

SID



ابزارهای
پژوهش



سرویس ترجمه
تخصصی



کارگاه های
آموزشی



بلاگ
مرکز اطلاعات علمی



سامانه ویراستاری
STES



فیلم های
آموزشی

کارگاه های آموزشی مرکز اطلاعات علمی



آموزش مهارت های کاربردی در تدوین و چاپ مقالات ISI

آموزش مهارت های کاربردی
در تدوین و چاپ مقالات ISI



روش تحقیق کمی

روش تحقیق کمی



آموزش نرم افزار Word برای پژوهشگران

آموزش نرم افزار Word
برای پژوهشگران

اثر دما بر فاز و ریزساختار سطح لایه‌های نازک تیتانات باریم استرانسیم تولید شده به روش لیزر

پالسی

ساروخانی، زهرا^۱؛ طهماسبی، نعمت^۲؛ مهدوی، سیدمحمد^۳؛ نعمتی، علی^۱^۱دانشکده مهندسی و علم مواد، دانشگاه صنعتی شریف، خیابان آزادی، تهران^۲دانشکده‌ی علوم پایه، دانشگاه صنعتی جندی شاپور، دزفول، خوزستان^۳دانشکده فیزیک، دانشگاه صنعتی شریف، خیابان آزادی، تهران^۴پژوهشکده علوم و فناوری نانو، دانشگاه صنعتی شریف، خیابان آزادی، تهران

چکیده

در این پژوهش، با استفاده از روش لایه نشانی پالس لیزر، لایه‌های نازک $(Ba_{0.6}Sr_{0.4})TiO_3$ بر روی زیرلایه Si/SiO_2 لایه‌نشانی شد. پس از لایه نشانی، نمونه‌ها در سه دمای متفاوت $650^\circ C$ ، $720^\circ C$ ، $800^\circ C$ به مدت 50 دقیقه در اتمسفر اکسیژن پخت شدند. برای بررسی اثر تغییرات دما بر ساختار کریستالی و مورفولوژی لایه‌ها از آنالیزهای AFM XRD و SEM استفاده شد. بر اساس نتایج بدست آمده، مشخص شد که ساختار آمورف ایجاد شده پس از لایه نشانی، با پخت نمونه‌ها به ساختار پلی‌کریستال تبدیل می‌شود. همچنین افزایش دما منجر به شکل‌گیری فازهای پروسکایت مکعبی شد. با افزایش دما، شدت پیک‌های کریستالی و اندازه‌ی دانه‌ها و خوشه‌ها افزایش یافت و در $800^\circ C$ تجزیه‌ی BST رخ داده است. در دماهای بالا به دلیل کاهش تنش‌های ایجاد شده در حین لایه نشانی و همچنین رشد غیرهموزن، شاهد افزایش زبری با افزایش دما بودیم. در $650^\circ C$ بیشترین یکنواختی در سطح مقطع دانه‌ها مشاهده شد.

Effect of temperature on crystalline phases and microstructure of barium strontium titanate grown by pulsed laser deposition

^۱Saroukhani, Zahra; ^۲Tahmasebi, Nemat; ^{۳,۴}Mahdavi, Seyed Mohammad; ^۱Nemati, Ali^۱Department of Material Science and Engineering, Sharif University of Technology, Azadi Ave, Tehran^۲Department of Science, Jundi Shapur University, Dezful, Khuzestan^۳Department of Physics, Sharif University of Technology, Azadi Ave, Tehran^۴Institute for Nanoscience and Nanotechnology, Sharif University of Technology, Azadi Ave, Tehran

Abstract

In this paper, $(Ba_{0.6}Sr_{0.4})TiO_3$ (BST) thin film has been deposited on the Si/SiO_2 substrate by pulsed laser deposition technique. After deposition, samples have been annealed for 50 minutes in oxygen ambient at three different levels of temperature: $650^\circ C$, $720^\circ C$, $800^\circ C$ and the effect of thermal treatment on the films was investigated by using (XRD), (AFM) and (SEM) analysis method. Results indicate that amorphous structure deposited on samples, would turn into polycrystalline structure due to being annealed. In addition, the enhancement of temperature would lead to formation of cubic and perovskite phase, and improvement in crystalline peak and increasing the size of grains and clusters and also resulting in decomposition of BST at $800^\circ C$. More roughness was also found at higher temperature as a result of more heterogeneous growth and less tensions. Furthermore, the most uniform cross section in grains was reached at $650^\circ C$.

