PACS: 81.15.Gh

Development and study of the reactor design for metal‑organic gas-phase epitaxy of group III nitrides

I. A. Sysoev[1*], I. O. Gordievich[1], I. V. Kasianov[1,2], A. V. Shipulin[3], and E. N. Shipulina[3]

[1] *North Caucasus Federal University, Stavropol, 355017 Russia*
[*] *E-mail: eianpisia@yandex.ru*
[2] *Federal Research Center Southern Scientific Center of the Russian Academy of Sciences, Rostov-on-Don, 344006 Russia*
[3] *Stilsoft, Stavropol, 355012 Russia*

Received 07.07.2026; revised 14.09.2026; accepted 22.10.2026

This article presents the design, numerical simulation, and experimental validation of a III-N metalorganic vapor-phase epitaxy reactor, alongside the experimental growth of AlN films. A key feature of this reactor is its coaxial precursor delivery system combined with active water cooling of the intermediate zone, which effectively suppresses parasitic gas-phase reactions and buoyancy-driven convection. Computational fluid dynamics simulations demonstrate that this design maintains gas temperatures below 450 °C prior to the mixing point, thereby preventing the premature decomposition of metalorganic precursors. Additionally, the growth parameters for AlN films on Si(100) substrates were experimentally optimized. The results indicate that a maximum thickness of 800 nm for the dense, coalesced layer is achieved at a substrate temperature of 700 °C and a TMA/NH_3 flow ratio of 0.53, corresponding to a transition to a diffusion-controlled growth regime. Finally, the potential of utilizing high-frequency plasma activation for the synthesis of metastable AlGaInN solid solutions is discussed.

Keywords: MOCVD, III-N nitrides, thin films, epitaxy, computational fluid dynamics, mass transfer.

REFERENCES

1. Garg T. and Kale S., Microelectronics Reliability **145**, 114998 (2023).
2. Devitsky O. V, Pashchenko A. S., Lunin L. S., Sysoev I. A., and Nikulin D. A., Solar Energy Materials and Solar Cells **292**, 113818 (2025).
3. Park J. et al., Applied Surface Science **608**, 155020 (2023).
4. Devitsky O. V., Nikulin D. A., and Sysoev I. A., AIP Conference Proceedings 165621 (2020).
5. Yusop N., Taib M. I. Md., Azmi N. S., Ahmad M. A., Rahman M. N. A., Kamil W. A., and Zainal N., Optical Materials **176**, 118149 (2026).
6. Devitsky O. V., Nikulin D. A., and Sysoev I. A., Scientific and Technical Journal of Information Technologies, Mechanics and Optics **20** (2), 177–184 (2020).
7. Fan S., Mei Y., Ikeda M., Liu Z., Xu K., Ying L., and Zhang B., Journal of Alloys and Compounds **1047**, 185078 (2025).
8. Zhang Z., Fang H., Yao Q., Yan H., and Gan Z., Journal of Crystal Growth **454**, 87–95 (2016).
9. Tseng C. F., Tsai T. Y., Huang Y. H., Lee M. T., and Horng R. H., Journal of Crystal Growth **432**, 54–63 (2015).
10. Miyagawa R., Yang S., Miyake H., and Hiramatsu K., Physica Status Solidi (C) Current Topics in Solid State Physics **9** (3-4), 499–502 (2012).
11. Zhang Z., Fang H., Yan H., Jiang Z., Zheng J., and Gan Z., Applied Thermal Engineering **91**, 53–61 (2015).
12. Leitner J., Stejskal J., and Voňka P., Journal of Crystal Growth **267**, 8–16 (2004).
13. Creighton J. R., Coltrin M. E., and Figiel J. J., Journal of Crystal Growth **464**, 132–137 (2017).
14. An J., Dai X., Liu Y., Huang K., and Zhang D., Materials Science in Semiconductor Processing **192**, 109474 (2025).
15. Hu S., Liu S., Zhang Z., Yan H., Gan Z., and Fang H., Journal of Crystal Growth **415**, 72–77 (2015).
16. Mitrovic B., Gurary A., and Kadinski L., Journal of Crystal Growth **287** (2), 656–663 (2006).

Об авторах

Сысоев Игорь Александрович, д.т.н., директор, научно-образовательный центр фотовольтаики и нанотехнологий центра инженерных разработок «Центр новых решений», Северо-Кавказский федеральный университет (355017, Ставрополь, Россия). E-mail: eianpisia@yandex.ru SPIN-код: 4185-5317, AuthorID: 103018

Гордиевич Игорь Олегович, руководитель, проектно-конструкторское бюро центра инженерных разработок «Центр новых решений», Северо-Кавказский федеральный университет (355017, Ставрополь, Россия). E-mail: igordievich@ncfu.ru SPIN-код: 4920-6789, AuthorID: 1356824

Касьянов Иван Владимирович, ведущий инженер, научно-образовательный центр фотовольтаики и нанотехнологий центра инженерных разработок «Центр новых решений», Северо-Кавказский федеральный университет (355017, Ставрополь, Россия); младший научный сотрудник, научная группа технологии гетероструктур (г. Ставрополь) «Федеральный исследовательский центр Южный научный центр РАН» университет (344006, Ростов-на-Дону, Россия). E-mail: redrem@rambler.ru SPIN-код: 1616-3019, AuthorID: 745684

Шипулин Александр Владимирович, технический директор ООО «Стилсофт» (355012, Ставрополь, Россия). E-mail: shipulinotk@stilsoft.ru SPIN-код: 8758-7463, AuthorID: 834880

Шипулина Екатерина Николаевна, руководитель группы радиотехнических систем ООО «Стилсофт» (355012, Ставрополь, Россия). E-mail: shipulina@stilsoft.su