قطعات پلاریزه شده از ۴۰۰ به ۳۰۷ می‌رساند. اما ثابت ولتاژ پیزوالکتریک ابتدا از  $22/3 \times 10^{-3}$  V.m/N به مقدار  $26/9 \times 10^{-3}$  V.m/N برای ۱٪ PMMA افزایش داده و با افزایش درصد تخلخل کاهش می‌یابد. به منظور بررسی عملکردی قطعات پیک ولتاژی از آنها توسط اعمال شوک انفجاری گرفته شد. بیشترین ولتاژ به دست آمده ۵۷/۵ KV برای نمونه‌های حاوی ۱٪ PMMA مشاهده شد. بررسی ساختاری از نمونه‌ها توسط TEM وجود کریستالی‌های یکدست و پهن را نشان می‌داد.

**کلیدواژه‌ها:** پیزوالکتریک، واکنش حالت جامد، PMMA، ثابت پیزوالکتریک.

### ۱- مقدمه

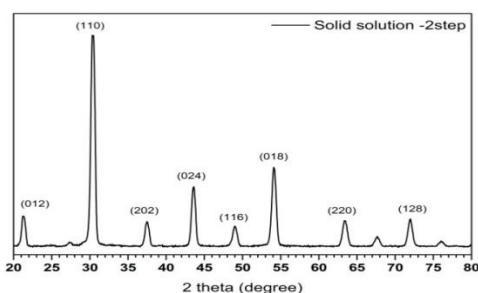
در این تحقیق از پودر سنتز شده پیزوالکتریک PZT95/5 با ترکیب  $Pb_{0.99}Nb_{0.02}(Zr_{0.95}Ti_{0.05})_{0.98}O_3$  که به روش واکنش حالت جامد سنتز شده بود، استفاده شد. برای بررسی اثر تخلخل بر حداکثر ولتاژ تولیدی از تخلخل‌سازهای (PMMA) با شکل کروی استفاده شد. در نهایت تاثیر افزودن تخلخل بر خواص نظیر ثابت پیزوالکتریک، ثابت دی‌الکتریک، ثابت ولتاژ پیزوالکتریک و حداکثر ولتاژ تولیدی در اثر شوک انفجاری مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت.

### ۲- روش تحقیق

در این تحقیق ترکیب  $Pb_{0.99}(Zr_{0.95}Ti_{0.05})_{0.98}Nb_{0.02}O_3$  برای سنتز حالت جامد به روش دومرحله‌ای استفاده شد [۱۰]. برای سنتز حالت جامد از مواد اکسیدسرب و اکسید نایوبیوم مرک (Merck %99)، اکسید زیرکونیوم فلوکا (Fluka %99) و اکسید تیتانیوم پانریک (Panreac %99) استفاده شد. برای ایجاد تخلخل از روش بارپز استفاده شد [۱۱]. برای این منظور از پلی‌متیل متا اکریلات (PMMA) با توزیع اندازه ذرات ۳۰ μ تا ۱۰۰ μ به‌عنوان عامل ایجاد تخلخل استفاده شد. درصدهای مختلفی از PMMA با پودر PZT95/5-2Nb ترکیب شدند. جهت همگن کردن مخلوط، ۴۰٪ وزنی محلول پلی وینیل الکل ۲٪ به مخلوط اضافه شد. سوسپانسیون تهیه شده توسط همزن مغناطیس

