

## ОТЗЫВ

на автореферат диссертации Баранова Глеба Владимировича «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 нанoeлектроника, приборы на квантовых эффектах.

С переходом современных структур микроэлектроники в нанометровую область размеров эффекты образования и эволюции радиационных дефектов, перераспределения и активации примесных атомов стали кардинально отличаться от наблюдаемых на макромасштабах (например, Seebauer E.G. et. al., Mat. Sci. Eng.: R, 2010, V.70; Current M.I., Mat. Sci. Semicon. Proc., 2017, V.62). В этой связи диссертационная работа Баранова Г.В. обладает безусловной научной актуальностью. Практический интерес к теме исследования обусловлен необходимостью разрешения традиционных задач суб-100нм технологии микроэлектроники: подавление ускоренной диффузии и повышение степени активации примеси.

Объектами исследований выступают гетерогенные структуры на основе Si, представляющие не только очевидный практический, но и научный интерес. Наличие различных фаз и границ раздела с одной стороны дает множество возможностей для управления динамикой накопления и диффузией структурных дефектов, а с другой стороны требует искусности в управлении тонкими граничными эффектами и аккуратности в интерпретации результатов исследований, с чем, на наш взгляд, Баранов Г.В. успешно справился.

Автор разумно начинает исследование с тщательного анализа особенностей накопления первичного дефектного фона, поскольку именно первичный фон определяет эволюцию вторичных радиационно-термических дефектов и характер диффузии примесных атомов. И в этой части диссертационной работы получен важнейший результат, касающийся сепарирования радиационных вакансий и междоузельных атомов в различных слоях гетероструктуры. Отличие диффузионной прозрачности слоёв позволяет в значительной степени сохранить эффект разделения и на стадии отжига, способствуя протеканию диффузии примеси в Si в условиях несвойственного для ионной имплантации фона неравновесных дефектов. Такая ситуация позволяет в широком диапазоне значений управлять коэффициентом диффузии ряда примесей, чей механизм диффузии

осуществляется посредством точечных дефектов. В частности автором продемонстрировано подавление коэффициента диффузии Sb в  $5 \cdot 10^3$  раз.

Тем не менее, следует заметить, что изучение эффекта пространственного разделения радиационных дефектов проводилось только в структурах «диэлектрик-кремний». Между тем, под понятие слоистых структур попадает КНИ-структура («кремний-на-изоляторе»), весьма интересная с точки зрения развиваемых автором представлений. Наряду с обогащением активного слоя Si вакансиями наличие в нём сразу двух границ раздела, близких к области дефектообразования, должно увеличивать эффективность стока дефектов и, по-видимому, приводить к особой картине их накопления. Однако указанное замечание не умаляет общей ценности теоретических и практических результатов диссертационной работы.

В целом диссертационная работа «Эффекты пространственного распределения дефектов и примесных атомов в слоистых структурах на основе Si при ионной имплантации» логически согласована, хорошо структурирована, написана грамотным научным языком и соответствует всем требованиям ВАК, предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук, а её автор, Баранов Г.В., заслуживает присуждения искомой ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 05.27.01 – твердотельная электроника, радиоэлектронные компоненты, микро- и нанoeлектроника, приборы на квантовых эффектах.

Старший научный сотрудник  
ЛЭСП ОФХП ФТИ УдмФИЦ УрО РАН  
канд. техн. наук  
e-mail: [bykovpv@udman.ru](mailto:bykovpv@udman.ru)

Быков П.В.

426067, Удмуртская Республика, г.Ижевск, ул. им. Татьяны Барамзиной, д.34.  
Удмуртский федеральный исследовательский центр Уральского отделения РАН.  
Тел.: +7(3412)430675  
11 декабря 2018 г.

Подпись Быкова Павла Владимировича заверяю  
Специалист по кадрам



Черных Н.Н.