



ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА
ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ

(12) ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ПАТЕНТУ

(52) СПК

H01S 5/026 (2018.08); H01L 31/107 (2018.08)

(21) (22) Заявка: 2017134787, 04.10.2017

(24) Дата начала отсчета срока действия патента:
04.10.2017Дата регистрации:
25.04.2019

Приоритет(ы):

(30) Конвенционный приоритет:
13.10.2016 JP 2016-202052;
28.07.2017 JP 2017-146724

(43) Дата публикации заявки: 04.04.2019 Бюл. № 10

(45) Опубликовано: 25.04.2019 Бюл. № 12

Адрес для переписки:

129090, Москва, ул. Большая Спасская, д. 25,
строение 3, ООО "Юридическая фирма
Городисский и Партнеры"

(72) Автор(ы):

МОРИМОТО Кадзухиро (JP),
СИНОХАРА Махито (JP)

(73) Патентообладатель(и):

КЭНОН КАБУСИКИ КАЙСЯ (JP)

(56) Список документов, цитированных в отчете
о поиске: US 6392282 B1, 21.05.2002. US
20120248562 A1, 04.10.2012. US 9209336 B2,
08.12.2015. RU 2240631 C1, 20.11.2004.

(54) УСТРОЙСТВО ФОТОДЕТЕКТИРОВАНИЯ И СИСТЕМА ФОТОДЕТЕКТИРОВАНИЯ

(57) Реферат:

Предложено устройство фотодетектирования, в котором на виде сверху первая полупроводниковая область первого типа проводимости перекрывает по меньшей мере часть третьей полупроводниковой области, вторая полупроводниковая область перекрывает по меньшей мере часть четвертой полупроводниковой области второго типа проводимости, значение потенциала третьей полупроводниковой области в отношении электрического заряда первого типа

проводимости меньше значения потенциала четвертой полупроводниковой области, а разность между значением потенциала первой полупроводниковой области и значением потенциала третьей полупроводниковой области больше разности между значением потенциала второй полупроводниковой области и значением потенциала четвертой полупроводниковой области. Изобретение обеспечивает повышение эффективности фотодетектирования. 4 н. и 16 з.п. ф-лы, 20 ил.



FEDERAL SERVICE
FOR INTELLECTUAL PROPERTY
(12) **ABSTRACT OF INVENTION**

(19) **RU** (11)**2 686 396⁽¹³⁾ C2**

(51) Int. Cl.

H01S 5/026 (2006.01)*H01L 31/107* (2006.01)

(52) CPC

H01S 5/026 (2018.08); *H01L 31/107* (2018.08)(21) (22) Application: **2017134787, 04.10.2017**(24) Effective date for property rights:
04.10.2017Registration date:
25.04.2019

Priority:

(30) Convention priority:
13.10.2016 JP 2016-202052;
28.07.2017 JP 2017-146724(43) Application published: **04.04.2019 Bull. № 10**(45) Date of publication: **25.04.2019 Bull. № 12**

Mail address:

129090, Moskva, ul. Bolshaya Spasskaya, d. 25,
stroenie 3, OOO "Yuridicheskaya firma
Gorodisskij i Partnery"

(72) Inventor(s):

MORIMOTO Kazuhiro (JP),
SHINOHARA Mahito (JP)

(73) Proprietor(s):

CANON KABUSHIKI KAISHA (JP)(54) **PHOTODETECTION APPARATUS AND PHOTODETECTION SYSTEM**

(57) Abstract:

FIELD: physics.

SUBSTANCE: proposed photodetection device, in which, on the top view, the first conductivity type semiconductor region overlaps at least a portion of the third semiconductor region, second semiconductor region overlaps at least part of fourth semiconductor region of second conductivity type, potential value of the third semiconductor region with respect to electric charge of the first conductivity type is less than the potential value of the fourth semiconductor region, and

the difference between the value of the potential of the first semiconductor region and the value of the potential of the third semiconductor region is greater than the difference between the value of the potential of the second semiconductor region and the value of the potential of the fourth semiconductor region.

EFFECT: invention provides high efficiency of photodetection.

20 cl, 20 dwg

R U 2 6 8 6 3 9 6 C 2

R U 2 6 8 6 3 9 6 C 2

УРОВЕНЬ ТЕХНИКИ

Область техники, к которой относится изобретение

[0001] Аспект вариантов осуществления относится к устройству фотодетектирования и системе фотодетектирования, которые выполняют фотоэлектрическое преобразование.

Описание предшествующего уровня техники

[0002] Общеизвестно устройство фотодетектирования, способное детектировать слабый свет на уровне единственного фотона при использовании двойного лавинного (электронного лавинного) умножения.

[0003] В описании изобретения патента США № 9209336 описывается однофотонный лавинный диод (SPAD), в котором фотоноситель, возникающий от единственного фотона, вызывает лавинное усиление в области р-п перехода полупроводниковой области, составляющей фотоэлектрический преобразователь.

[0004] В SPAD, описанном в описании изобретения патента США № 9209336, полупроводниковая область р-типа с высокой концентрацией примесей располагается на поверхности полупроводниковой подложки, а полупроводниковая область п-типа располагается под полупроводниковой областью р-типа. Полупроводниковая область п-типа располагается так, что она включена в эпитаксиальный слой п-типа.

Полупроводниковая область р-типа и полупроводниковая область п-типа составляют р-п переход, и к р-п переходу прикладывается высокое напряжение обратного смещения.

[0005] В SPAD, описанном в описании изобретения патента США № 9209336, областью, где детектируется электрический заряд, является область р-п перехода. В области, где детектируется электрический заряд, формируется сильное электрическое поле, и, таким образом, существует вероятность того, что при сильном электрическом поле в р-п переходе получается туннельный эффект. Электрический заряд, генерируемый при туннельном эффекте, может стать шумом, детектируемым в качестве псевдосигнала в области, где детектируется электрический заряд. Электрический заряд, генерируемый при туннельном эффекте, увеличивается пропорционально площади области, где детектируется электрический заряд.

[0006] С другой стороны, если уменьшается площадь области, где детектируется электрический заряд, генерируемый при туннельном эффекте электрический заряд может подавляться. Однако, если уменьшается площадь области, где детектируется электрический заряд, существует вероятность снижения эффективности фотодетектирования.

СУЩНОСТЬ ИЗОБРЕТЕНИЯ

[0007] Согласно аспекту вариантов осуществления, устройство включает в себя полупроводниковую подложку, имеющую первую поверхность и вторую поверхность, противоположную первой поверхности, и пиксельный блок, имеющий множество пикселей, включающих в себя лавинный диод, расположенный на полупроводниковой подложке, при этом лавинный диод включает в себя первую полупроводниковую область первого типа проводимости, расположенную на первой глубине, вторую полупроводниковую область, расположенную в контакте с первой полупроводниковой областью, третью полупроводниковую область, расположенную на второй глубине, большей первой глубины относительно первой поверхности, четвертую полупроводниковую область второго типа проводимости, который является типом проводимости, противоположным первому типу проводимости, расположенную в контакте с третьей полупроводниковой областью, и пятую полупроводниковую область, расположенную на третьей глубине, большей второй глубины относительно первой поверхности, и при этом на виде сверху первая полупроводниковая область перекрывает

по меньшей мере часть третьей полупроводниковой области, вторая полупроводниковая область перекрывает по меньшей мере часть четвертой полупроводниковой области, а третья полупроводниковая область и четвертая полупроводниковая область перекрывают пятую полупроводниковую область, значение потенциала третьей полупроводниковой области касательно электрического заряда первого типа проводимости меньше значения потенциала четвертой полупроводниковой области касательно электрического заряда первого типа проводимости, а разность между значением потенциала первой полупроводниковой области касательно электрического заряда первого типа проводимости и значением потенциала третьей полупроводниковой области касательно электрического заряда первого типа проводимости больше разности между значением потенциала второй полупроводниковой области касательно электрического заряда первого типа проводимости и значением потенциала четвертой полупроводниковой области касательно электрического заряда первого типа проводимости.

[0008] Дополнительные признаки раскрытия станут очевидны из последующего описания примерных вариантов осуществления со ссылкой на прилагаемые чертежи.

КРАТКОЕ ОПИСАНИЕ ЧЕРТЕЖЕЙ

[0009] Фиг.1 представляет собой схематический вид в разрезе лавинного диода.

[0010] Фиг.2А и 2В представляют собой схематические виды сверху лавинного диода.

[0011] Фиг.3 представляет собой диаграмму потенциала лавинного диода.

[0012] Фиг.4 представляет собой блок-схему устройства фотодетектирования.

[0013] Фиг.5 представляет собой блок-схему пикселя, включающую в себя эквивалентную цепь.

[0014] Фиг.6 представляет собой схематический вид в разрезе лавинного диода.

[0015] Фиг.7А-7С представляют собой схематические виды сверху лавинного диода.

