

## О Т З Ы В

На автореферат диссертации Лебедевой Натальи Михайловны «Физические и конструктивно-технологические решения по созданию высоковольтных и лавинных 4H-SiC диодов», представленной на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.3.11 — физика полупроводников

Диссертация Н.М. Лебедевой посвящена реализации новых технологических подходов к созданию высоковольтных карбид-кремниевых приборов, а также исследованию электрических характеристик высоковольтных диодов Шоттки, диодов на основе электронно-дырочных переходов и полевых транзисторов с затвором Шоттки на основе 4H-SiC. Широкозонные полупроводники, такие как нитрид галлия/алюминия и карбид кремния наиболее интенсивно исследуются производителями электронных компонентов с целью замещения кремниевых силовых приборов для систем преобразования электрической энергии. В мире насчитывается более десятка производителей карбид-кремниевых приборов, постоянно совершенствующих технологию, ищущих новые пути повышения их эффективности (Nexperia, Microchip Technology, STMicroelectronics, Infineon, OnSemi, АО «ГРУППА КРЕМНИЙ ЭЛ» и другие). Получение любых практически значимых результатов в данной области делает работу актуальной. В работе такие результаты несомненно представлены. В частности, автор описывает и анализирует новые полезные для производства способы предотвращения раннего поверхностного пробоя силовых приборов.

Наиболее значимые, с моей точки зрения, результаты, полученные в диссертации:

- Реализован метод формирования охранного высокоомного кольца. Кольцо создается путем компенсации глубокими центрами, возникающими в ходе имплантации ионов аргона в карбид кремния.

- Реализован способ формирования маски для защиты активной области прибора от возникновения дефектов при ионной имплантации ионов аргона в карбид кремния.

- Реализованы способы формирования меза-структур высоковольтных приборов из карбида кремния, в том числе с использованием фоторезистивной маски с заданным краевым углом.

Новые технологические подходы позволили повысить напряжение лавинного пробоя до теоретических значений, соответствующих объемному пробоя. Таким образом, задача защиты от поверхностного пробоя для исследованных структур в полной мере решена. Результаты подтверждаются как экспериментально, так и с использованием расчетных данных. Используемые методики не вызывают сомнений в корректности полученных результатов.

В качестве замечаний можно указать следующее:

1. В обзоре литературных данных не хватает рассмотрения достигнутого уровня. Работы по карбиду кремния ведутся интенсивно, существует множество серийных приборов, на каждый из которых выпускается технический паспорт, есть патенты и оригинальные статьи. Читателю хорошо было бы увидеть некую сравнительную таблицу параметров, из которой можно было бы сделать вывод о месте работы среди прочих. Без такого сравнения предложенные технологические подходы могут показаться своеобразной панацеей.

2. В автореферате часто упоминается, что та или иная технология была разработана. Однако, в основном представлено описание реализованной технологии, но не результаты разработки. Например, разработка технологии имплантации ионов аргона должна содержать перебор ряда технологических параметров (энергии ионов, дозы, толщины и параметров топологии маски). В ходе технологического моделирования средствами TCAD или в процессе ряда технологических экспериментов следовало бы получить наиболее оптимальный с точки зрения технических характеристик и стоимости изготовления маршрут. После знакомства с авторефератом о подобных разработках делать выводы сложно.

Представленные замечания не снижают значимости полученных результатов и не влияют на положительную оценку работы. Работа соответствует критериям, установленным Положением о присуждении ученых степеней в Федеральном государственном бюджетном учреждении науки Физико-техническом институте им. А.Ф. Иоффе Российской академии наук, а ее автор, Н.М. Лебедева, заслуживает присуждения ей степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.3.11 — физика полупроводников.

Кандидат физико-математических наук по специальности

01.04.10 – физика полупроводников

Доцент, и.о. заведующего кафедрой полупроводниковой электроники,

Заведующий лабораторией неравновесных процессов в полупроводниковой электронике,

Национальный исследовательский Томский государственный университет

«26» марта 2025 года



Прудаев Илья Анатольевич

Адрес: 634050, Томск, пр. Л

E-mail: [prudaev@mail.tsu.ru](mailto:prudaev@mail.tsu.ru)

Подпись И.А. Прудаева завер



КОВА

26.