

دوفصلنامه علمی - ترویجی کارافن

شماره چهل و چهارم، پاییز و زمستان 1397 (صص 66-57)
شاپای چاپی: 2382-9796 شاپای الکترونیکی: 2538-4430
<http://karafan.tvu.ac.ir>

کارافن

وابستگی ثابت دی الکتریک نانوکامپوزیت LaNiOCO با دمای بازپخت

امیر حیاتی*

استادیار، دانشکده فنی و حرفه‌ای امام محمدباقر (ع)، دانشگاه فنی و حرفه‌ای، مازندران، ایران

سحر خداداد

کارشناسی ارشد فیزیک حالت جامد، دانشکده علوم پایه، دانشگاه مازندران، مازندران، ایران

تاریخ پذیرش نهایی: 1397/11/01

تاریخ دریافت مقاله: 1397/08/18

چکیده

در مقاله حاضر، مواد دی الکتریک LNCO (متشکل از لانتانیوم، اکسید نیکل، کبالت و اکسیژن) به روش سل ژل سنتز و در دماهای متفاوت (300-700 درجه سانتی‌گراد) بازپخت شد. ویژگی‌های الکتریکی و نانو ساختاری نمونه‌ها با استفاده از تکنیک‌های پراش پرتو ایکس، میکروسکوپ الکترونی روبشی، میکروسکوپ نیروی اتمی و GPS132A مطالعه شدند. نتایج به دست آمده نشان داد ثابت دی الکتریک مطلوب، فاکتور کیفیت، مورفولوژی سطح و توپوگرافی سطح LNCO با La: Ni: CO در نسبت وزنی 20 درصد از نانو ذرات لانتانیوم بازپخت شده در دمای 500 درجه سانتی‌گراد بیشتر از سایر دماهای بازپخت است. تصاویر میکروسکوپی، نانو ذراتی با توزیع خوب یا نانو بلورک‌هایی را در سطح و در کپه نشان می‌دهد. ساختاری بی‌شکل در دمای 500 درجه سانتی‌گراد وجود دارد که می‌تواند جریان‌های ناشی و تونلی را در نمونه‌ها کاهش دهد.

واژگان کلیدی:

پروسکیت، ثابت دی الکتریک، جریان ناشی و روش سل ژل، نانو ترانزیستور، نانو ساختارها.

* نویسنده مسئول مکاتبات: amhaiati@tvu.ac.ir

1. مقدمه

در سال‌های اخیر پژوهش‌های گسترده‌ای در حوزه گیت دی الکتریک نانو ترانزیستورهای اثر میدانی انجام شده است.⁽¹⁻⁴⁾ برخی از مواد دی الکتریک مانند اکسید لانتانوم، اکسید زیرکونیوم و نانو کامپوزیت‌های هیبریدی اکسیدهای فلزی برای استفاده به جای گیت دی الکتریک اکسید سیلیکون بیشتر در کانون توجهات قرار گرفته‌اند⁽⁵⁾ زیرا وقتی ضخامت گیت دی الکتریک اکسید سیلیکون به 1 نانومتر یا کمتر می‌رسد، مشکلاتی همانند جریان‌های نشتی،⁽⁶⁾ جریان تونلی⁽⁷⁾ و نفوذ عناصر سبکی همانند بور از گیت الکتروود به گیت دی الکتریک⁽⁸⁾ را به همراه خواهد داشت. فیلم‌های LNCO با استفاده از نانو ذرات لانتانوم 20 درصد وزنی می‌توانند گزینه مناسبی به‌عنوان گیت دی الکتریک در تولیدات آتی ترانزیستورهای CMOS باشند⁽⁹⁾ زیرا علاوه بر ثابت دی الکتریک بالا، گاف نواری آن پهن بوده و در تماس با بستر سیلیکونی، تعادل حرارتی دارند.⁽¹⁰⁾ نتایج نمودار جریان بر حسب ولتاژ، نقاط تماس مختلف را برای مقایسه جریان‌های نشتی نمونه‌های مختلف نشان می‌دهد. همچنین ثابت دی الکتریک بالا در هریک از نمونه‌ها برای کاهش جریان نشتی، تونلی و نفوذ بور در گیت دی الکتریک ضروری است.⁽¹¹⁻¹⁴⁾

در اثر حاضر با استفاده از روش سل ژل و در دماهای بازپخت 300 تا 700 درجه سانتی‌گراد، نانو کامپوزیت LNCO را سنتز کرده و مشخصه‌های نانو ساختاری و الکتریکی آن را با استفاده از تکنیک‌های تجربی پراش پرتو ایکس، میکروسکوپ نیروی اتمی، میکروسکوپ الکترونی روبشی، میکروسکوپ الکترونی عبوری و دستگاه GPS 132A بررسی کردیم.

