

Введение

В современной полупроводниковой технике широкозонные материалы занимают особое место, а оксид галлия демонстрирует значительный потенциал для прорывных технологических решений. Актуальность исследований в этой области обусловлена поступательным развитием силовой электроники, требующей материалов с высокими значениями критического электрического поля пробоя, а также оптоэлектроники глубокого ультрафиолета ($\lambda < 300$ нм) [1].

Оксид галлия, представленный пятью кристаллическими модификациями, обладает требуемыми физико-химическими характеристиками, включая широкую запрещенную зону ($E_g = 4.8$ эВ) и высокое критическое поле пробоя ($E_{кр} > 8$ МВ/см). Моноклинная β -фаза Ga_2O_3 выделяется среди других модификаций благодаря термической стабильности при высоких температурах и возможности получения крупных монокристаллов методами вытягивания из расплава [2]. Однако практическое применение данной фазы осложняется склонностью к формированию трещин по плоскостям спайности и трудностями при эпитаксиальном росте на промышленных подложках.

Особого внимания заслуживает орторомбическая κ -фаза Ga_2O_3 , представляющая интерес для интеграции с нитридами металлов третьей группы, например GaN. Её уникальные особенности – рекордно высокая спонтанная поляризация, открывающая перспективы для создания квантово-размерных структур с высокой концентрацией электронов, двумерного электронного газа и высокопроизводительных НЕМТ-транзисторов [3].

Основная часть

Формирование гетероструктур Ga_2O_3/GaN осуществляется с использованием различных эпитаксиальных методов, среди которых особое место занимает хлорид-гидридная газофазная эпитаксия, например, на темплейтах SiC/Si, позволяющая получать толстые эпитаксиальные слои. Ключевой задачей при этом является обеспечение качественного гетероинтерфейса с минимальным количеством дефектов для эффективного управления транспортом носителей заряда.

Современные исследования с применением просвечивающей электронной микроскопии выявили, что κ -фаза обладает орторомбической структурой $Pna2_1$, что существенно влияет на процессы дефектообразования на границе раздела [4,5]. Значительным фактором, требующим особого внимания, является изгиб слоя при эпитаксиальном осаждении, обусловленный различием коэффициентов термического расширения материалов гетероструктуры.

В рамках данной работы представлены результаты комплексного исследования упругих напряжений, возникающих при выращивании толстых эпитаксиальных слоев κ - Ga_2O_3/GaN на темплейтах SiC/Si. Для оценки кривизны образцов были использованы рефлектометрический метод и метод рентгеновской дифракции. Количественная оценка упругих напряжений проводилась с применением формулы Стоуни, а также учитывались напряжения, вызванные несоответствием постоянных решетки.

Выводы

Эффективный контроль механических напряжений в гетероструктурах является критически важным фактором для обеспечения долговременной стабильности и оптимизации функциональности устройств. Основными источниками механических напряжений являются несоответствия параметров кристаллической решетки и различия в коэффициентах термического расширения материалов гетероструктуры. Понимание механизмов возникновения и методов управления этими напряжениями открывает перспективы для создания нового поколения высоконадежных полупроводниковых

устройств.

Финансирование.

Работа выполнена в рамках государственного задания (проект FSER-2025-0005).

Список использованных источников:

1. Kumar, A., Moradpour, M., Losito, M., Franke, W. T., Ramasamy, S., Baccoli, R., Gatto, G., Wide band gap devices and their application in power electronics //Energies. – 2022. – Т. 15. – №. 23. – С. 9172.
2. Galazka Z. β -Ga₂O₃ for wide-bandgap electronics and optoelectronics //Semiconductor Science and Technology. – 2018. – Т. 33. – №. 11. – С. 113001.
3. Leone, S., Fornari, R., Bosi, M., Montedoro, V., Kirste, L., Doering, P., Ambacher, O., Epitaxial growth of GaN/Ga₂O₃ and Ga₂O₃ /GaN heterostructures for novel high electron mobility transistors //Journal of Crystal Growth. – 2020. – Т. 534. – С. 125511.
4. Cora, I., Mezzadri, F., Boschi, F., Bosi, M., Čaplovičová, M., Calestani, G., Fornari, R., The real structure of ε -Ga₂O₃ and its relation to κ -phase //CrystEngComm. – 2017. – Т. 19. – №. 11. – С. 1509-1516.
5. Zhang, Y., Gong, Y., Chen, X., Kuang, Y., Hao, J., Ren, F. F., Ye, J., Unlocking the single-domain heteroepitaxy of orthorhombic κ -Ga₂O₃ via phase engineering //ACS Applied Electronic Materials. – 202. – Т. 4. – №. 1. – С. 461-468.