



ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА
ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ

(12) ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ПАТЕНТУ

(52) СПК
G01T 1/248 (2006.01)

(21)(22) Заявка: 2015140136, 18.02.2014

(24) Дата начала отсчета срока действия патента:
18.02.2014

Дата регистрации:
04.04.2018

Приоритет(ы):

(30) Конвенционный приоритет:
22.02.2013 FR 13 51588

(43) Дата публикации заявки: 30.03.2017 Бюл. № 10

(45) Опубликовано: 04.04.2018 Бюл. № 10

(85) Дата начала рассмотрения заявки РСТ на
национальной фазе: 22.09.2015

(86) Заявка РСТ:
EP 2014/053074 (18.02.2014)

(87) Публикация заявки РСТ:
WO 2014/128101 (28.08.2014)

Адрес для переписки:
109012, Москва, ул. Ильинка, 5/2, ООО
"Союзпатент"

(72) Автор(ы):

**ФОНБОНН Жан-Марк (FR),
КОЛЕН Жан (FR),
ФОНБОНН Кати (FR),
ДЖЕХАННО Джеки (FR)**

(73) Патентообладатель(и):
ОРАНО СИКЛЬ (FR)

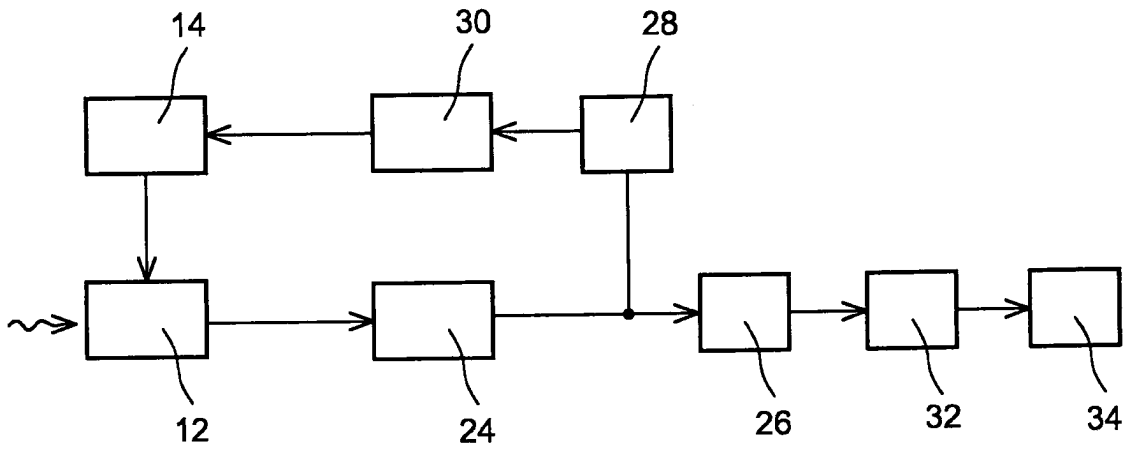
(56) Список документов, цитированных в отчете
о поиске: WO 2012158922 A2, 22.11.2012. US
3800143 A, 26.03.1974. US 20040159792 A1,
19.08.2004. WO 2009115956 A2, 24.09.2009. RU
2006142684 A, 10.06.2008.

(54) СПОСОБ КОНТРОЛЯ КОЭФФИЦИЕНТА УСИЛЕНИЯ И УСТАНОВКИ В НОЛЬ
МНОГОПИКСЕЛЬНОГО СЧЕТЧИКА ФОТОНОВ И СИСТЕМА ИЗМЕРЕНИЯ СВЕТА,
РЕАЛИЗУЮЩАЯ УКАЗАННЫЙ СПОСОБ

(57) Реферат:

Группа изобретений относится к способу контроля коэффициента усиления и установки в ноль многопиксельного счетчика фотонов. Способ контроля коэффициента усиления многопиксельного счетчика фотонов содержит этапы, на которых сигналы, генерируемые устройством, принимают в течение заданных периодов, пока не будет достигнуто заданное суммарное время измерений, формируют гистограмму амплитуд на основе принятых

сигналов, определяют позиции двух последовательных пиков, измеримых на этой гистограмме, генерируют сигнал ошибки, равный девиации между этими двумя пиками, и на основе этого сигнала ошибки регулируют напряжение, подаваемое на устройство, чтобы поддерживать девиацию, равную заданной величине. Технический результат – возможность управления коэффициентом усиления многопиксельного счетчика фотонов. 3 н. и 4 з.п. ф-лы, 7 ил.