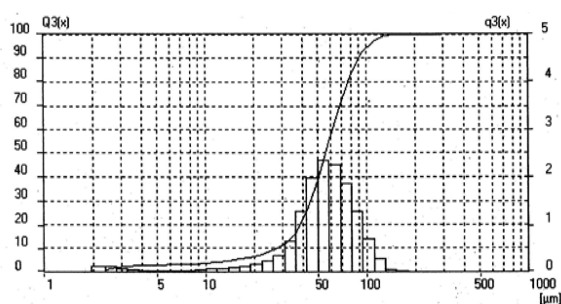
تیتانات زیرکونات سرب (PZT) با نسبت Zr:Ti برابر ۹۵:۵ (PZT 95/5) و با ساختار از نوع پروسکایت (فرمول عمومی  $ABO_3$ ) یک ماده‌ی فروالکتریک مهمی است که می‌تواند با تبدیل فاز از حالت فروالکتریک (FE) به حالت آنتی‌فروالکتریک (AFE) تحت تنش نسبتاً پایین پالس‌های بزرگ جریان یا ولتاژ را ایجاد کند [۱]. این انتقال فازی موجب پیدایش کاربردهای جالبی نظیر تولید امواج پر قدرت پالسی و منبع قدرت ژنراتورهای نوترونی شده است [۲]. در این زمینه اغلب تحقیقات مبتنی بر سرامیک‌های PZT95/5 متخلخل می‌باشد و بهترین ماده برای ایجاد تخلخل را گرانول‌های کروی پلی متیل متااکریلات (PMMA) معرفی کرده‌اند. همچنین اغلب مقالات خواص پیزوالکتریک نظیر منحنی هیستریزس، ثابت پیزوالکتریک، قطبش پسماند و ثابت دی‌الکتریک را بررسی کرده‌اند. [۳-۵] اثر میزان تخلخل بر حداکثر ولتاژ تولیدی در هیچ مقاله‌ای گزارش نشده است. از طرفی گزارش‌های مبتنی بر استفاده از PZT95/5 جهت تولید بیشترین ولتاژ کمتر به فرآیند ساخت اشاره داشته و بیشتر جنبه‌های مکانیکی و طراحی را مورد بررسی قرار می‌دهند [۶-۹].

می‌دهد. پودر سنتز شده به روش حالت جامد دومرحله‌ای دارای ساختار پروسکایت می‌باشد.

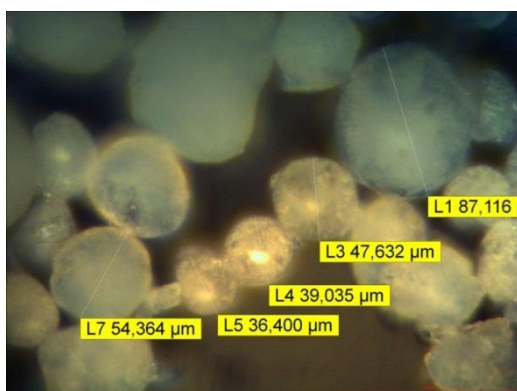


شکل (۱): پراش پرتو ایکس (XRD) پودرهای تهیه شده به روش حالت جامد

شکل ۲ منحنی توزیع اندازه ذرات PMMA را نشان می‌دهد. مشاهده می‌شود کمتر از ۵٪ از ذرات زیر ۳۰ μm و بیش از ۵٪ از آنها بالای ۱۰۰ μm می‌باشند. بنابر این ۹۰٪ آنها بین ۳۰ μm تا ۱۰۰ μm می‌باشند. برای بررسی شکل گرانول‌های PMMA از آنها تصویر برداری توسط میکروسکوپ نوری شد.



شکل (۲): منحنی توزیع اندازه ذرات PMMA



شکل (۳): تصویر میکروسکوپ نوری PMMA

شکل (۳) تصویر میکروسکوپ نوری ذرات PMMA را نشان می‌دهد. همان‌طور که در شکل مشخص است گرانول‌های PMMA کروی می‌باشند.