مقدمه

استفاده قرار می‌گیرد. یکی از اهداف بهینه‌سازی آن، رسیدن به دانسیته‌ی ذخیره‌ی بار بیشتر و کاهش ابعاد خازن است. از ویژگی‌های قابل توجه BST می‌تواند: ثابت دی‌الکتریک بالا،

BST یا تیتانات باریم استرانسیم $(Ba_{1-x}Sr_xTiO_3)$ ، جزو مواد فروالکتریک محسوب می‌شود که در خازن‌های دی‌الکتریکی مورد

بررسی فازهای کریستالی و ریزساختار سطحی از آنالیزهای XRD, AFM و SEM استفاده شد.

بررسی نتایج

روش پراش پرتو X (XRD)، از آن جهت که روش مستقیمی برای تعیین نوع فازها و ساختار بلورین مواد است، بسیار اهمیت دارد. طیف XRD از فیلم نازک BST پس از لایه‌نشانی و قبل از پخت (که در اینجا نشان داده نشده است)، نشان دهنده ساختار آمورف است که دلیل آن، سرعت بالای ذرات کنده شده از ماده‌ی هدف در حین نشست روی سطح زیرلایه و دمای پایین زیرلایه در حین لایه‌نشانی است که زمان کافی و امکان دریافت انرژی برای تشکیل ساختارهای کریستالی فراهم نمی‌شود.

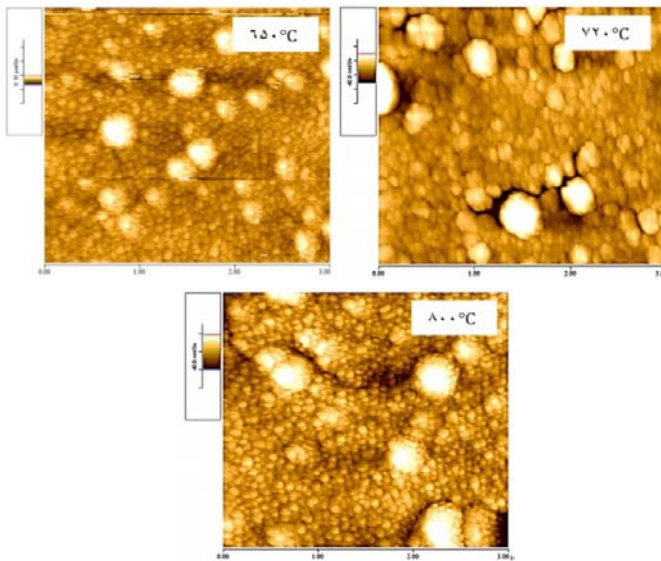
کریستاله شدن فاز پروسکایتی غیرکریستالی، توسط جوانه‌زنی و رشد فاز پروسکایتی کنترل می‌شود. تحقیقات نشان داده‌اند که انرژی اکتیواسیون جوانه‌زنی خیلی بیشتر از رشد فاز پروسکایتی است، بنابراین کریستالیزاسیون فاز پروسکایتی عموماً توسط جوانه زنی کنترل می‌شود [3]. با پخت نمونه‌ها در کوره و تامین انرژی لازم برای ایجاد جوانه‌های فاز بلورین، ساختارهای کریستالی پدیدار می‌شوند. همان‌طور که به‌خوبی در شکل 1 مشاهده می‌شود، در تمامی دماها، پیک‌های ظاهر شده نشان دهنده تشکیل ساختار مکعبی پروسکایتی است. بنابراین می‌توان گفت لایه‌های آمورف BST پس از انجام عملیات حرارتی، به ساختار پلی کریستال تبدیل شده‌اند و با افزایش دما، شدت پیک‌های کریستالی افزایش می‌یابد. در دمای 600°C ، قوی‌ترین پیک مربوط به صفحه‌ی (۱۱۰) است و پیک (۱۰۰) به دلیل عدم تطابق بین زیرلایه و فیلم نازک BST شدت کمی دارد [4]. با افزایش دما تا 720°C ، شدت هر دو پیک افزایش می‌یابد ولی میزان افزایش شدت پیک (۱۱۰) بیشتر است. در دمای 800°C ، میزان افزایش شدت پیک (۱۰۰) بیشتر از پیک (۱۱۰) می‌شود. علت این است که صفحات (۱۰۰) کمترین سرعت رشد را دارند و از آنجایی که جهت‌گیری ترجیحی به انرژی سطحی مربوط می‌شود و صفحات (۱۰۰)، صفحات فشرده‌ی اکسیژنی هستند که کمترین انرژی سطحی را نیز دارا می‌باشند [5]؛ پس با افزایش دما، انرژی لازم برای حرکت و چرخش و جای‌گیری مجدد صفحات فراهم می‌شود و شدت پیک‌های

