

## ОТЗЫВ

на автореферат диссертации **Глеба Владимировича Баранова**  
**« ЭФФЕКТЫ ПРОСТРАНСТВЕННОГО РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ДЕФЕКТОВ И  
ПРИМЕСНЫХ АТОМОВ В СЛОИСТЫХ СТРУКТУРАХ НА ОСНОВЕ Si ПРИ  
ИОННОЙ ИМПЛАНТАЦИИ»**,

представленной на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 05.27.01 – твердотельная электроника, радиоэлектронные компоненты, микро- и наноэлектроника, приборы на квантовых эффектах

Уже давно известно, что распределение структурных нарушений, сформировавшихся во время ионной имплантации в кремний, может существенно влиять на распределения легирующей примеси по глубине в результате преходящей радиационно-стимулированной диффузии (TED) при отжиге (см., напр., обзор E. Chason, S. T. Picraux, J. M. Poate и др. J. of Appl. Phys **81**, 6513 (1997)). В свою очередь известно также, что пространственное распределение радиационных дефектов на границах разных фаз существенно отличается от предсказываемого в модели бинарных столкновений. В настоящей работе проводятся исследования влияния ещё и разделения компонент пар Френкеля в слоистых структурах на формирование профилей устойчивых дефектов и имплантированных примесей. Все эти процессы чрезвычайно важны как для понимания физических механизмов, сопровождающих ионную имплантацию, так и практических приложений. Таким образом, *актуальность тематики* диссертационной работы не вызывает сомнений.

*Научная новизна работы* Г.В. Баранова весьма высока.

Так, например, им предложен новый подход к термически устойчивому интегральному разделению компонентов пар Френкеля, возникающих при ионной имплантации в слоистые гетерогенные структуры на основе Si. Для экспериментальной проверки этого подхода проводилось облучение двухслойных структур тяжелыми ионами с энергией ~ десятков кэВ. Приводимые результаты могут служить подтверждением выдвигаемой автором концепции. Хотя выбор подобных ионов и вызывает, на мой взгляд, определенное удивление. Известно, что внедрение таких ионов в кремний при комнатной температуре вызывает образование вокруг их траекторий аморфизованных разупорядоченных областей, что должно препятствовать выходу в окружающий кремний компонент пар Френкеля и, соответственно, снижать влияние их пространственного разделения. Имело бы смысл обсудить этот вопрос.

Впервые показано, что в результате управления диффузионными процессами примесных атомов по предлагаемой автором методике диффузия атомов Sb в Si в структуре SiO<sub>2</sub>-Si на стадии постимплантационного отжига может быть практически

полностью подавлена, а диффузия атомов As в Si имеет сложный характер и включает элемент «восходящей диффузии».

Г.В. Барановым разработана оригинальная модель такого диффузионного перераспределения атомов As, имплантированных в границу раздела структуры SiO<sub>2</sub>-Si, о котором говорилось выше, впервые учитывающая особенности распределения радиационных нарушений вблизи этой границы при предложенных условиях имплантации.

Отметим также результаты, посвященные влиянию механических и электрических полей в области вскрытых окон на формирование распределений дефектов и примесей.

*Практическая значимость* работы, учитывая широкое использование многослойных структур в полупроводниковых приборах и новые возможности, которые открывает выполненное исследование, весьма велика.

*Достоверность* полученных данных и *справедливость* сделанных выводов и *защищаемых положений* в целом не подлежат сомнению.

*Результаты исследований*, обсуждаемые в автореферате, опубликованы в трёх статьях в журналах из списка ВАК и шести трудах/тезисах конференций.

Диссертация Г.В. Баранова является законченной научно-квалификационной работой, содержащей новые научные сведения. Диссертационная работа отвечает всем требованиям ВАК, предъявляемым к кандидатским диссертациям, а её автор, Баранов Глеб Владимирович, заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 05.27.01 – твердотельная электроника, радиоэлектронные компоненты, микро- и нанoeлектроника, приборы на квантовых эффектах.

Профессор кафедры физической электроники  
Санкт-Петербургского политехнического  
университета Петра Великого

Титов Андрей Иванович, д.ф.-м.н., профессор.  
Профессор кафедры физической электроники  
Санкт-Петербургского политехнического  
университета Петра Великого.

Политехническая 29, СПбПУ, 195251

Тел.: 8 812 552 7516

E-mail: [andrei.titov@rphf.spbstu.ru](mailto:andrei.titov@rphf.spbstu.ru)

5 декабря 2018

Подпись А.И. Титов  
УДОСТОВЕРЯЮ  
Ведущий специалист  
по кадрам  
«05» 12