جدول (۱) مقادیر اندازه‌گیری خواص برای مواد با درصد گرانول PMMA مختلف جهت ایجاد قطعات با درصد تخلخل

مخلوط و همزمان خشک گردید. به پودر خشک شده ۳٪ وزنی آب مقطر افزوده و ورز داده شد. مخلوط دو مرتبه از الک مش ۴۵ عبور داده شد. گرانول‌های به‌دست‌آمده درون قالب فلزی با فشار ۱۰۰ MPa توسط پرس دو طرفه به شکل استوانه‌های به قطر ۱۰ mm و ارتفاع ۱۴ mm شکل داده شد. جهت سوزاندن PMMA و ایجاد تخلخل نمونه‌ها درون کوره در دمای ۷۰۰ °C به مدت ۲ hr ساعت و با شیب حرارتی ۱ °C/min قرار گرفت. در نهایت قطعات در دمای ۱۲۵۰ °C به مدت ۲ hr با شیب حرارتی ۲۰۰ °C/min در اتمسفر غنی از اکسید سرب تفت‌جوشی شدند. پس از سینتر قطعات توسط دستگاه تراش سرامیک و سپس صیقل‌کاری به ارتفاع ۱۰ mm رسانده شد. کل نمونه‌ها الکتروگذاری شده و در حمام روغن در دمای ۱۲۰ °C به مدت ۱۵ min با ولتاژ ۲ KV/mm قطبی شدند.

برای اندازه‌گیری خصوصیات پیزوالکتریکی از سامانه‌های d<sub>33</sub> متر (مدل KCFPM3500) و برای اندازه‌گیری ثابت دی‌الکتریک در فرکانس ۱ KHz در دمای ۲۵ درجه سانتی‌گراد از دستگاه امپدانس آنالایزر مدل HP4194A استفاده شد. به‌منظور بررسی شکل و اندازه کریستالیت‌ها از میکروسکوپ الکترونی عبوری TEM (مدل PHILIPS CM 30) استفاده شد. به‌منظور بررسی مورفولوژی دانه‌های PMMA از میکروسکوپ نوری مدل (KCFPM 3500) استفاده شد. جهت تعیین فاز کریستالی و وجود فاز خارجی از آنالیز پراش اشعه x (XRD) با استفاده از اشعه Cu-ka با گام اسکن ۰/۰۲ از ۰ تا ۸۰ درجه انجام شد و همچنین برای اندازه‌گیری چگالی نمونه‌ها از روش ارشمیدسی و روش اندازه‌گیری ابعادی استفاده شد. از دستگاه Fritsch particle Sizer analysette 22 برای اندازه‌گیری توزیع اندازه ذرات استفاده شد.

جهت تست دریافت ولتاژ توسط شوک انفجاری، قطعات کنتاکت‌گذاری شده و در رزین اپوکسی کپسوله گردید [۱۲]. از چاشنی و ماده انفجاری (Composite RDX<sup>۱</sup> & HTPP<sup>۲</sup> & Binder) C4 به‌عنوان عامل ایجاد شوک انفجاری استفاده شد. مدار دریافت ولتاژ تولیدی مطابق با تحقیقات آقای اشکرافت<sup>۳</sup> انتخاب شد [۱۳]. برای این منظور از پروب North star PVM-6HV (مقاومت ۴۰۰ Ω، ظرفیت ۱۲ pF) و اسیلوسکوپ Agilent 1G sample و Tektronix 200MHz/TDS 202H استفاده شد.

### ۳- نتایج و بحث

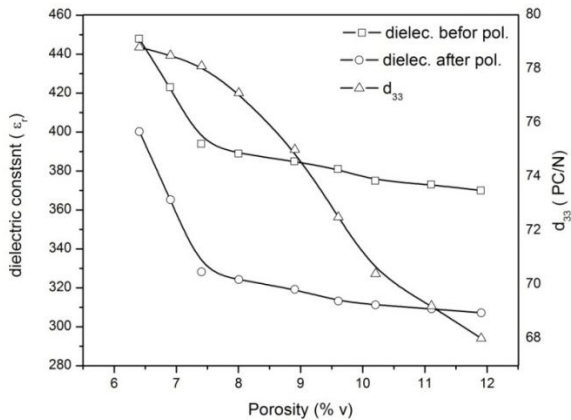
شکل (۱) نتایج آزمون بررسی فازی به روش XRD را نشان

