

О Т З Ы В

Официального оппонента на диссертационную работу Харламова Николая Александровича по теме «Ионно-плазменное получение и возможность использования слоев твердого раствора на основе $(\text{SiC})_{1-x}(\text{AlN})_x$ на монокристаллическом кремнии», представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.27.06 – «Технология и оборудование для производства полупроводников, материалов и приборов электронной техники»

Актуальность темы диссертации

Разработка технологии получения гетероэпитаксиальных структур на основе широкозонных материалов является одним из наиболее динамично развивающихся направлений в современной электронике. Усилия исследователей и производителей электронной компонентной базы направлены на расширение эксплуатационных характеристик полупроводниковых приборов и устройств: увеличение температурного диапазона, повышение радиационной стойкости, инертность к химически агрессивным средам и т.д. Комплексу перечисленных требований способны удовлетворить материалы с большой шириной запрещенной зоны: карбид кремния, нитриды галлия и алюминия, а также твердые растворы на их основе. Одной из основных проблем в области формирования широкозонных материалов является отсутствие коммерчески доступных собственных подложек нитридов III группы. Наиболее близкой кристаллической структурой обладают подложки карбида кремния. Однако эти пластины до сих пор являются достаточно дорогим и труднодоступным материалом. В связи с относительно низкой теплопроводностью сапфира его применение для решения указанной задачи ограничено использованием в маломощных и оптоэлектронных приборах. Альтернативой в этом случае являются подложки из кремния, которые достаточно технологичны и поэтому очень перспективны с точки зрения экономичности производства. Они доступны,

дешевы, характеризуются достаточно высокой теплопроводностью, не ограничены по диаметру пластин и легко поддаются утоньшению, что упрощает формирование в них сквозных отверстий. Однако большое различие коэффициентов теплового расширения и параметров решетки кремния и нитридов III группы влечет за собой необходимость решения ряда взаимосвязанных научно-технологических задач, направленных на получение гетероструктур приемлемого качества. Поэтому разработка технологии получения гетероэпитаксиальных структур твердого раствора $(\text{SiC})_{1-x}(\text{AlN})_x$ на пластинах кремния является актуальной задачей в области материалов и приборов электронной техники.

Целью работы являлось обоснование возможности получения гетероструктур на основе наноразмерных слоев твердых растворов $(\text{SiC})_{1-x}(\text{AlN})_x$ на монокристаллической подложке кремния путем магнетронного распыления многокомпонентной мишени. Подходы к достижению поставленной цели автором четко сформулированы в положениях, выносимых на защиту.

Степень обоснованности научных положений, выводов и рекомендаций

Основные результаты работы опубликованы в 3 журналах, входящих в перечень ВАК, апробированы в ряде международных и всероссийских конференциях, что является свидетельством достоверности полученных результатов и выводов, а также научных положений, выносимых на защиту. Особый интерес представляет рекомендованные автором технологические режимы формирования монокристаллических слоев твердого раствора $(\text{SiC})_{1-x}(\text{AlN})_x$ толщиной до 100 нм на подложках кремния. Полученные слои могут быть использованы в качестве темплейтов для последующего формирования приборных структур. Обоснованность рекомендаций подтверждена актами использования результатов работы.

Оценка новизны научных результатов

Научная новизна работы заключается в установлении закономерностей формирования монокристаллических наноразмерных слоев твердого раствора $(\text{SiC})_{1-x}(\text{AlN})_x$ на монокристаллической кремниевой подложке с ориентацией (111) при магнетронном распылении однородной компактной мишени аналогичного состава. Показана возможность использования принципов эндотаксии для получения монокристаллических слоев $(\text{SiC})_{0,7}(\text{AlN})_{0,3}$ и $(\text{SiC})_{0,5}(\text{AlN})_{0,5}$.

Значение полученных результатов для теории и практики

Практическая значимость работы заключается в оптимизации технологического процесса получения слоев твердого раствора $(\text{SiC})_{1-x}(\text{AlN})_x$ на пластинах кремния, позволяющего формировать пленки заданного состава со скоростью до 0,1 нм/с и слои с шероховатостью поверхности не ниже 14 класса. Показана возможность использования разработанного технологического процесса для создания оптоэлектронных приборов и диода Шоттки, в том числе на основе темплейтов $(\text{SiC})_{1-x}(\text{AlN})_x/\text{Si}$.

Рекомендации об использовании результатов исследований

Результаты проведенных исследований могут быть использованы на предприятиях электронной промышленности РФ и исследовательских институтах при разработке и изготовлении твердотельных приборов на основе широкозонных материалов, а также в высших учебных заведениях при проведении лабораторных и практических занятий по соответствующим дисциплинам.

Подтверждение личного вклада автора

Личное участие Н.А. Харламова в получении результатов диссертационной работы подтверждается его участием в профильных международных и всероссийских конференциях, а также в публикациях, отражающих основные результаты исследований.

Общие замечания

1. Желательно пояснить, в чем состоит принципиальное отличие между результатами исследований по получению слоев твердых растворов в системе SiC – AlN путем магнетронного распыления однородной и составной мишеней.

2. Руководствуясь результатами, представленными на рис. 3.8, скорость роста пленок твердого раствора $(\text{SiC})_{1-x}(\text{AlN})_x$ линейно зависит от энергии ионов Ar^+ . Поэтому не совсем понятно, почему при дальнейших исследованиях эта величина выбрана $E = 500$ эВ. Является ли это значение оптимальной величиной или имеются технологические ограничения?

3. Отсутствует обоснование выбора гетероструктуры $(\text{SiC})_{0,5}(\text{AlN})_{0,5}$ для формирования диода Шоттки. Имеются ли преимущества ее использования в указанном приборе по сравнению с гетероструктурой $(\text{SiC})_{0,7}(\text{AlN})_{0,3}$?

4. Затруднена сравнительная оценка зависимостей токов утечки диода Шоттки, возрастающих на 3 порядка при увеличении температуры на 100° для теоретически рассчитанного прибора в программе Sim Windows (рис. 2.7) и на 20 мкА для экспериментального образца (рис. 4.4). Целесообразно привести обе зависимости в полулогарифмическом масштабе.

5. Не представлены теоретически рассчитанные функциональные параметры УФ светодиода на основе $(\text{SiC})_{1-x}(\text{AlN})_x$ (ВАХ, ток-мощностная характеристика и т.д.), а также отсутствует сравнительная характеристика разрабатываемого прибора с имеющимися аналогами на основе нитрида галлия (раздел 4.2).

Заключение

Отмеченные недостатки носят частный характер и не снижают высокой положительной оценки работы. Полученные автором результаты достоверны, выводы и заключение обоснованы. Результаты работы достаточно широко опубликованы и апробированы. Автореферат соответствует основному содержанию диссертации.

По актуальности, научной новизне и практической ценности диссертационная работа Харламова Николая Александровича удовлетворяет требованиям ВАК РФ к кандидатским диссертациям, а ее автор заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.27.06 – Технология и оборудование для производства полупроводников, материалов и приборов электронной техники.

Официальный оппонент
Рыжук Роман Валериевич

дата



подпись

кандидат технических наук

Почтовый адрес: 115409, г. Москва, Каширское ш., 31

Телефон: 8(495)788-56-99, доб. 8439

e-mail: ryzhuk-rom@yandex.ru

Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»,
Старший научный сотрудник

Подпись Рыжука Романа Валериевича удостоверяю
Шашина Татьяна Сергеевна,
заместитель начальника отдела
документационного обеспечения

дата

