

# **НОВЫЕ ПОЛУПРОВОДНИКОВЫЕ ДЕТЕКТОРЫ ДЛЯ ФУНДАМЕНТАЛЬНЫХ И ПРИКЛАДНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ**

**отчет о выполнении проекта и предложение по  
продлению**

**Руководитель проекта            Г. А. Шелков**  
**Зам. руководителя проекта    А.С. Жемчугов**

# Авторы проекта

## ОИЯИ ЛЯП:

А.Л.Гонгадзе, М.И.Госткин, А.В.Гуськов, М.А.Демичев, Д.В.Дедович,  
А.С.Жемчугов, В.Г.Кручонок, Н.К.Кузнецов, С.А.Котов, А.В.Лапкин,  
А.Лейва, А.А.Ноздрин, В.Н.Павлов, С.Ю.Пороховой, Д.А.Кожевников,  
П.И.Смолянский, В.А.Токарева, С.Шакур, Г.А.Шелков

## ОИЯИ ЛЯР:

С. В.Митрофанов

## ОИЯИ ЛФВЭ:

А. В. Аверьянов, А. М. Короткова, Д. О. Кривенков, Ю.Лукстиньш,  
А. Максимчук, С. В. Старикова

# Цели проекта

- Методические работы по созданию детекторов с повышенной радиационной стойкостью и гибридных пиксельных детекторов на основе новых полупроводниковых материалов и микросхем семейства Medipix для физических исследований.
- Развитие инфраструктуры для проведения этих работ в ЛЯП и на пучках базовых установок ОИЯИ.
- Сотрудничество с исследовательскими группами из других центров для определения потенциала новых детекторов в геологии и биомедицине.

# **Отчет 2015-2017**

## 6. План реализации проекта

### Программа исследований

1. Провести систематическое исследование радиационной стойкости GaAs:Cr, в различных условиях, на пучках нейтронов, гамма-квантов и электронов и заряженных адронов;
2. В кооперации с группой DESY XFEL изготовить 50 пиксельных сенсоров (28x42)мм<sup>2</sup> и общей площадью ~ 600 см<sup>2</sup> (19,7\*10<sup>6</sup> пикс.) для создания пиксельного детектора XFEL;
3. Изготовить опытные образцы и исследовать характеристики пиксельных GaAs:Cr детекторов с предельно большой (>1 мм) толщиной сенсора. Такие детекторы в мире до сих пор не производились;
4. В рамках проекта FCAL: провести сравнительное измерение радиационной стойкости образцов сенсоров из кремния и GaAs(Cr) на пучке электронов высокой энергии в SLAC; принять участие в изготовлении и испытаниях первого модуля калориметра FCAL;

## 6. План реализации проекта

### Программа исследований

5. В рамках проекта TGV-2: изготовить образец пиксельного детектора GaAs:Cr+TiMerix и провести фоновые измерения;
6. Изготовить опытные образцы пикс. детекторов GaAs:Cr+TiMerix и изучить отклик при регистрации нейтронов и осколков деления ядер; разработать методы и алгоритмы идентификации частиц по сигналу в пиксельном детекторе на основе TiMerix.

Для выполнения этих исследований целесообразно вступление ОИЯИ в коллаборацию Medipix. Это не только открывает путь к свободному приобретению микросхем Medipix для исследований и разработки опытных образцов детекторов, но и, что не менее важно, дает доступ ко всей научно-технической информации, необходимой для разработки и использования подобных микросхем.

# 6. План реализации проекта

## Этапы проекта

2015

### Научно-методические исследования пиксельных детекторов

- Создание измерительного комплекса и проведение исследований радиационной стойкости GaAs:Cr на пучках базовых установок ОИЯИ (ЭГ-5, нуклотрон, ИБР-2, ИРЕН)
- Сравнительное измерение рад. стойкости сенсоров из Si и GaAs:Cr на пучке электронов высокой энергии в SLAC.
- Освоение технологии монтажа детектора на электронике сбора данных.

### Разработка детекторов для физических исследований

- Изготовление опытных образцов и исследование GaAs:Cr+ Timerix детекторов с толщиной сенсора 1 мм
- Изготовление 50 пиксельных сенсоров общей площадью ~ 600 см<sup>2</sup> детектора XFEL
- Изготовление образца пиксельного детектора GaAs:Cr+Timerix для TGV2. Проведение фоновых испытаний.
- Изготовление опытных образцов и исследование характеристик GaAs:Cr+Timerix детекторов для регистрации нейтронов и осколков деления ядер.

### Прикладные исследования

- Калибровка микротомографа MARS.
- Исследование рентгеноконтрастных веществ. Изучение возможности идентификации контрастных веществ по спектральной информации.