۱- C3H6N6O8

۲- هیدرواکسیل ترمینیت پلی بوتادین

۳- Shkuratov

تخلخل‌سازها از  $7\mu\text{m}$  تا  $8\mu\text{m}$  به  $68\text{ pC/N}$  کاهش می‌یابد. این درحالی است که کمترین مقدار به‌دست‌آمده برابر مقدار گزارش شده توسط TRS می‌باشد (شکل ۴ و جدول ۱). همچنین با افزایش درصد تخلخل‌ساز PMMA و ایجاد تخلخل بیشتر در نمونه‌های سینتر شده ثابت دی‌الکتریک ( $\epsilon_r$ ) بعد از قطبی کردن از  $400$  به  $307$  کاهش می‌یابد (شکل ۴).

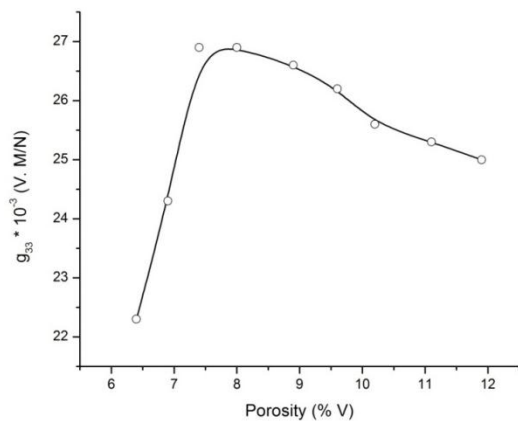


شکل (۴): تغییرات ثابت بار پیزوالکتریک و ثابت‌های دی‌الکتریک قبل و بعد از پلاریزه کردن با درصد تخلخل

ثابت ولتاژ پیزوالکتریک ( $g_{33}$ ) نیز ابتدا افزایش یافته سپس کاهش می‌یابد (شکل ۵). اگر به رابطه ثابت بار پیزوالکتریک، ثابت ولتاژ پیزوالکتریک و ثابت دی‌الکتریک مراجعه شود (معادله ۱) مشاهده می‌شود ثابت  $g$  با ثابت  $d$  رابطه مستقیم داشته و با ثابت  $\epsilon_r$  رابطه عکس دارد.

$$g_{33} = d_{33} / \epsilon_0 \epsilon_r \quad (1)$$

در آنجا  $d_{33}$  ثابت پیزوالکتریک،  $g_{33}$  ثابت ولتاژ پیزوالکتریک،  $\epsilon_r$  ثابت دی‌الکتریک یا دی‌الکتریک نسبی و  $\epsilon_0$  ضریب دی‌الکتریک در خلاء و معادل  $1.0 \times 10^{-10} \text{ F/m}$  می‌باشد.



شکل (۵): تغییرات ثابت ولتاژ پیزوالکتریک با درصد تخلخل ساز PMMA

مختلف را نشان می‌دهد. مقادیر به‌دست‌آمده با مقادیر تجاری ارائه شده توسط شرکت TRS آمریکا مقایسه شده است. میزان ولتاژ تولیدشده در اثر شوک مکانیکی با مقادیر ارائه‌شده توسط آلبرتا که از محصولات شرکت TRS در تحقیق خود استفاده کرده است، مقایسه شده است [۱۴].

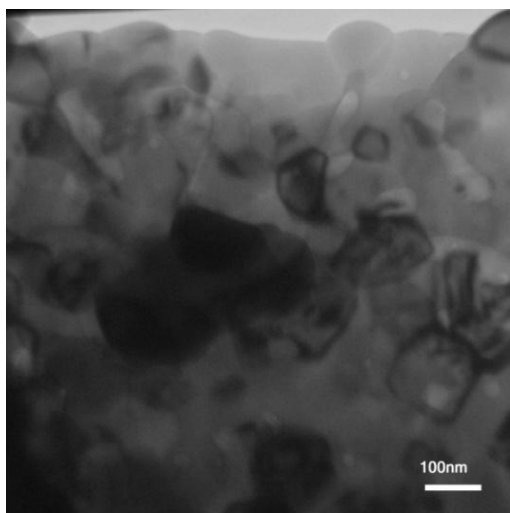
جدول (۱): مقادیر اندازه‌گیری شده خواص الکترومکانیکی ترکیب با درصدهای مختلف عامل تخلخل ساز PMMA و مقایسه با نمونه TRS