2. مواد و روش‌ها

برای ساخت نانو کامپوزیت LNCO که متشکل از لانتانوم، اکسید نیکل، کبالت و اکسیژن است، رفتار حرارتی در دماهای 300-700 درجه سانتی‌گراد به مدت دو ساعت اعمال می‌شود. ابتدا نانوبلورک‌های اکسید لانتانوم را به روش سل ژل و با استفاده از پیش‌ماده $\text{LaCl}_3 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ ، ستیل تری متیل آمونیوم بروماید (CTAB)، آمونیاک 25 درصد برای سنجش pH و آب مقطر سنتز می‌کنیم. مقدار 2/7 گرم از CTAB و 5/9 گرم $\text{LaCl}_3 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ را در 300 میلی‌لیتر آب مقطر حل کرده و در دمای اتاق به مدت 30 دقیقه تحت چرخش مغناطیسی قرار می‌دهیم تا محلول همگنی از آن به دست آید. در مرحله بعد، آمونیاک را قطره‌قطره به محلول بالا می‌افزاییم تا pH آن به عدد 8 برسد. محصول به دست آمده را به مدت 24 ساعت در دمای 80 درجه سانتی‌گراد قرار می‌دهیم و پس

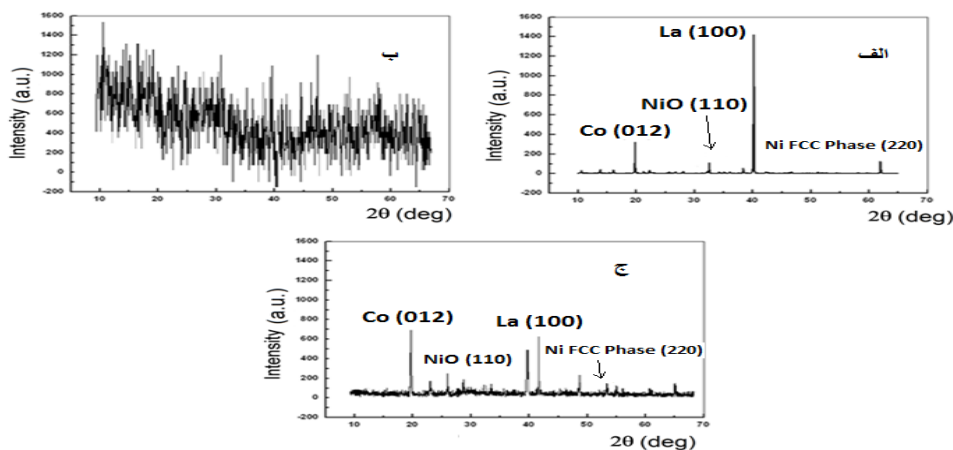
از آن نمونه را در سه دمای 300، 500 و 700 درجه سانتی‌گراد بازپخت می‌کنیم. در نهایت تأثیر هریک از این دماهای بازپخت را بر مشخصه‌های نانو ساختاری و الکتریکی به کمک تکنیک‌های تجربی مطالعه می‌کنیم.

