

Высокоомные структуры GaAs-AlGaAs для силовой электроники

Леви Александр Валерьевич¹, mega_sm@epitaxy.ru, +7 916 681 16 85; Крюков В.Л.²; Крюков Е.В.³

¹ООО «Мега СМ» 124460, г. Москва, Зеленоград, Панфиловский проспект, д.8, стр.13, mega_sm@epitaxy.ru

²ООО «МеГа Эпитех» 248033, Россия, г. Калуга, 2й Академический проезд, д. 25, mega_epitech@elmatgroup.ru

³ООО «ЭПИКОМ» 248033, Россия, г. Калуга, 2й Академический проезд, д. 25, evgenii.kryukov@mail.ru

Интенсивное внедрение во всем мире энергосберегающих технологий предъявляет к устройствам и приборам силовой электроники все более жесткие требования, выполнить которые, используя традиционную ЭКБ на основе кремния не всегда представляется возможным. Поэтому в настоящее время расширяется применение более широкозонных материалов, которые позволяют преодолеть ограничения кремниевых приборов, в том числе, арсенида галлия и системы твердых растворов на его основе - GaAs-AlGaAs. Свойства арсенида галлия, такие как прямозонная структура, высокая подвижность электронов, малое время жизни неосновных носителей заряда, высокое кристаллическое совершенство, возможность формирования гетерокомпозиций в системе GaAs-AlGaAs, позволяют реализовать целый ряд уникальных приборов. Тем не менее, в настоящее время, арсенид галлия как материал силовой электроники не получил пристального внимания разработчиков в силу отсутствия надежного метода получения высокоомного эпитаксиального материала, способного обеспечить высокие пробивные напряжения. Для получения высоких значений пробивного напряжения и малых потерь при переключении требуется р-і-п структура, имеющая протяженные слои с низкой концентрацией примеси. Наиболее эффективно эта задача решается с помощью метода жидкофазной эпитаксии (ЖФЭ), обладающего низкой себестоимостью технологического процесса, простотой оборудования и возможностью выращивания многослойных композиций большой толщины.

В настоящей работе для выращивания высокоомных p-i-n структур применялось ростовое графитовое устройство прокачного типа. Структуры состояли из трех последовательных эпитаксиальных слоев GaAs-AlGaAs:

- буферный p-слой. Снижает влияние дислокационной структуры и уровня легирования исходных подложек арсенида галлия на параметры конечной p-i-n структуры;
- базовый p⁻-i-n⁻ слой. Содержит протяженную i-область высокоомного арсенида галлия с концентрацией носителей менее $5 \cdot 10^{13} \text{ см}^{-3}$. Определяет основные электрофизические характеристики силовых p-i-n диодов;
- контактный n⁺- слой. Обеспечивает омический контакт к структуре при изготовлении конечного прибора.

Базовая конструкция структуры и параметры эпитаксиальных слоев представлены на рисунке 1. На рисунке 2 показан профиль легирования в базовом p⁻-i-n⁻ - слое, отличительной особенностью которого является плавное изменение концентрации носителей в слаболегированных p⁻- и n⁻-областях.