Фиг. 7

RU 2649607 C2

RU 2649607 C2



FEDERAL SERVICE
FOR INTELLECTUAL PROPERTY

(12) **ABSTRACT OF INVENTION**

(52) CPC
G01T 1/248 (2006.01)

(21)(22) Application: **2015140136, 18.02.2014**

(24) Effective date for property rights:
18.02.2014

Registration date:
04.04.2018

Priority:

(30) Convention priority:
22.02.2013 FR 13 51588

(43) Application published: **30.03.2017** Bull. № 10

(45) Date of publication: **04.04.2018** Bull. № 10

(85) Commencement of national phase: **22.09.2015**

(86) PCT application:
EP 2014/053074 (18.02.2014)

(87) PCT publication:
WO 2014/128101 (28.08.2014)

Mail address:
109012, Moskva, ul. Ilinka, 5/2, OOO "Soyuzpatent"

(72) Inventor(s):

**FONBONN Zhan-Mark (FR),
KOLEN Zhan (FR),
FONBONN Kati (FR),
DZHEKHANNO Dzheki (FR)**

(73) Proprietor(s):

ORANO SIKL (FR)

(54) **METHOD FOR CONTROLLING THE GAIN AND ZERO SETTING FOR MULTI-PIXEL PHOTON COUNTER AND LIGHT-MEASURING SYSTEM IMPLEMENTING SAID METHOD**

(57) Abstract:

FIELD: physics.

SUBSTANCE: group of inventions relates to a method for controlling the gain and zero setting of a multi-pixel photon counter. Method for controlling the gain of multi-pixel photon counter comprises the steps, when the signals generated by the device are received within predefined periods, until predetermined total measurement time is reached, an amplitude histogram is generated based on the received signals, the positions

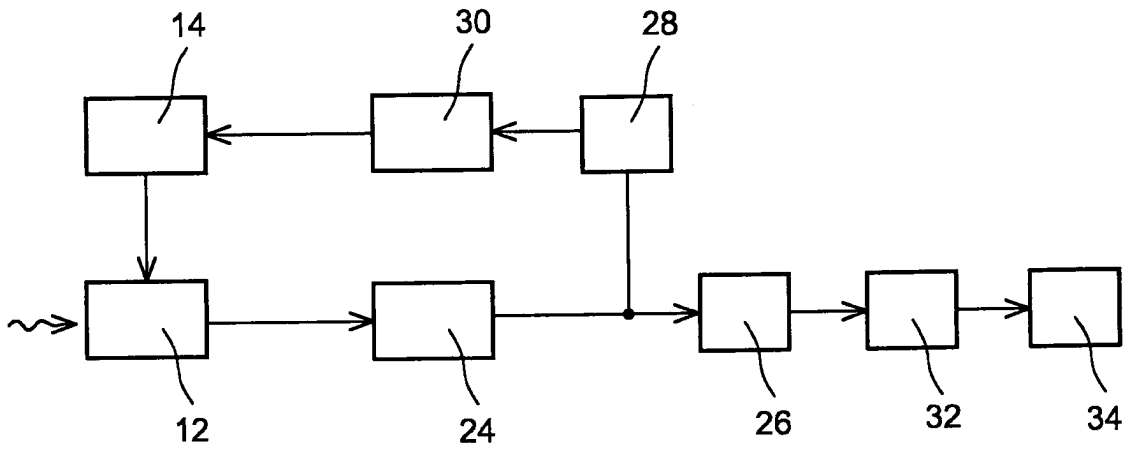
of two successive peaks measurable on this histogram are determined, an error signal equal to the deviation between these two peaks is generated, and the voltage applied to the device is adjusted based on this error signal to maintain deviation equal to the predetermined value.

EFFECT: possibility to control the gain of multi-pixel photon counter.

7 cl, 7 dwg

**C 2
7
0
6
9
6
0
7
R U**

**R U
2
6
4
9
6
0
7
C 2**



Фиг. 7

RU 2649607 C2

RU 2649607 C2

Область техники, к которой относится изобретение

Настоящее изобретение относится к способу контроля коэффициента усиления и установки в ноль многопиксельного счетчика фотонов, и в частности, в детекторе типа МРРС (зарегистрированная торговая марка компании «Хамамацу Фотоникс» (Hamamatsu Photonics К.К)), представляющем собой детектор типа многопиксельного счетчика фотонов.

Оно относится также к системе измерения света, реализующей этот способ.

Изобретение применимо, в частности, в области цитометрии в потоке, в физике высоких энергий и в области контрольно-измерительной аппаратуры для ядерной физики.

Уровень техники

Способ управления коэффициентом усиления детектора типа МРРС[®] уже известен из следующего документа под названием:

П.С. Маррочези и др., Способ активного управления коэффициентом передачи в кремниевом фотоэлектронном умножителе размером 3 мм × 3 мм (P.S. Marrocchesi et al., Active control of the gain of a 3 mm × 3 mm silicon photomultiplier, Nuclear Instruments and Methods in Physics Research A 602 (2009), pp. 391-395).

Способ, известный из этого документа, содержит тепловое управление детектором типа МРРС[®].

Этот известный способ имеет один недостаток: он не позволяет использовать детектор МРРС[®] в произвольной среде.

Раскрытие изобретения

Целью настоящего изобретения является преодоление указанного недостатка.

Для этого способ управления, являющийся объектом настоящего изобретения, не использует параметр «температура». И, как будет более понятно из последующего описания, этот способ использует даже недостаток детектора МРРС[®], а именно одновременный подсчет термически возбужденных электронов.

Точнее, целью настоящего изобретения является создание способа управления коэффициентом усиления детектора МРРС[®] и, в более общем смысле, многопиксельного счетчика фотонов. Это устройство обычно содержит матрицу лавинных фотодиодов, работающих в режиме Гейгера, на устройство подают напряжение и оно генерирует сигнал, когда оно обнаруживает фотоны.

