

## **Разработка и изготовление макета алмазного детектора положения и интенсивности рентгеновского пучка**

### **1. Цели и основные задачи выполнения НИОКР**

1.1. Целью выполнения НИОКР является расчет характеристик, разработка конструкций и изготовление макета алмазного детектора положения и интенсивности рентгеновского пучка.

1.2. Достижение поставленной цели обеспечивается решением следующих задач:

1.2.1. Разработка документации:

- эскизная конструкторская документация на макет алмазного детектора положения и интенсивности рентгеновского пучка (далее - ЭКД);

- научно – технический отчет;

- программа и методика испытаний макета алмазного детектора положения и интенсивности рентгеновского пучка;

- протокол испытаний макета алмазного детектора положения и интенсивности рентгеновского пучка.

1.2.2. Изготовление макета алмазного детектора положения и интенсивности рентгеновского пучка;

1.2.3. Испытания макета алмазного детектора положения и интенсивности рентгеновского пучка.

### **2. Исходные данные и условия, необходимые для выполнения работ**

Интенсивность диагностируемого рентгеновского излучения – не менее  $10^6$  фотонов/с и не более  $10^{19}$  фотонов/с.

Энергетический диапазон диагностируемого рентгеновского излучения – не менее 5 кэВ и не более 40 кэВ.

Полуширина диагностируемого пучка рентгеновского излучения – не менее 1 мкм и не более 1 мм

### **3. Общая характеристика**

3.1. Разрабатываемый в ходе выполнения НИОКР макет алмазного детектора положения и интенсивности рентгеновского пучка предназначен для апробации и отработки методик диагностики рентгеновского пучка. Алмазный детектор положения и интенсивности рентгеновского пучка состоит из следующих узлов: алмазного датчика рентгеновского пучка и системы мониторинга рентгеновского пучка.

Алмазный датчик рентгеновского пучка представляет собой плоскопараллельную алмазную пластину с нанесёнными на ней электродами. Алмазный датчик устанавливается перпендикулярно рентгеновскому пучку. Алмазный датчик должен обеспечивать частичное поглощение рентгеновского пучка, что вызывает изменение проводимости чувствительной области из-за генерации электрического заряда. Структура электродов алмазного датчика рентгеновского пучка обеспечивает подачу напряжения смещения и формирование фототоков, сила которых прямо пропорциональна интенсивности поглощаемого рентгеновского излучения при постоянном спектральном составе рентгеновского излучения.

Система мониторинга рентгеновского пучка предназначена для определения пространственного положения и интенсивности рентгеновского пучка путём подачи напряжения смещения на специализированный электрод алмазного датчика

рентгеновского пучка, измерения фототоков на специализированных зондах алмазного датчика рентгеновского пучка, определения центра масс и суммы фототоков и передачи данных в автоматизированную систему управления (АСУ) экспериментальной станции.

#### **4. Технические требования к макету алмазного детектора положения и интенсивности рентгеновского пучка**

##### **4.1. Состав макета алмазного детектора положения и интенсивности рентгеновского пучка**

В результате выполнения НИОКР должен быть разработана документация и изготовлен макет алмазного детектора положения и интенсивности рентгеновского пучка в следующем в составе:

- макет алмазного детектора положения и интенсивности рентгеновского пучка, состоящий из алмазного датчика рентгеновского пучка и системы мониторинга рентгеновского пучка – 1 шт.;
- эскизная конструкторская, техническая и сопроводительная документация;
- научно – технический отчет, включающий:
  - расчёт теплофизических характеристик и подбор оптимальных материалов и конструкций алмазного датчика рентгеновского пучка, таких как:
    - распределение температуры по объему алмазного датчика при локальном воздействии рентгеновского излучения при различных потоках рентгеновского излучения в условиях вакуума и условиях воздушного окружения;
    - рассеяние тепловой мощности при воздействии рентгеновского излучения на алмазный датчик при различных потоках рентгеновского излучения в условиях вакуума и условиях воздушного окружения;
    - тепловое расширение и деформации алмазного датчика при воздействии рентгеновского излучения при различных потоках излучения в условиях вакуума и условиях воздушного окружения;
    - подбор материала и конструкции керамического держателя;
    - подбор конфигурации крепления алмазной пластины к керамическому держателю;
    - анализ целесообразности принудительного охлаждения и подбор конфигурации системы охлаждения;
    - анализ целесообразности контроля температуры алмазного датчика;
  - расчёт электрофизических характеристик алмазного датчика рентгеновского пучка, таких как:
    - зависимость величины силы фототока от потока рентгеновского излучения;
    - изменение электропроводимости алмазной пластины и величины фототока при нагреве под воздействием рентгеновского излучения;
    - влияние примесей на электропроводимость алмазной пластины;
    - анализ и подбор коммутации специализированных электродов с коннекторами;
    - анализ и подбор технологии нанесения электродов;

- анализ и подбор технологии травления канавки электродов;
- анализ влияния ширины и геометрических параметров канавки электродов на точность определения позиции рентгеновского пучка;
- анализ и подбор материалов и толщин электродов;
- анализ пропускающей способности алмазного датчика для диапазона энергий 2 - 40 кэВ;
- анализ конфигураций алмазного датчика для достижения коэффициента пропускания 90% для диапазона энергий 2 - 40 кэВ;
- анализ и подбор диапазонов измеряемых величин сил фототоков;
- анализ и подбор коннекторов, соединений и проводников;
- анализ и подбор значения/диапазона значений напряжения смещения;
- структурную характеристику используемых алмазных пластин;
- иные исследования и расчёты, необходимые для проведения НИОКР.

## 4.2. Требования назначения

4.2.1. Разрабатываемый макет алмазного детектора положения и интенсивности рентгеновского пучка предназначен для измерения интенсивности пучка и оценки направления отклонения оси пучка в плоскости детектора. Разрабатываемый макет алмазного детектора положения и интенсивности рентгеновского пучка будет использован для отработки технологического процесса производства и всестороннего изучения для последующего проектирования.

4.2.2. Основные технические характеристики макета алмазного детектора положения и интенсивности рентгеновского пучка.

### 4.2.2.1 Технические параметры алмазного датчика рентгеновского пучка:

- чувствительный элемент датчика – пластина из синтетического поликристаллического или монокристаллического алмаза;
- толщина алмазной пластины – 50 мкм ± 10 мкм;
- размер апертуры (окна пропускания) - от 3 до 5 мм;
- форма апертуры – круглая или квадратная, определяется в ходе выполнения работ;
- должен иметь специализированные электроды для измерения фототоков;
- структура электродов для измерения фототоков – четырёхквadrантная;
- расстояние между смежными электродами определяется возможностями производства, на котором изготавливаются датчики, но не более 5 мкм;
- должна иметь специализированный электрод для подачи напряжения смещения;
- материал электродов в окне пропускания – титан;
- толщина электродов – определяется в ходе выполнения работ;
- тип коннекторов – определяется в ходе выполнения работ;
- корпус должен обеспечивать монтаж алмазного датчика рентгеновского пучка и механическую защиту хрупких элементов датчика;
- геометрическое исполнение крепежного элемента прорабатывается в процессе выполнения НИОКР.