[0016] Фиг.8А-8D иллюстрируют способ изготовления лавинного диода.

[0017] Фиг.9А и 9В представляют собой схемы эквивалентных цепей.

[0018] Фиг.10 представляет собой схематический вид в разрезе лавинного диода.

[0019] Фиг.11 представляет собой схематический вид в разрезе лавинного диода.

[0020] Фиг.12 представляет собой схематический вид в разрезе лавинного диода.

[0021] Фиг.13А и 13В представляют собой схематические виды сверху лавинного диода.

[0022] Фиг.14 представляет собой схематический вид в разрезе лавинного диода.

[0023] Фиг.15А и 15В представляют собой схематические виды сверху лавинного диода.

[0024] Фиг.16 представляет собой схематический вид в разрезе лавинного диода.

[0025] Фиг.17 представляет собой блок-схему системы фотодетектирования.

[0026] Фиг.18 представляет собой блок-схему системы фотодетектирования.

[0027] Фиг.19А и 19В представляют собой блок-схемы системы фотодетектирования.

[0028] Фиг.20 представляет собой схематический вид сверху лавинного диода.

ОПИСАНИЕ ВАРИАНТОВ ОСУЩЕСТВЛЕНИЯ

[0029] Различные примерные варианты осуществления, признаки и аспекты раскрытия будут подробно описаны со ссылкой на чертежи.

[0030] Устройство фотодетектирования согласно примерному варианту осуществления будет описано со ссылкой на фиг.1-3. Устройство фотодетектирования согласно настоящему примерному варианту осуществления имеет пиксель, включающий в себя лавинный диод. Тип проводимости электрического заряда, используемого в качестве информационного заряда, из пары электрических зарядов, генерируемых в лавинном

диоде, называется первым типом проводимости. Тип проводимости, противоположный первому типу проводимости, называется вторым типом проводимости.

[0031] Фиг.1 представляет собой схематический вид в разрезе лавинного диода согласно настоящему примерному варианту осуществления. Лавинный диод в настоящем
5 примерном варианте осуществления располагается в полупроводниковой подложке 15. Полупроводниковая подложка 15 имеет первую поверхность и вторую поверхность, противоположную первой поверхности. Например, первой поверхностью является передняя сторона полупроводниковой подложки 15, а второй поверхностью является задняя сторона полупроводниковой подложки 15. В настоящем примерном варианте
10 осуществления направление в глубину определяется как направление от первой поверхности ко второй поверхности. Электрод затвора транзистора и многослойная структура межсоединений расположены на передней стороне полупроводниковой подложки 15.

[0032] На фиг.1 первая полупроводниковая область 71 первого типа проводимости,
15 вторая полупроводниковая область 76, третья полупроводниковая область 74, четвертая полупроводниковая область 72 второго типа проводимости и пятая полупроводниковая область 75 расположены в области, окруженной изолирующим участком 16.

[0033] Первая полупроводниковая область 71 и вторая полупроводниковая область 76 расположены на первой глубине X. Первая полупроводниковая область 71 и вторая
20 полупроводниковая область 76 находятся в контакте. Вторая полупроводниковая область 76 располагается между первой полупроводниковой областью 71 и изолирующим участком 16. Здесь первая полупроводниковая область 71 и вторая полупроводниковая область 76, располагаемые на первой глубине X, означают, что, например, область с наибольшей концентрацией имплантированной примеси (пик)
25 располагается на первой глубине X. Однако, пик необязательно должен располагаться на первой глубине X, и допускаются ошибки проектирования или погрешности изготовления.

[0034] Третья полупроводниковая область 74 и четвертая полупроводниковая область 72 располагаются на второй глубине Y, большей первой глубины X относительно
30 первой поверхности. Третья полупроводниковая область 74 и четвертая полупроводниковая область 72 находятся в контакте.

[0035] Первая полупроводниковая область 71 перекрывает по меньшей мере часть третьей полупроводниковой области 74, а вторая полупроводниковая область 76 перекрывает по меньшей мере часть четвертой полупроводниковой области 72.
35 Четвертая полупроводниковая область 72 располагается между третьей полупроводниковой областью 74 и изолирующим участком 16.

[0036] Пятая полупроводниковая область 75 располагается на третьей глубине Z, большей второй глубины Y относительно первой поверхности. Третья
40 полупроводниковая область 74 и четвертая полупроводниковая область 72 перекрывают пятую полупроводниковую область 75.

[0037] Фиг.2А и 2В представляют собой схематические виды сверху. Фиг.2А иллюстрирует схематический вид сверху на первой глубине X, и фиг.2В иллюстрирует схематический вид сверху на второй глубине Y.

[0038] Как показано на фиг.2А, первая полупроводниковая область 71 включена во
45 вторую полупроводниковую область 76 на первой глубине X. Вторая полупроводниковая область 76 включена в изолирующий участок 16.

[0039] Как показано на фиг.2В, третья полупроводниковая область 74 включена в четвертую полупроводниковую область 72 на второй глубине Y. Четвертая

полупроводниковая область 72 включена в изолирующий участок 16. Как очевидно из фиг.1-2В, первая полупроводниковая область 71 перекрывает по меньшей мере часть третьей полупроводниковой области 74, и третья полупроводниковая область 74 и четвертая полупроводниковая область 72 перекрывают пятую полупроводниковую область 75 на виде сверху. Дополнительно, вторая полупроводниковая область 76 перекрывает по меньшей мере часть четвертой полупроводниковой области 72.

[0040] Фиг.3 иллюстрирует диаграмму потенциала лавинного диода. Фиг.3 иллюстрирует пример распределений потенциала по отрезку JK прямой и по отрезку GH прямой вида в разрезе, изображенного на фиг.1. Пунктирная линия 20 изображает распределение потенциала по отрезку GH прямой, и сплошная линия 21 изображает распределение потенциала по отрезку JK прямой. Здесь изображен потенциал, если смотреть на основании электронов, в качестве информационного заряда. Если информационный заряд состоит из дырок, зависимость уровней потенциала является обратной.

[0041] Кроме того, на фиг.3 глубины X, Y, Z и W соответствуют каждой глубине, изображенной на фиг.1, и глубина W представляет собой любую глубину между глубиной Y и глубиной Z.

[0042] Уровень потенциала уровня ХН изображает уровень потенциала четвертой полупроводниковой области 72. Уровень потенциала уровня Н изображает уровень потенциала третьей полупроводниковой области 74. Уровень потенциала уровня М изображает уровень потенциала второй полупроводниковой области 76. Уровень потенциала уровня L изображает уровень потенциала первой полупроводниковой области 71. Здесь уровень потенциала второй полупроводниковой области 76, как предполагается, меньше уровня потенциала третьей полупроводниковой области 74, но зависимость может быть обратной.

[0043] Пунктирная линия 20 изображает уровень потенциала между уровнем ХН и уровнем Н на глубине Z. Когда глубина приближается к глубине W от глубины Z, потенциал постепенно уменьшается. Затем, когда глубина приближается к глубине Y от глубины W, потенциал постепенно повышается с достижением уровня ХН на глубине Y. Когда глубина приближается к глубине X от глубины Y, потенциал постепенно уменьшается. Потенциал уровня М достигается на глубине X.

[0044] Сплошная линия 21 изображает уровень потенциала между уровнем ХН и уровнем Н на глубине Z. Потенциал постепенно уменьшается перед тем, как глубина приближается к глубине Y от глубины Z. Когда глубина приближается к глубине Y, уровень потенциала начинает круто падать и достигает уровня потенциала уровня Н на глубине Y. Уровень потенциала круто падает перед тем, как глубина приблизится к глубине X от глубины Y. Затем уровень потенциала достигает уровня L на глубине X.

[0045] Потенциалы пунктирной линии 20 и сплошной линии 21 имеют почти одинаковый уровень на глубине Z и имеют градиент потенциала, постепенно уменьшающийся к стороне первой поверхности полупроводниковой подложки 15 в области, обозначенной отрезком GH прямой и отрезком JK прямой. Таким образом, электрический заряд, генерируемый в устройстве фотодетектирования, перемещается к стороне первой поверхности вследствие пологого градиента потенциала.

[0046] Когда глубина приближается к глубине Y из глубины W, сплошная линия 21 имеет постепенно падающий градиент потенциала, и электрический заряд перемещается к стороне первой поверхности. С другой стороны, пунктирная линия 20 формирует градиент потенциала, действующий как потенциальный барьер для электрического

заряда, перемещающегося к первой поверхности. Потенциальный барьер (четвертая полупроводниковая область 72) предотвращает перемещение электрического заряда из пятой полупроводниковой области 75 во вторую полупроводниковую область 76. Так как потенциал в направлении перемещения от отрезка GH прямой до отрезка JK прямой меньше потенциального барьера от глубины W до глубины Y, электрический заряд, присутствующий на отрезке GH прямой, легко может перемещаться в окрестности отрезка JK прямой в ходе перемещения к первой поверхности.