Способ характеризуется тем, что:

- сигналы, обеспечиваемые устройством, получают в течение заданных периодов, пока не достигнуто заданное суммарное время измерений,
- на основе принятых сигналов формируют гистограмму амплитуд, содержащую набор пиков,
- определяют соответствующие позиции двух последовательных пиков, выполненных с возможностью их измерения на этой гистограмме,
- генерируют сигнал ошибки, равный девиации между указанными последовательными пиками, и
- посредством указанного сигнала ошибки регулируют напряжение, подаваемое на устройство, так, чтобы обеспечить девиацию, равную заданной установленной величине.

Согласно предпочтительному варианту способа, являющегося объектом настоящего изобретения, указанные заданные периоды равны один другому, а их продолжительность выбирают в пределах от 50 до 500 нс.

Предпочтительно, продолжительность суммарного времени измерений выбирают

в пределах от 0,5 до 10 с.

Согласно предпочтительному варианту настоящего изобретения указанные два последовательных пика являются первым и вторым пиками гистограммы.

Настоящее изобретение относится также к системе измерения света, реализующей способ, являющийся объектом настоящего изобретения. Эта система содержит:

- счетчик фотонов,
- источник питания для подачи высокого напряжения на счетчик фотонов,
- усилитель для осуществления усиления сигналов, обеспечиваемых счетчиком фотонов, и обеспечения усиленных сигналов, и
- процессорное устройство для получения усиленных сигналов и обработки этих сигналов для подсчета фотонов и формирования гистограммы, определения двух последовательных пиков на гистограмме и генерирования сигнала ошибки, и
- устройство регулировки для контроля источника питания посредством регулирования указанного напряжения в соответствии с сигналом ошибки.

Настоящее изобретение относится также к другой системе измерения света, реализующей способ, являющийся объектом настоящего изобретения. Эта другая система содержит:

- счетчик фотонов,
- источник питания для подачи высокого напряжения на счетчик фотонов,
- первый и второй усилители, соединенные последовательно, для усиления сигналов, обеспечиваемых счетчиком фотонов и обеспечения усиленных сигналов,
- первое процессорное устройство для получения сигналов, усиленных первым усилителем, формирования гистограммы, определения двух последовательных пиков и генерирования сигнала ошибки, и
- устройство регулирования для контроля источника питания посредством регулировки указанного напряжения в соответствии с сигналом ошибки, и
- второе процессорное устройство для обработки усиленных сигналов от второго усилителя, для подсчета фотонов.

Краткое описание чертежей

Настоящее изобретение будет лучше понято после прочтения приведенного далее описания примеров вариантов, служащего исключительно для индикации и никоим образом не ограничивающего объема изобретения, и со ссылками на прилагаемые чертежи, на которых:

фиг. 1 иллюстрирует упрощенную электронную схему, содержащую детектор типа МРРС[®], ассоциированный с усилителем,

фиг. 2 иллюстрирует другую упрощенную электронную схему, содержащую детектор типа МРРС[®] ассоциированный с двумя усилителями,

фиг. 3 схематично иллюстрирует пример осциллограммы сигнала, поступающего от детектора типа МРРС[®],

фиг. 4 схематично иллюстрирует пример гистограммы амплитуд, используемой в настоящем изобретении,

фиг. 5 представляет график, иллюстрирующий зависимость таких гистограмм от напряжения, приложенного к детектору типа МРРС[®], при фиксированной температуре детектора, и

фиг. 6 и 7 представляют схематичные изображения двух примеров системы, являющейся объектом настоящего изобретения.

Осуществление изобретения

Далее приведены несколько примеров способа, являющегося объектом настоящего изобретения и позволяющего стабилизировать коэффициент усиления и нулевой уровень детектора типа МРРС[®]. Напомним, что характеристика детектора зависит от высокого напряжения, поступающего к детектору, и температуры, действующей на этот детектор.

Известно также, что детектор типа МРРС[®] имеет дефект: он естественным образом и одновременно «подсчитывает» термически возбужденные электроны несколько сот тысяч раз в секунду. Этот дефект использован в настоящем изобретении для стабилизации коэффициента усиления детектора на уровне, выбранном пользователем, и для измерения нулевого уровня детектора (в отсутствие света или сигнала). Поэтому результат любых измерений, выполненных детектором типа МРРС[®], может быть выражен, абсолютным образом, посредством числа поглощенных фотоэлектронов в широком диапазоне входных воздействий независимо от рабочей температуры.

Вспомним сначала некоторые характеристики детектора типа МРРС[®]. Об этих характеристиках можно узнать из следующего документа:

Многопиксельные счетчики фотонов типа МРРС[®], оптико-полупроводниковые приборы с превосходной способностью подсчета фотонов (МРРС[®] Multi-pixel photon counter, compact opto-semiconductors with excellent photon counting capability, Hamamatsu, Cat. N° KAP D0002E09, May 2012).