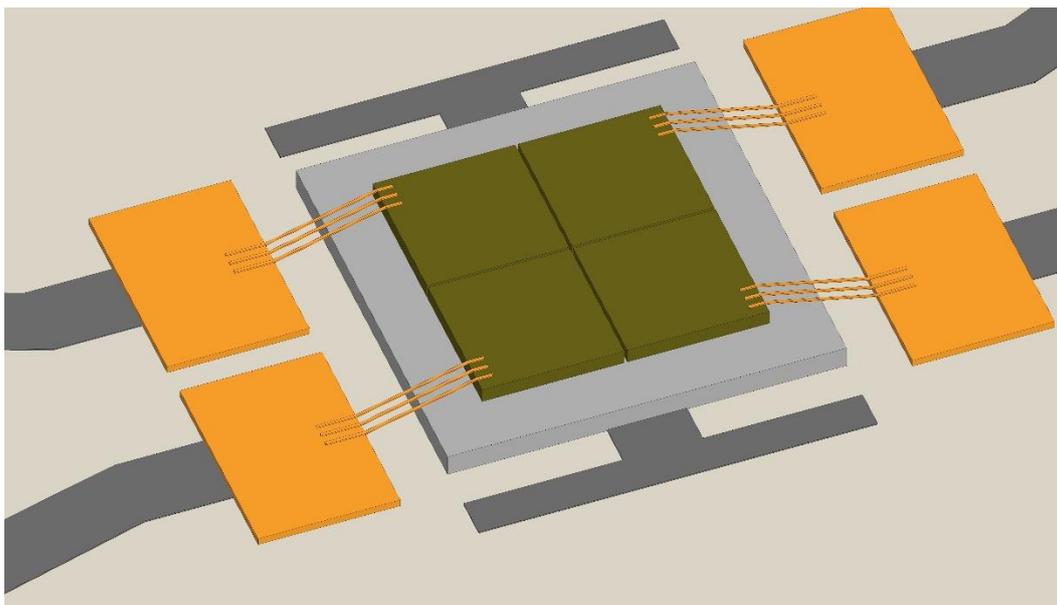


Рисунок 1. Эскиз чувствительного элемента и электродной структуры алмазного датчика рентгеновского пучка.

#### 4.2.2.2 Технические параметры системы мониторинга рентгеновского пучка:

- должна иметь 4 входа для измерения фототоков алмазного датчика рентгеновского пучка;
- должна обеспечивать измерение сил токов в диапазоне, обеспечивающем измерение параметров пучка, представленных в пункте 3, определяемым в процессе выполнения НИОКР;
- должна обладать варьируемым временем интегрирования, определяемом в ходе выполнения НИОКР;
- должна иметь коннектор для подачи напряжения смещения на специализированный электрод алмазного датчика рентгеновского пучка;
- должна обеспечивать напряжение смещения в диапазоне, определяемом в ходе выполнения НИОКР;
- должна обеспечивать обработку фототоков алмазного датчика рентгеновского пучка для определения позиции и интенсивности рентгеновского пучка;
- метод определения позиции рентгеновского пучка – метод центра масс фототоков;
- метод определения интенсивности рентгеновского пучка – суммирование фототоков;
- должна обеспечивать определение отклонения рентгеновского пучка от оси детектора с разрешением не больше 1 мкм и направления (квадранта);
- должна обеспечивать определение интенсивности монохроматизированного излучения с погрешностью не более 1 % от измеряемого значения;
- должна обладать временем опроса не более 1 мс;
- должна обеспечивать передачу данных в АСУ экспериментальной станции;
- тип канального интерфейса для передачи данных в АСУ экспериментальной станции – Ethernet;
- тип физического интерфейса для передачи данных в АСУ экспериментальной станции – RJ-45
- поддержка интерфейса совместимости со средой управления Tango;
- интерфейсы соединений с датчиком рентгеновского пучка должны быть разработаны на этапе проектирования;

- прикладной интерфейс управления (структуры данных Tango) должны быть разработаны на этапе проектирования;
- программный интерфейс приложения (API) – Tango;
- должна обладать упрощённым пользовательским браузерным интерфейсом (BUI);
- должна обладать интерфейсом командной строки;
- питание от сети переменного тока  $220\pm 20\text{В}$ ,  $50\pm 0,5\text{Гц}$ ;
- должна обладать минимальной массой и габаритами;
- корпус должен обеспечивать защиту от пыли (проникающее количество не должно мешать работе устройства);
- тип коннекторов должен быть разработан в ходе выполнения НИОКР;
- протокол передачи данных должен быть разработан в ходе выполнения НИОКР.

#### 4.3. Требования надёжности

Требования надёжности к макету алмазного детектора положения и интенсивности рентгеновского пучка не предъявляются.