[0047] Электрический заряд, перемещенный в окрестности области, обозначенной отрезком JK прямой, ускоряется крутым градиентом потенциала, т.е. сильным электрическим полем, от глубины Y до глубины X, и ускоренный электрический заряд достигает первой полупроводниковой области 71. Создается лавинное усиление в области от глубины Y до глубины X. В области, обозначенной отрезком GH прямой, наоборот, распределение потенциала такое, что лавинный пробой не создается или создание лавинного пробоя менее вероятно, чем в области, обозначенной отрезком JK прямой или, конкретно, области от глубины Y до глубины X отрезка JK прямой. В качестве примера осуществления такой структуры, необходимо выбрать структуру, в которой разность между уровнем потенциала первой полупроводниковой области 71 и уровнем потенциала третьей полупроводниковой области 74 больше разности между уровнем потенциала второй полупроводниковой области 76 и уровнем потенциала четвертой полупроводниковой области 72.

[0048] При выборе такой потенциальной структуры, по сравнению с обычной конфигурацией, в которой лавинный пробой происходит по всему лавинному диоду, может быть уменьшен шумовой заряд, генерируемый при вышеупомянутом туннельном эффекте. Кроме того, в соответствии с лавинным диодом в настоящем примерном варианте осуществления не вызывается ухудшение чувствительности. Это связано с тем, что структура потенциала такая, что информационный заряд, присутствующий в области пятой полупроводниковой области 75, перекрывающей четвертую полупроводниковую область 72, легко может перемещаться в первую полупроводниковую область через третью полупроводниковую область 74.

[0049] Более конкретно, это связано с тем, что уровень потенциала третьей полупроводниковой области 74 меньше уровня потенциала четвертой полупроводниковой области 72. Т.е. четвертая полупроводниковая область 72 функционирует в качестве потенциального барьера для информационного заряда, присутствующего в пятой полупроводниковой области 75, и, в результате, электрический заряд легко может перемещаться в первую полупроводниковую область 71 через третью полупроводниковую область 74.

[0050] На фиг.3 изображена потенциальная структура, когда третьей полупроводниковой областью 74 является полупроводниковая область р-типа, но, если третьей полупроводниковой областью 74 является полупроводниковая область n-типа, пунктирная линия 20 все же выше сплошной линии 21 в положении Y в качестве уровня потенциала. Также изображается потенциальная структура, когда второй полупроводниковой областью 76 является полупроводниковая область n-типа, но, если второй полупроводниковой областью 76 является полупроводниковая область р-типа, пунктирная линия 20 находится все же выше сплошной линии 21 в положении Y в качестве уровня потенциала.

[0051] В этой связи вся область первой полупроводниковой области 71 на виде сверху перекрывает третью полупроводниковую область 74. Согласно такой конфигурации, первая полупроводниковая область 71 и четвертая полупроводниковая область 72 не

образуют р-п переход. Таким образом, в р-п переходе между первой полупроводниковой областью 71 и четвертой полупроводниковой областью 72 создается лавинное усиление, так что создание шума вследствие туннельного эффекта может подавляться.

[0052] Здесь далее будут описаны примерные варианты осуществления раскрытия с конкретными примерными вариантами осуществления. В каждом примерном варианте осуществления описывается конфигурация, в которой информационный заряд состоит из электронов, но каждый примерный вариант осуществления применим, даже если информационный заряд состоит из дырок. В таком случае, однако, меняется на обратную зависимость между каждой полупроводниковой областью и потенциалом.

[0053] Первый примерный вариант осуществления устройства фотодетектирования, к которому применимо раскрытие, будет описан со ссылкой на фиг.4-9В. Также подобные ссылочные позиции присвоены блокам, имеющим функции, подобные функциям на фиг.1-3, и их подробное описание опускается.

[0054] Фиг.4 представляет собой блок-схему устройства 1010 фотодетектирования по первому примерному варианту осуществления. Устройство 1010 фотодетектирования включает в себя пиксельный блок 106, блок 109 генерирования импульса управления, блок 104 схемы горизонтального сканирования, схему 105 столбцов, сигнальную линию 107 и блок 103 схемы вертикального сканирования.

[0055] В пиксельном блоке 106 в форме матрицы расположено множество пикселей 100. Один пиксель 100 включает в себя элемент 101 фотоэлектрического преобразования и блок 102 обработки сигнала пикселя. Элемент 101 фотоэлектрического преобразования преобразует свет в электрический сигнал. Блок 102 обработки сигнала пикселя выводит преобразованный электрический сигнал в схему 105 столбцов.

[0056] Блок 103 схемы вертикального сканирования принимает импульс управления, подаваемый от блока 109 генерирования импульса управления, для подачи импульса управления на каждый из пикселей 100. В качестве блока 103 схемы вертикального сканирования используется логическая схема, такая как регистр сдвига или декодер адреса.

[0057] Сигнальная линия 107 подает сигнал, выводимый из пикселя 100, выбранного блоком 103 схемы вертикального сканирования, на следующую схему пикселя 100 в виде сигнала потенциала.

[0058] Сигнал каждого пикселя 100 вводится в схему 105 столбцов по сигнальной линии 107 для выполнения заданной обработки. Заданная обработка включает в себя устранение шума и усиление входного сигнала и преобразование в вид для вывода вне датчика. Например, схема столбцов включает в себя схему параллельно-последовательного преобразования.

[0059] Блок 104 схемы горизонтального сканирования подает на схему 105 столбцов импульс управления для последовательного вывода сигналов после обработки схемой 105 столбцов на схему 108 вывода.

[0060] Схема 108 вывода включает в себя буферный усилитель, дифференциальный усилитель и подобные им и выводит сигнал, выводимый из схемы 105 столбцов, на блок записи или блок обработки сигнала вне устройства 1010 фотодетектирования.

[0061] На фиг.4 пиксели 100 могут располагаться одномерно в пиксельном блоке 106, или пиксельный блок 106 может включать в себя только единственный пиксель.

Кроме того, множество столбцов пикселей могут быть разделены на группы для размещения блока 103 схемы вертикального сканирования, блока 104 схемы горизонтального сканирования, схемы 105 столбцов и пиксельного блока 106 в каждой группе. Также блок 103 схемы вертикального сканирования, блок 104 схемы

горизонтального сканирования, схема 105 столбцов и пиксельный блок 106 могут размещаться в каждом столбце пикселей.

[0062] Функция блока 102 обработки сигнала пикселя необязательно должна обеспечиваться для каждого из всех пикселей 100, и, например, один блок 102 обработки сигнала пикселя может совместно использоваться множеством пикселей 100 для последовательного выполнения обработки сигнала. Чтобы увеличить относительное отверстие элемента 101 фотоэлектрического преобразования, блок 102 обработки сигнала пикселя может обеспечиваться на другой полупроводниковой подложке, отличной от подложки элемента 101 фотоэлектрического преобразования. В таком случае элемент 101 фотоэлектрического преобразования и блок 102 обработки сигнала пикселя электрически соединяются соединительной проводкой, обеспечиваемой для каждого пикселя. Также на разных полупроводниковых подложках могут обеспечиваться блок 103 схемы вертикального сканирования, блок 104 схемы горизонтального сканирования, сигнальная линия 107 и схема 105 столбцов, как описано выше.

[0063] Фиг.5 изображает пример блок-схемы пикселя 100, включающую эквивалентную цепь, согласно настоящему примерному варианту осуществления. На фиг.5 один пиксель 100 включает в себя элемент 101 фотоэлектрического преобразования и блок 102 обработки сигнала пикселя.

[0064] Элемент 101 фотоэлектрического преобразования включает в себя блок 201 фотоэлектрического преобразования и блок 202 управления.

[0065] Блок 201 фотоэлектрического преобразования генерирует пару электрических зарядов в соответствии с падающим светом при фотоэлектрическом преобразовании. Для блока 201 фотоэлектрического преобразования используется лавинный диод.

[0066] Потенциал, основанный на потенциале V_H , более высоком, чем потенциал V_L , подаваемый на анод, подается на катод блока 201 фотоэлектрического преобразования. Затем потенциалы подаются на анод и катод блока 201 фотоэлектрического преобразования таким образом, что прикладывается обратное смещение, позволяя блоку 201 фотоэлектрического преобразования действовать в качестве лавинного диода. При выполнении фотоэлектрического преобразования, когда подаются такие потенциалы обратного смещения, электрическим зарядом, генерируемым падающим светом, вызывается лавинное усиление с генерированием лавинного тока.

[0067] Если разность потенциалов между анодом и катодом больше напряжения пробоя, когда прикладывается потенциал обратного смещения, лавинный диод выполняет работу в режиме Гейгера. Фотодиодом, который детектирует слабый сигнал на уровне единственного фотона на высокой скорости, используя работу в режиме Гейгера, является однофотонный лавинный диод (SPAD).

