

«УТВЕРЖДАЮ»

Проректор

Московского государственного

университета имени М. В. Ломоносова

профессор А.А. Федянин



*А.А. Федянин*

06 » 06 2018 г.

### О Т З Ы В

ведущей организации - Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова» на диссертацию **СМОЛЯНСКОГО Петра Игоревича «Изучение пиксельных арсенид галлиевых детекторов на основе микросхемы Timerix»**, представленную на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.01 – приборы и методы экспериментальной физики.

Диссертация П.И. Смолянского посвящена разработке пиксельных полупроводниковых детекторов для регистрации частиц и гамма-квантов. В работе рассматриваются т.н. гибридные пиксельные детекторы, которые очень хорошо зарекомендовали себя не только в экспериментальных установках физики высоких энергий, но и в других областях науки и техники где требуется регистрация ионизирующих излучений. Гибридные детекторы представляют собой сборку собственно чувствительного элемента – сенсора и считывающей электроники. Наиболее изучены и чаще всего применяются сенсоры на основе кремниевых p-i-n диодов, однако их применение существенно ограничено при регистрации гамма-квантов и рентгеновского излучения из-за низкой эффективности регистрации.

Наиболее интересны для решения задачи регистрации фотонов высоких энергий детекторы на основе «тяжелых» полупроводниковых материалов, таких как арсенид галлия (GaAs), коэффициент поглощения (а соответственно и эффективность регистрации фотонов) GaAs в несколько раз превышает коэффициент поглощения кремния. Однако, GaAs как детекторный материал, и приборы на его основе значительно меньше изучены по сравнению с кремниевыми сенсорами. Именно этим определяется безусловная **актуальность работы**, поскольку до настоящего времени отсутствовали результаты систематического исследования гибридных



пиксельных детекторов на основе GaAs легированного хромом. Полученные в диссертации результаты позволяют определить оптимальные параметры работы гибридных детекторов и сделать выводы о возможных областях применения таких детекторов, например в рентгенографии, рентгеновской микротомографии, системах безопасности и др.

Диссертация состоит из введения, пяти глав, заключения. Полный объём диссертации составляет 128 страниц, включая 74 рисунка и 6 таблиц. Список литературы содержит 60 наименований.

*Первая обзорная глава* посвящена описанию принципа работы полупроводниковых детекторов и, в частности, детекторов на основе гибридной пиксельной технологии. Приводятся основные требования, предъявляемые к полупроводниковым материалам для их применения в детекторах рентгеновских изображений. Приводится обзор научной литературы, посвященной свойствам арсенида галлия, различным технологиям его производства и связанным с ними ограничениям, которые долгое время препятствовали использованию арсенида галлия в качестве детекторного материала. Дается обзор семейства микросхем считывания Medipix, и описываются пиксельные GaAs:Cr детекторы, используемые для проведения исследований в данной работе.

*Вторая глава* посвящена исследованию свойств арсенида галлия GaAs:Cr как материала для пиксельных детекторов: приводятся результаты измерений вольт-амперных характеристик, транспортных характеристик, эффективности сбора заряда и эффективности регистрации гамма-квантов.

В *третьей главе* приводятся результаты экспериментального исследования стабильности и температурной зависимости спектральных и счетных характеристик GaAs:Cr-Timerix детекторов при облучении гамма-квантами.

В *четвертой главе* приводятся результаты измерений энергетического и пространственного разрешения GaAs:Cr-Timerix детекторов с различной толщиной сенсоров. Описывается разработанная методика, позволяющая существенно улучшить энергетическое разрешение детекторов.

В *пятой главе* рассмотрены результаты исследований эффекта деления заряда в GaAs:Cr-Timerix детекторе с толщиной сенсора 1 мм.

В *заключении* приведены основные результаты и выводы работы.

