

КРЕМНИЕВЫЙ ВЕРШИННЫЙ ДЕТЕКТОР КАК ЧАСТЬ ПРОЕКТА МОДЕРНИЗАЦИИ ЭКСПЕРИМЕНТА CLAS12

С.В. Рогожин

Научно-исследовательский институт ядерной физики МГУ

E-mail: rogozhin@silab.sinp.msu.ru

This paper describes the upgrade of the CLAS12 detector complex at Thomas Jefferson National Accelerator Facility. Scientific goals of the CLAS12 experiment are outlined and the according requirements for the experimental setup are formulated. The detector complex is described and the role of the Silicon Vertex Tracker is mentioned. The layout of the Silicon Vertex Tracker, the operation and topology of silicon sensors and the results of sensor testing are presented. A description of the FSSR2 ASIC, which is the main candidate for the data acquisition system chip, is given.

Проект CLAS12[1,2] (CEBAF Acceptance Spectrometer at 12 GeV) является частью модернизации ускорительного и детекторного комплекса Национальной Ускорительной Лаборатории им. Т. Джефферсона (Thomas Jefferson National Accelerator Facility, TJNAF). Ускоритель CEBAF (Continuous Electron Beam Accelerator Facility – Ускоряющая установка на непрерывном электронном пучке), построенный в лаборатории, позволяет получать уникальный пучок с энергией до 6 ГэВ. CEBAF Large Acceptance Spectrometer – спектрометр CEBAF с большим углом обзора, установленный в экспериментальном зале В лаборатории, представляет собой детекторный комплекс, осуществляющий детектирование продуктов реакции в полном телесном угле. В рамках модернизации установки CLAS будет дополнен новым центральным детектором, ключевым элементом которого будет SVT – Silicon Vertex Tracker (Кремниевый вершинный трекер).

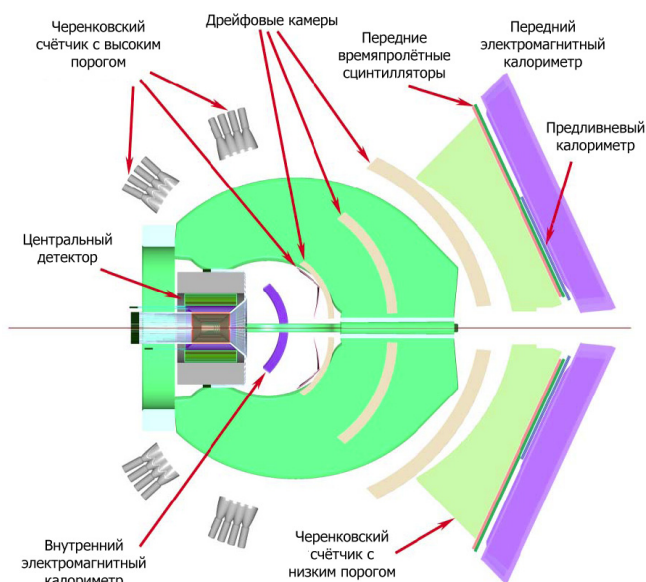


Рис. 1. Схема детектора CLAS12[4].

Физические задачи экспериментов

Основная задача эксперимента CLAS12 – изучение внутренней динамики нуклона в глубоко виртуальных процессах. Эта задача включает в себя несколько направлений. Приоритетное направление исследований – получение так называемых «обобщённых партонных распределений» (generalized parton distributions, GPD). Основная информация по GPD будет получена из глубоко виртуальных эксклюзивных процессов: комптоновского рассеяния и рождения мезонов.

Другим направлением является исследование структуры нуклона. Эксперименты не ограничатся основным состоянием – проект N*[3] посвящён изучению возбуждённых состояний нуклона.

Детектор CLAS12

Детектор CLAS12 (Рис. 1) состоит из передней детектирующей системы (FD), чувствительной к заряженным частицам и фотонам, вылетающим под углами от 5° до 35° , и центрального детектора (CD), перекрывающего угловой диапазон от 35° до 135° .

Информацию о траекториях частиц в переднем детекторе обеспечивают передняя часть кремниевого микрострипового трекера и дрейфовые камеры. Идентификацию частиц осуществляют времяпролётные детекторы, черенковские счётчики и электромагнитные калориметры. Черенковский счётчик с высоким порогом (рабочее вещество – CO_2 при атмосферном давлении) и модернизированные времяпролётные детекторы позволяют идентифицировать пионы, каоны и протоны.

Передний электромагнитный калориметр CLAS будет дополнен: перед передним калориметром будет установлен предливневый калориметр, обладающий лучшим пространственным разрешением. Также дополнительный внутренний калориметр будет размещён перед катушками тороидального магнита. Функции электромагнитных калориметров – измерение энергии фотонов, электронов и позитронов.