ولتاژ تولیدی KV	ثابت ولتاژ پیزوالکتریک $g_{33} \times 10^3$ (V.m/N)	ثابت دی‌الکتریک بعد از پلاریزه	ثابت دی‌الکتریک قبل از پلاریزه	ثابت بار پیزوالکتریک $d_{33}$ (pC/N)	درصد تخلخل (%)	چگالی	درصد وزنی PMMA	علامت اختصاری
۵۴	۲۶/۳	۲۹۵	۲۵۰	۶۸	-		۱	TRIS
۴۸/۵	۲۲/۳	۴۰۰	۴۴۸	۷۸/۸	۶/۳۷	۷/۵	۰/۶	PM1B
۵۲	۲۴/۳	۲۶۵	۴۲۳	۷۸/۵	۶/۸۷	۷/۴۶	۰/۸	PM2B
۵۷/۵	۲۶/۹	۳۲۸	۳۹۴	۷۸/۱	۷/۳۷	۷/۴۲	۱	PM3B
۵۷	۲۶/۹	۳۲۴	۳۸۹	۷۷/۱	۷/۹۹	۷/۳۷	۱/۳	PM4B
۵۴	۲۶/۶	۳۱۹	۳۸۵	۷۵	۸/۸۶	۷/۳	۱/۴	PM5B
۵۱/۵	۲۶/۳	۳۱۳	۳۸۱	۷۳/۵	۹/۶۱	۷/۲۴	۱/۶	PM6B
۴۸	۲۵/۶	۳۱۱	۳۷۵	۷۰/۴	۱۰/۲۴	۷/۱۹	۱/۸	PM7B
۴۳	۲۵/۳	۳۰۹	۳۷۳	۶۹/۳	۱۱/۱۱	۷/۱۲	۲	PM8B
۳۸	۲۵	۳۰۷	۳۷۰	۶۸	۱۱/۸۶	۷/۰۶	۲/۳	PM9B

همان‌طور که در جدول (۱) مشخص است با افزایش عامل تخلخل‌ساز میانگین چگالی از  $7/5 \text{ g/cm}^3$  به  $7/06 \text{ g/cm}^3$  کاهش و درصد تخلخل در قطعات از  $6/37\%$  به  $11/86\%$  افزایش یافته است. شکل‌های (۴-۶) جدول (۱) را به‌صورت منحنی نمایش می‌دهند. مقدار ثابت بار پیزوالکتریک ( $d_{33}$ ) نیز با افزایش درصد

مربوط به آقای آلبرتا<sup>۱</sup> می باشد (۵۴ KV) مقایسه کنیم حدود ۶٪ افزایش در تولید ولتاژ مشاهده می شود. علت آن همان طور که ذکر گردید و در جدول (۱) مشخص است بالا بودن ثابت پیزوالکتریک (۷۸/۱ pC/N) نمونه های ساخته شده نسبت به نمونه های TRS (۶۸ pC/N) می باشد. در خصوص نوع فرآیند ساخت در شرکت TRS اطلاعاتی وجود ندارد، اما از مقاله آقای آلبرتا مشخص می شود روش هم رسوبی برای تهیه پودرها استفاده شده است. در تهیه پودر به روش هم رسوبی اندازه کریستالیت ها حدود ۱۸ μm می شود در صورتی که اندازه کریستالیت ها در سنتز دومرحله ای بیشتر از ۶۰ μm (شکل ۱۰) می شود. در این تحقیق همان طور که ذکر گردید از تهیه پودر به روش دومرحله ای همان طور که در مرجع [۱۰]، آورده شد، استفاده شد. در تهیه پودر به روش دومرحله ای اندازه کریستالیت ها بیش از سه برابر سنتز به روش هم رسوبی می شود.