3. نتایج و بحث

به منظور بررسی مشخصه‌های نانو ساختاری نانو کامپوزیت LNCO از تکنیک پراش پرتو ایکس استفاده کردیم. با توجه به رابطه شرر⁽¹⁵⁾:

$$\tau = \frac{K \lambda}{\beta \cos \theta} \quad (1)$$

که در آن τ ، K ، λ و β به ترتیب اندازه بلورکها، مقدار ثابت K برابر با $0/94$ ، طول موج پرتو ایکس و نیم پهنای بیشینه و زاویه براگ هستند. مطابق شکل 5، تصحیح رابطه شرر و تعیین اندازه دقیق نانو ذرات را با نرم‌افزار X-Powder انجام دادیم. در طیف پراش پرتو ایکس باریک شدن قله‌ها به منزله کوچک‌تر شدن اندازه ذرات است. سایر قله‌ها پلاسمون‌های سطحی هستند؛ به همین دلیل این قله‌های باریک مطابق شکل 1 (الف) و (ج) ساختار بلوری را نشان می‌دهند که در نمونه 1 (ب) عدم یکنواختی به علت بی‌نظمی موجود در ساختار شبکه‌ای، ساختاری بی‌شکل یا آمورف است. همان‌طور که ملاحظه می‌کنید، با تغییر دمای بازپخت، قله‌های متناظر با فازهای غالب تا حدودی جابه‌جا شده‌اند که بیانگر تغییر در فاز نانو ذرات است.

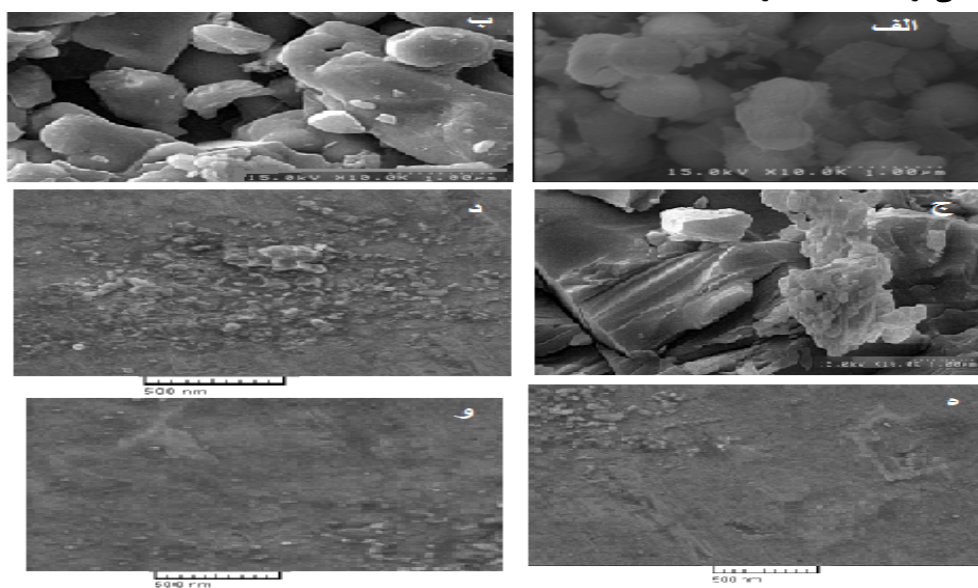


شکل 1. تصاویر پراش پرتو ایکس نانو ذرات 20 درصد وزنی لاتانایوم در نانو کامپوزیت با دمای بازپخت (الف) 300، (ب) 500 و (ج) 700 درجه سانتی‌گراد