**Кроме того, на этом этапе планируется модернизация чистого помещения в корпусе №4 ЛЯП, которое было создано и использовалось в 2000-2003 г. для производства детекторов мюонного спектрометра установки ATLAS.**

# 6. План реализации проекта

## Этапы проекта

2016

### Научно-методические исследования пиксельных детекторов

- Изготовление опытных образцов и исследование пиксельных GaAs:Cr+Ti<sub>merix</sub> детекторов и предельно большой (>1 мм) толщиной сенсора.
- Подготовка чистого помещения. Ввод в эксплуатацию монтажной станции.

### Разработка детекторов для физических исследований

- Участие в изготовлении первого модуля калориметра FCAL.
- Создание и испытание GaAs:Cr+Ti<sub>merix</sub> детекторов для эксперимента TGV-2
- Изготовление опытных образцов и исследование характеристик пиксельных детекторов с микросхемой Ti<sub>merix</sub> для регистрации нейтронов и осколков деления ядер.
- Разработка методов и алгоритмов для идентификации нейтронов и осколков деления ядер по сигналу в пиксельном детекторе на основе Ti<sub>merix</sub>.

### Прикладные исследования

- Разработка программного обеспечения для реконструкции и анализа изображений, получаемых на микротомографе MARS.
- Проведение исследований керна нефтегазоносных пород (направления 1 и 2).
- Исследование препаратов для анализа атеросклеротического повреждения сосудов (направление 1).

# 6. План реализации проекта

## Этапы проекта

2017

### Научно-методические исследования пиксельных детекторов

- Освоение технологии сборки гибридных пиксельных детекторов.

### Разработка детекторов для физических исследований

- Участие в испытаниях первого модуля калориметра FCAL.

### Прикладные исследования

- Проведение исследований ядра нефтегазоносных пород (направление 3).
- Исследование препаратов для анализа атеросклеротического повреждения сосудов (направление 2 и 3).
- Исследование руд и минерального сырья. Определение потенциала спектральной микротомографии для идентификации минеральных фаз.

# Публикации 2018-2020 г.

1. A. Butler, P. Butler, S. Bell, G.A. Chelkov, D.V. Dedovich, M.A. Demichev, V.G. Elkin, M.I. Gostkin, S.A. Kotov, D.A. Kozhevnikov, U.G. Kruchonak, A.A. Nozdrin, S.Yu. Porokhovoy, I.N. Potrap, P.I. Smolyanskiy, M.M. Zakhvatkin, A.S. Zhemchugov. Measurement of the Energy Resolution and Calibration of Hybrid Pixel Detectors with GaAs:Cr Sensor and Timepix Readout Chip. // Physics of Particles and Nuclei Letters, Vol. 12, No. 1, 2015
2. A.P. Butler, P.H. Butler, S.T. Bell, G. Chelkov, M. Demichev, A. Gongadze, S. Kotov, D. Kozhevnikov, U. Kruchonak, I. Potrap, A. Zhemchugov. Alignment and resolution studies of a MARS CT scanner // Particles and Nuclei Letters, Vol. 12, No. 1, 2015
3. FCAL collaboration. Performance of fully instrumented detector planes of the forward calorimeter of a Linear Collider detector // JINST 10 P05009, 2015
4. A. Guskov, G. Shelkov, P. Smolyanskiy, A. Zhemchugov. On the possibility to use semiconductive hybrid pixel detectors for study of radiation belt of the Earth. // J. Phys.: Conf. Ser. 675 032018, 2016
5. S.M. Abu Al Azm, G. Chelkov, D. Kozhevnikov, A. Guskov, A. Lapkin, A. Leyva Fabelo, P. Smolyanskiy and A. Zhemchugov. Response of Timepix Detector with GaAs:Cr and Si Sensor to Heavy Ions. // Physics of Particles and Nuclei Letters, Vol. 13, No. 3, pp. 363–369, 2016
6. P. Smolyanskiy, G. Chelkov, A.Guskov, D.Dedovich, D.Kozhevnikov, U.Kruchonak, A.Leyva, A.Zhemchugov. Characterization of GaAs:Cr-based Timepix detector using synchrotron radiation and charged particles, // J. Inst. 11, C12070, 2016
7. D. Kozhevnikov, G. Chelkov, M. Demichev, A. Gridin, P. Smolyanskiy, A. Zhemchugov. Performance and applications of GaAs:Cr-based Medipix detector in X-ray CT, // J. Inst. 12, C01005, 2017
8. Svetlikov A.V., Zhemchugov A.S., Kozhevnikov D.A., Gurevich V.S., Shelkov G.A., Khubulava G.G., Evaluation of human ruptured infrarenal aorta aneurysm by new high resolution microtomography // European Heart Journal, 37. (Suppl). 270. P.1477, 2016
9. Zhemchugov A., Svetlikov F., Kozhevnikov D., Shelkov G., Urazgildeeva S., Gurevich V., Usage of novel hybrid pixel detectors for native atherosclerotic plaque imaging by high resolution x-ray computed tomography // Atherosclerosis, 252. e215, 2016
10. Andriyashen V., Gerasimov A., Provorov A., Demichev M., Kozhevnikov D., Geant4-based simulation of a micro-CT scanner using cloud resources // Proceedings of the 7th International Conference “Distributed Computing and Grid-technologies in Science and Education (GRID 2016), Dubna, Russia. CEUR Workshop Proceedings (CEUR-WS.org), 2017, p.502-506
11. Tokareva V., Gridin A., Kozhevnikov D., Streltsova O., Zuev M., Parallel implementations of image reconstruction algorithms for X-ray microtomography // Proceedings of the 7th International Conference “Distributed Computing and Grid-technologies in Science and Education (GRID 2016), Dubna, Russia. CEUR Workshop Proceedings (CEUR-WS.org), 2017, p.481-485