Такой детектор содержит матрицу лавинных фотодиодов небольшого размера, физически отдельных один от другого, но выполненных на одной и той же кремниевой подложке. Когда падающий фотон взаимодействует с каким-нибудь из этих фотодиодов, он порождает электрический сигнал, заряд которого обладает очень высокой степенью воспроизводимости от одного взаимодействия к другому. В результате получен детектор типа МРРС[®] с превосходными характеристиками с точки зрения измерения «одиночных фотонов». Когда с поверхностью детектора типа МРРС[®] взаимодействуют одновременно N фотонов, попадающих в разные фотодиоды, на выходе детектора появляется сигнал, заряд которого, в среднем, в N раз выше заряда сигнала от единичного фотоэлектрона. Таким образом, этот детектор типа МРРС[®] может быть использован для измерения числа фотонов, одновременно достигающих его поверхности.

Трудности, с которыми сталкиваются при использовании такого детектора, связаны с физикой лавины, возникающей в фотодиодах. Эта лавина очень сильно зависит от напряжения обеднения, используемого для смещения детектора, а также от температуры самого детектора. Следовательно, в общем случае рекомендуется регулировать температуру детектора, чтобы устранить влияние температуры. Но это противоречит требованию обеспечить возможность использования детектора типа МРРС[®] в произвольной среде.

Кроме того, единичные фотодиоды в составе детектора МРРС[®] изготовлены из кремния. Поэтому, такие фотодиоды естественным способом выделяют, в результате термического возбуждения, электроны, обработка которых происходит таким же образом, как обработка фотоэлектронов, порождаемых падающим светом. Эти термоэлектроны, таким образом, имеют такие же характерные признаки («сигнатуру»), как и фотоэлектроны. Число термоэлектронов в единицу времени зависит от температуры и от приложенного высокого напряжения (но от последнего лишь в

незначительной степени). Далее, детектор типа МРРС[®] в естественных условиях «подсчитывает» от нескольких сотен тысяч до нескольких миллионов отсчетов в секунду ниже однофотонного порога. Этот аспект может на первый взгляд показаться отрицательным, однако он используется, как это ни парадоксально, для управления коэффициентом усиления детектора типа МРРС[®].

На фиг. 1 упрощенно показана схема, предложенная компанией Хамамацу (Hamamatsu) для использования детектора МРРС[®]. Последний на фиг. 1 обозначен поз. 2. На этом чертеже, как и на фиг. 2, поз. 4 обозначает разъемы байонетного типа (BNC).

Поз. HV обозначает напряжение (порядка 70 В), подаваемое на детектор МРРС[®]. Ток, генерируемый детектором, поступает на вход усилителя поз. 6, имеющего коэффициент усиления 100 и согласованного по сопротивлению. Эта схема генерирует на выходе сигнал SPU с напряжением несколько милливольт (например, от 10 до 20 мВ), когда детектор МРРС[®] обнаружит фотоэлектрон или термически возбужденный электрон.

Из-за динамических ограничений, присущих схеме, показанной на фиг. 1, предпочтительно использовать схему, упрощенно представленную на фиг. 2 настоящей заявки.

Как можно видеть, схема содержит первый усилитель 8 с коэффициентом усиления 10, что позволяет схеме работать даже тогда, когда в детектор МРРС[®] попадает очень большое число фотонов. С выходом первого усилителя 8 соединен вход второго усилителя 10 с коэффициентом усиления 10. Этот усилитель 10 генерирует сигнал SPU, соответствующий одному фотоэлектрону и имеющий легко используемый уровень напряжения (от 10 до 20 мВ). С выхода первого усилителя 8 получают сигнал SS, уровень напряжения которого имеет величину от 1 до 2 мВ и который позволяет, например, измерять очень большое число фотоэлектронов, принимаемых в виде импульсов за очень короткое время.

Сигнал, получаемый на аналоговых выходах схем, представленных на фиг. 1 и 2, можно наблюдать на осциллографе. При этом получают сигнал такого типа, как показано на фиг. 3.

На этом чертеже представлена стандартная осциллограмма для детектора типа МРРС[®], полученная на выходе предварительного усилителя напряжения с коэффициентом усиления 100, согласованного с сопротивлением 50 Ω. По оси абсцисс отложено время t , выраженное в наносекундах. По оси ординат отложено напряжение V , выраженное в милливольтках. Для каждого импульса можно измерить либо максимальную амплитуду сигнала, либо заряд, генерируемый детектором. Этот заряд соответствует интегрированию сигнала в продолжение промежутка времени, задаваемого пользователем обычно в пределах от нескольких наносекунд до запускающего события до примерно 100 наносекунд после этого события, запускающим событием здесь является событие, когда сигнал превышает пороговый уровень, заданный пользователем и составляющий обычно несколько милливольт над шумовым фоном.

Тем самым получают гистограммы амплитуд. Они соответствуют накоплению результатов измерений в течение заданного промежутка времени, обычно продолжительностью порядка 1 с, и представляют собой гистограммы такого типа, как показано на фиг. 4.

На фиг. 4 по оси абсцисс отложена амплитуда, обозначенная A (в произвольных единицах), а по оси ординат отложено число N отсчетов с соответствующей амплитудой, зафиксированных в течение указанного выше промежутка времени накопления

продолжительностью 1 с.

