

УДК 539.3
DOI: 10.7868/S25000640260201

ВЛИЯНИЕ ГЕОМЕТРИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ НА КОЭФФИЦИЕНТ ЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКОЙ СВЯЗИ ГЕТЕРОСТРУКТУРЫ $\text{LiNbO}_3/\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$

© 2026 г. А.С. Турчин^{1,2}, М.С. Пименов², П.Е. Тимошенко²

Аннотация. Исследован процесс возбуждения акустических волн на поверхности сегнетоэлектрической гетероструктуры, представляющей собой пластину ниобата лития промышленного среза толщиной 1000 нм, нанесенную через прослойку плавленого кварца на подложку (001) среза α -сапфира. В качестве объекта исследования рассматриваются горизонтально поляризованные сдвиговые волны. В качестве параметра, характеризующего эффективность возбуждения поверхностных акустических волн, используется коэффициент электромеханической связи. При изучении эффективности возбуждения поверхностных волн в сегнетоэлектрической гетероструктуре рассматривались пластины ниобата лития различного среза. Найдены оптимальные для возбуждения сдвиговых волн с максимальным коэффициентом электромеханической связи ориентации срезов пластин ниобата лития, а также геометрические параметры элементов гетероструктуры. При уменьшении толщины пьезоактивного слоя наличие прослойки плавленого кварца приводит к увеличению коэффициента электромеханической связи.

Ключевые слова: сегнетоэлектрическая гетероструктура, ниобат лития, поверхностные акустические волны, коэффициент электромеханической связи.

INFLUENCE OF GEOMETRIC PARAMETERS ON THE ELECTROMECHANICAL COUPLING COEFFICIENT OF A $\text{LiNbO}_3/\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ HETEROSTRUCTURE

A.S. Turchin^{1,2}, M.S. Pimenov², P.E. Timoshenko²

Abstract. This paper investigates the excitation of acoustic waves on the surface of a ferroelectric heterostructure consisting of a 1000 nm thick industrial-cut lithium niobate wafer deposited through a fused silica interlayer onto an (001) cut α -sapphire substrate. Horizontally polarized shear waves are considered as the object of study. The electromechanical coupling coefficient is used as a parameter characterizing the efficiency of surface acoustic wave excitation. Lithium niobate wafers of various cuts were used to study the efficiency of surface wave excitation in the ferroelectric heterostructure. The optimal orientations of lithium niobate plate cuts for excitation of shear waves with the maximum electromechanical coupling coefficient, as well as the geometric parameters of the heterostructure elements, were determined. With a decrease in the thickness of the piezoactive layer, the presence of a fused silica interlayer leads to an increase in the electromechanical coupling coefficient.

Keywords: ferroelectric heterostructure, lithium niobate, surface acoustic waves, electromechanical coupling coefficient.

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: prottei@yandex.ru

² Южный федеральный университет (Southern Federal University, Rostov-on-Don, Russian Federation), Российская Федерация, 344006, г. Ростов-на-Дону, ул. Большая Садовая, 105/42, e-mail: p.e.timoshenko@gmail.com

