**МПК:** **G01T 1/28**

**Устройство с низким фоном для регистрации минимально ионизирующих заряженных частиц**

Полезная модель относится к области измерения ионизирующего излучения, а именно к регистрации минимально-ионизирующих заряженных частиц с помощью детекторов с вторичной эмиссией.

 Известно устройство регистрации [1], которое содержит микроканальные пластины (далее: МКП) и регистрирующий блок с анодом, выполненным в виде комбинации линии задержки в форме спирали с продольными полосками внутри, расположенными перпендикулярно виткам спирали. Устройство обеспечивает получение сигналов о двух пространственных координатах и об одной временной координате заряженной частицы, прошедшей через устройство. Недостатком известного устройства является то, что часть спектра амплитуд сигналов при регистрации минимально-ионизирующих заряженных частиц включает в себя заметную шумовую (фоновую) составляющую, связанную с особенностями работы МКП. Частота появления этих фоновых сигналов зависит от величины ускоряющего напряжения и может составлять величину от ~ 0.5 до ~ 100 имп/(сек см2). Это ограничивает эффективность устройства при регистрации минимально ионизирующих частиц, так как вынуждает вводить амплитудный порог регистрации сигналов.

 Известно устройство [2], включающее микроканальные пластины и регистрирующий блок с анодами, размещенные в вакуумированном корпусе, снабжённое пассивным мультиплексором, содержащим линии задержки и фильтры нижних частот по числу анодов, и сумматор импульсов. Устройство обеспечивает получение сигналов временной информации о прохождении минимально-ионизирующей заряженной частицы. Эффективность устройства при регистрации минимально ионизирующих частиц также снижена из-за необходимости вводить амплитудный порог регистрации сигналов для снижения шумов.

Известно устройство [3], наиболее близкое к предлагаемому по техническому решению и принятое в качестве прототипа. Устройство обеспечивает получение сигналов о времени и пространственных координатах прошедшей через него минимально-ионизирующей заряженной частицы.

Схема прототипа полезной модели представлена на Фиг.1.

Схема предлагаемого устройства поясняется на Фиг.2, где представлена схема полезной модели.

Общими признаками с предлагаемой полезной моделью являются блок регистрации (1), вакуумированный корпус (2), шевронная сборка микроканальных пластин (3), плоский анод(4), линия передачи сигналов с анода (5), вакуумный разъем (6).

 Недостатком прототипа является то, что эффективность регистрации минимально-ионизирующей заряженной частицы не превышает 80%. Повышение эффективности за счет снижения порога регистрации амплитуды сигнала приводит к росту шумовой (фоновой) составляющей.

Задача, решаемая полезной моделью, состоит в повышении эффективности устройства на МКП для регистрации минимально ионизирующих частиц

Решение поставленной задачи достигается тем, что к известному устройству, дополнительно введены шевронная сборка (3), плоский анод (4), линия передачи сигналов с анода (5), вакуумный разъем (6), линия передачи сигналов с нижней поверхности нижней микроканальной пластины шевронной сборки (7), быстрые компараторы (8), наносекундная схема совпадений (9).

В соответствии с заявленной полезной моделью, ближайшая к аноду поверхность микроканальной пластины каждой шевронной сборки микроканальных пластин соединена с вакуумным разъемом, линии передачи сигналов с плоского анода и с ближайшей к аноду поверхности микроканальной пластины шевронной сборки попарно соединены с быстрыми компараторами, каждый из компараторов соединен с наносекундной схемой совпадений, наносекундная схема совпадений соединена с блоком регистрации.

МКП используются в качестве активных мишеней-преобразователей для детектирования минимально-ионизирующих заряженных частиц, проникающих через устройство. При этом в каждой шевронной сборке МКП в месте попадания минимально-ионизирующей частицы образуются электронные лавины, которые индуцируют появление коротких (~ 1 нсек) сигналов на аноде и на нижней поверхности МКП на выходе каждой сборки.

В случае прохождения через шевронную сборку минимально-ионизирующей частицы, сигналы, индуцированные на аноде каждой шевронной сборке МКП и на нижней поверхности МКП на выходе каждой сборки, различающиеся по полярности, поступают по линиям передачи через вакуумные разъемы на соответствующие входы быстродействующего дифференциального компаратора и далее на схему совпадений и блок регистрации.

Перед блоком регистрации установлены два быстродействующих дифференциальных компаратора, по одному для каждой шевронной сборки, с программируемым порогом срабатывания в каждом входном канале. Сигналы с этих компараторов поступают на схему совпадений, вырабатывающую в случае одновременного срабатывания двух компараторов логический сигнал, соответствующий моменту времени регистрации минимально ионизирующей частицы, пролетевшей через все устройство.

 Применение в указанном устройстве быстродействующей схемы совпадений позволяет обеспечить как низкий собственный фон устройства (менее 10-~~4~~ имп/(сек см2), так и высокую эффективности регистрации (95±4 %) минимально ионизирующих частиц,

 Устройство с низким фоном, дающее сигнал - точную временную метку прохождения минимально ионизирующей частицы, может быть использовано в современных экспериментах по физике высоких энергий в качестве стартового детектора событий столкновений и также для синхронизации измерений в системах медицинской диагностики с использованием пучков заряженных частиц.