На фиг. 4 можно видеть последовательность пиков. Первый пик соответствует фотоэлектрону или термически возбужденному электрону. Второй пик соответствует двум единицам, т.е. двум фотоэлектронам или двум термически возбужденным электронам и т.п. Запускающее событие для системы сбора данных (соответствующей устройству 18, показанному на фиг. 6), находится в представленном примере на уровне примерно 0,2 единицы.

Когда к детектору МРРС[®] приложено напряжение или изменяется температура этого детектора, регистрируемые гистограммы резко меняются. График на фиг. 5 иллюстрирует зависимость гистограмм от напряжения при фиксированной температуре детектора МРРС[®].

На фиг. 5 по оси абсцисс отложен измеренный заряд C (в произвольных единицах), а по оси ординат отложено число N отсчетов с конкретной амплитудой, зафиксированных в течение указанного выше промежутка времени накопления продолжительностью 1 с. Кривые I, II, III, IV и V соответствуют напряжениям 70 В; 70,2 В; 70,4 В; 70,6 В и 70,8 В.

Отметим, в частности, что любое изменение влияющих величин (напряжения, приложенного к детектору МРРС[®], или температуры этого детектора) приводит к сдвигу позиции пиков, равно как и числа отсчетов, представленного каждым пиком. Таким образом, например, «число отсчетов», полученное для канала 55000, будет соответствовать 8 фотоэлектронам при напряжении 70,6 В, тогда как при более высоком напряжении оно будет соответствовать 18 фотоэлектронам.

Эта зависимость также отражена, например, в виде приблизительно удвоения числа отсчетов при увеличении температуры детектора МРРС[®] на каждые 7 К, что сопряжено также с уменьшением коэффициента передачи этого детектора МРРС[®] на 40-50%. Если детектор не термостатирован, его использование требует управлять коэффициентом усиления этого детектора или, по меньшей мере, измерять этот коэффициент усиления, чтобы компенсировать указанную зависимость.

Далее приведены несколько примеров способа, являющегося объектом настоящего изобретения и позволяющего уменьшить эти вариации до приемлемого уровня, равного нескольким процентам при температурах, имеющих место в герметизированном боксе, где работают в перчатках, иными словами при температурах от приблизительно 20 до приблизительно 40°C.

Согласно одному из примеров способа управления коэффициентом передачи, являющегося объектом настоящего изобретения, любым способом (например, путем подстройки спектра по Гауссу или посредством поиска максимумов) измеряют позиции пиков, соответствующих 0, 1, 2 и т.д. усиленным электронам, и генерируют сигнал ошибки, на основе позиций этих пиков. Этот сигнал ошибки используют в качестве обратной связи по напряжению, прикладываемому к детектору МРРС[®].

В зависимости от системы, использующей сигнал, генерируемый детектором МРРС[®], измерение пика, соответствующего "0", т.е. соответствующего отсутствию сигнала, может быть произведено правильно или неправильно. Если измерение выполнено правильно, для коррекции характеристики измерительной системы, содержащей детектор МРРС[®], достаточно определить позицию пика под номером 1 или первого пика. На деле, это хрестоматийный пример ситуации, где детекторы МРРС[®] работают плохо

из-за большой интенсивности потока темновых отсчетов.

В противном случае можно одновременно использовать пик номер 1 или первый пик и пик номер 2 или второй пик, либо какое-либо сочетание пиков, которые можно легче измерить, чем первый и второй пики. Девиация между двумя последовательными пиками позволяет непосредственно определить коэффициент передачи детектора МРРС[®], поскольку относительно расположение этих двух пиков дает возможность определить позицию нуля детектора МРРС[®] без того, чтобы измерять эту позицию.

Чтобы этот способ работал правильно, измерение пиков следует производить в должное время, когда температура детектора МРРС[®] не меняется вовсе или меняется в достаточной степени медленно, так что такое изменение можно не учитывать. Из-за наличия потока темновых отсчетов в детекторах типа МРРС[®] (несколько сотен тысяч отсчетов в секунду) измерения и коррекцию можно осуществлять в течение некоторой доли секунды при уровне неопределенности порядка 1%.

Поэтому пользователь может определить заданный уровень чувствительности. Вычислительный модуль, используемый для реализации способа, измеряет чувствительность путем определения девиации между двумя идентифицированными пиками и генерирует сигнал ошибки на основе разницы между заданным уровнем и результатом измерений. Сигнал ошибки затем направляют в корректирующее устройство, которое может представлять собой, например, простой пропорционально-интегрально-дифференциальный (PID (Proportional Integrate Derivate)) корректор и которое управляет величиной напряжения, прикладываемого к детектору МРРС[®]. Через некоторое время, определяемое регулировкой корректора, напряжение, прикладываемое к детектору МРРС[®], устанавливается на таком уровне, когда девиация между соответствующими пиками соответствует заданной величине, установленной пользователем. В результате осуществляется управление чувствительностью детектора МРРС[®], остающейся постоянной независимо от температуры, при которой работает измерительная система, содержащая этот детектор МРРС[®].