1. Matthews H. 1977. *Surface wave filters: design, construction and use*. New York, Wiley: 521 p.
2. Морган Д. 1990. *Устройства обработки сигналов на поверхностных акустических волнах*. М., Радио и связь: 416 с.
3. *Физическая акустика. Том 1. Часть А. Методы и приборы ультразвуковых исследований*. 1966. М., Мир: 592 с.
4. Орлов В.С., Бондаренко В.С. 1984. *Фильтры на поверхностных акустических волнах*. М., Радио и связь: 272 с.
5. Mandal D., Banerjee S. 2022. Surface acoustic wave (SAW) sensors: physics, materials, and applications. *Sensors*. 22(3): 820. doi: 10.3390/s22030820
6. Chen G., Li N., Ng J.D., Lin H.-L., Zhou Y., Fu Y.H., Lee L.Y.T., Yu Y., Liu A.-Q., Danner A.J. 2022. Advances in lithium niobate photonics: development status and perspectives. *Advanced Photonics*. 4(3): 034003. doi: 10.1117/1.AP.4.3.034003
7. Murakami S., Watanabe K., Takigawa R. 2023. Investigation of the interface between LiNbO₃ and Si fabricated via room-temperature bonding method using activated Si-nano layer. *Japanese Journal of Applied Physics*. 62(SG): 1041. doi: 10.35848/1347-4065/acc2cb
8. Jia Y., Wang L., Chen F. 2021. Ion-cut lithium niobate on insulator technology: recent advances and perspectives. *Applied Physics Review*. 8(1): 011307. doi: 10.1063/5.0037771
9. Solal M., Pastureau Th., Ballandras S., Aspar B., Biasse B., Daniau W., Hodé J.M., Calisti S., Laude V. 2002. Oriented lithium niobate layers transferred on 4" (100) silicon wafer for RF SAW devices. In: *2002 IEEE Ultrasonics Symposium, 2002. Proceedings (Munich, Germany, 8–11 October 2002). Volume 1*. Munich, IEEE: 131–134. doi: 10.1109/ULTSYM.2002.1193369
10. Pastureau Th., Solal M., Biasse B., Aspar B., Briot J.-B., Daniau W., Steichen W., Lardat R., Laude V., Laens A., Friedt J.-M., Ballandras S. 2007. High-frequency surface acoustic waves excited on thin-oriented LiNbO₃ single-crystal layers transferred onto silicon. *IEEE Transactions on Ultrasonics, Ferroelectrics, and Frequency Control*. 54(4): 870–876. doi: 10.1109/TUFFC.2007.321
11. Hsu T.-H., Tseng K.-J., Li M.-H. 2020. Large coupling acoustic wave resonators based on LiNbO₃/SiO₂/Si functional substrate. *IEEE Electron Device Letters*. 41(12): 1825–1828. doi: 10.1109/LED.2020.3030797
12. Zhang S., Lu R., Zhou H., Link S., Yang Y., Li Z., Huang K., Ou X., Gong S. 2020. Surface acoustic wave devices using lithium niobate on silicon carbide. *IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques*. 68(9): 3653–3666. doi: 10.1109/TMTT.2020.3006294
13. Wu S., Wu Z., Qian H., Bao F., Xu F., Zou J., Tang G. 2022. A high-performance NS-SAW resonator using 30° YX-lithium niobate. In: *2022 Joint Conference of the European Frequency and Time Forum and IEEE International Frequency Control Symposium (EFTF/IFCS) (Paris, France, 24–28 April 2022)*. IEEE: 1–4. doi: 10.1109/EFTF/IFCS54560.2022.9850557
14. Широков В.Б., Пименов М.С., Михайлова И.Б., Турчин А.С., Калинин В.В. 2024. Особенности возбуждения акустических волн на поверхности гетероструктуры LiNbO₃/Si. *Наука Юга России*. 20(3): 7–15. doi: 10.7868/S25000640240302
15. *Акустические кристаллы*. 1982. М., Наука: 632 с.
16. Ландау Л.Д., Лифшиц Е.М. 1987. *Теоретическая физика. Том VII. Теория упругости*. М., Наука: 248 с.
17. Викторов И.А. 1981. *Звуковые поверхностные волны в твердых телах*. М., Наука: 288 с.
18. Royer D., Dieulesaint E. 1996. *Elastic waves in solids I. Free and guided propagation*. Berlin, Springer: 374 p.
19. Collet B., Destrade M., Maugin G.A. 2006. Bleustein-Gulyaev waves in some functionally graded materials. *European Journal of Mechanics – A/Solids*. 25(5): 695–706. doi: 10.1016/j.euromechsol.2006.01.007
20. Campbell J.J., Jones W.R. 1970. Propagation of piezoelectric surface waves on cubic and hexagonal crystals. *Journal of Applied Physics*. 41(7): 2796–2801. doi: 10.1063/1.1659317
21. *Acoustic surface waves*. 1978. Berlin, Springer: 331 p.
22. Warner A.W., Onoe M., Coquin G.A. 1967. Determination of elastic and piezoelectric constants for crystals in class (3m). *The Journal of the Acoustical Society of America*. 42(6): 1223–1231. doi: 10.1121/1.1910709
23. Gladden J.R., So J.H., Maynard J.D., Saxe P.W., Le Page Y. 2004. Reconciliation of *ab initio* theory and experimental elastic properties of Al₂O₃. *Applied Physics Letters*. 85(3): 392–384. doi: 10.1063/1.1773924

REFERENCES

1. Matthews H. 1977. *Surface wave filters: design, construction and use*. New York, Wiley: 521 p.
2. Morgan D. 1990. *Устройства обработки сигналов на поверхностных акустических волнах*. [Signal processing devices using surface acoustic waves]. Moscow, Radio i svyaz': 416 p. (In Russian).
3. *Физическая акустика. Том 1. Часть А. Методы и приборы ультразвуковых исследований*. [Physical acoustics. Volume 1. Part A. Methods and devices for ultrasound research]. 1966. Moscow, Mir: 592 p. (In Russian).
4. Orlov V.S., Bondarenko V.S. 1984. *Фильтры на поверхностных акустических волнах*. [Surface acoustic wave filters]. Moscow, Radio i svyaz': 272 p. (In Russian).