[0068] Если разность потенциалов между анодом и катодом блока 201 фотоэлектрического преобразования равна или больше разности потенциалов, при которой электрический заряд, генерируемый в блоке 201 фотоэлектрического преобразования, вызывает лавинное усиление, и равна или меньше напряжения пробоя, лавинный диод переходит в линейный режим. Лавинный диод, который выполняет фотодетектирование в линейном режиме, называется лавинным фотодиодом (APD). В настоящем примерном варианте осуществления блок 201 фотоэлектрического преобразования может работать в качестве лавинного диода в любом одном из режимов. Ниже будет описана разность потенциалов, которая вызывает лавинное усиление.

[0069] Блок 202 управления подключен к напряжению источника питания, которое

подает высокий потенциал V_H , и к блоку 201 фотоэлектрического преобразования. Блок 202 управления имеет функцию замены сигнала напряжения на любое изменение лавинного тока, сгенерированного блоком 201 фотоэлектрического преобразования. Дополнительно, блок 202 управления функционирует в качестве схемы нагрузки (гасящего контура) во время усиления сигнала посредством лавинного усиления для работы по подавлению лавинного усиления при подавлении напряжения, подаваемого на блок 201 фотоэлектрического преобразования (операция гашения). В качестве блока 202 управления, например, используется резистивный элемент или активный гасящий контур, который активно подавляет лавинное усиление при детектировании повышения лавинного тока и применении управления с обратной связью.

[0070] Блок 102 обработки сигнала пикселя включает в себя блок 203 формирования формы сигнала, схему 209 счетчика и схему 206 выбора. Блок 203 формирования формы сигнала формирует изменения напряжения, получаемые тогда, когда детектируется сигнал уровня фотона, для вывода импульсного сигнала. Например, в качестве блока 203 формирования формы сигнала используется схема инвертера. Пример, использующий один инвертер, изображен в качестве блока 203 формирования формы сигнала, но также может использоваться схема, соединяющая множество инвертеров последовательно, или другие схемы, имеющие эффект формирования формы сигнала.

[0071] Импульсный сигнал, выводимый из блока 203 формирования формы сигнала, подсчитывается схемой 209 счетчика. В случае N-битового счетчика (N: положительное целое число), схема 209 счетчика может подсчитывать максимум до примерно 2^N в N-ой степени импульсных сигналов одиночными фотонами. Подсчитанный сигнал сохраняется в качестве детектированного сигнала. Когда импульс pRES управления подается по линии 207 возбуждения, сбрасываются детектированные сигналы, сохраненные в схеме 209 счетчика.

[0072] Импульс pSEL управления подается на схему 206 выбора от блока 103 схемы вертикального сканирования на фиг.4 по линии 208 возбуждения для переключения электрического соединения и отсутствия соединения между схемой 209 счетчика и сигнальной линией 107. Например, для вывода сигнала от пикселя в качестве схемы 206 выбора используется транзистор или буферная схема.

[0073] В этой связи, электрическое соединение может переключаться при размещении переключателя, такого как транзистор, между блоком 202 управления и блоком 201 фотоэлектрического преобразования или между элементом 101 фотоэлектрического преобразования и блоком 102 обработки сигнала пикселя. Аналогично, подача высокого потенциала V_H , подаваемого на блок 202 управления, или низкого потенциала V_L , подаваемого на элемент 101 фотоэлектрического преобразования, может электрически переключаться при использовании переключателя, такого как транзистор.

[0074] В пиксельном блоке 106, в котором множество пикселей 100 располагается в виде матрицы, захваченное изображение может быть получено при действии строкового фотозатвора, при котором счет схемы 209 счетчика последовательно сбрасывается для каждой строки, и детектированные сигналы, сохраненные в схеме 209 счетчика, последовательно выводятся для каждой строки.

[0075] Альтернативно, захваченное изображение может быть получено при действии глобального электронного затвора, при которой счеты схемы 209 счетчика всех пиксельных строк сбрасываются одновременно, и детектированные сигналы, сохраненные в схеме 209 счетчика, последовательно выводятся для каждой строки. Когда выполняется операция глобального электронного затвора, лучше обеспечить блок для переключения между случаем, когда выполняется счет схемой 209 счетчика,

и случаем, когда счет не выполняется. Блоком для переключения, например, является вышеописанный переключатель.

[0076] В настоящем примерном варианте осуществления изображена конфигурация, которая получает захваченное изображение при использовании схемы 209 счетчика.

5 Однако, вместо схемы 209 счетчика, устройство 1010 фотодетектирования, которое получает тактирование (привязку по времени) детектирования импульсов, может конфигурироваться при использовании преобразователя «время-цифровой код» (TDC) и памяти.

[0077] В этом случае тактирование генерирования импульсного сигнала, выводимого
10 из блока 203 формирования формы сигнала, преобразуется в цифровой сигнал посредством TDC. Импульс pREF управления (опорный сигнал) подается на TDC от блока 103 схемы вертикального сканирования на фиг.4 по линии возбуждения для измерения тактирования импульсного сигнала. TDC получает сигнал в виде цифрового сигнала, когда тактирование ввода сигнала, выводимого из каждого пикселя через
15 блок 203 формирования формы сигнала относительно импульса pREF управления, задается в виде относительного времени.

[0078] Например, система линий задержки, в которой буферные схемы подключены последовательно для создания задержки, или замкнутая система TDC, в которой линии задержки подсоединены подобно замкнутого контура, используется в качестве схемы
20 TDC. Хотя могут использоваться другие системы, используется система схемы, способная достигать временного разрешения, равного или больше разрешения блока 201 фотоэлектрического преобразования.

[0079] Цифровой сигнал, представляющий тактирование детектирования импульсов, получаемое посредством TDC, сохраняется в одной или множестве памятей. Когда
25 размещается множество памятей, выход сигнальной линии 107 может управляться для каждой памяти подачей множества сигналов на схему 206 выбора, когда цифровой сигнал, хранимый в памятях, выводится на сигнальную линию 107.

[0080] Схематический вид в разрезе и схематические виды сверху лавинного диода согласно настоящему примерному варианту осуществления будут описаны со ссылкой
30 на фиг.6-7С. На фиг.6 полупроводниковая область 1 n-типа располагается в области, где располагается первая полупроводниковая область 71 на фиг.1, и полупроводниковая область 6 n-типа располагается в области, где располагается вторая полупроводниковая область 76 на фиг.1. На фиг.6 полупроводниковая область 4 n-типа располагается в области, где располагается третья полупроводниковая область 74 на фиг.1, и
35 полупроводниковая область 2 p-типа располагается в области, где располагается четвертая полупроводниковая область 72 на фиг.1. На фиг.6 полупроводниковая область 5 n-типа располагается в области, где располагается пятая полупроводниковая область 75 на фиг.1.

[0081] Сначала со ссылкой на фиг.6 будет описана структура разреза изолирующего
40 участка 16 и области фотоэлектрического преобразования, окруженной изолирующим участком 16.

[0082] Изолирующий участок 16, который разделяет каждый из множества пикселей 100, располагается на полупроводниковой подложке 15, на которой располагается множество пикселей 100.

45 [0083] Изолирующий участок 16 образован из полупроводниковой области p-типа, расположенной от первой поверхности в направлении глубины. Более конкретно, полупроводниковая область 3 p-типа и полупроводниковая область 7 p-типа расположены от первой поверхности в направлении глубины в этом порядке и в

контакте в качестве изолирующего участка 16. Полупроводниковая область 3 р-типа электрически соединена с полупроводниковой областью 7 р-типа, нижеописанной полупроводниковой областью 8 р-типа и нижеописанной полупроводниковой областью 2 р-типа.

5 [0084] Концентрация примесей полупроводниковой области 3 р-типа больше концентрации примесей каждой из полупроводниковой области 7 р-типа, полупроводниковой области 8 р-типа и полупроводниковой области 2 р-типа. Следовательно, например, соединение полупроводниковой области 3 р-типа и контактного штыря 17 может составлять контактное сопротивление ниже, чем
10 соединение полупроводниковой области 7 р-типа и контактного штыря 17.

[0085] Полупроводниковая область 1 n-типа представляет собой область, концентрация примесей которой больше концентрации примесей каждой из полупроводниковой области 6 n-типа, полупроводниковой области 4 n-типа и полупроводниковой области 5 n-типа, описанных ниже. При выборе таких концентраций
15 примесей может быть выполнено сильное электрическое поле обедненного слоя, генерируемое в полупроводниковой области 1 n-типа. В этой связи, потенциал, которым является обратное смещение относительно изолирующего участка 16, прикладывается к полупроводниковой области 1 n-типа.

[0086] Концентрация примесей полупроводниковой области 4 n-типа задается меньше
20 концентрации примесей полупроводниковой области 1 n-типа. Следовательно, электрическому заряду около полупроводниковой области 4 n-типа легче переместиться в полупроводниковую область 1 n-типа.