جریان نشستی کم، افت دی‌الکتریک ناچیز، عدم بروز مشکلات مربوط به خستگی و پیری، رابطه خطی بین میدان الکتریکی و پلاریزاسیون و دمای کوری پایین اشاره شود [1]. ثابت دی‌الکتریک بالا در این ساختار، از جابه‌جایی یون تیتانیوم از مرکز هشت وجهی اکسیژن ناشی می‌شود. در دمای اتاق به ازای $0/3 < x < 1$ ساختار مکعبی و به ازای $0 < x < 0/3$ ساختار تتراگونال است. برای کاربردهای DRAM، ساختار مکعبی با ثابت دی‌الکتریک بالا ترجیح داده می‌شود. در دمای اتاق، زمانی که ترکیب $x=0/3$ را داریم، اعوجاج تتراگونال فیلم BST با انتقال فازی از حالت پارالکتریک به فروالکتریک همراه می‌شود [2].

در این پژوهش، از روش لایه‌نشانی با لیزر پالسی برای ساخت لایه‌ها استفاده شد. در میان روش‌هایی که تا به امروز در ساخت فیلم نازک مورد استفاده قرار گرفته‌اند، روش لایه‌نشانی با لیزر پالسی به دلیل حفظ استوکیومتری و قابلیت پوشاندگی بالا (که در خازن‌ها بسیار حائز اهمیت است)، همواره مورد توجه بوده است.

