بیستمین کنفرانس اپتیک و فوتونیک ایران
و ششمین کنفرانس مهندسی و فناوری فوتونیک ایران
۸ تا ۱۰ بهمن ماه۱۳۹۲ - دانشگاه صنعتی شیراز

لایه نشانی و مشخصه یابی فیلم نازک باریم استرانتیم تیتانایت به روش لایه نشانی لیزر پالسی

هاجر کاظمی[۱]، زهرا سادات عزیزی[۲]، سیده مهری حمیدی[۲]، محمد مهدی طهرانچی[۱و۲] و مرتضی مظفری[۳]

[۱]دانشکده فیزیک، دانشگاه شهید بهشتی، تهران
[۲]پژوهشکده لیزر و پلاسما، دانشگاه شهید بهشتی، تهران
[۳]دانشکده فیزیک، دانشگاه اصفهان، اصفهان

چکیده - فیلم‌های نازک فرو الکتریک کاربرد وسیعی در قطعات میکروالکترونیکی دارند. در این قطعات وجود تابعیت غیر خطی ثابت دی الکتریکی به میدان الکتریکی ضروری است. از جمله مواد فرو الکتریک مناسب، باریم استرانتیم تیتانایت است. در این جا باریم استرانتیم تیتانایت با ترکیب شیمیایی $Ba_{0.5}Sr_{0.5}TiO_3$ به روش لایه‌نشانی لیزر پالسی بر روی زیرلایه‌ی $Pt/Ti/SiO_2/Si$ لایه نشانی شده است. نتایج لایه نشانی از جمله خصوصیات ساختاری و مورفولوژی سطح فیلم، به ترتیب با پراش اشعه‌ی ایکس (*XRD*) و میکروسکوپ نیروی اتمی (*AFM*) بررسی شده است.

کلید واژه- باریم استرانتیم تیتانایت، لایه نشانی لیزر پالسی، پراش اشعه ایکس، میکروسکوپ نیروی اتمی.

The Deposition and characterization of barium strontium titanate thin film by the pulsed laser deposition method

Hajar Kazemi[1], Zahra Sadat Azizi[2], Seydeh Mehri Hamidi[2], Mohammad Mehdi Tehranchi[1,2] and Morteza Mozafari[3]

[1]Departman of physics, Shahid Beheshti University, Tehran
[2]Laser and Plasma Research Institute, Shahid Beheshti University, Tehran

[3]Departman of physics, Esfahan University, Esfahan

Abstract- The Ferroelectric thin films are widely used in microelectronic devices. It is important for these devices to have nonlinear dependence on electrical field. A good candidate is Barium Strontium Titanate (BST). BST thin film ($Ba_{0.5}Sr_{0.5}TiO_3$) has been deposited on $Pt/Ti/SiO_2/Si$ substrates by pulsed laser deposition method with different area of one. The structure characterization and surface morphology of the BST thin films was performed by X-ray diffraction (XRD) and atomic force microscopy (AFM).

Keywords: Barium Strontium Titanate, Pulsed laser deposition, X-ray diffraction, Atomic force microscopy.

[Downloaded from www.opsi.ir on 2026-11-05]

۱- مقدمه

در دهه‌ی اخیر، فیلم نازک باریم استرانتیم تیتانایت[1](BST) در حافظه های DRAM [۱]، خازن های کنارگذر [۲]، آشکارساز فرو سرخ [۳] و ابزار کوک‌پذیر میکروویو [۴] مورد استفاده قرار می‌گیرد. در این کاربردها عموما از مواد فروالکتریک دارای سرب استفاده می‌کنند. ماده BST، به علت پایداری گرمایی خوب، وابستگی غیرخطی ثابت دی الکتریک به میدان الکتریکی و سازگاری با محیط زیست در مقایسه با فیلم های نازک دارای سرب، مورد توجه قرار گرفته است [۳].

در این مقاله، لایه نشانی فیلم نازک باریم استرانتیم تیتانایت برای استفاده در قطعات کوک‌پذیر میکروویو گزارش شده است. خصوصیات الکتریکی فیلم باریم استرانتیم تیتانایت تاثیر بسزایی در عملکرد قطعه دارد. تفاوت بین ثابت شبکه‌ی زیرلایه و فیلم یکی از عوامل موثر بر خصوصیات الکتریکی فیلم است. با توجه به نزدیکی ثابت شبکه پلاتین(39/2nm) به فیلم باریم استرانتیم تیتانایت(39/4nm) در اینجا از $Pt/Ti/SiO_2/Si$ به عنوان زیرلایه استفاده شده است.

فرآیند ساخت فیلم نازک BST و شرایط لایه نشانی تاثیر بسزایی بر خصوصیات الکتریکی فیلم نازک دارد. برای ایجاد فیلم نازک باریم استرانتیم تیتانایت روش های لایه نشانی متعددی از جمله سل-ژل[2]، RF Sputtering، لایه نشانی بخار شیمیایی فلز آلی[3] (MOCVD) و لایه نشانی لیزر پالسی[4] (PLD) مورد استفاده قرار می‌گیرد[۱،۴].