5. Mandal D., Banerjee S. 2022. Surface acoustic wave (SAW) sensors: physics, materials, and applications. *Sensors*. 22(3): 820. doi: 10.3390/s22030820
6. Chen G., Li N., Ng J.D., Lin H.-L., Zhou Y., Fu Y.H., Lee L.Y.T., Yu Y., Liu A.-Q., Danner A.J. 2022. Advances in lithium niobate photonics: development status and perspectives. *Advanced Photonics*. 4(3): 034003. doi: 10.1117/1.AP.4.3.034003
7. Murakami S., Watanabe K., Takigawa R. 2023. Investigation of the interface between LiNbO₃ and Si fabricated via room-temperature bonding method using activated Si-nano layer. *Japanese Journal of Applied Physics*. 62(SG): 1041. doi: 10.35848/1347-4065/acc2cb
8. Jia Y., Wang L., Chen F. 2021. Ion-cut lithium niobate on insulator technology: recent advances and perspectives. *Applied Physics Review*. 8(1): 011307. doi: 10.1063/5.0037771
9. Solal M., Pastureauud Th., Ballandras S., Aspar B., Biasse B., Daniau W., Hodé J.M., Calisti S., Laude V. 2002. Oriented lithium niobate layers transferred on 4" (100) silicon wafer for RF SAW devices. In: *2002 IEEE Ultrasonics Symposium, 2002. Proceedings (Munich, Germany, 8–11 October 2002). Volume 1*. Munich, IEEE: 131–134. doi: 10.1109/ULTSYM.2002.1193369
10. Pastureauud Th., Solal M., Biasse B., Aspar B., Briot J.-B., Daniau W., Steichen W., Lardat R., Laude V., Laens A., Friedt J.-M., Ballandras S. 2007. High-frequency surface acoustic waves excited on thin-oriented LiNbO₃ single-crystal layers transferred onto silicon. *IEEE Transactions on Ultrasonics, Ferroelectrics, and Frequency Control*. 54(4): 870–876. doi: 10.1109/TUFFC.2007.321
11. Hsu T.-H., Tseng K.-J., Li M.-H. 2020. Large coupling acoustic wave resonators based on LiNbO₃/SiO₂/Si functional substrate. *IEEE Electron Device Letters*. 41(12): 1825–1828. doi: 10.1109/LED.2020.3030797
12. Zhang S., Lu R., Zhou H., Link S., Yang Y., Li Z., Huang K., Ou X., Gong S. 2020. Surface acoustic wave devices using lithium niobate on silicon carbide. *IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques*. 68(9): 3653–3666. doi: 10.1109/TMTT.2020.3006294
13. Wu S., Wu Z., Qian H., Bao F., Xu F., Zou J., Tang G. 2022. A high-performance NS-SAW resonator using 30° YX-lithium niobate. In: *2022 Joint Conference of the European Frequency and Time Forum and IEEE International Frequency Control Symposium (EFTF/IFCS) (Paris, France, 24–28 April 2022)*. IEEE: 1–4. doi: 10.1109/EFTF/IFCS54560.2022.9850557
14. Shirokov V.B., Pimenov M.S., Mikhailova I.B., Turchin A.S., Kalinchuk V.V. 2024. [Features of excitation of acoustic waves on the surface of a LiNbO₃/Si heterostructure]. *Nauka Yuga Rossii*. 20(3): 7–15. (In Russian). doi: 10.7868/S25000640240302
15. *Akusticheskie kristally. [Acoustic crystals]*. 1982. Moscow, Nauka: 632 p. (In Russian).
16. Landau L.D., Lifshits E.M. 1987. *Teoreticheskaya fizika. Tom VII. Teoriya uprugosti. [Theoretical Physics. Volume VII. Theory of elasticity]*. Moscow, Nauka: 248 p. (In Russian).
17. Viktorov I.A. 1981. *Zvukovye poverkhnostnye volny v tverdykh telakh. [Sound surface waves in solids]*. Moscow, Nauka: 288 p. (In Russian).
18. Royer D., Dieulesaint E. 1996. *Elastic waves in solids I. Free and guided propagation*. Berlin, Springer: 374 p.
19. Collet B., Destrade M., Maugin G.A. 2006. Bleustein-Gulyaev waves in some functionally graded materials. *European Journal of Mechanics – A/Solids*. 25(5): 695–706. doi: 10.1016/j.euromechsol.2006.01.007
20. Campbell J.J., Jones W.R. 1970. Propagation of piezoelectric surface waves on cubic and hexagonal crystals. *Journal of Applied Physics*. 41(7): 2796–2801. doi: 10.1063/1.1659317
21. *Acoustic surface waves*. 1978. Berlin, Springer: 331 p.
22. Warner A.W., Onoe M., Coquin G.A. 1967. Determination of elastic and piezoelectric constants for crystals in class (3m). *The Journal of the Acoustical Society of America*. 42(6): 1223–1231. doi: 10.1121/1.1910709
23. Gladden J.R., So J.H., Maynard J.D., Saxe P.W., Le Page Y. 2004. Reconciliation of *ab initio* theory and experimental elastic properties of Al₂O₃. *Applied Physics Letters*. 85(3): 392–384. doi: 10.1063/1.1773924

Поступила 18.02.2026

Принята 08.04.2026