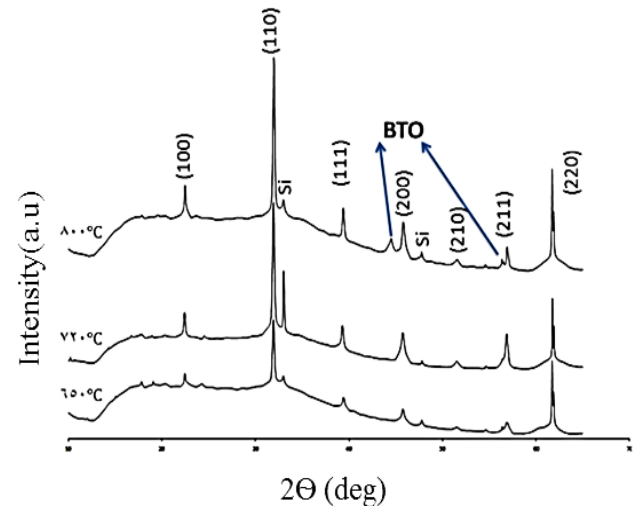
مراحل تجربی

در دستگاه پالس لیزر برای انجام لایه‌نشانی از محفظه‌ی خلاء استفاده می‌شود که با استفاده از یک پمپ توربو، تا فشار زمینه‌ی 10^{-5} Torr تخلیه می‌گردد. لیزر مورد استفاده، لیزر اگزایمر (کریپتون فلوراید)، با طول موج 248 nm ، نرخ تکرار 10 Hz و انرژی لیزر 300 mJ/pulse است که پرتو آن با زاویه 45° به ماده‌ی هدف برخورد می‌کند. ماده‌ی هدف، پودر تیتانات باریم استرانسیم است که با استفاده از پرس به صورت قرصی استوانه‌ای به قطر 14 mm و ضخامت 10 mm درآمده است. فشار اکسیژن محفظه در حین لایه‌نشانی، 100 mTorr و دمای زیرلایه 300°C است. لایه‌های نازک تیتانات باریم استرانسیم بر روی سطح تک کریستال سیلیکون با صفحه‌ی (۱۰۰)، (که به روش‌های استاندارد شستشو شده‌اند)، نشانده می‌شوند. زیرلایه‌های سیلیکونی با ابعادی کمتر از مساحت $1 \times 1 \text{ cm}^2$ ، در فاصله‌ی $4/5 \text{ cm}$ از ماده‌ی هدف و موازی با آن قرار داده می‌شوند. پس از اتمام عملیات لایه‌نشانی، نمونه‌ها به مدت ۵۰ دقیقه در اتمسفر اکسیژن و در دماهای 650°C ، 720°C و 800°C پخت می‌شوند. برای



شکل 2. تصاویر AFM دوبعدی مربوط به فیلم نازک BST عملیات حرارتی می‌شود. در حین عملیات لایه نشانی توسط دستگاه پالس لیزر، تنش‌های شدیدی در فیلم نازک BST ایجاد می‌شود که به نظر می‌رسد یکی از عوامل در افزایش زبری سطح در حین پخت نمونه‌ها، ریلکس شدن این گونه تنش‌ها در حین پخت لایه است [7]. با افزایش دما تا 800°C ، مقدار قابل توجهی افزایش در میزان زبری مشاهده می‌شود که دلیل آن، افزایش غیریکنواخت و غیرهموزن ابعاد دانه‌ها است. پس با افزایش دمای پخت، انتظار می‌رود به هنگام اعمال میدان الکتریکی به فیلم نازک BST، دانسیته میدان الکتریکی در لبه‌ها نسبت به بخش‌های با سطح صاف بیشتر باشد، که منجر به افت خواص دی‌الکتریکی می‌شود [7]. از طرف دیگر، افزایش دمای پخت در محیط اکسیژن، علاوه بر کاهش غلظت جای خالی اکسیژنی، بزرگ‌تر شدن دانه‌ها و متعاقباً افزایش دانسیته‌ی دوقطبی‌ها را در پی دارد که می‌تواند باعث بهبود خواص دی‌الکتریکی شود [8]. از طرف دیگر مطابق شکل 2، مقایسه لایه‌های پخت شده در دماهای 650°C و 800°C نشان می‌دهد هرچه دانسیته‌ی جای خالی اکسیژنی بیشتر باشد، یعنی در دماهای کمتر عملیات پخت، مرز دانه‌ها نامشخص‌تر هستند.

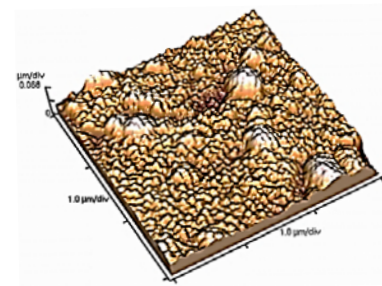
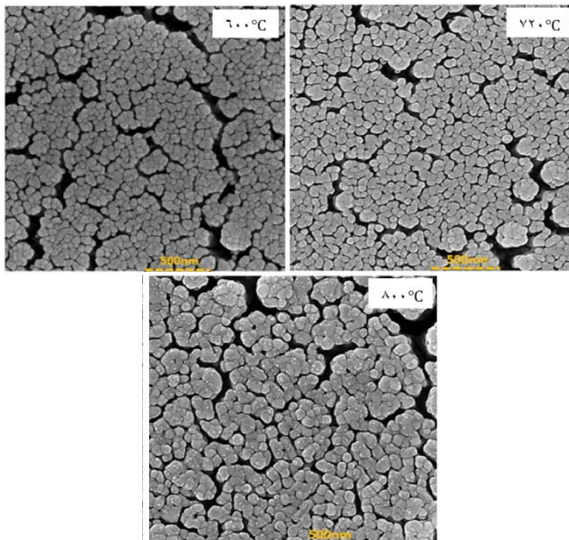
در شکل 3، تصویر سه بعدی سطح لایه‌ی پخت شده در دمای 800°C نشان داده شده است. در این شکل، ارتفاع متوسط قله‌ها $18/7\text{nm}$ است که می‌توان گفت امکان ستونی بودن ساختار لایه وجود دارد.