Техническим результатом заявленной полезной модели достижение высокой эффективности регистрации (95±4 %) и низкого собственного фона случайных срабатываний вследствие темнового тока (менее 10-~~4~~ имп/(сек см2).

Данный технический результат достигается тем, что пороги компараторов выбраны минимальными (5-10 мВ), а применение быстрой схемы совпадений позволяет избежать срабатывания от случайных сигналов, связанных с "темновыми токами" МКП.

**Описание предлагаемой полезной модели**

 Схема устройства, которое содержит вакуумную часть с двумя шевронными сборками МКП и внешний блок электроники, показана на Фиг.2.

Устройство содержит блок регистрациидля фиксации и накопления сигнала от минимально-ионизирующей частиц, прошедших через устройство, а также управления процессом измерения; вакуумный корпус с двумя шевронными сборками МКП, двумя плоскими анодами*,* высоковольтными разъемами, линии передачи сигналов с анода *,* линии передачи сигналов с нижней поверхности нижней микроканальной пластины, вакуумные разъемы, быстрые компараторы, наносекундную схему совпадений.

Минимально-ионизирующая заряженная частица, пролетающая последовательно через две шевронные сборки МКП, инициирует первичную ионизацию и последующий выход вторичных электронов из стенок микроканалов МКП. Эти электроны ускоряются в электрическом поле между торцами МКП в каждой шевронной сборке. Разность потенциалов между нижней плоскостью шевронной МКП и анодом направляет лавину к соответствующему аноду, что индуцирует наведенные сигналы как на нижнем проводящем слое шевронной сборки МКП, так и на аноде. Эти сигналы с противоположной полярностью передаются по согласованным дифференциальным линиям с волновым сопротивлением 100 Ом через вакуумные разъемы на входы дифференциальных компараторов. Схема совпадения вырабатывает сигнал только при прохождении минимально-ионизирующей заряженной частицы через обе шевронные МКП сборки данного устройства. При этом в мягкой части спектра амплитуд схема совпадения отсекает случайные шумовые сигналы, но регистрирует истинные от прошедшей частицы. В блоке регистрации фиксируется результат срабатывания схемы совпадений.

 Конкретные примеры реализации и проверки свойств устройства приведены ниже

 Устройство состоит из двух одинаковых шевронных сборок МКП, плоских анодов, линий передачи, компараторов ADCMP604, схемы совпадений и собственно блока регистрации, реализованного на FPGA EPM240. Каждая шевронная сборка МКП состоит из 2-х стандартных МКП (производства БАСПИК [4]) диаметром 25 мм (активная область диаметром 20 мм) с каналами диаметром 6 мкм, толщиной 0.3 мм и сопротивлением МКП в диапазоне 100 - 300 МОм. Под каждой шевронной сборкой МКП на расстоянии 1 мм установлен плоский анод с размерами 10х10 мм2. Сборки МКП размещены в изолирующем корпусе из фторопласта ФР4, обеспечивающим необходимую геометрию устройства и высоковольтную изоляцию. Высокое напряжение подается на каждую сборку от внешнего высоковольтного делителя.

Анод каждой шевронный сборки МКП соединен линией передачи с вакуумным СВЧ выходным разъемом, через который сигнал непосредственно передается на соответствующий вход компаратора. Порог регистрации сигналов определяется порогами быстрых компараторов, используемых в каждом канале. Стандартные сигналы с выходов компараторов подаются на входы схемы совпадений, с выхода которой сигналы поступают в блок регистрации, где фиксируется результат прохождения минимально-ионизирующей заряженной частицы через устройство.

 Для устранения синфазных электромагнитных наводок в устройстве примененадифференциальная схема съема сигнала. При такой схеме на вход компаратора поступают от шевронной сборки два сигнала: прямой и инвертированный. В этой системе второй (инвертированный) сигнал снимается с нижней поверхности МКП сборки. А выходной сигнал компаратора в каждом канале регистрации зависит от разности этих двух компонент: прямой и инвертированной. Если появляется внешняя электромагнитная наводка, то она индуцирует одинаковые импульсы на двух линиях передачи сигналов и компаратор, вычитая инвертированный сигнал из прямого, компенсирует наведённые помехи.

Пример 1. Оценка фона устройства

 Образец устройства был смонтирован на круглом фланце, который входит в состав многофункциональной вакуумной камеры. На фланце размещены также вакуумные сигнальные разъемы и высоковольтные разъемы внешнего делителя напряжения. Оценки с учет наличия космических мюонов показывают, что при разрешающем времени схемы совпадений τ =50 нсек и интенсивности шумовых срабатываний отдельных шевронных сборок МКП N1=N2= 100 имп/(сек см2)—и при пороге компаратора 10 мВ, число случайных совпадений не превышает 5\*10-4 имп/ (сек см2). Результаты измерений не противоречат оценкам.