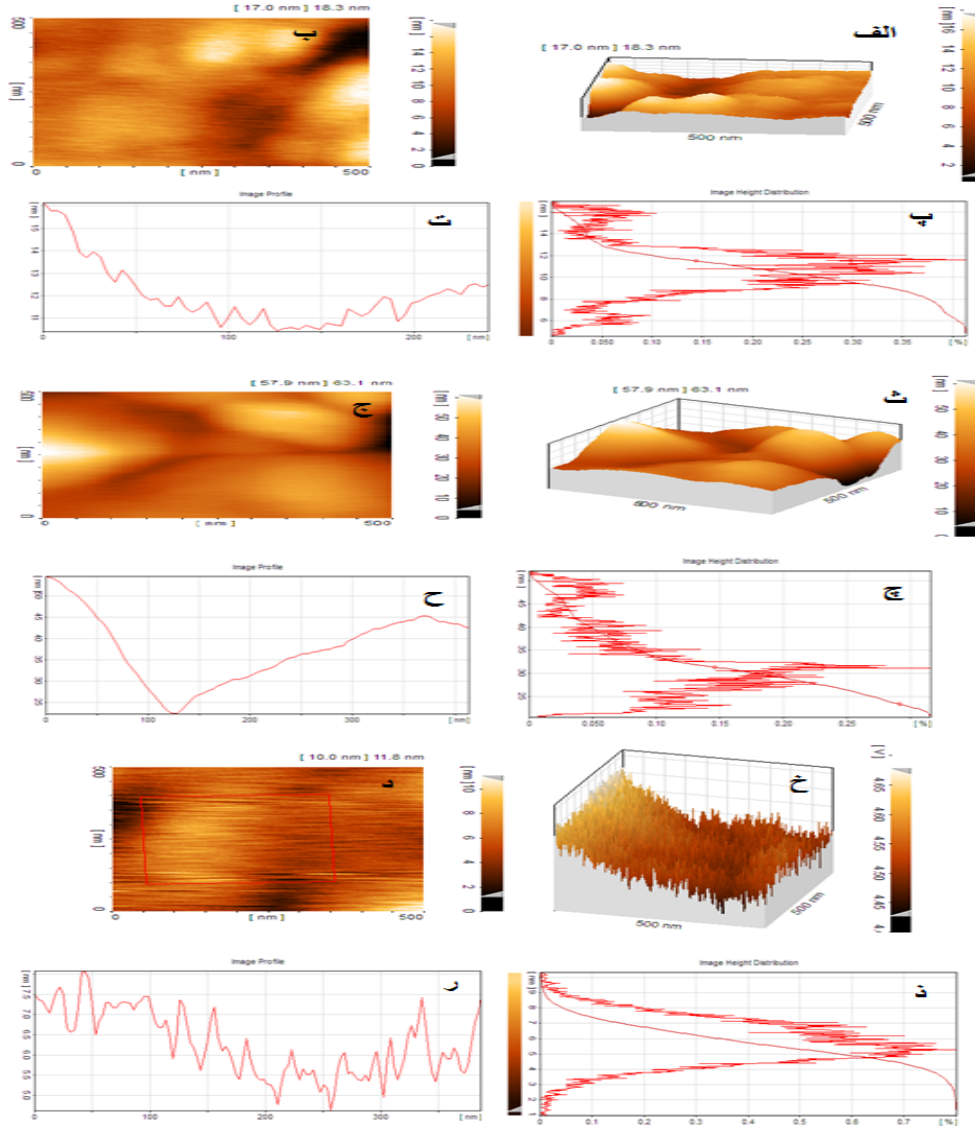
یکی از موارد مهم در مطالعه و بررسی خواص دی الکتریک عبارت است از مورفولوژی، توپوگرافی و

زبری سطح که با استفاده از تکنیک‌های میکروسکوپ الکترونی روبشی و میکروسکوپ نیروی اتمی بررسی می‌شوند. شکل 2 مورفولوژی سطحی نمونه را در مقیاس 500 و 1000 نانومتر نشان می‌دهد. همان‌طور که ملاحظه می‌کنید، هرچه سطح صاف‌تر باشد تله‌هایی که سبب گیراندازی حامل‌ها می‌شوند، کمتر می‌شود و تحرک‌پذیری افزایش می‌یابد که دلالت بر مورفولوژی بهتر آن در دمای 500 درجه سانتی‌گراد دارد (شکل 2، نمونه (ه) و (و)).

این تصاویر، بهبود مورفولوژی نمونه‌ها را نشان می‌دهند زیرا سطوح ناصاف با زبری قابل‌توجه همانند سد پتانسیل و به عبارتی تله‌هایی در عبور حامل‌ها عمل می‌کنند. همچنین می‌توان حضور نانوبلورک‌ها را در مقیاس نانومتری مشاهده کرد که بیشتر در دماهای 300 و 700 درجه سانتی‌گراد به یکدیگر چسبیده‌اند. چسبیدگی و فشردگی نانوبلورک‌ها در سطح، سبب افزایش ثابت دی‌الکتریک و در پی آن افزایش تحرک‌پذیری حامل‌ها می‌شود. این‌ها نتایج مطلوبی در جلوگیری از جریان‌های نشتی از گیت دی‌الکتریک است. (15-17)



شکل 2. تصاویر میکروسکوپ الکترونی روبشی نانو ذرات 20 درصد وزنی لانتانوم در نانوکامپوزیت با دمای بازپخت: الف) 300 مقیاس 1000 نانومتر، ب) 500 مقیاس 1000 نانومتر، ج) 700 درجه سانتی‌گراد مقیاس 1000 نانومتر، د) 300 مقیاس 500 نانومتر، ه) 500 مقیاس 500 نانومتر و و) 700 درجه سانتی‌گراد مقیاس 500 نانومتر.