Поскольку предлагаемый способ контроля позволяет регулировать чувствительность детектора МРРС[®] и измерять позицию нуля этого детектора, становится возможным выразить любой световой импульс в виде числа падающих фотоэлектронов вместо того, чтобы представлять его в произвольных единицах, что зависит и от температуры детектора МРРС[®], и от приложенного к этому детектору напряжения. Тогда измерительную систему, содержащую такой детектор, калибруют по абсолютному числу фотоэлектронов.

В другом примере настоящего изобретения используется измерительная цепочка, содержащая детектор МРРС[®], после которого следуют компоненты для усиления сигналов, генерируемых детектором, и далее располагаются компоненты для сбора данных. Сигналы, генерируемые детектором МРРС[®], аккумулируют в течение промежутков времени продолжительностью от 50 до 500 нс каждый, например 100 нс, так что суммарное время сбора и накопления данных составляет от 0,5 до 10 с, например 1 с. Собранные таким способом данные позволяют построить гистограмму амплитуд. В этой гистограмме находят позиции пиков с номерами 1 и 2: например, пик номер 1 находится в канале 250, а пик номер 2 находится в канале 500.

Далее начинается процедура управления. Система генерирует сигнал ошибки, т.е.

девиацию между пиками с номерами 1 и 2, которая в приведенном выше примере равна 500-250, т.е. 250. С другой стороны, для рассматриваемой девиации ранее была выбрана заданная величина, например, равная 300. Поскольку 250 меньше этой заданной

величины, напряжение, прикладываемое к детектору МРРС[®], увеличивают, чтобы
5 увеличить девиацию между рассматриваемыми пиками. Точнее, используемый сигнал ошибки равен заданной величине девиации минус измеренная величина девиации между двумя пиками.

В общем случае, вместо двух первых пиков гистограммы амплитуд могут быть использованы любые два последовательных пика, которые можно легко измерить.

10 Компоненты для сбора данных, позволяющие получить гистограммы амплитуд, содержат вычислительный модуль, определяющий ошибку, равную заданной величине минус девиация между каналами, соответствующими двум пикам. Полученный в результате сигнал ошибки передают в регулирующие компоненты, которые управляют
15 напряжением, прикладываемым к детектору МРРС[®], таким образом, чтобы поддерживать постоянный коэффициент передачи этого детектора.

Только что разъясненный способ постоянно реализуется в рассматриваемой измерительной цепочке.

20 Выше также указано, что настоящее изобретение предпочтительно реализовать с применением схемы, приведенной на фиг. 2, а не схемы, показанной на фиг. 1: в последней схеме сигнал, представляющий подсчет нескольких сотен тысяч

фотоэлектронов, достигающих поверхности детектора МРРС[®] одновременно или в течение очень короткого промежутка времени, окажется слишком велик, что сужает
общий динамический диапазон системы.

25 На фиг. 6 представлена упрощенная схема первого примера системы измерения света, являющейся объектом настоящего изобретения, система содержит:

- счетчик 12 фотонов, например детектор МРРС[®] (матрица лавинных фотодиодов, работающих в режиме Гейгера, в составе этого детектора не показана),
- источник 14 напряжения питания, генерирующий напряжение питания для счетчика
30 12 фотонов,
- усилитель 16 для осуществления усиления сигналов, генерируемых счетчиком 12 фотонов, и
- процессорное устройство 18 для сбора усиленных сигналов, формирования гистограммы, определения двух последовательных пиков и генерирования сигнала
35 ошибки, как было описано ранее.

Система, показанная на фиг. 6, содержит также регулирующее устройство 20, например, PID-типа, которое принимает сигнал ошибки и управляет источником 14
напряжения питания для регулирования напряжения на основе сигнала ошибки.

40 Далее, в примере, показанном на фиг. 6, процессорное устройство 18 обрабатывает усиленные сигналы для определения числа фотонов. Это устройство 18 снабжено устройством 22 для представления результатов на устройстве отображения.

На фиг. 7 представлена упрощенная схема второго примера фотометрической системы, являющейся объектом настоящего изобретения. Она содержит:

- счетчик 12 фотонов,
- источник 14 напряжения питания, обеспечивающий напряжение питания для
45 счетчика 12 фотонов,
- первый и второй усилители 24 и 26, соединенные последовательно, для усиления сигналов, обеспечиваемых счетчиком 12 фотонов,

- первое процессорное устройство 28 для получения сигналов, усиленных первым усилителем 24, формирования гистограммы, определения двух последовательных пиков на гистограмме и генерирования сигнала ошибки, как было рассмотрено выше.

Система, показанная на фиг. 7, содержит также устройство 30 регулирования, например, PID-типа, которое принимает сигнал ошибки и управляет источником 14 напряжения питания для регулирования указанного напряжения в соответствии с сигналом ошибки.

Система, представленная на фиг. 7, содержит также второе процессорное устройство 32 для обработки усиленных сигналов, поступающих от второго усилителя 26, для определения числа фотонов. Это устройство 32 снабжено устройством 34 для представления результатов на дисплее.