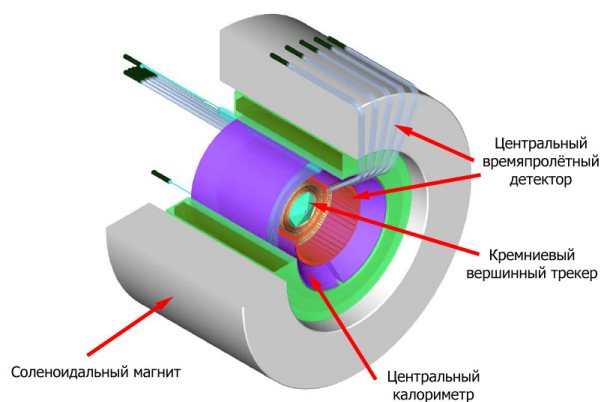


Рис. 2. Схема центрального детектора CLAS12[4].

Центральный детектор (Рис. 2) расположен внутри небольшого сверхпроводящего соленоидального магнита. Он состоит из цилиндрической части кремниевого детектора, времяпролётных сцинтилляторов и центрального электромагнитного калориметра.

Кремниевые детекторы

На Рис. 3 приведён фрагмент чертежа сенсора SVT. Принципиально изготовление сенсоров проходит так: на кремниевой подложке создаются узкие параллельные полосы р-областей (4), а на обратной стороне формируется сильнолегированная n-область. С линии смещения (1) через поликремниевые резисторы (2), соединяющиеся с р-областями с помощью контактных площадок (3) к р-областям прикладывается напряжение обратного смещения (50-100 В), достаточное для создания зоны обеднения на всей толщине кремния.

Каждый стрип работает как самостоятельный р-і-n диод. Для считывания сигнала применяется ёмкостная развязка, которая пропускает только быстро меняющийся сигнал при собирании рождённого внутри детектора заряда. Разделительные ёмкости создаются непосредственно на детекторе: р-области закрыты полосами (5) оксида кремния (SiO_2) и нитрида кремния (Si_3N_4), уже поверх которых размещены контактные площадки (6) для съёма сигнала.

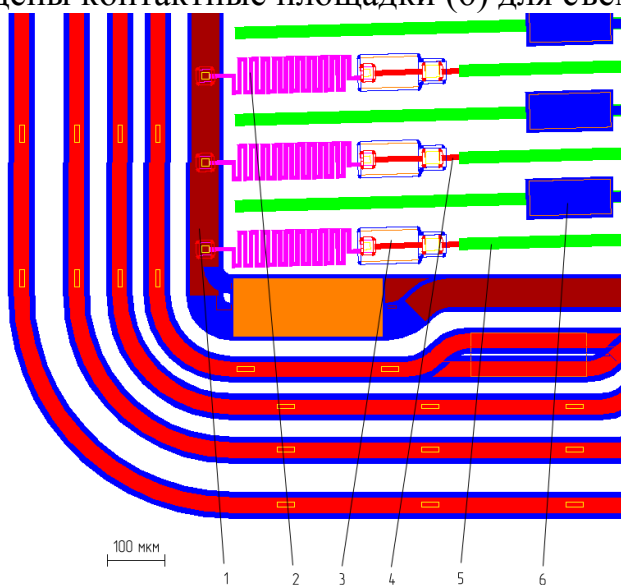


Рис. 3. Фрагмент чертежа детекторной пластины.

Расстояние между стрипами составит 75 мкм, считывание будет осуществляться с каждого второго. Шаг считывания 150 мкм соответствует точности порядка 50 мкм.

Для цилиндрической части предполагается использовать кремниевые пластины диаметром 150 мм и толщиной 250 или 300 мкм, при этом из каждой

пластины будут вырезаться по два сенсора [7]. Размеры сенсоров подбираются с учётом параметров считывающей электроники: при использовании двух 128-канальных микросхем ширина должна составлять 42 мм. Стрипы на сенсорах будут располагаться под углом $1,5^\circ$ к стороне пластины, что позволит добиться хорошего разрешения по одной пространственной координате ценой потери точности определения другой координаты.

Произведены две пробных партии. Первая партия из 19 сенсоров изготовлена на пластинах толщиной 250 мкм, вторая – из 24 сенсоров – на пластинах толщиной 300 мкм. В процессе контроля качества сенсоров определялись следующие параметры:

1. Напряжение полного обеднения - напряжение, при котором зона обеднения, т.е. зона, свободная от носителей заряда, занимает всю толщину кремния; полное обеднение – рабочее состояние кремниевых сенсоров
2. Зависимость общего тока сенсора от приложенного напряжения. Большой ток утечки при рабочем напряжении свидетельствует о дефектах структуры сенсора.
3. Ток утечки каждого стрипа при рабочем напряжении. Высокое значение тока на каком-либо стрипе свидетельствует о дефекте стрипа.
4. Ёмкость конденсатора развязки стрипа. Позволяет контролировать качество металлизации стрипа.
5. Ток утечки конденсатора развязки. При дефекте в слое оксида и нитрита алюминиевая полоса оказывается напрямую подсоединённой к легированному стрипу, что проявляется в крайне высоком токе.

