

Введение. Уникальные свойства наиболее стабильной β -фазы оксида галлия, такие как большая ширина запрещенной зоны (4.9 эВ [1]) и высокие значения поля пробоя (до 8 МВ/см по расчетам [2], 5.3 МВ/см в приборе [1]), обуславливают актуальность использования этого материала в изготовлении приборов силовой электроники и ультрафиолетовых сенсоров. Другими преимуществами β -фазы Ga_2O_3 является возможность контролируемого легирования примесями n-типа, а также сравнительно высокая подвижность электронов (до $196 \text{ см}^2/(\text{В}\cdot\text{с})$ [3]). Для повышения электрических свойств эпитаксиальных структур с $\beta\text{-Ga}_2\text{O}_3$ возможно эффективное легирование слоев кремнием ввиду схожести размеров ионных радиусов кремния и галлия, что вызывает относительно небольшое искажение кристаллической решетки эпитаксиального слоя. Дополнительным преимуществом легирования кремнием является возможность обеспечения стабильной и настраиваемой концентрации электронов, обеспечивающей высокое качество материала для создания силовых электронных устройств на основе оксида галлия [4].

Основная часть. Данная работа посвящена исследованию влияния концентрации легирующей примеси на физические свойства гетероструктур с эпитаксиальными слоями $\beta\text{-Ga}_2\text{O}_3$. Эпитаксиальный рост слоев $\beta\text{-Ga}_2\text{O}_3$ легированных кремнием, проводился на подложках из объемного $\beta\text{-Ga}_2\text{O}_3$ методом газофазной эпитаксии из металлоорганических соединений на установке Epiquip VP-50, модернизированной для роста оксидов. Установка имеет горизонтальный реактор с индукционным нагревом. Рост проводился при температуре 980 градусов. Для легирования кремнием использовался раствор моносилана в водороде (SiH_4).

Поток несущего газа (азота) составлял 4.5 slm (литр в минуту при стандартных условиях), поток кислорода — 1 slm, поток триметилгаллия составлял 21 мкмоль/мин, изначальный поток SiH_4 6.7 нмоль/мин. Эпитаксиальный рост слоя $\beta\text{-Ga}_2\text{O}_3\text{:Si}$ проводился в течение 60 минут. Примерная скорость роста 1100 нм/ч. Были получены 4 структуры, в которых варьировалась концентрации легирующей примеси путем изменения потока силана.

Методом рентгеновской дифракции были получены кривые качания для оценки влияния концентрации легирующей примеси на качество кристаллической структуры. Методом Вандер-Пау были получены значения электрофизических параметров образцов, такие как подвижность носителей заряда и проводимость. По результатам измерений уменьшение концентрации легирующей примеси приводит к повышению подвижности носителей заряда, но снижению проводимости структуры.

Выводы. Легирование кремнием полупроводниковых структур $\beta\text{-Ga}_2\text{O}_3$ позволяет изменять их электрофизические свойства (проводимость и подвижность носителей), что позволяет управлять характеристиками итоговых приборов. Результаты данной работы лягут в основу разработки отечественной сквозной технологии создания структур оксида галлия для новейших приборов силовой электроники и оптоэлектроники.

Список использованных источников:

1. Spencer J. A. et al. A review of band structure and material properties of transparent conducting and semiconducting oxides: Ga_2O_3 , Al_2O_3 , In_2O_3 , ZnO , SnO_2 , CdO , NiO , CuO , and Sc_2O_3 //Applied Physics Reviews. – 2022. – Т. 9. – №. 1.

2. Бауман Д. А. и др. Об успешном опыте гомоэпитаксии слоев $\beta\text{-Ga}_2\text{O}_3$ на собственных подложках //Письма в Журнал технической физики. – 2024. – Т. 50. – №. 7. – С. 43-46.
3. Bhattacharyya A. et al. Enhancing the electron mobility in Si-doped (010) $\beta\text{-Ga}_2\text{O}_3$ films with low-temperature buffer layers //APL Materials. – 2023. – Т. 11. – №. 2.
4. Ji X. et al. Homoepitaxial Si-doped Gallium Oxide films by MOCVD with tunable electron concentrations and electrical properties //Vacuum. – 2023. – Т. 210. – С. 111902.