

## ОТЗЫВ

на автореферат диссертации **Шепелева Артема Сергеевича**  
**«Транспорт неравновесных носителей заряда в облученных кремниевых  
детекторах при температуре сверхтекучего гелия»**,  
представленной на соискание ученой степени кандидата физико-математических  
наук по специальности 1.3.11 «Физика полупроводников»

Диссертационная работа Шепелева А.С. посвящена исследованию радиационной стойкости кремниевых детекторов, находящихся при температуре 1.9К в интенсивном поле протонов высокой энергии. Задача мотивирована работами, выполняемыми в ЦЕРН, и связана с повышением риска нарушения сверхпроводящего состояния обмоток магнитов Большого Адронного Коллайдера рассеянными протонами с кратно увеличенной светимостью пучка. Задача уникальна, инициирована развитием физики высоких энергий и несомненно важна для физики и техники полупроводниковых детекторов ядерных излучений.

Автореферат диссертации состоит из Введения и пяти глав, характеризующих решаемую задачу и полученные результаты. Во Введении сформулирована постановка задачи и определены научная новизна и практическая значимость результатов. План выполненных исследований логичен и состоит из этапов, включающих создание математических процедур обработки экспериментальных данных, исследования необлученных кремниевых детекторов при снижении температуры вплоть до 6К и анализ данных *in situ* радиационного теста детекторов на пучке протонов в ЦЕРН при температуре 1.9К. Достоверность экспериментальных результатов не вызывает сомнений, поскольку они получены с помощью известной техники регистрации токовых откликов P-I-N структур, возникающих в результате генерации в образце электронов и дырок короткими световыми импульсами. Развитый для анализа формы импульсов математический аппарат апробирован на примерах, приведенных в третьей главе автореферата. Четвертая глава содержит описание результатов по исследованию транспорта электронов и дырок в необлученных P-I-N детекторах, когда распределение электрического поля в их чувствительной области определяется степенью ионизации мелких доноров, т.е. атомов фосфора. Убедительно показана 100%-ная ионизация мелких доноров в диапазоне температур 300-6К, что может быть объяснено только эффектом Пула-Френкеля с учетом туннелирования электронов сквозь искаженный электрическим полем потенциальный барьер атома фосфора. Экстраполяция результата в область температур сверхтекучего гелия предсказывает сохранение ионизованного состояния атомов фосфора.

В пятой главе описаны результаты анализа данных *in situ* радиационного теста детекторов в ЦЕРН и показано, что дрейфовый перенос электронов и дырок дополнен их ударной ионизацией в приконтактных областях детектора. Обнаруженный эффект ударной ионизации позволил построить модель

многостадийного процесса формирования сигнала в детекторе и объяснить экспериментальные дозовые зависимости собранного заряда в детекторах с различной толщиной чувствительной области. Несомненно важным является определенная из данных эксперимента аномальная скорость введения радиационных дефектов протонами при температуре 1.9К, которая оказалась почти на 3 порядка выше известного значения при комнатной температуре.

Выводы по выполненным исследованиям, приведенные в Заключении, соответствуют полученным результатам и обладают высокой степенью достоверности и значимости для физики кремниевых детекторов. Они несомненно должны учитываться при создании криогенных систем с полупроводниковыми сенсорами излучений. Автор справедливо указал на их прикладное значение для создания детекторов болометрического типа для регистрации частиц, слабо взаимодействующих с твердым телом, таких как нейтрино, что может быть учтено в работах по созданию таких детекторов, проводимых в ИФМ РАН и НГТУ. Результаты работы опубликованы в 8 статьях в научных журналах, индексируемых в WoS и Scopus, включая статью в престижном издании Journ. Appl. Phys., что подтверждает высокий уровень работы.

Замечанием к автореферату является отсутствие объяснения сравнительно низкого уменьшения амплитуды импульсного сигнала по сравнению с высокой скоростью введения радиационных дефектов.

Считаю, что работа соответствует требованиям Положения о присуждении ученых степеней в Федеральном государственном бюджетном учреждении науки Физико-технический институт им. А.Ф. Иоффе Российской академии наук, предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук, а соискатель Шепелев Артем Сергеевич заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.3.11 «Физика полупроводников».

Панкратов Андрей Леонидович

Лауреат государственной премии РФ в области науки и техники для молодых ученых, доктор физико-математических наук по специальностям 01.04.03 – радиофизика и 05.27.01 – твердотельная электроника, радиоэлектронные компоненты, микро- и наноэлектроника, приборы на квантовых эффектах, ведущий научный сотрудник отдела терагерцовой спектроскопии Института физики микроструктур РАН – филиала Федерального государственного бюджетного научного учреждения «Институт прикладной физики им. А.В. Гапонова-Грехова Российской академии наук», 603950, г. Нижний Новгород, ГСП-105, тел.: +79051913223, e-mail: alp@ipmras.ru.