[0087] Концентрация примесей полупроводниковой области 6 n-типа задается меньше концентрации примесей полупроводниковой области 1 n-типа. Например, если
25 концентрация примесей полупроводниковой области 1 n-типа составляет $6,0 \times 10^{18}$ [атомов/см³] или более, концентрация примесей полупроводниковой области 6 n-типа задается как $1,0 \times 10^{16}$ [атомов/см³] или более и $1,0 \times 10^{18}$ [атомов/см³] или менее.

[0088] На фиг.6 изображается конфигурация в которой полупроводниковая область 6 n-типа, не имеющая градиента концентрации примесей, располагается во второй полупроводниковой области 76 на фиг.1, но полупроводниковой областью, расположенной в области, где располагается вторая полупроводниковая область 76 на фиг.1, является область, имеющая градиент концентрации примесей. При выборе конфигурации, в которой область между полупроводниковой областью 1 n-типа и
35 полупроводниковой областью 3 р-типа имеет градиент концентрации примесей, при сравнении со случаем, где полупроводниковая область 6 n-типа не имеет градиента концентрации примесей, может ослабевать сильное электрическое поле, которое может возникать между полупроводниковой областью 1 n-типа и полупроводниковой областью 3 р-типа.

40 [0089] Будут описаны два примера области, имеющей градиент концентрации примесей. Первым примером является случай, где полупроводниковая область n-типа, концентрация примесей которой меньше концентрации примесей полупроводниковой области 1 n-типа, располагается в области около полупроводниковой области 1 n-типа, и полупроводниковая область n-типа, концентрация примесей которой меньше
45 концентрации примесей вышеупомянутой полупроводниковой области n-типа, располагается в области около изолирующего участка 16. Вторым примером является случай, где полупроводниковая область n-типа, концентрация примесей которой меньше концентрации примесей полупроводниковой области 1 n-типа, располагается в области

около полупроводниковой области 1 n-типа, и полупроводниковая область p-типа, концентрация примесей которой меньше концентрации примесей полупроводниковой области 3 p-типа, располагается в области около изолирующего участка 16. Более конкретно, как показано на фиг.20, полупроводниковая область 2000 p-типа, концентрация примесей которой меньше концентрации примесей полупроводниковой области 3 p-типа, обеспечивается между полупроводниковой областью 3 p-типа и полупроводниковой областью 6 n-типа.

[0090] Затем концентрация примесей полупроводниковой области 2 p-типа задается на концентрацию примесей полупроводниковой области 7 p-типа или меньше.

Полупроводниковая область 2 p-типа и полупроводниковая область 4 n-типа образуют p-n переход. Из-за p-n перехода вся область полупроводниковой области 4 n-типа становится областью обедненного слоя. Дополнительно, область обедненного слоя расширяется до части полупроводниковой области 1 n-типа. В расширенной области обедненного слоя наводится сильное электрическое поле. Вследствие сильного электрического поля, в области обедненного слоя, расширенного до части полупроводниковой области 1 n-типа, возникает лавинное усиление, и ток, основанный на усиленном электрическом заряде, выводится из проводящей линии 9. Т.е. в настоящем примерном варианте осуществления область фотодетектирования становится областью обедненного слоя в части полупроводниковой области 1 n-типа.

[0091] В настоящем примерном варианте осуществления полупроводниковая область 4 n-типа формируется из области n-типа вместо области p-типа, так как вследствие этого электрический заряд может быть получен с более глубокой части при расширении обедненного слоя глубже в глубокую часть полупроводниковой области 5 n-типа.

[0092] Кроме того, если полупроводниковой областью 6 n-типа должна быть полупроводниковая область p-типа, область обедненного слоя может формироваться между полупроводниковой областью p-типа и полупроводниковой областью 1 n-типа, так что лавинное усиление может возникать между полупроводниковой областью p-типа и полупроводниковой областью 1 n-типа. В настоящем примерном варианте осуществления полупроводниковая область 1 n-типа формируется из n-типа, так как, если область обедненного слоя расширяется и находится в контакте с первой поверхностью полупроводниковой подложки 15, увеличивается шум.

[0093] Дополнительно, концентрации примесей полупроводниковой области 1 n-типа, полупроводниковой области 4 n-типа и полупроводниковой области 2 p-типа задают такими, что полупроводниковая область 1 n-типа не полностью обедняется, когда подается разность потенциалов, которая вызывает лавинное усиление в области обедненного слоя, генерируемое в части полупроводниковой области 1 n-типа. Это связано с тем, что, если область обедненного слоя расширяется и находится в контакте с первой поверхностью полупроводниковой подложки 15, на первой поверхности полупроводниковой подложки 15 может создаваться шум. С другой стороны, концентрации примесей задают такими, что полупроводниковая область 4 n-типа полностью обедняется.

[0094] Условие для полного обеднения полупроводниковой области 4 n-типа показано в формуле 1. В этом случае концентрацией примесей полупроводниковой области 4 n-типа является концентрация Nd примесей, концентрацией примесей полупроводниковой области 2 p-типа является концентрация Na примесей, а элементарным электрическим зарядом является элементарный электрический заряд q. Дополнительно, диэлектрической постоянной полупроводника является диэлектрическая постоянная ϵ , разностью потенциалов p-n перехода между полупроводниковой областью 4 n-типа и

полупроводниковой областью 2 р-типа является разность V потенциалов, и длиной полупроводниковой области 4 n-типа, окруженной полупроводниковой областью 2 р-типа, является длина D .

[Математическое выражение 1]

$$2 \times \sqrt{\frac{2\epsilon NaV}{qNd(Nd+Na)}} > D \text{ (Формула 1)}$$

[0095] Предполагается, что концентрация примесей, которая не полностью обедняет полупроводниковую область 1 n-типа, составляет, например, $6,0 \times 10^{18}$ [атомов/см³] или больше. В этом случае концентрациями примесей, удовлетворяющими такому условию обеднения, являются $1,0 \times 10^{16}$ [атомов/см³] или более для концентрации примесей полупроводниковой области 2 р-типа и $1,0 \times 10^{17}$ [атомов/см³] или меньше для концентрации примесей полупроводниковой области 4 n-типа. Однако концентрации примесей не ограничиваются вышеприведенными концентрациями примесей.

[0096] Затем разность потенциалов между полупроводниковой областью 1 n-типа и изолирующим участком 16 задается такой, чтобы электрическое поле в направлении глубины, наведенное в расширенном обедненном слое, было достаточно сильным. Здесь разностью потенциалов, которая создает достаточно сильное электрическое поле, является разность потенциалов, при которой электрический заряд, на который воздействует электрическое поле, вызывает лавинное усиление. Т.е. разностью потенциалов является разность потенциалов между полупроводниковой областью 1 n-типа и полупроводниковой областью 3 р-типа, при которой блок 201 фотоэлектрического преобразования осуществляет работу в качестве лавинного диода (APD или SPAD).

[0097] Более конкретно, разность потенциалов между полупроводниковой областью 1 n-типа и полупроводниковой областью 2 р-типа составляет 6 В или более. В этом случае, как описано выше, полупроводниковая область 4 n-типа, электрически соединенная с полупроводниковой областью 1 n-типа, полностью становится областью обедненного слоя, и в области обедненного слоя, расширенной до части полупроводниковой области 1 n-типа, генерируется сильное электрическое поле, которое может вызывать лавинное усиление.

[0098] В одном варианте осуществления, если рассматриваются концентрации примесей, удовлетворяющие вышеупомянутому условию обеднения, разность потенциалов между полупроводниковой областью 1 n-типа и полупроводниковой областью 3 р-типа составляет 10 В или больше и 30 В или меньше. В этот момент, например, потенциал 10 В или более прикладывается к полупроводниковой области 1 n-типа, и потенциал 0 В или менее прикладывается к полупроводниковой области 3 р-типа. Однако, если разность потенциалов составляет 6 В или более, значения потенциала не ограничиваются вышеупомянутыми значениями.

[0099] Кроме того, обедненный слой, образованный между полупроводниковой областью 2 р-типа и полупроводниковой областью 6 n-типа, может расширяться до полупроводниковой области 1 n-типа, вызывая лавинное усиление. В этом случае, если полупроводниковая область 1 n-типа полностью обеднена, может создаваться шум. Таким образом, концентрация примесей полупроводниковой области 1 n-типа задается такой, что полупроводниковая область 1 n-типа не полностью обедняется.

[0100] В этой связи, согласно настоящему примерному варианту осуществления, электрический заряд генерируется в полупроводниковой области 5 n-типа и собирается и считывается в полупроводниковой области 1 n-типа. Т.е. сгенерированный в

полупроводниковой области первого типа проводимости электрический заряд считается с полупроводниковой области первого типа проводимости.