شکل 1. الگوی XRD مربوط به فیلم نازک تیتانات باریم استرانسیم پخت شده در سه دمای متفاوت

(100) بهبود می‌یابد و حتی می‌توان پیش‌بینی کرد که در دماهای بیش از 800°C ، ممکن است شدت پیک (110) کاهش یابد [6]. علاوه بر این، در دمای 800°C دو پیک جدید (که در شکل 1 مشخص شده‌اند) داریم که در دماهای پایین‌تر مشاهده نمی‌شوند. این پیک‌ها مربوط به BaTiO_3 (BTO) هستند و نشان می‌دهند که فیلم نازک BST در دماهای بالا ناپایدار است و به ترکیبات سازنده‌اش تجزیه می‌شود؛ صفحات مربوط به BTO نیز (200) و (211) می‌باشند.

مشخصه‌یابی مورفولوژی سطح و اندازه‌ی دانه‌ها در فیلم نازک BST توسط آنالیز AFM انجام شد. در شکل 2، تصاویر دوبعدی AFM مربوط به فیلم نازک BST در سه دمای پخت متفاوت نشان داده شده‌است. نتایج آنالیز AFM نشان می‌دهد متوسط اندازه‌ی دانه‌ها با پخت فیلم نازک BST در دماهای بالاتر از 720°C ، به دلیل فراهم بودن انرژی لازم برای نفوذ، زیترینگ و پیوستن دانه‌های کوچک به دانه‌های بزرگ‌تر، افزایش می‌یابد. متوسط اندازه‌ی دانه‌های بدست آمده برای نمونه‌های پخت شده در دمای 650°C ، 720°C و 800°C به ترتیب برابر با $46/18\text{nm}$ ، $57/70\text{nm}$ و $67/82\text{nm}$ است. علاوه بر این، مقدار زبری سطح (Rms) برای نمونه‌های پخت شده در دمای 650°C ، 720°C و 800°C به ترتیب برابر با $3/5\text{nm}$ ، $3/64\text{nm}$ و $4/66\text{nm}$ است. در محدوده‌ی دمایی 650°C تا 720°C ، تغییرات کمی در مقدار زبری فیلم نازک BST مشاهده



شکل 3: تصویر AFM سه‌بعدی از سطح فیلم BST پس از پخت در 800°C در شکل 4، آنالیز SEM مربوط به نمونه پس از لایه نشانی و قبل از پخت نشان داده شده‌است. همان‌طور که در این تصویر مشاهده می‌شود، سطح نمونه صاف و یکنواخت است و ساختار کریستالی با جهت گیری مشخص دیده نمی‌شود. ذرات بزرگ مربوط به قطره‌هایی است که در حین لایه نشانی بر روی نمونه قرار گرفته‌اند در شکل 5، تصاویر آنالیز SEM مربوط به نمونه‌هایی که در سه دمای متفاوت پخت شده‌اند، مشاهده می‌شود. مطابق شکل 5، پخت لایه‌ها در دماهای بالا باعث افزایش اندازه‌ی دانه‌ها و نیز تشکیل ساختار پلی‌کریستال می‌شود. همچنین مشاهده می‌شود که



شکل 4: آنالیز SEM از نمونه، قبل از پخت در کوره

دانه‌ها هم محوراند و ابعاد نسبتاً یکنواخت دارند. در تأیید مطالب گفته شده مربوط به نتایج آنالیز AFM، به نظر می‌رسد پخت لایه‌ها در دماهای بالا منجر به یک رشد ستونی با توزیع هموزن در سراسر فیلم شده‌است. همچنین همان‌طور که انتظار می‌رفت، با افزایش دمای پخت به دلیل کم شدن جای‌خالی‌های اکسیژنی، مرز دانه‌ها مشخص‌تر می‌شوند که در تصویر 5 نیز این مسئله قابل مشاهده است.