Счетчик фотонов, обсуждаемый в примерах настоящего изобретения, может представлять собой детектор МРРС[®] или, в более общем случае, какое-либо устройство типа SiPM (кремниевый фотоэлектронный умножитель (Silicon PhotoMultiplier)), позволяющее осуществлять естественную генерацию сигнала, эквивалентного фотоэлектрону, а иногда - двум или трем фотоэлектронам, чтобы «инициировать» обратную связь, позволяющую запустить устройство.

(57) Формула изобретения

1. Способ контроля коэффициента усиления многопиксельного счетчика фотонов (12), содержащего матрицу лавинных фотодиодов, при этом подают напряжение на счетчик, выполненный с возможностью обеспечения сигнала, при обнаружении фотонов, причем способ содержит этапы, на которых:

получают сигналы, обеспечиваемые счетчиком (12), в течение заданных периодов, пока не достигнуто заданное суммарное время измерений,

формируют гистограмму амплитуд, содержащую набор пиков, на основе указанных полученных сигналов, при этом в гистограмме амплитуду откладывают по оси абсцисс, а число фотоэлектронов или термически возбужденных электронов откладывают по оси ординат,

определяют соответствующие позиции двух последовательных пиков, выполненных с возможностью их измерения на указанной гистограмме,

генерируют сигнал ошибки, равный девиации между указанными двумя последовательными пиками, и

регулируют, на основе указанного сигнала ошибки, напряжение, подаваемое на счетчик (12), так, чтобы обеспечить девиацию, равную заданной установленной величине.

2. Способ по п. 1, в котором указанные заданные периоды равны один другому, а их продолжительность выбирают в пределах от 50 до 500 нс.

3. Способ по п. 1, в котором продолжительность заданного суммарного времени измерений выбирают в пределах от 0,5 до 10 с.

4. Способ по п. 1, в котором указанные два последовательных пика являются первым и вторым пиками гистограммы.

5. Способ по п. 1, дополнительно содержащий этап, на котором контролируют коэффициент усиления устройства, содержащего многопиксельный счетчик фотонов (12).

6. Система измерения света, реализующая способ по любому из пп. 1-5, содержащая: счетчик фотонов (12), содержащий матрицу лавинных фотодиодов, источник питания (14) для обеспечения напряжения питания для счетчика фотонов (12),

усилитель (16) для усиления сигналов, обеспечиваемых счетчиком фотонов (12), и обеспечения усиленных сигналов, и

процессорное устройство (18) для получения усиленных сигналов и обработки их для подсчета числа фотонов, и формирования гистограммы, при этом в гистограмме амплитуду откладывают по оси абсцисс, а число фотоэлектронов или термически возбужденных электронов откладывают по оси ординат, и определения двух последовательных пиков и генерирования сигнала ошибки, и

устройство (20) регулирования для контроля источника питания (14) посредством регулировки напряжения на основе сигнала ошибки.

7. Система измерения света, реализующая способ по любому из пп. 1-5, содержащая: счетчик фотонов (12),

источник питания (14) для обеспечения напряжения питания для счетчика фотонов (12),

первый и второй усилители (24, 26), соединенные последовательно, для усиления сигналов, обеспечиваемых счетчиком фотонов (12), и обеспечения усиленных сигналов,

первое процессорное устройство (28) для получения сигналов, усиленных первым усилителем (24), формирования гистограммы, определения двух последовательных пиков на гистограмме и генерирования сигнала ошибки,

устройство (30) регулировки для контроля источника питания (14) посредством регулировки напряжения на основе сигнала ошибки и

второе процессорное устройство (32) для обработки усиленных сигналов от второго усилителя (26), для подсчета фотонов.