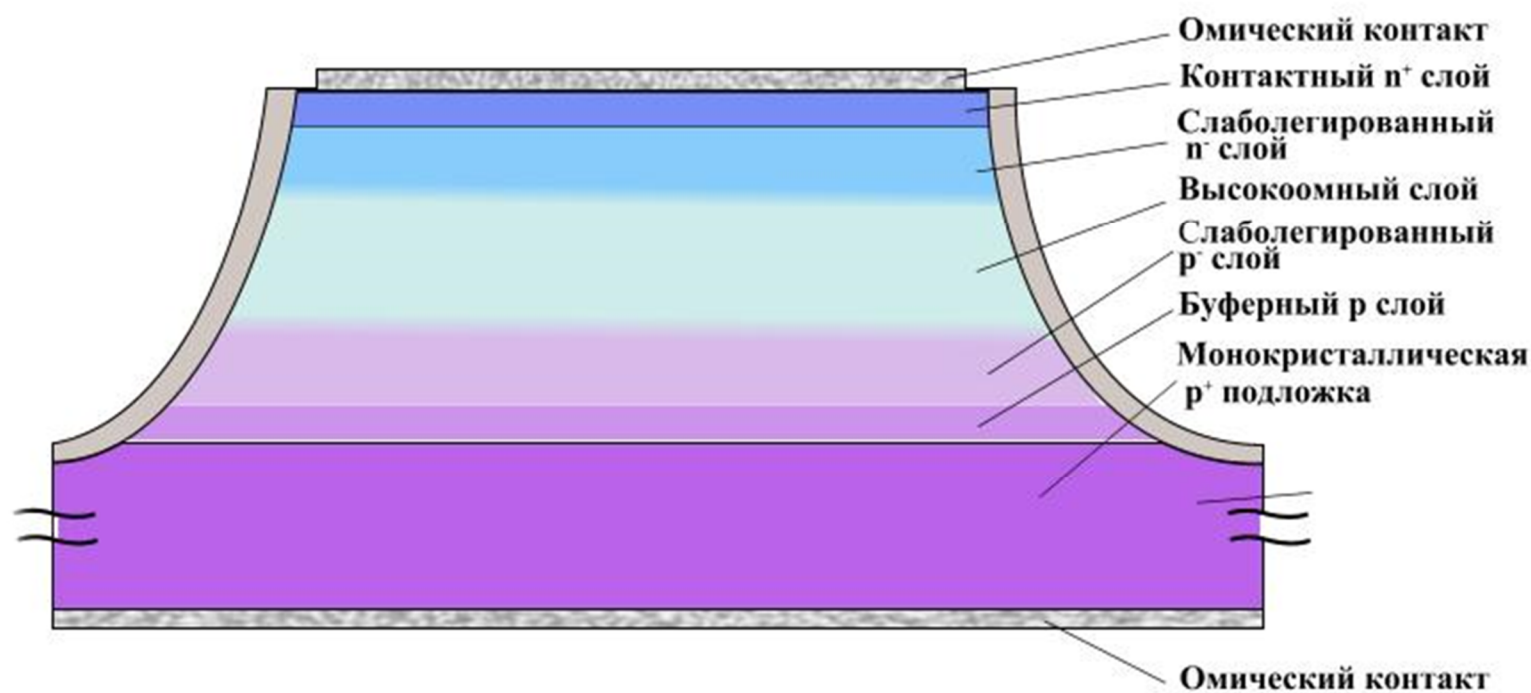


Рисунок 1 - Базовая конструкция p-i-n структуры на основе GaAs-AlGaAs

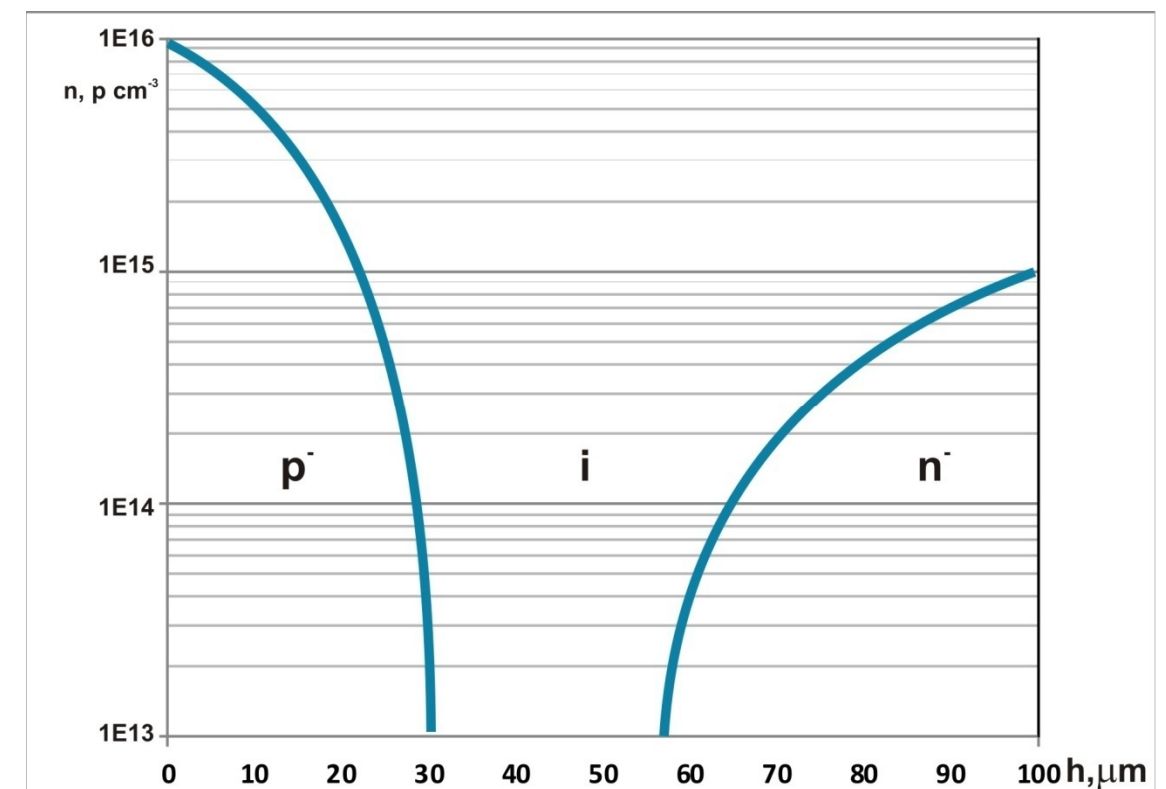


Рисунок 2 - Распределение концентрации носителей в p-i-n структуре

Ключевые параметры р-і-п структуры (обратное напряжение, быстродействие, «мягкость» процесса обратного восстановления, температурная зависимость ВАХ) во многом определяются параметрами отдельных областей базового р-і-п-слоя (толщина, уровень легирования и градиент концентрации носителей заряда), которые можно эффективно регулировать заданием требуемых технологических режимов.

Уровень обратного пробивного напряжения задается толщиной высокоомной і-области. Данная зависимость имеет линейный характер и представлена на рисунке 3. Быстродействие р-і-п структур в основном определяется толщиной слаболегированной р-области. Увеличение протяженности этой области всегда приводит к росту времени обратного восстановления. Данные представлены на рисунке 4.