شکل (۱۰) تصویر میکروسکوپ الکترونی عبوری TEM از شکل کریستالیت ها را در قطعات تفت جوشی شده را نشان می دهد.



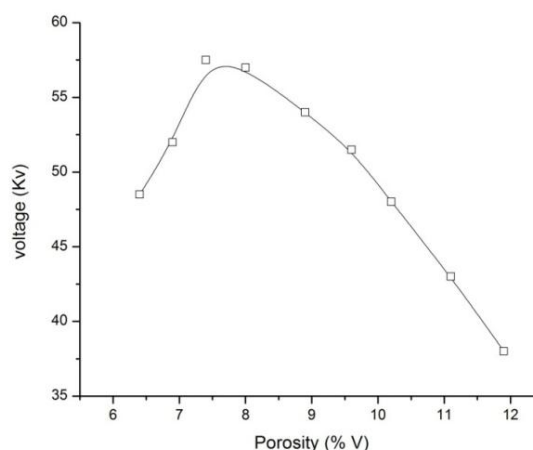
شکل (۱۰): تصویر میکروسکوپ الکترونی عبوری از کریستالیت ها

مشاهده می شود اندازه کریستالیت ها به طور متوسط ۱۰۰ nm شده است. همانطور که در مرجع ۱۰ ذکر شد یکنواختی و اندازه درشت تر کریستالیت ها (حدود ۲ برابر) در نمونه های تهیه شده به روش دومرحله ای نسبت به روش مخلوط اکسیدها (روش تک مرحله ای) عامل اصلی بهبود در خواص پیزوالکتریکی شده است.

#### ۴- نتیجه گیری

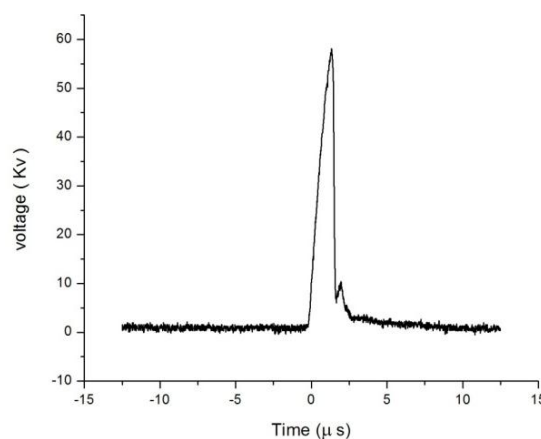
پودر PZT95/5-2Nb به روش حالت جامد دومرحله ای تهیه و به آن درصد های مختلف گرانول های PMMA برای ایجاد تخلخل

بنابراین، مقدار ثابت ولتاژ پیزوالکتریک در تقابل با دو ثابت بار پیزوالکتریک به صورت مستقیم و ثابت دی الکتریک به صورت عکس می باشد. به همین خاطر نخست افزایش در اثر کاهش ثابت دی الکتریک داشته و سپس کاهش در اثر کاهش ثابت بار پیزوالکتریک را مشاهده می کنیم.



شکل (۶): تغییرات ولتاژ تولید شده بر اثر شوک مکانیکی بر حسب درصد تخلخل ساز PMMA

شکل (۶) ولتاژ تولید شده از نمونه های تهیه شده با درصد های مختلف تخلخل ساز PMMA را با اعمال شوک مکانیکی ناشی از انفجار ماده منفجره C4 را نشان می دهد. این ولتاژها از پیک ولتاژی دریافت شده توسط اسیلوسکوپ (شکل ۷) گرفته شده است.