#### 4.4. Конструктивные требования

Размер алмазного датчика рентгеновского пучка не должен превышать  $50\text{ мм} \times 50\text{ мм} \times 15\text{ мм}$  (Ш  $\times$  В  $\times$  Г);

Размер системы мониторинга рентгеновского пучка не должен превышать  $500\text{ мм} \times 100\text{ мм} \times 300\text{ мм}$  (Ш  $\times$  В  $\times$  Г).

4.5. Требования к эксплуатации, хранению, удобству технического обслуживания и ремонта.

4.5.1 Требования по стойкости к внешним воздействиям и условиям эксплуатации.

Макет алмазного детектора положения и интенсивности рентгеновского пучка должен сохранять работоспособность в следующих условиях:

- для системы мониторинга рентгеновского пучка температура воздуха должна находиться в диапазоне от  $12$  до  $35^\circ\text{C}$ ;
- для алмазного датчика рентгеновского пучка температура воздуха должна находиться в диапазоне от  $12$  до  $35^\circ\text{C}$ ;
- относительная влажность воздуха в диапазоне от  $0$  до  $70\%$ ;
- для системы мониторинга рентгеновского пучка атмосферное давление в диапазоне от  $8,6 \cdot 10^4$  до  $10,6 \cdot 10^4$  Па (в диапазоне от  $645$  до  $795$  мм рт. ст.);
- для алмазного датчика рентгеновского пучка атмосферное давление от  $10^{-8}$  до  $10,6 \cdot 10^4$  Па.

#### 4.5.2 Требования к эксплуатации, хранению и техническому обслуживанию

- макет алмазного детектора положения и интенсивности рентгеновского пучка должен сохранять эксплуатационные характеристики при хранении в отапливаемых складских помещениях [не менее одного года] при температуре в диапазоне от  $12^\circ\text{C}$  до  $35^\circ\text{C}$  и относительной влажности воздуха [до  $70\%$ ] (за исключением стандартных изделий и расходных материалов, срок хранения которых определяется по их паспортным данным).

#### 4.6. Требования по транспортированию

Транспортирование макета алмазного детектора положения и интенсивности рентгеновского пучка в таре должно допускаться всеми видами транспорта при температуре окружающего воздуха от минус 20 °С до плюс 40 °С, относительной влажности воздуха 98 % и атмосферном давлении от 75 до 115 кПа.

#### 4.7. Требования безопасности

Конструкция макета алмазного детектора положения и интенсивности рентгеновского пучка должна обеспечивать безопасность обслуживающего персонала при эксплуатации, техническом обслуживании и ремонте в соответствии с требованиями соответствующих нормативных документов. Общие требования электробезопасности должны соответствовать ГОСТ Р 12.1.019-2017 (Система стандартов безопасности труда. Электробезопасность. Общие требования и номенклатура видов защиты.)

### 5. Требования к видам обеспечения

#### 5.1 Требования к нормативно-техническому обеспечению

- конструкторская и эксплуатационная документации должны разрабатываться в соответствии с требованиями ЕСКД (ГОСТ Р 2.610-2019. Единая система конструкторской документации);

- документация автоматизированных систем должна разрабатываться в соответствии с требованиями комплекса стандартов на автоматизированные системы (ГОСТ 34.201-2020. Межгосударственный стандарт. Информационные технологии. Комплекс стандартов на автоматизированные системы. Виды, комплектность и обозначение документов при создании автоматизированных систем);

- научно-технический отчёт должен соответствовать ГОСТ 7.32-2017. (Система стандартов по информации, библиотечному и издательскому делу. Отчет о научно-исследовательской работе. Структура и правила оформления).

#### 5.2 Требования к диагностическому обеспечению

- контроль параметров и технического состояния макета алмазного детектора положения и интенсивности рентгеновского пучка должен быть автоматизированным и непрерывным в процессе его эксплуатации;

- разработка программы диагностического обеспечения не требуется.