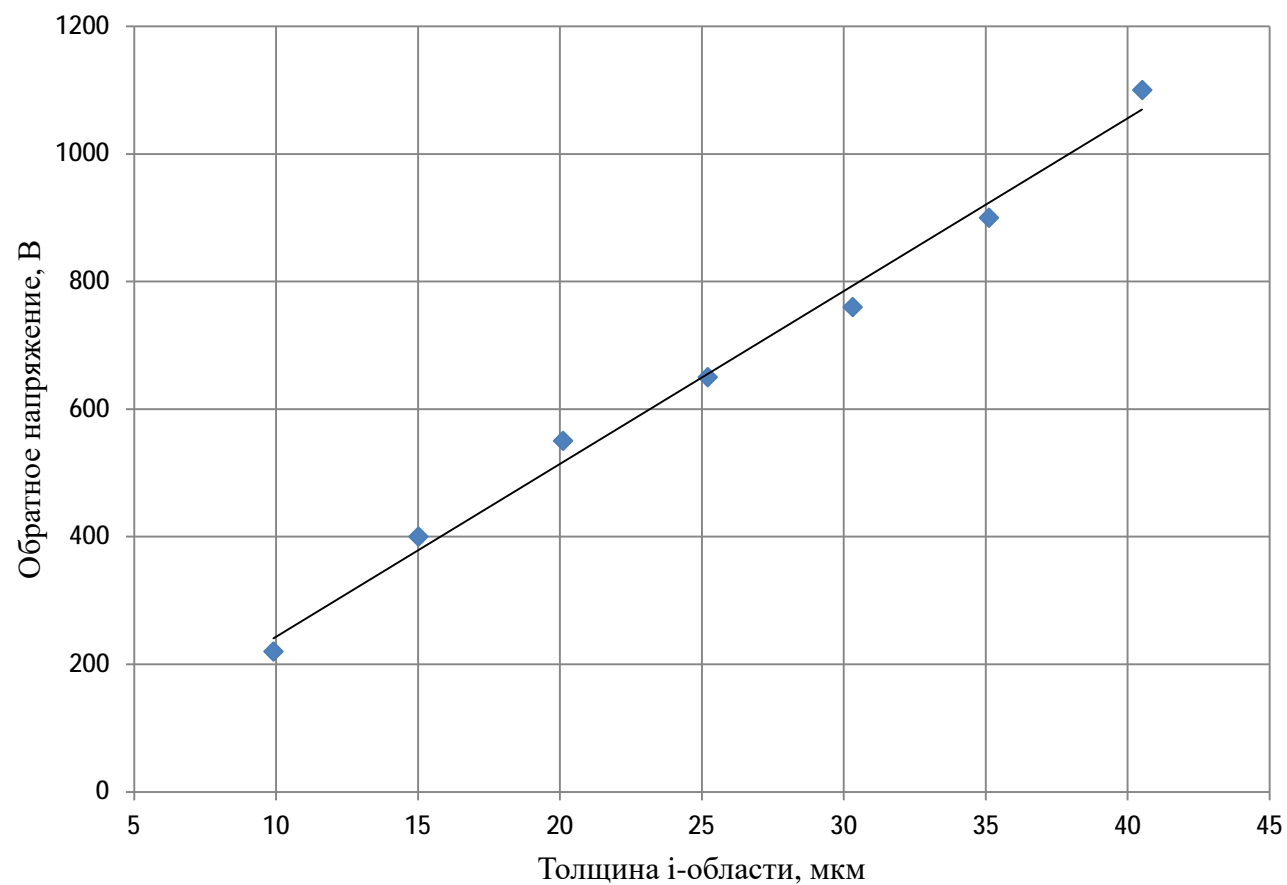


Рисунок 3 - Зависимость обратного напряжения от толщины і-области

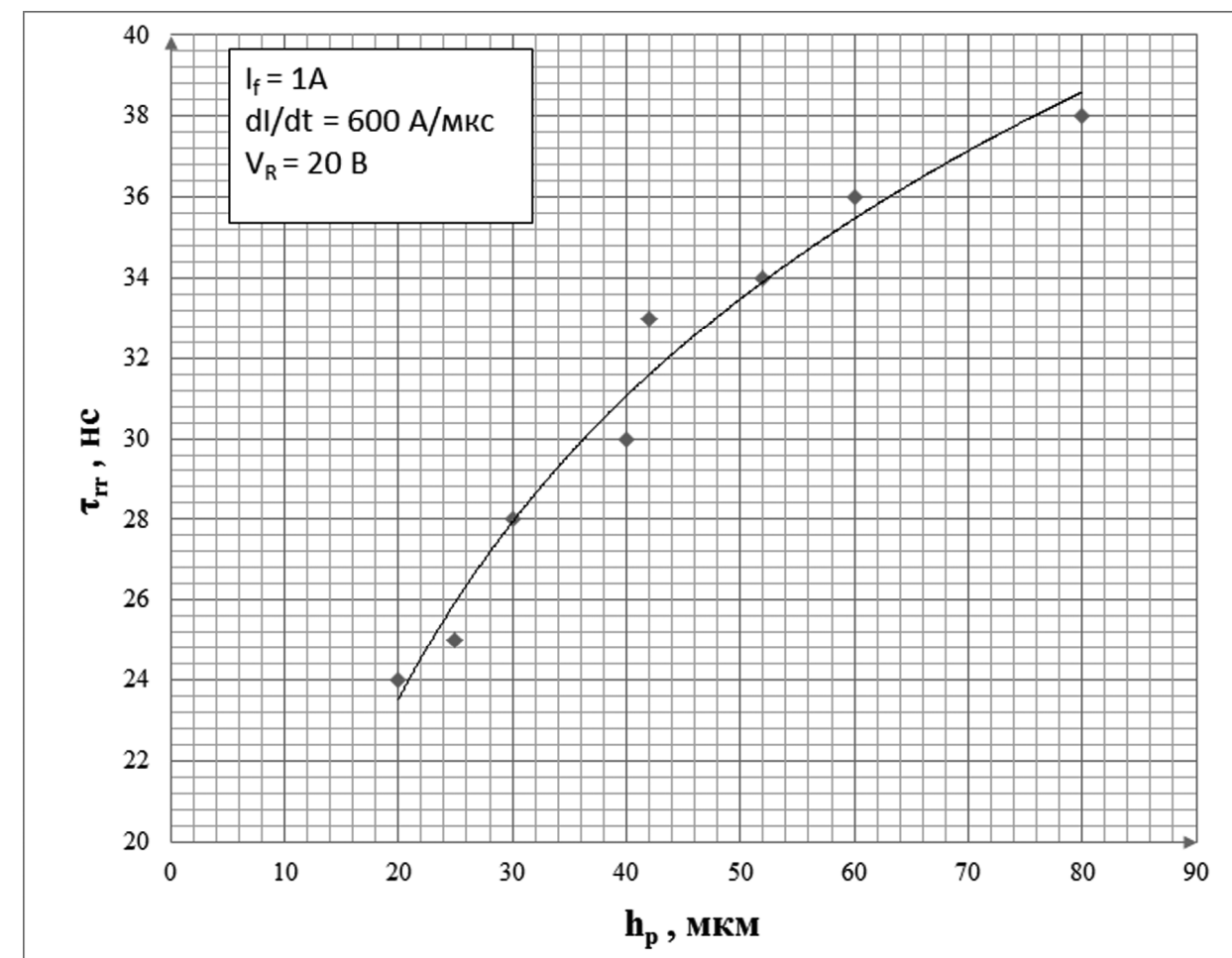


Рисунок 4 - Зависимость времени обратного восстановления ($I_{пр}=0,5A$, $dI_{пр}/dt=200A/мкс$, $U_{обр}=40B$)