شکل (۷): تغییرات ولتاژ تولید شده بر اثر شوک انفجاری بر حسب تغییرات زمان

با مقایسه شکل های (۶-۵) مشاهده می شود افزایش و یا کاهش میزان ولتاژ تولید شده با تغییرات عامل در تخلخل با میزان افزایش و یا کاهش ثابت ولتاژ پیزوالکتریک متناسب است. اگر بیشترین ولتاژ بدست آمده ۵۷/۵ KV برای نمونه های با ۱٪ عامل تخلخل ساز را با بیشترین ولتاژ گزارش شده در مقالات که

- and porosity-graded piezoelectric actuators,” American Ceramic Society, vol. 86, pp. 1094–1098, 2003.
- [6] S. I. Shkuratov, J. Barid, and E. F. Talantsev, “Extension of thickness-dependent dielectric breakdown law on adiabatically compressed ferroelectric materials,” Applied physics letters, vol. 102, 2013.
- [7] S. I. Shkuratov, J. Barid, E. F. Talantsev, W. S. Hackenberger, A. H. Stults, and L. L. Altgilbers, “Miniature 100-KV explosively driven prime power sources based on transverse shock-wave depolarization of Pb(Zr<sub>0.95</sub>Ti<sub>0.05</sub>)O<sub>3</sub> ferroelectric ceramics,” 978-1-4577-0631-8, 2011.
- [8] S. I. Shkuratov, J. Barid, and E. F. Talantsev, “Utilizing Pb(Zr<sub>0.95</sub>Ti<sub>0.05</sub>)O<sub>3</sub> ferroelectric ceramics to scale down autonomous explosive-driven shock-wave ferroelectric generators,” Scientific instruments, vol. 83, 2012.
- [9] S. I. Shkuratov, J. Barid, and E. F. Talantsev, “Miniature 120-KV autonomous generator based on transverse shock-wave depolarization of Pb(Zr<sub>0.95</sub>Ti<sub>0.05</sub>)O<sub>3</sub> ferroelectrics,” Scientific instruments, 086107, vol. 82, 2011.
- [10] R. Tabarzadi, A. Aghaei, M. M. Mohebi, and A. Maghsudipor, “Piezoceramic Powder Synthesis PZT95 / 5-2Nb by One-Step and Two-Step Methods,” 11nd Ceramic Society of Iran, 2017.
- [11] M. Lallart, “Synthesis of PZT Ceramics by Sol-Gel Method and Mixed Oxides with Mechanical Activation Using Different Oxides as a Source of Pb,” Ferroelectrics – Material Aspects book, Chapter 16, ISBN 978-953-307-332-3 Published, August 24, 2011.
- [12] L. L. Altgilbers, J. Baird, B. L. Freeman, Ch. S. Lynch, and S. L. Shkuratov, “Explosive pulsed power,” Imperial college press, vol. 1, p. 9, 2011.
- [13] S. I. Shkuratov, E. F. Talantsev, and J. Baird, “Application of piezoelectric ceramics in pulsed power technology and engineering,” Piezoelectric Ceramics, vol. 14, p. 270, 2012.
- [14] E. F. Alberta, B. Michaud, and W. S. Hackenberger, “Development of ferroelectric materials for explosively driven pulsed-power systems,” TRS Technologies, book, ISBN: 978-1-4244-4064-1, DOI: 10.1109/PPC., 5386193, 2009.
- [15] R. N. Das and P. Pramanik, “In Situ Synthesis of Nanosized PZT Powders in the Precursor Material and the Influence of Particle Size on the Dielectric Property,” Nanostructured Materials, vol. 10, Issue 8, pp. 1371-1377, 1998.