شکل 3. (الف، ث و خ) تصاویر سه‌بعدی AFM، (ب، ج و د) تصاویر دو بعدی AFM، (پ، چ و ذ) تصاویر توپوگرافی و (ت، ح و ر) تصاویر زبری سطح نمونه‌ها در دمای بازپخت 300، 500 و 700 درجه سانتی‌گراد

شکل 3 تصاویر AFM نانو ذرات 20 درصد وزنی لانتانیوم در نانو کامپوزیت را در سه دمای بازپخت 300، 500 و 700 درجه سانتی‌گراد نشان می‌دهد. با توجه به تصاویر مشاهده می‌کنید که زبری

سطح نمونه‌ها در طرح x-y قابل مشاهده است. براساس تصاویر توپوگرافی در شکل 3، ساختار یکنواخت با سدها و چاه‌های دی الکتریک کمتری در دمای 500 درجه سانتی‌گراد ملاحظه می‌شود (جدول 1 را ببینید). زبری سطح به‌عنوان مشخصه آماری سطح، با تصاویر توپوگرافی در شکل 3 مشخص شده است. پارامترهای مختلف زبری همچون میانگین زبری (Sa)، میانگین زبری متوسط (Sm)، مجذور متوسط ریشه (Sq)، عمق دره (Sv)، ارتفاع قله (Sp) و ارتفاع دره - قله (Sy=Sp-Sv) برای نانو ذرات لاتانیوم در نانوکامپوزیت LNCO با استفاده از نرم‌افزار DM-SPM اندازه‌گیری شدند. رابطه میان کمیت‌های فوق، در ادامه آمده است:

(2)

$$S_a = \frac{1}{N} \sum_{l=0}^{N-1} |z(x_l)|$$

$$S_m = \frac{1}{N} \sum_{l=0}^{N-1} z(x_l)$$

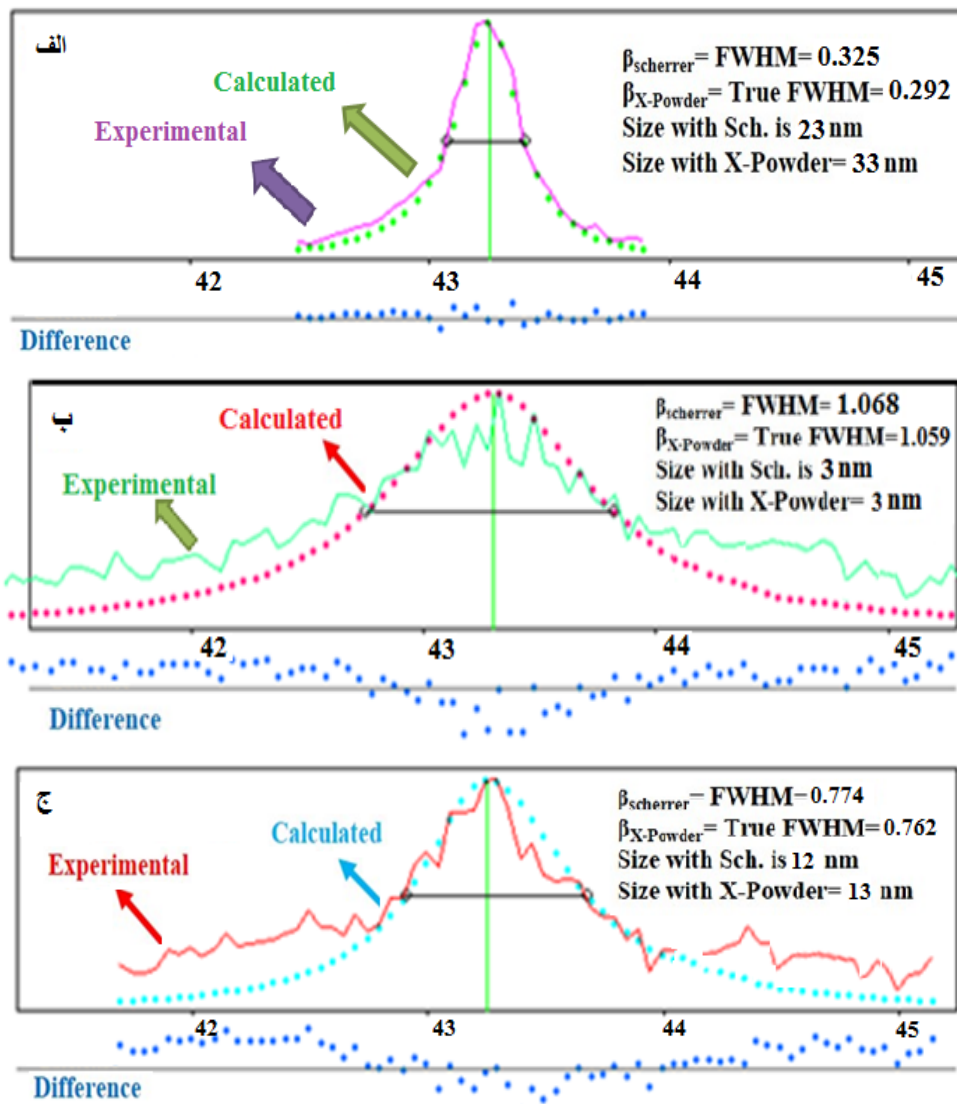
$$S_q = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{l=0}^{N-1} (z(x_l))^2}$$