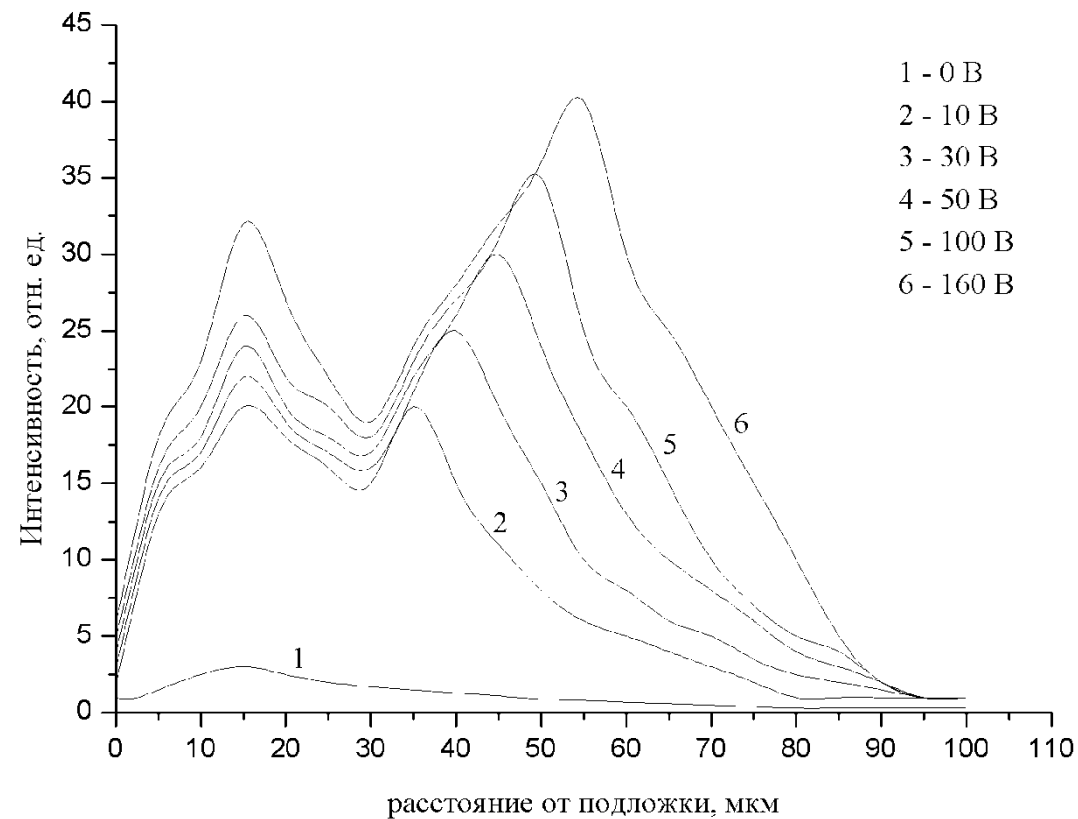


Рисунок 5 - Профиль наведенного тока по толщине р-і-п-структуры GaAs-AlGaAs при обратном смещении.

Особенностью рассматриваемых р-і-п структур на основе системы GaAs-AlGaAs является «нестандартное» распределение внутреннего поля в базовой области при обратном смещении. В отсутствии смещения в распределении поля наблюдается один максимум. Этот максимум соответствует положению р-п перехода. При приложении обратного смещения появляется второй максимум. Такое поведение внутреннего поля при обратном смещении связано с особенностями профиля распределения носителей заряда в базовой области в стационарном состоянии, где наблюдается изменение градиента концентрации в зависимости от координаты.

На основе результатов проведенных исследований разработана устойчивая промышленная технология выращивания р-і-п структур в системе GaAs-AlGaAs с напряжением пробоя 600-1200 В. Электрофизические параметры р-і-п структур позволили изготовить опытные партии силовых диодов со следующими основными характеристиками:

- прямой рабочий ток, I_f – 1-50 А;
- прямое падение напряжения, U_f – 1,3-1,8 В;
- обратное рабочее напряжения, U_r – 400-1200 В;
- время обратного восстановления, t_{rr} – 20-70 нс, при независимости от рабочей температуры;
- максимальная рабочая температура кристалла – до 250 °С.