

УДК 537.9
DOI: 10.7868/S25000640250104

ПОЛУЧЕНИЕ ТОНКИХ ПЛЕНОК НИОБАТА БАРИЯ-СТРОНЦИЯ НА КРЕМНИЕВЫХ ПОДЛОЖКАХ РАЗЛИЧНЫХ ОРИЕНТАЦИЙ

© 2025 г. Д.В. Стрюков¹, Я.Ю. Матяш¹,
Н.В. Макинян¹, А.В. Назаренко¹, А.В. Павленко¹

Аннотация. Тонкие пленки ниобата бария-стронция были получены на подложках кремния ориентаций (001), (110) и (111) методом ВЧ-катодного напыления. Толщина всех пленок составляла 200 нм. Пленки были получены поликристаллическими текстурированными. При этом элементарные ячейки всех пленок практически не имели деформации по сравнению с объемным материалом. Химический состав пленок был исследован методом энергодисперсионного анализа; состав всех пленок соответствует стехиометрическому составу исходной мишени. Морфология поверхности пленок была исследована методами атомно-силовой микроскопии, по результатам которой обнаружено, что поверхность пленок представлена ростовыми блоками различной формы и при этом шероховатость поверхности была низкой. Ориентация подложки практически не влияла ни на размеры блоков, ни на шероховатость поверхности. Измерения вольт-фарадных характеристик полученных пленок показали, что независимо от ориентации подложек пленки имеют практически идентичные диэлектрические характеристики.

Ключевые слова: тонкие пленки, сегнетоэлектрик, ниобат бария-стронция, кремниевая подложка.

FABRICATION OF BARIUM-STRONTIUM NIOBATE THIN FILMS ON SILICON SUBSTRATES OF VARIOUS ORIENTATIONS

D.V. Stryukov¹, Ya.Yu. Matyash¹, N.V. Makinyan¹,
A.V. Nazarenko¹, A.V. Pavlenko¹

Abstract. Barium strontium niobate thin films were fabricated on silicon substrates of (001), (110), and (111) orientations by the RF cathode sputtering method. The thickness of all films was equal to each other and was 200 nm. In addition, all films were polycrystalline textured. In this case, the unit cells of all films had almost no deformation compared to the bulk material. The chemical composition of the films was studied by the energy-dispersive analysis method, it was found that the composition of all films corresponds to the stoichiometric composition of the target. The morphology of the film surface was studied by atomic force microscopy methods, according to the results it was found that the surface of the films is represented by growth blocks of various shapes, and at the same time the surface roughness was low. It is noted that the orientation of the substrate did not affect either the block sizes or the surface roughness. Measurements of the capacitance-voltage characteristics of the obtained films showed that, regardless of the orientation of the substrate, the films have practically identical dielectric characteristics.

Keywords: thin films, ferroelectric, barium strontium niobate, silicon substrate.

¹ Федеральный исследовательский центр Южный научный центр Российской академии наук (Federal Research Centre the Southern Scientific Centre of the Russian Academy of Sciences, Rostov-on-Don, Russian Federation), Российская Федерация, 344006, г. Ростов-на-Дону, пр. Чехова, 41, e-mail: strdl@mail.ru

1. Scott J.F. 2007. Applications of modern ferroelectrics. *Science*. 315(5814): 954–959. doi: 10.1126/science.1129564
2. Li S., Wang Y., Yang M., Miao J., Lin K., Li Q., Chen X., Deng J., Xing X. 2022. Ferroelectric thin films: performance modulation and application. *Materials Advances*. 3: 5735–5752. doi: 10.1039/d2ma00381c
3. Spreitzer M., Klement D., Potočník T.P., Trstenjak U., Jovanović Z., Nguyen M.D., Yuan H., ten Elshof J.E., Houwman E., Koster G., Rijnders G., Fompeyrine J., Kornblum L., Fenning D.P., Liang Y., Tong W.-Y., Ghosez P. 2021. Epitaxial ferroelectric oxides on silicon with perspectives for future device applications. *APL Materials*. 9(4): 040701. doi: 10.1063/5.0039161
4. Mazet L., Yang S.M., Kalinin S.V., Schamm-Chardon S., Dubourdieu C. 2015. A review of molecular beam epitaxy of ferroelectric BaTiO₃ films on Si, Ge and GaAs substrates and their applications. *Science and Technology of Advanced Materials*. 16(3): 036005. doi: 10.1088/1468-6996/16/3/036005
5. Demkov A.A., Posadas A.B. 2022. Si-integrated ferroelectrics for photonics and optical computing. *MRS Bulletin*. 47(5): 485–493. doi: 10.1557/s43577-022-00332-3
6. Кузьминов Ю.С. 1982. *Сегнетоэлектрические кристаллы для управления лазерным излучением*. М., Наука: 400 с.
7. Said M., Velayutham T.S., Gan W.C., Majid W.H. 2015. The structural and electrical properties of Sr_xBa_(1-x)Nb₂O₆ (SBN) ceramic with varied composition. *Ceramics International*. 41(5(B)): 7119–7124. doi: 10.1016/j.ceramint.2015.02.023
8. Venet M., Santos I.A., Eiras J.A., Garcia D. 2006. Potentiality of SBN textured ceramics for pyroelectric applications. *Solid State Ionics*. 177(5–6): 589–593 doi: 10.1016/j.ssi.2005.12.006
9. Pedersen V.H., Blichfeld A.B., Bakken K., Chernyshov D., Grande T., Einarsrud M.-A. 2022. Crystallization and texturing of Sr_xBa_{1-x}Nb₂O₆ thin films prepared by aqueous solution deposition – an *in situ* X-ray diffraction. *Crystal Growth and Design*. 22(10): 5912–5922. doi: 10.1021/acs.cgd.2c00553
10. Christensen A., Reynaud M., Posadas A.B., Zhan X., Warner J.H., Demkov A.A. 2024. Electro-optic effect in thin film strontium barium niobate (SBN) grown by RF magnetron sputtering on SrTiO₃ substrates. *Journal of Applied Physics*. 136: 013102. doi: 10.1063/5.0206229
11. Pugachev A.M., Sokolov A.A. 2023. Study of domain structure of thin ferroelectric films with a pulse laser. *Ferroelectrics*. 605(1): 83–87. doi: 10.1080/00150193.2023.2169013
12. Павленко А.В., Стрюков Д.В., Ивлева Л.И., Ковтун А.П., Жидель К.М., Лыков П.А. 2021. Структурные характеристики выращенных методом RF-катодного напыления тонких пленок Sr_{0.61}Ba_{0.39}Nb₂O₆/MgO(001). *Физика твердого тела*. 63(2): 250–254. doi: 10.21883/FTT.2021.02.50473.174
13. Зи С. 1984. *Физика полупроводниковых приборов. Книга 1*. М., Мир: 456 с.