[0101] В противоположность этому, устройство, описанное в описании изобретения патента США № 9209336, считает электрический заряд, сгенерированный в
 5 эпитаксиальном слое 2 n-типа из области 14 анода p-типа после лавинного усиления на поверхности раздела между эпитаксиальным слоем 2 n-типа и областью 14 анода p-типа. Т.е. электрический заряд, сгенерированный в полупроводниковой области первого типа проводимости, считается из полупроводниковой области второго типа проводимости. Кроме того, в этом отношении, настоящий примерный вариант
 10 осуществления отличается от устройства, обсужденного в описании изобретения патента США № 9209336.

[0102] Предполагается, что на фиг.6 полупроводниковая область 5 n-типа, имеющая концентрацию примесей меньше концентрации примесей полупроводниковой области 1 n-типа, располагается непосредственно под полупроводниковой областью 1 n-типа,
 15 имеющей высокую концентрацию примесей, без обеспечения полупроводниковой области 2 p-типа и полупроводниковой области 4 n-типа. В этом случае возможно генерирование электрического заряда в полупроводниковой области 5 n-типа и считывание электрического заряда с полупроводниковой области 1 n-типа, но трудно осуществить лавинное усиление при режимах напряжения, эквивалентных режимам
 20 настоящего примерного варианта осуществления. Это связано с тем, что большая часть разности потенциалов, приложенной между полупроводниковой областью 1 n-типа и полупроводниковой областью 3 p-типа, прикладывается к области обедненного слоя полупроводниковой области 5 n-типа, и, поэтому, становится меньше разность потенциалов, приложенная к области лавинного усиления около полупроводниковой
 25 области 1 n-типа. С другой стороны, в настоящем примерном варианте осуществления полупроводниковая область 5 n-типа окружена полупроводниковыми областями p-типа в каждом направлении, исключая расположение в контакте с полупроводниковой областью 4 n-типа, и, таким образом, потенциал полупроводниковой области 5 n-типа ближе к уровню окружающих полупроводниковых областей p-типа, чем к уровню
 30 полупроводниковой области 1 n-типа. Т.е. при подавлении избыточного расширения обедненного слоя в более глубокую часть подложки в полупроводниковой области 2 p-типа, большая часть вышеупомянутой приложенной разности потенциалов может концентрироваться на области лавинного усиления около полупроводниковой области 1 n-типа. В результате фотоноситель может подвергаться лавинному усилению при
 35 более низком напряжении.

[0103] Далее, полупроводниковая область 5 n-типа имеет концентрацию примесей, равную или меньше концентрации примесей полупроводниковой области 4 n-типа.

Например, полупроводниковая область 5 n-типа имеет концентрацию примесей $1,0 \times 10^{17}$
 40 [атомов/см³] или менее. Вследствие выражения «равную или менее», концентрация примесей полупроводниковой области 5 n-типа и концентрация примесей полупроводниковой области 4 n-типа могут быть равны. Также по меньшей мере концентрация примесей полупроводниковой области 5 n-типа должна быть меньше концентрации примесей полупроводниковой области 1 n-типа.

[0104] На фиг.6 область с одинаковыми концентрациями примесей изображена как
 45 пример полупроводниковой области 5 n-типа. Однако лучше, чтобы полупроводниковая область 5 n-типа имела такой градиент концентрации примесей, что реализуется структура потенциала, позволяющая электрическому заряду перемещаться к стороне первой поверхности полупроводниковой подложки 15. При выборе такого градиента

концентрации примесей, электрический заряд легко может перемещаться в полупроводниковую область 1 n-типа.

[0105] Если градиент концентрации примесей такой, что реализуется структура потенциала, позволяющая электрическому заряду перемещаться к стороне первой поверхности полупроводниковой подложки 15, в области, где располагается полупроводниковая область 5 n-типа, стороной первой поверхности может быть полупроводниковая область n-типа, и стороной второй поверхности может быть полупроводниковая область p-типа.

[0106] Альтернативно, вместо полупроводниковой области 5 n-типа может располагаться полупроводниковая область p-типа, концентрация примесей которой меньше концентрации примесей полупроводниковой области 2 p-типа. Также в этом случае лучше иметь такой градиент концентрации примесей, чтобы реализовывалась структура потенциала, позволяющая электрическому заряду перемещаться к стороне первой поверхности полупроводниковой подложки 15.

[0107] Например, полупроводниковая область p-типа имеет первую область, вторую область, расположенную в положении, которое находится глубже первой области относительно первой поверхности, и третью область, расположенную в положении, которое находится глубже второй области относительно первой поверхности. Тогда, если первая область имеет первую концентрацию примесей, вторая область имеет вторую концентрацию примесей, а третья область имеет третью концентрацию примесей, может задаваться, что первая концентрация примесей < второй концентрации примесей < третьей концентрации примесей. В этой связи, первая концентрация примесей меньше концентрации примесей полупроводниковой области 2 p-типа. Здесь полупроводниковая область p-типа, расположенная вместо полупроводниковой области 5 n-типа, делится на три области, но настоящий примерный вариант осуществления не ограничивается таким примером.

[0108] Полупроводниковая область 8 p-типа располагается в положении, которое глубже полупроводниковой области 5 n-типа, и определяет глубину области фотоэлектрического преобразования. Полупроводниковая область 5 n-типа образует p-n переход с каждой из полупроводниковой области 2 p-типа, полупроводниковой области 7 p-типа и полупроводниковой области 8 p-типа. Концентрация примесей полупроводниковой области 8 p-типа задается выше концентрации примесей полупроводниковой области 2 p-типа. Следовательно, электрический заряд, генерируемый около полупроводниковой области 8 p-типа, легко может перемещаться в направлении первой поверхности.

[0109] Контактный штырь 18 соединен с полупроводниковой областью 1 n-типа, и проводящая линия 9 соединена с контактным штырем 18. Кроме того, контактный штырь 17 соединен с полупроводниковой областью 3 p-типа, и проводящая линия 10 соединена с контактным штырем 17. Далее, проводящая линия 9 или проводящая линия 10 соединена с блоком 202 управления, таким как резистивный элемент, для выполнения операции гашения. Здесь далее предполагается, что блок 202 управления соединен с проводящей линией 9.

[0110] На фиг.6 предполагается, что контактный штырь 17 и проводящая линия 10 располагаются на стороне первой поверхности. Однако контактный штырь 17 и проводящая линия 10 также могут располагаться на стороне второй поверхности.

[0111] В одном варианте осуществления, когда контактный штырь 17 и проводящая линия 10 располагаются на стороне второй поверхности, концентрация примесей области, где располагается контактный штырь 17, полупроводниковой области 8 p-

типа больше концентрации примесей полупроводниковой области 7 р-типа. Т.е. эта область становится полупроводниковой областью 3 р-типа. В этом случае контактный штырь 17 не соединен с полупроводниковой областью 3 р-типа на стороне первой поверхности, и, таким образом, лучше задавать концентрацию примесей на сопоставимом уровне полупроводниковой области 7 р-типа. Следовательно, может уменьшаться электрическое поле, генерируемое между полупроводниковой областью 3 р-типа и полупроводниковой областью 1 n-типа.

[0112] Когда изолирующий участок 16 имеет диэлектрический изолирующий участок на стороне первой поверхности, контактный штырь 17 и проводящая линия 10 также располагаются на стороне второй поверхности. В этом случае изолирующий участок 16 располагается так, что диэлектрический изолирующий участок, полупроводниковая область 7 р-типа и полупроводниковая область 3 р-типа располагаются поверх других в этом порядке от первой поверхности в направлении глубины.

[0113] Ниже со ссылкой на фиг.7А-7С будет описана планарная структура изолирующего участка 16 и область фотоэлектрического преобразования, окруженная изолирующим участком 16 на любой глубине структуры разреза на фиг.6. На фиг.7А-7С граница каждой полупроводниковой области изображена в круглой форме, но граница не ограничивается таким примером.

[0114] Фиг.7А изображает схематический вид сверху отрезка АВ прямой на глубине Х на фиг.6. Полупроводниковая область 1 n-типа включена в полупроводниковую область 6 n-типа. Полупроводниковая область 6 n-типа включена в полупроводниковую область 3 р-типа. Кроме того, площадь полупроводниковой области 6 n-типа больше площади полупроводниковой области 1 n-типа.

[0115] Фиг.7В изображает схематический вид сверху отрезка CD прямой на глубине Y на фиг.6. Полупроводниковая область 4 n-типа включена в полупроводниковую область 2 р-типа. Полупроводниковая область 2 р-типа включена в полупроводниковую область 3 р-типа.

[0116] Фиг.7С изображает схематический вид сверху отрезка EF прямой на глубине Z на фиг.6. Полупроводниковая область 5 n-типа включена в полупроводниковую область 7 р-типа.

[0117] В этой связи, если фиг.7В поместить сверху на фиг.7С, полупроводниковая область 4 n-типа и полупроводниковая область 2 р-типа перекрывают полупроводниковую область 5 n-типа на виде сверху.