نتایج

در این پژوهش، اثر دمای پخت بر روی تشکیل فازهای کریستالی و ریزساختار سطحی لایه‌ی نازک BST، که به روش پالس لیزر بر روی زیرلایه سیلیکون لایه‌نشانی شده بود، مورد بررسی قرار

شکل 5: تصاویر SEM فیلم نازک BST که در سه دمای متفاوت پخت شده‌اند گرفت. نتایج آنالیز XRD، نشان دهنده‌ی تشکیل ساختارهای پلی‌کریستال مکعبی پروسکایتی پس از پخت در دماهای بالا است، و به دلیل کمتر بودن سرعت رشد و انرژی سطحی صفحات (100)، با افزایش دمای پخت، شدت این پیک‌ها افزایش می‌یابد. علاوه بر این، در طیف XRD لایه پخت شده در دمای 800°C پیک‌های مربوط به BTO نیز مشاهده شد که نشان می‌دهد لایه BST در دمای 800°C و بالاتر از آن، ناپایدار بوده و تجزیه می‌شود. همچنین نتایج بدست آمده از آنالیزهای SEM و AFM نشان داد پخت لایه‌ها باعث بزرگ شدن اندازه‌ی دانه‌ها، رشد غیرهمگن دانه‌ها و ریلکس شدن تنش‌های ایجاد شده در حین لایه‌نشانی می‌شود، که موارد ذکر شده دلایلی برای افزایش زبری با افزایش دمای پخت است.

مراجع

- [1] S. Ezhilvalavan, Tseung-Yuen Tseng; *Materials Chemistry and Physics*; **65** (2000) 227–248
- [2] T. Rimmel, R. Gregory, B. Baumert; "Characterization of Barium Strontium Titanate Films Using XRD"; International Centre for Diffraction Data. (1999)
- [3] N. Sugii, K. Takagi; *Thin Solid Films* **323** 1998 63–67
- [4] H.Z. Jin, J. Zhu, P. Ehrhart, F. Fitsilis, C.L. Jia, S. Regnery, K. Urban, R. Waser; *Thin Solid Films* **429** (2003) 282–285.
- [5] X.G. Tang, H.F. Xiong, L.L. Jiang, H.L.W. Chan; *Journal of Crystal Growth* **285** (2005) 613 – 619
- [6] Z. Xiaohong, Z. Dongning, P. Wei, Z. Jianguo, Y. Xiaowu, L. Jie, Z. Mingjian, C. Yingfei, T. Haiyan, X. Xiaoping; *Materials Letters* **58** (2004) 3591 – 3596.
- [7] S. Xing, Z. Song, C. Lin; *Materials Letters* **54** (2002) 447 – 451
- [8] X.H. Zhu, D.N. Zheng, H. Zeng, W. Peng, J.G. Zhu, X.W. Yuan, L.P. Yong, J. Miao, J.Li, H.Y. Tian, X.P. Xu; *Thin Solid Films* **496** (2006) 376 – 382.

SID



ابزارهای
پژوهش



سرویس ترجمه
تخصصی



کارگاه های
آموزشی



بلاگ
مرکز اطلاعات علمی



سامانه ویراستاری
STES



فیلم های
آموزشی

کارگاه های آموزشی مرکز اطلاعات علمی



تازه های آموزش
آموزش مهارت های کاربردی در تدوین و چاپ مقالات ISI

آموزش مهارت های کاربردی
در تدوین و چاپ مقالات ISI



تازه های آموزش
روش تحقیق کمی

روش تحقیق کمی



تازه های آموزش
آموزش نرم افزار Word برای پژوهشگران

آموزش نرم افزار Word
برای پژوهشگران