در این مطالعه، فیلم نازک BST نیاز به استوکیومتری شیمیایی و رشد همبافته بر زیر لایه دارد. در اینجا برای کنترل استوکیومتری و کیفیت بالای فیلم، از روش PLD استفاده شده است. و برای بررسی ساختار بلوری فیلم و موفولوژی سطح آن به ترتیب پراش اشعه‌ی ایکس[5] (XRD) و میکروسکوپ نیروی اتمی[6] (AFM) بکار رفته است.

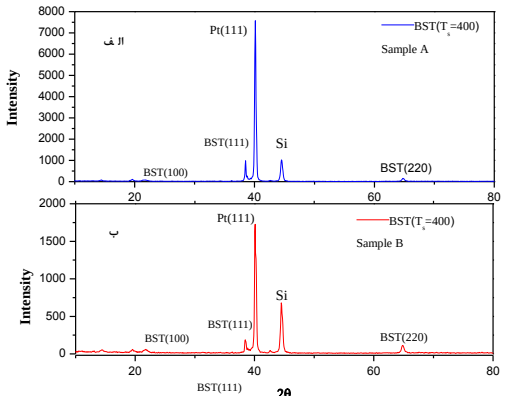
۲- روش تجربی

در این مقاله باریم استرانتیم تیتانایت ($Ba_{0.5}Sr_{0.5}TiO_3$) بر روی زیرلایه‌ی $Pt/Ti/SiO_2/Si$ با روش PLD لایه نشانی شده است. فرآیند رشد فیلم نازک در محفظه خلا در فشار10^{-6} میلی بار با استفاده از هارمونیک سوم لیزر Nd:YAG با طول موج (1054nm)، انرژی بر پالس (60mJ)، طول پالسی(10ns) و نرخ تکرار (10Hz) انجام شده است. باریم استرانتیم تیتانایت روی دو زیرلایه‌ی A و B از جنس $Pt/Ti/SiO_2/Si$ و به ترتیب با مساحت‌های ($2mm^2$) و ($4mm^2$) که در فاصله‌ی 30mm از هدف و در دمای 400^0C قرار دارد، لایه نشانی شده است.

در ادامه با پراش اشعه‌ی ایکس (XRD)، ساختار بلوری و میکرو ساختار فیلم نازک باریم استرانتیم تیتانایت، تحلیل شده است. با میکروسکوپ نیروی اتمی (AFM) ناهمواری و مورفولوژی سطح بررسی شده است.

۳- مشخصه یابی لایه نازک BST

نمودار XRD لایه نازک باریم استرانتیم تیتانایت لایه-نشانی شده بر روی دو زیر لایه با مساحت های متفاوت در شکل ۱ آمده است. شکل (۱الف) پراش اشعه‌ی ایکس از نمونه‌ی A را نشان می‌دهد. در این شکل بازتاب از صفحات BST(111)، BST(100) و BST(220) مشاهده می‌شود که شدت بازتاب از صفحه‌ی (111) بیشتر است. بنابراین فیلم به صورت بس‌بلور و در راستاهای ذکر شده و با جهت ترجیهی (111) رشد یافته است.



شکل ۱. تحلیل ساختاری با پراش اشعه‌ی ایکس. الف) نمودار XRD نمونه‌ی A با مساحت زیرلایه($2mm^2$) و ب) نمودار XRD نمونه‌ی B با مساحت زیرلایه($4mm^2$).

[1] Barium Strontium Titanate
[2] Sol-gel
[3] Metal organic chemical vapor deposition
[4] Pulsed laser deposition
[5] X-Ray Diffraction
[6] Atomic Force Microscopy

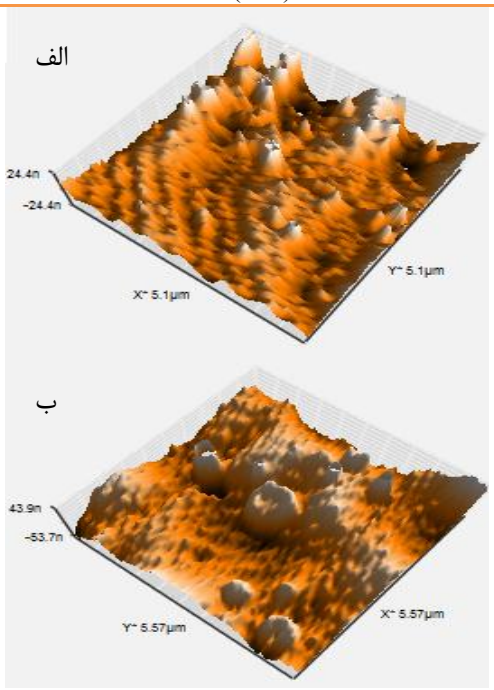
[Downloaded from www.opsi.ir on 2026-11-05]

جدول۱. خلاصه نتایج XRD نمونه‌های رشد یافته در دمای ۴۰۰ درجه و مساحت زیرلایه‌ی متفاوت.