*Все приведенные в заключении положения являются полностью обоснованными и подтвержденными.*

Основные результаты по теме диссертации опубликованы в четырех статьях в ведущих российских и зарубежных журналах, входящих в список ВАК и международные базы данных Web of Science и Scopus, и доложены на четырех международных конференциях.



Диссертант выполнил очень большой объём работы на современном уровне, который характеризует его как физика-экспериментатора высокой квалификации. Достоверность результатов, представленных в диссертации, не вызывает сомнений. Они были опубликованы и доложены на международных конференциях.

**Научная новизна и практическая ценность** настоящей диссертации состоят в том, что впервые:

- систематически изучены характеристики новых GaAs:Cr-Timerix детекторов, определены их параметры работы и уже используются в рамках проекта ATLAS-GaAs-Pix;
- измерены характеристики GaAs:Cr-Timerix детекторов с толщиной сенсора 1 мм.
- разработана процедура энергетической калибровки, которая позволила достигнуть высокого энергетического разрешения (8.7 кэВ (FWHM) на 57 кэВ) для GaAs:Cr-Timerix детекторов с размером пикселя 55 мкм и толщиной сенсора 1 мм, работающих в режиме измерения энергии.
- выполнены измерения границ чувствительности пикселя в GaAs:Cr-Timerix детекторах с толщиной сенсора 1 мм.

**Значимость** полученных автором диссертации результатов определяется актуальностью задачи диссертации и большим интересом к рентгеновским детекторам изображений на основе арсенида галлия, результаты работы позволяют определить возможность использования гибридных детекторов для целого ряда задач в различных областях: медицине, материаловедении, системах безопасности и др.

Автореферат полностью отражает содержание диссертации. Единственное, что можно отметить, что объём автореферата несколько завышен.

В целом диссертация оставляет впечатление законченного исследования, проведённого на высоком уровне. Диссертация хорошо структурирована и написана понятным языком.

Результаты диссертации рассмотрены и одобрены на заседании Семинара отдела экспериментальной физики высоких энергий НИИЯФ МГУ, 21.05.2018 г.

К недостаткам следует отнести некоторые неточности и опечатки, не влияющие на смысл и качество текста диссертации. Кроме того, практически все надписи и пояснения на рисунках и графиках сделаны на английском языке.

Таким образом, диссертация П.И. Смолянского «Изучение пиксельных арсенид галлиевых детекторов на основе микросхемы Timerix» соответствует всем критериям, предъявляемым к диссертациям на соискание учёной степени кандидата наук, установленным в «Положении о порядке присуждения ученых степеней», утверждённом постановлением

Правительства РФ от 24 сентября 2013 года № 842 с дополнениями от 21 апреля 2016 год № 335, а сам Петр Игоревич Смолянский, безусловно, заслуживает присуждения ему ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.01 — приборы и методы экспериментальной физики.

Отзыв составил

Заведующий лабораторией, отдела экспериментальной физики высоких энергий НИИЯФ МГУ,  
доктор физ.-мат. наук



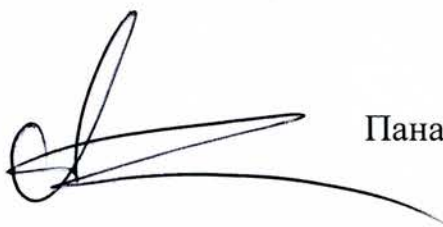
Меркин М.М.

Заведующий отделом экспериментальной физики высоких энергий НИИЯФ МГУ,  
профессор



Боос Э.Э.

Директор НИИЯФ МГУ  
профессор



Панасюк М.И.

Сведения о ведущей организации:

Федеральное государственное образовательное бюджетное учреждение высшего образования «Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова» (Научно-исследовательский институт ядерной физики имени Д.В. Скобельцына).

Адрес: 119991, ГСП – 1, Москва, Ленинские горы, дом 1, строение 2

Телефон: +7(495)9395948 E-mail: merkinm@silab.sinp.msu.ru