

Модуль Юнга и затухание ультразвука в кристаллах β -Ga₂O₃, легированных железом

Калганов Д. А.¹, Панов Д. Ю.¹, Спиридонов В. А.¹, Иванов А. Ю.²
Научный руководитель – проф., докт. физ.-мат. наук, г.н.с. Романов А. Е.¹

¹Университет ИТМО

²ФТИ им. А.Ф.Иоффе РАН

kalganov@itmo.ru

Работа выполнена в рамках государственного задания «Перспективные материалы и структуры элементной базы современной электроники и оптоэлектроники и устройства на их основе» (проект FSER-2025-0005).

Введение

Оксид галлия – ультраширокозонный полупроводниковый материал четвертого поколения, перспективный для создания новых силовых и высокочастотных устройств. Бета фаза оксида галлия β -Ga₂O₃, наиболее термически устойчива и позволяет использовать стандартные методы роста объёмных кристаллов из расплава, что также является технологическим преимуществом при производстве подложек и приборов на основе этого материала [1, 2]. Определение механических свойств кристаллов β -Ga₂O₃ и их зависимости от особенностей (дефектов) кристаллической структуры является важной прикладной и фундаментальной задачей в области исследования данного материала.

Основная часть

При помощи составного пьезоэлектрического осциллятора определены величины эффективного модуля упругости (модуля Юнга) и затухания акустических волн в кристалле бета-фазы оксида галлия, легированного железом. Измерения проведены для основной продольной моды с колебательной деформацией образца в виде стержня вдоль направления [010]. При частоте колебаний 107,91 кГц величина модуля Юнга для β -Ga₂O₃:Fe (0,01 мол.%) составила $E=306,1$ ГПа, декремент затухания $\delta=0,00021$.

Выводы

Полученный результат открывает широкие возможности для верификации упругих свойств монокристаллов β -Ga₂O₃:Fe рассчитанных различными теоретическими методами [3], а также экспериментальных данных, полученных другими способами [4]. Прикладная ценность заключается в возможности использования полученных величин модуля Юнга для проектирования элементов полупроводниковых устройств с учётом их механических свойств.

Литература

1. Stepanov S. I., Nikolaev V. I., Bougrov V. E., Romanov A. E. Gallium oxide: Properties and applications – a review // Rev. Adv. Mater. Sci. 2016. Vol. 44. P. 63–86.
2. Panov D. I., Spiridonov V. A., Vasilev O. S., Bogdanov P. A., Bauman D. A., Romanov A. E. Laser Processing of Gallium Oxide Crystals in the Preparation of Samples for Microelectronics // Reviews on Advanced Materials and Technologies. 2025. Vol. 7. no. 3. P. 198–202. <https://doi.org/10.17586/2687-0568-2025-7-3-198-202>.
3. Ganji M. D., Ko H. Engineering multifunctionality in gallium oxide: unveiling novel structural, electronic, and opto-mechanical attributes of gadolinium-doped β -Ga₂O₃

- through advanced first-principles design // RSC advances. 2025. Vol. 15. no. 49. P. 41677–41690. <https://doi.org/10.1039/D5RA05763A>.
4. Yao Y., Sugawara Y., Sasaki K., Kuramata A., Ishikawa Y. Anisotropic mechanical properties of β -Ga₂O₃ single-crystal measured via angle-dependent nanoindentation using a Berkovich indenter // Journal of Applied Physics. 2023. Vol. 134. no. 21. <https://doi.org/10.1063/5.0180389>.