25

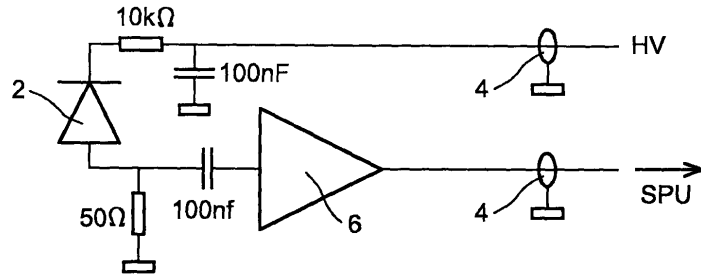
30

35

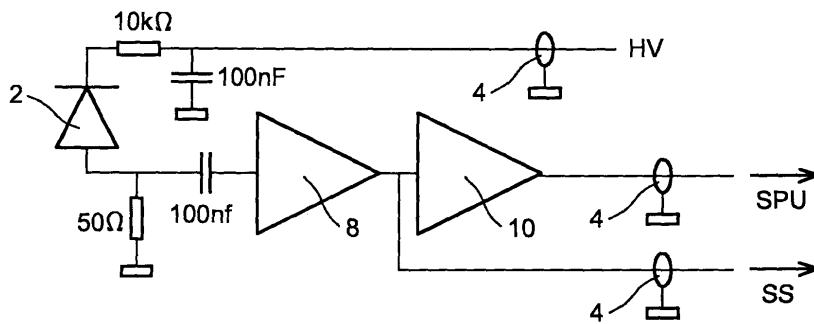
40

45

1 / 3



Фиг. 1

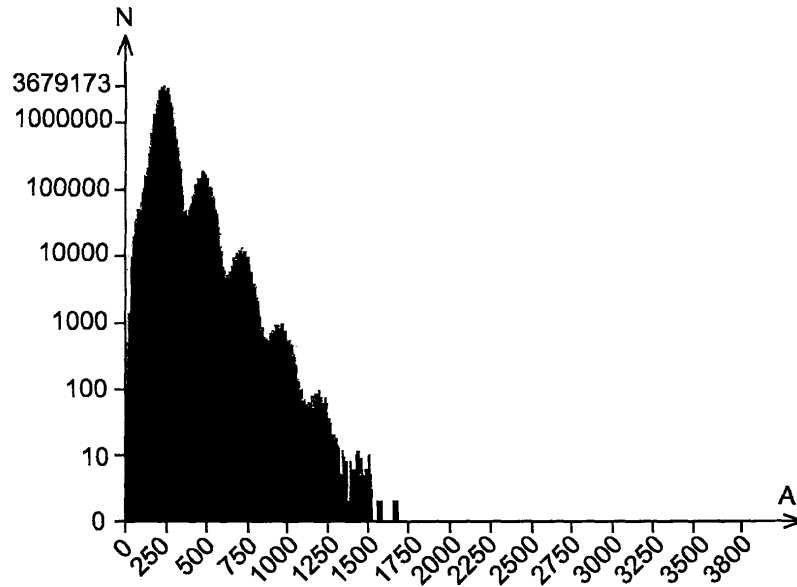


Фиг. 2

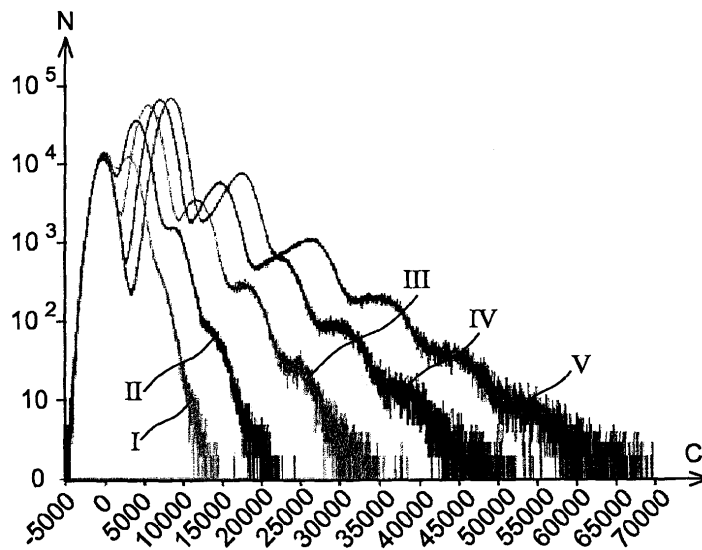


Фиг. 3

2 / 3

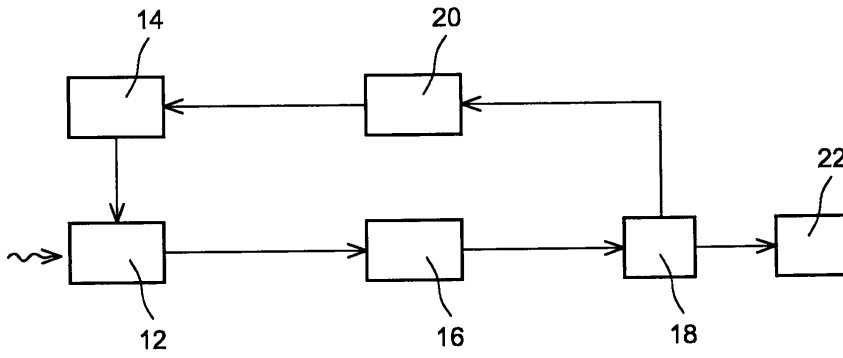


Фиг. 4

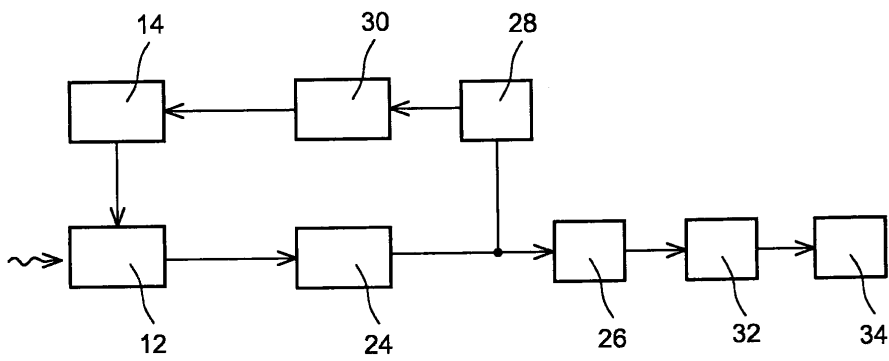


Фиг. 5

3 / 3



Фиг. 6



Фиг. 7