

Отзыв на автореферат диссертационной работы
Данилова Дениса Васильевича
«Электрофизические и рекомбинационные свойства дефектов в кремнии,
имплантированном ионами кислорода»,
представленной на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук
по специальности 01.03.11 – Физика полупроводников

Активное изучение и анализ свойств дефектов, присутствующих в промышленно выращиваемых монокристаллах кремния, вызвано широким его применением в микроэлектронике и фотовольтаике. Основным сырьём для изготовления монокристаллов кремния является его диоксид, что приводит к большой концентрации кислорода в изготавливаемых пластинах. Кислород в кремнии образует кислородсодержащие дефекты, одним из которых являются кислородные преципитаты, представляющие собой объёмные формирования оксида кремния. Такие преципитаты могут влиять на рекомбинационные, электрические и механические характеристики кристаллов, а также служить в качестве геттера для инородных примесей, что активно применяется в микроэлектронике для очистки рабочей области кремниевых пластин. Отличительной чертой кислородных преципитатов является разнообразие их электронных свойств, которые могут варьироваться в зависимости от их формы, размеров и условий их получения весьма непредсказуемым образом. Поэтому диссертационная работа Д.В. Данилова, посвященная систематическому изучению электрических и рекомбинационных свойств дефектов, формируемых в результате высокотемпературных термообработок модельного объекта – кремния, имплантированного кислородом, – является актуальной и современной.

В работе представлено большое количество новых экспериментальных данных касательно электрофизических, рекомбинационных и структурных свойств кислородных преципитатов в кремнии, представлена модель, количественно объясняющая возникновение заряда кислородных преципитатов. Одним из основных результатов работы является обнаружение и объяснение необычного поведения эмиссии носителей заряда с акцепторных состояний внутри области объемного заряда диода Шоттки, образованных отжигом при 700 °С кремния, имплантированного кислородом. Изучение дефектообразования вблизи указанной температуры отжига является весьма нетривиальной задачей ввиду того, что при данных температурах происходит активная трансформация комплексов точечных дефектов в протяжённые. В случае кислородной примеси это характеризует образование зародышей кислородных преципитатов – одной из самых неизученных стадий их развития.

При прочтении работы возникли **замечания**:

1) При измерении ВАХ имплантированных образцов обнаружено увеличение напряжения открытия диода до 4 В при понижении температуры до 100 К. Из автореферата не достаточно ясно, как и какой барьер возникает в области имплантации, ограничивающий протекание прямого тока, и как это связано с изменением температуры.

2) Вставка к рисунку 2Б, очевидно, представлена на отдельном рисунке 3.

Вышеперечисленные замечания не снижают общую положительную оценку диссертационной работы. Представленные результаты, как следует из автореферата,

прошли успешную апробацию на многих российских и международных конференциях, а также опубликованы в периодических изданиях, входящих в международные и российские базы данных. Автореферат написан хорошим языком и достаточно полно отражает содержание и структуру диссертационной работы.

Считаю, что диссертационная работа Д. В. Данилова «Электрофизические и рекомбинационные свойства дефектов в кремнии, имплантированном кислородом» соответствуют всем требованиям, предъявляемым к диссертациям на соискание учёной степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.03.11 – Физика полупроводников, согласно Положению о присуждении ученых степеней в Федеральном государственном бюджетном учреждении науки Физико-техническом институте им. А.Ф. Иоффе Российской академии наук, а её автор заслуживает присуждения искомой ученой степени по специальности 01.03.11 – Физика полупроводников.

Доктор физико-математических наук,
профессор кафедры микро- и наноэлектроники
Санкт-Петербургского государственного
электротехнического университета
им. В.И. Ульянова (Ленина)

Зубков Василий Иванович

Подпись В.И. Зубкова удостоверяю