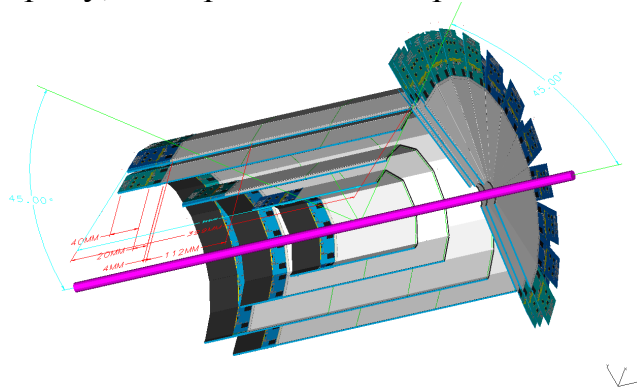


Рис. 4. Конструкция кремниевого вершинного трекера.

Кремниевый вершинный трекер

Кремниевый трекер будет состоять из двух секций: цилиндра и диска (см. Рис. 4), каждая секция будет собираться из типовых элементов – это несколько усложняет геометрию, но сильно упрощает и удешевляет изготовление. В цилиндрической части будет четыре суперслоя (8, 12, 18 и 24 сектора в каждом, соответственно). Суперслоем - два кремниевых сенсора, стрипы которых пересекаются, образуя «сетку» для определения двух

координат, положение слоя в пространстве задаёт третью координату и, таким образом, точку в пространстве. Добавление четвёртого, «переопределяющего» суперслоя значительно уменьшает вероятность потери трека.

Дисковая часть будет состоять из трёх суперслоёв. Это объясняется тем, что она будет работать совместно с системами переднего детектора. Угол между стрипами дисковой части будет больше для лучшего углового разрешения. Каждый слой дисковой части будет разделён на двенадцать секторов, сектор составляют два сенсора, соединённых перемычками.

Считывающая электроника

Главными требованиями к электронике считывания являются низкий уровень тепловыделения и возможность работы на непрерывном пучке. Основным кандидатом на текущий момент является ИМС FSSR2. ИМС FSSR2 [8] была разработана в 2004 году в рамках эксперимента ВТеV. Она имеет 128 входных каналов, каждый канал оснащён зарядочувствительным усилителем, интегратором и формирователем сигнала. После интегрирования сигнал поступает в дискриминатор и, если его уровень превышает установленный порог (единый для всех каналов микросхемы), он проходит через трёхбитовый аналого-цифровой преобразователь. FSSR2 обладает системой автотриггирования по порогу, что является серьёзным преимуществом в условиях непрерывного пучка ускорителя CEBAF. Как только уровень сигнала в одном из каналов превышает установленный порог, сигнал обрабатывается АЦП, после чего ИМС передаёт данные, относящиеся только к этому событию. Таким образом, FSSR2 способна оперировать в непрерывном режиме без пауз на вывод данных (до определённой загрузки по входу). Другими преимуществами FSSR2 являются низкий уровень шума и малое тепловыделение.

Список литературы

1. Pre-Conceptual Design Report for the Science and Experimental Equipment for the 12 GeV Upgrade of CEBAF. Jefferson Lab – June 11, 2004.
2. Conceptual Design Report for The Science and Experimental Equipment for The 12 GeV Upgrade of CEBAF. Jefferson Lab – March 25, 2005.
3. V. Mokeev et al., Nucleon Resonance Studies with CLAS12 in the Transition from Soft to Partonic Physics.
4. The Hall B 12 GeV Upgrade. Preconceptual Design Report. Jefferson Lab – December, 2005.
5. Зи С. Физика полупроводниковых приборов: Пер. с англ./Под ред. Р.А.Сурица. М.: Мир, 1984.
6. Чилингаров А.Г.//ФЭЧАЯ. 1992. Т. 23. Вып. 3. С. 785.
7. Specifications for the Hall B Silicon Vertex Tracker's Prototype Module. Jefferson Lab - June 26, 2006.
8. V. Re et al., FSSR2, a Self-Triggered Low Noise Readout Chip for Silicon Strip Detectors, IEEE Trans. Nucl. Sci., vol. 53, no. 4, pp. 2470-2476, Aug. 2006.