REFERENCES

1. Scott J.F. 2007. Applications of modern ferroelectrics. *Science*. 315(5814): 954–959. doi: 10.1126/science.1129564
2. Li S., Wang Y., Yang M., Miao J., Lin K., Li Q., Chen X., Deng J., Xing X. 2022. Ferroelectric thin films: performance modulation and application. *Materials Advances*. 3: 5735–5752. doi: 10.1039/d2ma00381c
3. Spreitzer M., Klement D., Potočník T.P., Trstenjak U., Jovanović Z., Nguyen M.D., Yuan H., ten Elshof J.E., Houwman E., Koster G., Rijnders G., Fompeyrine J., Kornblum L., Fenning D.P., Liang Y., Tong W.-Y., Ghosez P. 2021. Epitaxial ferroelectric oxides on silicon with perspectives for future device applications. *APL Materials*. 9(4): 040701. doi: 10.1063/5.0039161
4. Mazet L., Yang S.M., Kalinin S.V., Schamm-Chardon S., Dubourdieu C. 2015. A review of molecular beam epitaxy of ferroelectric BaTiO₃ films on Si, Ge and GaAs substrates and their applications. *Science and Technology of Advanced Materials*. 16(3): 036005. doi: 10.1088/1468-6996/16/3/036005
5. Demkov A.A., Posadas A.B. 2022. Si-integrated ferroelectrics for photonics and optical computing. *MRS Bulletin*. 47(5): 485–493. doi: 10.1557/s43577-022-00332-3
6. Kuz'minov Yu.S. 1982. *Segnetoelektricheskie kristally dlya upravleniya lazernym izlucheniem*. [Ferroelectric crystals for laser beam control]. Moscow, Nauka: 400 p. (In Russian).
7. Said M., Velayutham T.S., Gan W.C., Majid W.H. 2015. The structural and electrical properties of Sr_xBa_(1-x)Nb₂O₆ (SBN) ceramic with varied composition. *Ceramics International*. 41(5(B)): 7119–7124. doi: 10.1016/j.ceramint.2015.02.023
8. Venet M., Santos I.A., Eiras J.A., Garcia D. 2006. Potentiality of SBN textured ceramics for pyroelectric applications. *Solid State Ionics*. 177(5–6): 589–593 doi: 10.1016/j.ssi.2005.12.006

9. Pedersen V.H., Blichfeld A.B., Bakken K., Chernyshov D., Grande T., Einarsrud M.-A. 2022. Crystallization and texturing of $\text{Sr}_x\text{Ba}_{1-x}\text{Nb}_2\text{O}_6$ thin films prepared by aqueous solution deposition – an *in situ* X-ray diffraction. *Crystal Growth and Design*. 22(10): 5912–5922. doi: 10.1021/acs.cgd.2c00553
10. Christensen A., Reynaud M., Posadas A.B., Zhan X., Warner J.H., Demkov A.A. 2024. Electro-optic effect in thin film strontium barium niobate (SBN) grown by RF magnetron sputtering on SrTiO_3 substrates. *Journal of Applied Physics*. 136: 013102. doi: 10.1063/5.0206229
11. Pugachev A.M., Sokolov A.A. 2023. Study of domain structure of thin ferroelectric films with a pulse laser. *Ferroelectrics*. 605(1): 83–87. doi: 10.1080/00150193.2023.2169013
12. Pavlenko A.V., Stryukov D.V., Ivleva L.I., Kovtun A.P., Zhidel K.M., Lykov P.A. 2021. Structural characteristics of $\text{Sr}_{0.61}\text{Ba}_{0.39}\text{Nb}_2\text{O}_6/\text{MgO}(001)$ thin films grown by RF-cathode sputtering. *Physics of the Solid State*. 63(2): 286–290. doi: 10.1134/S1063783421020219
13. Sze S.M. 1984. *Fizika poluprovodnikovyykh priborov. Kniga 1. [Physics of semiconductor devices. Book 1]*. Moscow, Mir: 456 p. (In Russian).