نمونه	صفحه	زاویه(درجه)	پهنا در نصف طول بیشینه (درجه)	ارتفاع پیک‌ها(cts)	فاصله‌ی بین صفحات (انگستروم)
A($2mm^2$)	(۱۱۱)	38/46	0/21	580/61	2/33
	(۲۲۰)	64/74	0/43	99/91	1/43
	(۱۰۰)	21/35	1/15	31/55	4/15
B($4mm^2$)	(۲۲۰)	64/75	0/5	74/43	1/43
	(۱۱۱)	38/41	0/28	119/7	2/34
	(۱۰۰)	21/75	0/86	23/36	4/08

شکل (۱ب) پراکندگی اشعه‌ی ایکس از فیلم نازک BST لایه‌نشانی شده روی زیرلایه B را نشان داده است. در این فیلم نیز بازتاب از صفحات BST(100)، BST(111) و BST(220) مشاهده می‌شود که شدت بازتاب از دو صفحه‌ی (111) و (220) تقریبا یکسان است. بنابراین این فیلم بصورت بس بلور و بدون جهت ترجیهی رشد یافته است. با استفاده از معادله‌ی شرر[۷] ($d=\frac{0.9\lambda}{\beta\cos\theta}$) سایز ذرات نمونه‌ی A، ۲۲/۹۸ نانومتر و نمونه‌ی B، ۲۳/۸۷ نانومتر بدست آمده است. ارتفاع پیک‌ها، پهنای نصف طول بیشینه (FWHM)[۸] و فاصله‌ی بین صفحات (d-spacing) برای دو نمونه در جدول (۱) آمده است.

برای مطالعه و بررسی مورفولوژی و ناهمواری سطح فیلم دو نمونه‌ی A و B از میکروسکوپ نیروی اتمی استفاده شده است. در شکل (۲) میکروگراف AFM سه بعدی از سطح فیلم‌ها آمده است. در هر دو شکل الف و ب هیچ گونه شیار طولانی و یا چاله عمیقی مشاهده نمی‌شود، بنابراین در سطح فیلم‌ها شکاف و یا ناحیه‌ی کوچکی با سطح آزاد وجود ندارد. شکل (۲ الف) گراف سه بعدی از AFM سطح نمونه‌ی A نشان می‌دهد. برای این نمونه ناهمواری میانگین[۹] 6/52 نانومتر و جذر مربع میانگین[۱۰](RMS) ناهمواری سطح 9/12 نانومتر است. برای نمونه‌ی B ناهمواری میانگین 13/72 نانومتر و RMS ناهمواری 17/85 نانومتر است. در شکل (۲ب) گراف سه بعدی از AFM سطح آن آمده است.



شکل ۲. بررسی مورفولوژی و ناهمواری سطح با میکروسکوپ نیروی اتمی. الف) میکروگراف AFM سه بعدی نمونه‌ی A ب) میکروگرافAFM سه بعدی نمونه‌ی B.

۴- نتیجه‌گیری

فیلم نازک باریم استرانتیم تیتانایت با ترکیب شیمیایی $Ba_{0.5}Sr_{0.5}TiO_3$ روی زیرلایه‌ی $Pt/Ti/SiO_2/Si$ با روش لایه نشانی لیزرپالسی ایجاد شده است. ساختار بلوری و میکروساختار فیلم با روش XRD، مورفولوژی و ناهمواری سطح با AFM مشخص شده است. فیلم‌های نازک ایجاد شده ساختاری بس بلور، سطحی بدون شکاف و ناهمواری سطحی کوچکی دارند. این نتایج نشان می‌دهد که روش لایه نشانی لیزر پالسی در ایجاد فیلم‌های نازک باریم استرانتیم تیتانایت با کیفیت بالا بر روی زیر لایه‌ی $Pt/Ti/SiO_2/Si$ کارایی بالایی دارد.

[7] Sherrer equation
[8] Full Width at Half Maximum
[9] Average roughness
[10] Root –mean square

[Downloaded from www.opsi.ir on 2026-11-05]

مراجع

[1] Ashok.Kumar, Sriraj G.Manvalan, *Characterization of barium strontium titanate thin films for tunable microwave and DRAM application*, Surface & Coating Technology, vol.198, pp.406, 2005.

[2] Kazuaki Kurihara, Tekeshi Shioga, John D.Baniecki, *Electerical properties of low-inductance barium strontium titanate thin film decoupling capacitors*, Journal of European Ceramic Society, vol.24, pp.1873, 2003.

[3] Koppole C.Sekhar, et al, *Enhanced dielectric and tunable characteristics of K-doped $Ba_{0.5}Sr_{0.5}TiO_3$ thin films prepared by pulsed laser deposition*, Thin Solid Films, vol.527, pp.267, 2013

[4] P Bao, T.J.Jackson, X Wang, M.J.Lancaster, *Barium strontium titanate thin film varactors for room temperature microwave device applications*, J. Phys. D: Appl. Phys, vol.41, pp.063001, 2008

[Downloaded from www.opsi.ir on 2026-11-05]