جدول 1. فاکتورهای زبری نمونه‌های بازپخت‌شده در دمای 300 تا 700 درجه سانتی‌گراد با

استفاده از نرم‌افزار DM-SPM

نمونه	300°C	500°C	700°C
S _y	16.5 nm	9.26 nm	40.1nm
S _z	14.1 nm	8.73 nm	31.7 nm
S _a	4.08 nm	1.13 nm	7.29 nm
S _q	4.46 nm	1.37 nm	8.96 nm

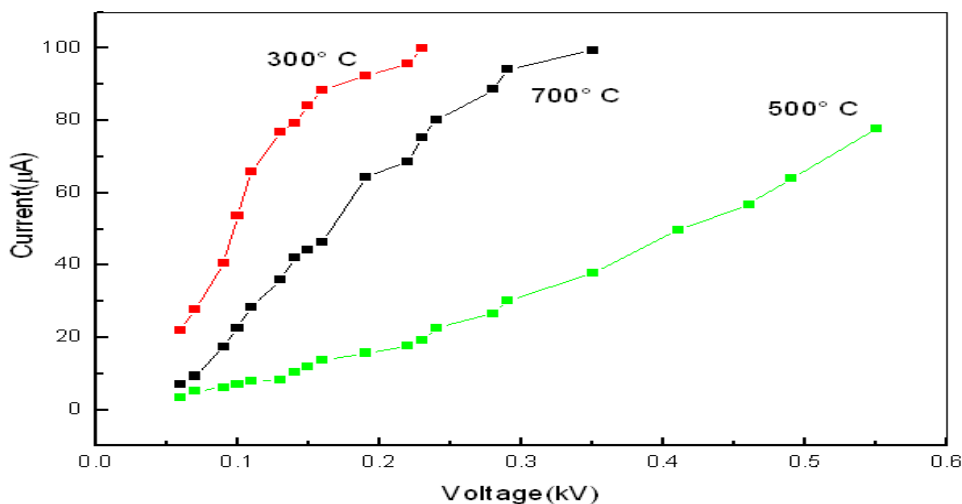
مطابق جدول 1، ساختار بلوری برای سایر نمونه‌ها جز نمونه بازپخت‌شده در دمای 500 درجه، زبری بیشتری را نشان می‌دهد که می‌تواند بر تحرک‌پذیری نمونه‌ها در نتیجه کاهش سرعت و بیشتر شدن تله‌ها مؤثر باشد.⁽¹⁷⁾ همان‌طور که در تصاویر شکل 4 ملاحظه می‌کنید، علاوه بر رابطه شرر تصحیحاتی هم به کمک تکنیک X-Powder انجام شده است که گستره اندازه بلورک‌ها را از 3 تا 33 نانومتر به دست می‌دهد.