[0118] Кроме того, если фиг.7А поместить сверху на фиг.7В, полупроводниковая область 1 n-типа перекрывает по меньшей мере часть полупроводниковой области 4 n-типа, и полупроводниковая область 6 n-типа перекрывает по меньшей мере часть полупроводниковой области 2 р-типа на виде сверху.

[0119] Ниже со ссылкой на фиг.8А-8D будет описан способ изготовления лавинного диода на схематическом виде в разрезе, показанном на фиг.6. Процессы без конкретно упомянутого порядка могут переставляться соответствующим образом. Кроме того, что касается процессов, описание которых опускается на фиг.8А-8D, могут применяться общеизвестные способы изготовления.

[0120] Как показано на фиг.8А, имплантация ионов примеси р-типа (здесь далее просто имплантация ионов) выполняется в области, являющейся полупроводниковой областью 5 n-типа, с направления, нормального к первой поверхности полупроводниковой подложки 15. Следовательно, полупроводниковая область 8 р-типа формируется в глубоком положении от первой поверхности полупроводниковой подложки 15.

[0121] Затем, как показано на фиг.8B, на первой поверхности полупроводниковой подложки 15 формируется маска 77. Маска 77 имеет отверстие 30. Затем образуются полупроводниковая область 3 р-типа и полупроводниковая область 7 р-типа, расположенные в этом порядке от первой поверхности, при выполнении имплантации ионов р-типа с направления, нормального к первой поверхности полупроводниковой подложки 15. В этот момент соединяются полупроводниковая область 7 р-типа и часть полупроводниковой области 8 р-типа. Кроме того, концентрация примесей полупроводниковой области 3 р-типа задается больше концентрации примесей полупроводниковой области 7 р-типа. Более конкретно, например, может множество раз использоваться способ выполнения имплантации ионов с помощью разных значений энергии имплантации ионов.

[0122] Затем маска 77 удаляется, и размещается маска 78. Маска 78 имеет отверстие 32. Затем, как показано на фиг.8C, при выполнении имплантации ионов р-типа с направления, параллельного направлению, нормальному к первой поверхности полупроводниковой подложки 15, формируется область, являющаяся полупроводниковой областью 2 р-типа. Затем при выполнении имплантации ионов п-типа в положение с меньшей глубиной от первой поверхности, чем положение, в котором была выполнена имплантация ионов р-типа для формирования области, являющейся полупроводниковой областью 2 р-типа, формируется область, являющаяся полупроводниковой областью 6 п-типа. Здесь область, являющаяся полупроводниковой областью 6 п-типа, формируется после того, как будет сформирована область, являющаяся полупроводниковой областью 2 р-типа, но порядок может быть обратным.

[0123] Затем маска 78 удаляется, и размещается маска 73. Маска 73 имеет отверстие 33. Как показано на фиг.8D, полупроводниковая область 4 п-типа формируется в части области, являющейся полупроводниковой областью 2 р-типа, при выполнении имплантации ионов п-типа на глубине, на которой располагается область, являющаяся полупроводниковой областью 2 р-типа, с направления, параллельного направлению, нормальному к первой поверхности полупроводниковой подложки 15.

[0124] Затем полупроводниковая область 1 п-типа формируется при выполнении имплантации ионов п-типа на стороне первой поверхности полупроводниковой подложки 15 с направления, параллельного направлению, нормальному к первой поверхности полупроводниковой подложки 15. Здесь первой формируется полупроводниковая область 4 п-типа, но первой может формироваться полупроводниковая область 1 п-типа.

[0125] Таким образом, когда выполняется имплантация ионов с использованием ионов примеси одинакового типа проводимости, диффузия ионов примеси в направлении, параллельном первой поверхности в качестве плоскости падения, больше, когда имплантация ионов выполняется в глубоком положении относительно первой поверхности, чем когда имплантация ионов выполняется в менее глубоком положении относительно первой поверхности. Т.е. когда имплантация ионов выполняется с использованием одной и той же маски, полупроводниковая область 1 п-типа включается в полупроводниковую область 4 п-типа на виде сверху.

[0126] Ионы примеси, имеющие разные коэффициенты термодиффузии, могут использоваться в качестве ионов примеси, инжектируемых для формирования полупроводниковой области 1 п-типа и полупроводниковой области 4 п-типа. Согласно такой конфигурации, повышается степень свободы разработки потенциала областей, где располагаются полупроводниковая область 1 п-типа и полупроводниковая область 4 п-типа.

[0127] На фиг.8D, если имплантация ионов выполняется с использованием разных масок, когда образуются полупроводниковая область 1 n-типа и полупроводниковая область 1 p-типа, могут возникать позиционные смещения, так что может создаваться туннельный эффект вследствие генерирования асимметричного распределения электрического поля. В соответствии со способом изготовления согласно настоящему
 5 примерному варианту осуществления, с другой стороны, полупроводниковая область 1 n-типа и полупроводниковая область 4 p-типа образуются с использованием одной и той же маски, и, таким образом, могут предотвращаться позиционные смещения в обоих полупроводниковых областях, так что может предотвращаться туннельный
 10 эффект, который может возникать вследствие позиционных смещений.

[0128] Ниже со ссылкой на фиг.9A и 9B будет описан блок 202 управления согласно настоящему примерному варианту осуществления. В настоящем примерном варианте осуществления блок 202 управления имеет две конфигурации. Первая конфигурация, как показано на фиг.9A, представляет собой конфигурацию, в которой блок 202
 15 управления располагается на стороне катода, к которому прикладывается высокий потенциал V_H блока 201 фотоэлектрического преобразования. Вторая конфигурация, как показано на фиг.9B, представляет собой конфигурацию, в которой блок 202 управления располагается на стороне анода, к которому прикладывается низкий потенциал V_L блока 201 фотоэлектрического преобразования.

[0129] В конфигурациях по фиг.9A и 9B требуется фиксированное время для возврата к смещению в начальном состоянии блока 201 фотоэлектрического преобразования через падение напряжения с помощью блока 202 управления после того, как входной потенциал блока 203 формирования формы сигнала изменится вследствие лавинного
 20 тока. Период, необходимый для возврата в состояние смещения, способное детектировать электрический заряд после того, как электрический заряд только
 25 детектирован, называется мертвым временем. Число электрических зарядов, которое может быть подсчитано в единицу времени, увеличивается, и динамический диапазон устройства фотодетектирования увеличивается с уменьшением мертвого времени.

[0130] В качестве примера, когда блок 202 управления представляет собой резистивный элемент, мертвое время (τ_d [s]) лавинного диода согласно настоящему
 30 примерному варианту осуществления определяется произведением сопротивления (R [Ω]) и емкости (C [Ф]) входного ввода. В следующих формулах емкость p-n перехода блока 201 фотоэлектрического преобразования обозначается как C_{pd} , емкость потенциальной ямы блока 201 фотоэлектрического преобразования обозначается как
 35 C_w и паразитная емкость проводки/диффузионного слоя обозначается как C .

[0131] В случае по фиг.9A мертвое время определяется формулой 2:

[Математическое выражение 2]

$$\tau_d = R(C_{pd} + C) \dots (\text{Формула 2})$$

[0132] В случае по фиг.9B мертвое время определяется формулой 3:

[Математическое выражение 3]

$$\tau_d = R(C_{pd} + C_w + C) \dots (\text{Формула 3})$$

[0133] Емкость C_{pd} p-n перехода блока 201 фотоэлектрического преобразования представляет собой емкость p-n перехода области фотодетектирования, которая наводит сильное электрическое поле, вызывая лавинное усиление. Таким образом, емкость C_{pd} p-n перехода изменяется пропорционально площади области фотодетектирования. Т.е.,
 45 если площадь области фотодетектирования увеличивается с улучшением эффективности фотодетектирования, емкость C_{pd} p-n перехода увеличивается, так что увеличивается мертвое время. В результате уменьшается динамический диапазон.

[0134] Другими словами, эффективность фотодетектирования и динамический диапазон находятся в компромиссном соотношении. В соответствии со структурой пикселя в настоящем примерном варианте осуществления, с другой стороны, площадь области фотодетектирования может быть уменьшена, в тоже время гарантируя большую площадь области фотоэлектрического преобразования. Таким образом, C_{pd} может быть уменьшена, и может быть уменьшено мертвое время. В результате могут одновременно достигаться высокая эффективность фотодетектирования и широкий динамический диапазон.