# План на 2018-2020 г.

# Исследования детекторов

- Систематическое изучение отклика детекторов GaAs:Cr+Medipix на облучение тяжелыми ионами и нейтронами
- Развитие методов идентификации частиц в детекторах Timerix
- Изучение радиационной стойкости GaAs:Cr и построение модели радиационных повреждений
- Разработка электроники считывания и подготовка к созданию детекторов на базе микросхемы Medipix4

# Развитие инфраструктуры

На измерительном участке:

- *крейт с источниками высоковольтного и низковольтного питания для стенда ``Калан``;*
- *низкоскоростная электроника считывания Medipix (Widepix или аналоги);*
- *высоковольтное соединение для CV измерений на зондовой станции;*
- *установка для DLTS-измерений;*

На участке микротомографии:

- *компактный микрофокусный рентгеновский аппарат - 2 шт.;*
- *высокоскоростная электроника считывания (Lambda или SPIDR) - 2 шт.;*
- *механика и позиционирование для нового микротомографа;*

На сборочном участке:

- *установка для тестирования микросхем Medipix4;*
- *установка для BGA-монтажа.*

Также потребуются приобретение лабораторного и измерительного оборудования: источники питания, осциллографы и т. п. Кроме того, планируется приобретение лицензионного ПО для программирования ПЛИС и разводки печатных плат, а также вычислительной техники (портативных ПК для сеансов набора данных на ускорителях и высокопроизводительного сервера для реконструкции микротомограмм).

# Прикладные исследования

- Развитие спектральной микротомографии, включая совершенствование вычислительных методов
- Исследование тонкой структуры отложений кальция в стенках атеросклеротически пораженных сонных артерий и аневризм аорты.
- Идентификация жировой ткани мелких животных.
- Изучение возможности выделения рентгеноконтрастных веществ в организме по энергетической зависимости ЛКО.
- Изучение принципиальной возможности создания аппаратуры на основе детекторов Medipix, пригодной для применения в клинической практике.
- Изучение возможности создания дозиметрических зондов на основе детекторов Tiperix.
- Исследование руд и минерального сырья, определение потенциала спектральной микротомографии для идентификации минеральных фаз.

# Финансирование 2018-2020

	Стоимость узлов (тыс.долл.США)	Предложение по распределению финансирования и ресурсов.		
		2018	2019	2020
<b>Материалы</b>	<b>60</b>	<b>20</b>	<b>20</b>	<b>20</b>
<b>Оборудование</b>	<b>350</b>	<b>117</b>	<b>117</b>	<b>116</b>
<i>измерительный участок</i>	<i>77</i>	<i>67</i>	<i>5</i>	<i>5</i>
<i>участок микротомографии</i>	<i>180</i>	<i>30</i>	<i>90</i>	<i>60</i>
<i>сборочный участок и разработка электроники считывания</i>	<i>33</i>	<i>0</i>	<i>2</i>	<i>31</i>
<i>лабораторное оборудование и вычислительная техника</i>	<i>60</i>	<i>20</i>	<i>20</i>	<i>20</i>
<b>НИОКР</b>	<b>10</b>	<b>3</b>	<b>3</b>	<b>4</b>
<b>Командировочные расходы</b>	<b>30</b>	<b>10 (8+2)</b>	<b>10 (8+2)</b>	<b>10 (8+2)</b>
<b>ИТОГО</b>	<b>450</b>	<b>150</b>	<b>150</b>	<b>150</b>