شکل 4. اندازه نانو ذرات مطابق شکل 1 با استفاده از نرم افزار X-Powder

شکل 5، ویژگی جریان برحسب ولتاژ را برای سه نمونه نشان می دهد. پاسخ خطی نمونه بازپخت شده در دمای 500 درجه سانتی گراد نشان می دهد تماس LNCO با الکترود NiO اهمی است. وقتی ولتاژ مثبت به LNCO اعمال شود، واکنش دیوید نشان از شکل گیری سد شاتکی در دو نمونه بازپخت شده در دماهای 300 و 700 درجه سانتی گراد دارد. تمامی نتایج به دست آمده از تصاویر پراش پرتو ایکس، میکروسکوپ الکترونی روبشی و

میکروسکوپ نیروی اتمی نشان می‌دهند دمای بازپخت 500 درجه سانتی‌گراد، دمای مطلوبی برای ساخت گیت دی الکتریک در نتیجه نفوذ کمتر عنصر بور از میان گیت دی الکتریک و جریان نشستی کمتر نسبت به سایر نمونه‌ها با توجه به نمودار جریان - ولتاژ در شکل 5 است.



شکل 5. منحنی جریان - ولتاژ برای نمونه LNCO پخت داده شده در سه دمای متفاوت

به موازات مطالعات بالا، خازنی را با استفاده از ماده دی الکتریک LNCO ساختیم و مقاومت (R)، ظرفیت (C)، فاکتور کیفیت (QF) و ثابت دی الکتریک (K) آن را با استفاده از دستگاه GPS 132A اندازه‌گیری کردیم. نتایج جدول 2 نشان می‌دهد نمونه 20 درصد وزنی در دمای 500 درجه سانتی‌گراد، ثابت دی الکتریک و فاکتور کیفیت بالاتری نسبت به سایر نمونه‌ها دارد. همچنین ثابت دی الکتریک نمونه‌ها حدود 37 به دست آمده است که بسیار بزرگ‌تر از ثابت دی الکتریک اکسید سیلیکون (3/9) در ترانزیستورهای اثر میدانی است.

جدول 2. خواص الکتریکی نانو کامپوزیت LNCO در دماهای بازپخت مختلف

دما	Q_F	D_F	(R) $M\Omega$	(C) Pf	K
300°C	0.983	1.017	6.435	10.1	30.05
500°C	1.032	0.969	0.937	12.4	37.3
700°C	0.453	2.207	1.528	9.9	29.56

ثابت دی الکتریک بالاتر برای نمونه سنتز شده در دمای 500 درجه سانتی‌گراد می‌تواند در نتیجه کاهش نقایص سطحی با توجه به مورفولوژی و توپوگرافی خوب سطح در تصاویر SEM و AFM باشد.

4. نتیجه گیری

بیشتر دی الکتریک‌های بی‌شکل با ثابت دی الکتریک بالا در اثر اعمال رفتار حرارتی تمایل به بلوری شدن پیدا می‌کنند؛ بنابراین ساختار بی‌شکل نمونه می‌تواند به‌عنوان دی الکتریک مطلوب در تولیدات آتی نانوقطعات الکترونیکی در نظر گرفته شود. حضور نانو ذرات لانتانیم در کامپوزیت، توزیع بار و همچنین تحرک‌پذیری حامل‌ها را در لایه میانی کامپوزیت‌های La_2O_3 ، NiO و LNCO تحت تأثیر قرار می‌دهد. این تغییرات در منحنی جریان - ولتاژ ترانزیستورهای اثر میدانی ملاحظه می‌شود؛ بنابراین نمونه‌های LNCO/ La پخت‌داده شده در دمای 500 درجه سانتی‌گراد با توجه به ساختار سطحی خوب می‌توانند گزینه مطلوبی به‌عنوان گیت دی الکتریک نانو ترانزیستورهای اثر میدانی باشند.