Пример 2. Исследования эффективности регистрации устройства

Исследование эффективности регистрации минимально-ионизирующих заряженных частиц было выполнено по стандартной методике с использованием сигналов от космических мюонов, прошедших через устройство. Для измерений эффективности была собрана конструкция с добавлением к устройству дополнительной шевронной сборки МКП и схемы тройных совпадений.

 Эффективность (ε)регистрации минимально-ионизирующих заряженных частиц определяется по отношению числа событий N123 зарегистрированных схемой тройных совпадений N123 к числу двойных совпадений N23:

ε= N123/ N23,

где N123 -- число совпадений сигналов от трех сборок, а N23 -- число совпадений сигналов от двух шевронных сборок данного устройства,

 Техническим результатом полезной модели является достижение высокой эффективности регистрации минимально ионизирующих частиц на уровне ε = 95±4%.

 Как показывают результаты проведенных лабораторных исследований, технико-экономическая эффективность заявленного устройства состоит в возможности существенного расширения области применения устройств на основе МКП для регистрации минимально-ионизирующих заряженных частиц в редких процессах при исследованиях в области физики высоких энергий. Заявленная полезная модель может найти применение не только в устройствах, предназначенных для непосредственной регистрации минимально ионизирующего излучения, но и в приборах, где минимально ионизирующее излучение является результатом взаимодействия других первичных излучений с веществом или биологическим материалом. Примерами могут служить позитронно-эмиссионная томография, исследование и диагностика с помощью радионуклидов.

Список используемых источников.

1. Валиев Ф.Ф., Феофилов Г.А., Устройство для регистрации заряженных частиц., Патент RU №2045078 С1, МПК G01T 1/28.
2. Столяров О.И., Феофилов Г.А., Валиев Ф.Ф., Виноградов Л.И., Израилов Е.К., Касаткин В.А., Куц В.А., Ларин М.П., Новиков И.А., Потапов С.В., Худяков Р.С., Цимбал Ф.А. Устройство для регистрации заряженных частиц. Патент RU (11) 2 152 057 (13) C1 МПК G01T 1/17(2006.01).
3. G. Feofilov, V.Kondratev, O. Stolyarov, T. Tulina, F. Valiev and L.Vinogradov. Development and Tests of MCP Based Timing and Multiplicity Detector for MIPs, ISSN 1547-4771, Physics of Particles and Nuclei Letters, 2017, Vol. 14, No. 1, pp. 150–159. © Pleiades Publishing, Ltd., 2017 (прототип)**.**
4. <https://baspik.com/products/detectors/>

**Устройство с низким фоном для регистрации минимально ионизирующих заряженных частиц**

Формула полезной модели

Устройство с низким фоном для регистрации минимально ионизирующих заряженных частиц, содержащее блок регистрации, соединенный линией передачи сигналов с

вакуумным разъемом, расположенным в стенке вакуумированного корпуса, вакуумированный корпус, внутри которого размещены шевронная сборка микроканальных пластин и плоский анод, расположенный параллельно шевронной сборке микроканальных пластин, плоский анод соединен линией передачи сигналов с вакуумным разъемом, отличающееся тем, что внутри вакуумированного корпуса дополнительно размещены шевронная сборка микроканальных пластин и плоский анод, расположенный параллельно шевронной сборке микроканальных пластин, плоский анод соединен линией передачи сигналов с вакуумным разъемом, ближайшая к аноду поверхность микроканальной пластины каждой шевронной сборки микроканальных пластин соединена линией передачи с вакуумным разъемом, линии передачи сигналов с плоского анода и с ближайшей к аноду поверхности микроканальной пластины шевронной сборки попарно соединены с быстрыми компараторами, каждый из компараторов соединен с наносекундной схемой совпадений, наносекундная схема совпадений соединена с блоком регистрации.

**Реферат**

**К патенту РФ № \_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_ на полезную модель**

**«Устройство с низким фоном для регистрации минимально ионизирующих заряженных частиц»**

Полезная модель относится к области измерения ионизирующего излучения, а именно к регистрации минимально-ионизирующих заряженных частиц с помощью детекторов с вторичной эмиссией.

 Предлагаемое устройство выполнено на основе шевронных сборок микроканальных пластина. Применение быстрой электроники и наносекундной схемы совпадений в сочетании со снижением порога регистрации сигналов со сборок микроканальных пластин позволяют увеличить эффективность регистрации минимально ионизирующих частиц (~ 95%) при низком собственном уровнем шума устройства.

 Благодаря этому существенно расширяется область применения детекторов на микроканальных пластинах в устройствах, предназначенных для непосредственной регистрации минимально ионизирующего излучения и редких процессов в приборах, где минимально ионизирующее излучение является результатом взаимодействия других первичных излучений с веществом или биологическим материалом в том числе, в области медицинской техники.

1 н.п.ф-лы, 1 илл.