اضافه گردید. تغییرات ثابت‌های بار پیروالکتریک، ولتاژ پیروالکتریک و دی‌الکتریک را با تغییرات میزان تخلخل بوجود آمده ناشی از سوختن گرانول PMMA بررسی شد. با اعمال شوک مکانیکی ناشی از انفجار C4 بر روی قطعات با میزان تخلخل مختلف، مشخص گردید بیشترین ولتاژ تولیدی (57/5 KV) مربوط به استفاده از تخلخل ساز PMMA به میزان ۱٪ وزنی می‌باشد. در این درصد از تخلخل، مقادیر ثابت بار پیروالکتریک برابر ۷۸/۱ pC/N، مقدار ثابت دی‌الکتریک برابر ۳۲۸ و ثابت بار پیروالکتریک برابر  $26/9 \times 10^{-3}$  Vm/N می‌باشد. مقادیر به‌دست‌آمده با مقادیر گزارش شده از شرکت TRS مقایسه گردید. میزان ولتاژ تولید شده حدود ۶٪ از بیشترین مقادیری که در منابع مطالعاتی آورده شده بیشتر می‌باشد.

## ۵- منابع

- [1] J. Wang, Shiyuan Yang, J. Wang, H. He, Y. Xiong, and F. Chen, “Phase, crystal structure and sintering behavior of shock-synthesized Pb(Zr<sub>0.95</sub>Ti<sub>0.05</sub>)O<sub>3</sub> powders,” Solid State Sciences, vol. 12, pp. 2054-2058, 2010.
- [2] B. A. Tuttle, P. Yang, J. H. Gieske, J. A. Voigt, T. W. Scofield, D. H. Zeuch, and W. R. Olson, “Pressure-induced phase transformation of controlled-porosity Pb(Zr<sub>0.95</sub>Ti<sub>0.05</sub>)O<sub>3</sub> ceramics,” American Ceramic Society, , vol. 84, pp. 1260–1264, 2001.
- [3] T. Zeng, X. L. Dong, C. L. Mao, Z. Y. Zhou, and H. Yang, “Effects of pore shape and porosity on the properties of porous PZT95/5 ceramics,” European Ceramic Society, vol. 27, pp. 2025–2029, 2007.
- [4] D. A. Hall, J. D. S. Evans, S. J. Covey-Crump, R. F. Holloway, E. C. Oliver, T. Mori, and P. J. Withers, “Effects of superimposed electric field and porosity on the hydrostatic pressure-induced rhombohedral to orthorhombic martensitic phase transformation in PZT95/5 ceramics,” Acta Materialia, vol. 58, pp. 6584–6591, 2010.
- [5] J. F. Li, T. Kenta, O. Masaru, P. Wei, and W. Ryuzo, “Fabrication and evaluation of porous piezoelectric Ceramics

**Electric Energy Generation from Ferroelectrics: Fabrication Porous Piezoceramic PZT95/5-2Nb By Used PMMA Granule**

**R. Tabarzadi\*, A. Aghaei, M. M. Mohebbi, A. Maghsoudi-pour**

**Satakh Nedsa**

(Received: 26/06/2018, Accepted: 20/10/2018)

**Abstract**

*In the manufacture of porous piezoelectric ceramics,  $(Pb_{0.99}(Zr_{0.95}Ti_{0.05})_{0.98}Nb_{0.02}O_3)$  is usually used polymethyl methacrylate (PMMA) granules for the production of porosity. Creating porosity causes changes in electromechanical properties and reduces or increases some piezoelectric parameters. Adding PMMA from 0.6% to 2.2% reduces piezoelectric constant from 78.1 pC / N to 68 pC / N. It also provides a dielectric constant for polar components from 400 to 307. However, piezoelectric voltage initially decreases from  $V_{mu} / N$  from  $10.3 \times 22.3$  to  $V.m / N$  from  $9.9 \times 26.9$  to 1% PMMA and increases porosity. In order to verify the performance of peak voltage components, they were subjected to the explosive shock. The highest voltage achieved was 57.5 kWh for samples containing 1% PMMA. The structural analysis of samples by TEM indicates the presence of coarse and regular crystals.*

**Keywords:** Piezoelectric, Solid State Reaction, PMMA, Piezoelectric Constant

---

\* Corresponding author E-mail: r.tabarzadi@merc.ac.ir