منابع

1. F. Yan, P. Estrela, Y. Mo, P. Migliorato & H. Maeda, "Polycrystalline silicon ISFETs on glass substrate", *Sensors*, 5 (2005) pp. 293-301.
2. Y. C. Yeo, P. Ranade, T. J. King, C. Hu, "Effects of High-k Gate Dielectric Materials on Metal and Silicon Gate Workfunctions", *IEEE Elec. Device Lett.*, 23 (2002), pp. 342-354.
3. M. H. Chowdhury, M. A. Mannan & S. A. Mahmood, "High-k Dielectrics for Submicron MOSFET", *IJETSE*, 2 (2010), pp. 1-20.
4. L. A. Golovan & V. Yu. Timoshenko, "Nonlinear-Optical Properties of Porous Silicon Nanostructures", *JNO*, 8 (2013), pp. 223-239.
5. Kenji Nomura, Hiromichi Ohta, Kazushige Ueda, Toshio Kamiya, Masahiro Hirano, Hideo Hosono (2004), "All oxide transparent MISFET using high-k dielectrics gates", *Microelectronic Engineering*, 72, pp. 294-298.
6. J. Zhu, Z. G. Liu, Y. R. Li (2005), "HfAlON films fabricated by pulsed laser ablation for high-k gate dielectric applications", *Mater. Lett.*, 59, pp. 821-825.
7. D. H. Lee, J. H. Lee, D. W. Kim, B. K. Kim an H. J. Je (2010), "Enhanced dielectric constant of polymer-Matrix composites using Nano BaTiO₃ agglomerates", *Journal of the Ceramic Society of Japan*, 118, pp. 62-65.
8. H. H. Tseng, D. L. O'Meara, P. J. Tobin, V. S. Wang, X. Guo, R. Hegde, I. Y. Yang, P. Gilbert, R. Cotton, L. Hebert, "Reduced gate leakage current and boron penetration of 0.18 mm 1.5 MOSFETs using integrated RTCVD oxynitride.
9. R. P. Ortiz, A. Facchetti, T. J. Marks (2010), "High-k Organic, Inorganic, and Hybrid Dielectrics for Low-Voltage Organic Field-Effect Transistors", *Chem. Rev.*, 110, p. 205.
10. J. Jang, S. Nam, J. Hwang, J. Park, J. Im, C. Im and J. Min Kim (2012), "Photocurable polymer gate dielectrics for cylindrical organic field-effect transistors with high bending stability", *Journal of Materials Chemistry*, 22, pp. 1054-1060.
11. M. H. Yoon, C. Kim, A. Facchetti & T. J. Marks (2006), "Gate dielectric chemical structure-organic field-effect transistor performance correlations for electron, hole, and ambipolar organic semiconductors", *J Am Chem Soc*, 4, pp. 12851-12869.
12. J. Sheng, S. Zhang, S. Lv, W. Sun (2007), "Surfactant-assisted synthesis and characterization of lanthanum oxide nanostructures", *J. Mater. Sci.*, 42, pp. 65-95.
13. D. Tsoutsou, G. Scarel, A. Debernardi, S. C. Capelli, S. N. Volkos, L. Lamagna, S. Schamm, P. E. Coulon, M. Fanciulli (2008), "Infrared spectroscopy and X-ray diffraction studies on the crystallographic evolution of La₂O₃ films upon annealing", *Microelect. Eng.*, 85, pp. 11-24.
14. V. Fiorentini, G. Gulleri (2002), "Theoretical evaluation of zirconia and hafnia as gate oxides for Si microelectronics", *Phys. Rev. Lett.*, 89, 266101-266104.
15. A. Hayati and A. Bahari (2015), "Electrical properties of NiO/PVC nano hybrid composites for organic field effect transistors", *Indian J Phys.* 89 (1), pp. 45-54.
16. A. Hayati and A. Bahari (2014), "Investigation of Electrical and Optical Characteristics of Nanohybride Composite (Polyvinyl Alcohol/Nickel Oxide)", *JNS* 4, pp. 9-16.
17. A. Bahari and A. Hayati (2014), "Synthesis and study of electrical properties of NiO/PVC nanohybride composites as a gate dielectric material of OFET", *Applied Physics (Elzahrah)*, 2, pp. 23-37.