

## ОТЗЫВ

на автореферат диссертации Н.А. Харламова «Ионно-плазменное получение и возможность использования слоев твердого раствора на основе  $(\text{SiC})_{1-x}(\text{AlN})_x$  на монокристаллическом кремнии» представленную на соискание учёной степени кандидата технических наук по специальности 05.27.06 – «Технология и оборудование для производства полупроводников, материалов и приборов электронной техники»

Диссертация Н.А. Харламова посвящена решению актуальных проблем современного материаловедения полупроводниковых структур. Рассматриваемые в работе объекты являются перспективными структурами, включающими эпитаксиальные слои твердого раствора на основе  $(\text{SiC})_{1-x}(\text{AlN})_x$  на монокристаллическом кремнии. В работе обсуждаются аспекты формирования данных структур разного состава на различных подложках (кремний, сапфир, карбид кремния, нитрид алюминия). Для получения структур  $(\text{SiC})_{1-x}(\text{AlN})_x/\text{Si}$  разработан низкотемпературный технологический процесс с применением магнетронного распыления однородной мишени, обеспечивающий формирования слоев со скоростью до 0,2 нм/с на различных подложках. Разработана модель формирования слоев магнетронным распылением, результаты работы, которой подтверждается хорошо коррелирующими экспериментальными данными. При этом особое значение имеет доказательство существования твердого раствора  $(\text{SiC})_{1-x}(\text{AlN})_x$  во всем диапазоне  $x$  при температуре ниже 900С. В данной работе успешно решаются поставленные задачи как с точки зрения выращивания слоев твердого раствора различного состава, так и с необходимостью его профилирования при проведении процессов изготовления полупроводниковых приборов на основе  $(\text{SiC})_{1-x}(\text{AlN})_x$ .

Проведённые исследования по выращиванию структур  $(\text{SiC})_{1-x}(\text{AlN})_x/\text{Si}$  показали, что в таких системах при температуре подложки ниже 800С образуется поликристаллический слой, а при температуре выше 800С - монокристаллический. При этом, формирование монокристаллических слоев твердых растворов возможно методом эндотаксии. Показано, что разработанный ионно-плазменный процесс с магнетронным распылением однородной компактной мишени позволяет получить многослойные наноструктуры  $(\text{SiC})_{1-x}(\text{AlN})_x/\text{Si}$  с необходимой топологией.

Использование автором нескольких хорошо апробированных методов исследований, в сочетании с грамотной проработкой постановки экспериментов, математических методов моделирования и методик обработки и анализа результатов исследований позволяют говорить о высоком уровне достоверности полученных выводов и положений.

К сожалению, в автореферате не приводятся ссылок на пионерские работы группы чл.-корр. РАН, Г.К. Сафаралиева по получению и исследованию твердых растворов на основе композиции карбид кремния – нитрид алюминия. В целом же автореферат диссертации производит положительное впечатление.

Считаю, диссертация Н.А. Харламова отвечает требованиям утверждённых положений ВАК, предъявляемым к кандидатским диссертациям, а её автор заслуживает присуждения учёной степени кандидата технических наук по специальности 05.27.06 – «Технология и оборудование для производства полупроводников, материалов и приборов электронной техники».

Таиров Юрий Михайлович

Заслуженный деятель науки и техники России

Доктор технических наук, профессор

Телефон (812)-234-3164, e-mail [siclab-taistrov@yandex.ru](mailto:siclab-taistrov@yandex.ru)

Организация: СПбГЭТУ «ЛЭТИ»

Адрес: 197376, Санкт-Петербург, ул. Профессора Попова, д. 5, Россия

*Подпись Таирова Ю.М.*  
*Подпись с.с.с. с.с.с. с.с.с.*  
*и т.д.*



*А. П. Васильев*