[0135] Эффект улучшения динамического диапазона благодаря структуре пикселя согласно настоящему примерному варианту осуществления более заметно иллюстрируется в конфигурации по фиг.9А, чем в конфигурации по фиг.9В. Например, если отношение C_{pd} структуры SPAD согласно настоящему примерному варианту осуществления к C_{pd} обычной структуры SPAD равно A ($0 < A < 1$), степени улучшения Δ динамического диапазона в системах схемы по фиг.9А и фиг.9В представлены формулой 4 и формулой 5, соответственно:

[Математическое выражение 4]

$$\Delta 1 = (1 - A) C_{pd} / (A C_{pd} + C) \dots (\text{Формула 4})$$

[Математическое выражение 5]

$$\Delta 2 = (1 - A) C_{pd} / (A C_{pd} + C_w + C) \dots (\text{Формула 5})$$

[0136] В формуле 4 и формуле 5 вычисления выполнялись с использованием того факта, что динамический диапазон обратно пропорционален мертвому времени. Из вышеупомянутых формул ясно, что выполняется $\Delta 1 > \Delta 2$.

[0137] Из вышеизложенного, степень улучшения динамического диапазона, когда конфигурации по фиг.9А и фиг.9В применяются к конфигурации согласно настоящему примерному варианту осуществления, в принципе, больше на фиг.9А, чем на фиг.9В.

[0138] Описание выше было представлено в предположении, что блоком 202 управления является резистивный элемент, но это же справедливо тогда, когда блоком 202 управления является активный гасящий контур.

[0139] Из вышеизложенного, эффект улучшения динамического диапазона может быть сделан больше, когда блок 202 управления для пикселя согласно настоящему примерному варианту осуществления располагается на стороне катода блока 201 фотоэлектрического преобразования, чем на стороне анода.

[0140] Согласно конфигурации настоящего примерного варианта осуществления, ухудшение эффективности фотодетектирования может предотвращаться при формировании пути, по которому перемещается электрический заряд. Т.е. шум может быть уменьшен при предотвращении ухудшения эффективности фотодетектирования.

[0141] Фиг.10 представляет собой схематический вид в разрезе лавинного диода согласно второму примерному варианту осуществления. Фиг.4, фиг.5, фиг.8А-8D и фиг.9А и 9В являются такими же, что и в первом примерном варианте осуществления. Кроме того, подобные ссылочные позиции присвоены блокам, имеющим подобные функции на фиг.1-9В, и их подробное описание опускается. Фиг.10 отличается тем, что полупроводниковая область 24 р-типа располагается в области, где на фиг.6 располагается полупроводниковая область 4 n-типа.

[0142] На фиг.10 полупроводниковая область 1 n-типа и полупроводниковая область 24 р-типа образуют р-n переход. Кроме того, полупроводниковая область 3 р-типа электрически соединена с полупроводниковой областью 24 р-типа через полупроводниковую область 2 р-типа. Таким образом, потенциал полупроводниковой области 24 р-типа представляет собой обратно смещенный потенциал

полупроводниковой области 1 n-типа. Тогда сильное электрическое поле наводится в области р-n перехода полупроводниковой области 1 n-типа и полупроводниковой области 24 р-типа. Лавинное усиление вызывается в области р-n перехода сильным электрическим полем, и ток, основанный на усиленном электрическом заряде, выводится из проводящей линии 9 или проводящей линии 10. Т.е. в настоящем примерном варианте осуществления областью фотодетектирования является область р-n перехода полупроводниковой области 1 n-типа и полупроводниковой области 24 р-типа. При конфигурировании таким образом, разность потенциалов, необходимая для того, чтобы вызвать лавинное усиление, может быть выполнена меньше, чем в первом примерном варианте осуществления. Т.е. разность потенциалов между полупроводниковой областью 1 n-типа и полупроводниковой областью 3 р-типа в настоящем примерном варианте осуществления может быть выполнена меньше разности потенциалов между полупроводниковой областью 1 n-типа и полупроводниковой областью 3 р-типа в первом примерном варианте осуществления.

[0143] На фиг.10 концентрация примесей полупроводниковой области 24 р-типа меньше концентрации примесей полупроводниковой области 2 р-типа и концентрации примесей полупроводниковой области 7 р-типа. Таким образом, вышеупомянутая зависимость потенциалов, изображенная на фиг.3, также применяется в настоящем примерном варианте осуществления.

[0144] Концентрация примесей полупроводниковой области 1 n-типа задается такой, что, когда подаются потенциалы, которые вызывают лавинное усиление в р-n переходе, как описано выше, полупроводниковая область 1 n-типа обедняется не полностью.

[0145] В настоящем примерном варианте осуществления концентрация примесей, которая не полностью обедняет полупроводниковую область 1 n-типа, составляет,

например, концентрацию примесей $6,0 \times 10^{18}$ [атомов/см³] или более в полупроводниковой области 1 n-типа. Тогда концентрация примесей полупроводниковой области 24 р-типа составляет $1,0 \times 10^{17}$ [атомов/см³] или менее. Это связано с тем, что, если область обедненного слоя расширяется и приходит в контакт с первой поверхностью полупроводниковой подложки 15, на первой поверхности полупроводниковой подложки 15 может возникать шум. Однако концентрации примесей не ограничиваются вышеприведенными примерами.

[0146] Более конкретно, разность потенциалов между полупроводниковой областью 1 n-типа и полупроводниковой областью 24 р-типа, когда блок 201 фотоэлектрического преобразования осуществляет работу в качестве лавинного диода (APD или SPAD), составляет 6 В или более.

[0147] В одном варианте осуществления, если рассматривается вышеупомянутая зависимость концентрации примесей, разность потенциалов между полупроводниковой областью 1 n-типа и полупроводниковой областью 24 р-типа составляет 10 В или более. В этом случае, например, потенциал 10 В или более подается на полупроводниковую область 1 n-типа, и потенциал 0 В или менее подается на полупроводниковую область 24 р-типа через полупроводниковую область 2 р-типа. Однако потенциалы не ограничиваются вышеупомянутыми значениями, если разность потенциалов составляет 6 В или более.

[0148] Когда способ изготовления, изображенный на фиг.8A-8D, применяется в настоящем примерном варианте осуществления, полупроводниковая область 24 р-типа формируется при выполнении имплантации ионов n-типа, так что концентрация примесей в части области, являющейся полупроводниковой областью 2 р-типа, локально уменьшается на фиг.8D.

[0149] Также в настоящем примерном варианте осуществления достигаются эффекты, подобные эффектам в первом примерном варианте осуществления.

[0150] Фиг.11 представляет собой схематический вид в разрезе лавинного диода согласно третьему примерному варианту осуществления. Подобные ссылочные позиции
5 присвоены блокам, имеющим подобные функции на фиг.1-10, и их подробное описание опускается.

[0151] Фиг.11 отличается от потенциала в области, в которой на фиг.6 располагается полупроводниковая область 5 n-типа, в том, что значение потенциала области дальше от изолирующего участка 16 в параллельном первой поверхности направлении меньше
10 значения потенциала области, которая ближе к изолирующему участку 16.

[0152] На фиг.11 полупроводниковая область 28 n-типа располагается в области, которая ближе к изолирующему участку 16 в параллельном первой поверхности направлении, и полупроводниковая область 27 n-типа располагается в области, которая дальше от изолирующего участка 16.

[0153] В настоящем примерном варианте осуществления электрический заряд становится более подвижным от полупроводниковой области 28 n-типа к полупроводниковой области 27 n-типа при создании зависимости концентрации примесей, в которой значение потенциала в полупроводниковой области 27 n-типа меньше значения потенциала в полупроводниковой области 28 n-типа.

[0154] Другими словами, значение потенциала в области (полупроводниковой области 27 n-типа), которая дальше от изолирующего участка 16 в параллельном первой поверхности направлении, меньше значения потенциала в области (полупроводниковой области 28 n-типа), которая ближе к изолирующему участку 16.

[0155] Таким образом, концентрация примесей полупроводниковой области 28 n-типа меньше концентрации примесей полупроводниковой области 27 n-типа. Тогда концентрация примесей полупроводниковой области 27 n-типа выполняется меньше концентрации примесей полупроводниковой области 4 n-типа, формируя градиент потенциала для области фотодетектирования.

[0156] Если полупроводниковая область p-типа располагается вместо полупроводниковой области 27 n-типа, полупроводниковая область p-типа, концентрация примесей которой больше концентрации примесей полупроводниковой области p-типа, располагаемой вместо нее, располагается вместо полупроводниковой области 28 n-типа.

[0157] Согласно такой конфигурации, если направление от положения, где располагается изолирующий участок 16, к положению, где располагается полупроводниковая область 27 n-типа, характеризуется как направление в плоскости, электрическое поле в направлении в плоскости наводится при подборе распределения примесей, которое позволяет электрическому заряду перемещаться по направлению в плоскости. Электрический заряд, сгенерированный глубоко внутри полупроводниковой подложки 15, перемещается по направлению в плоскости этим электрическим полем.
40

[0158] Согласно такой конфигурации, например, может быть уменьшено время, необходимое для перемещения электрического заряда, сгенерированного глубоко внутри полупроводниковой подложки 15, в область фотодетектирования.

[0159] Дополнительно, как описано выше, выбирается потенциал, позволяющий электрическому заряду легко перемещаться из глубокого положения от первой поверхности полупроводниковой подложки 15 к менее глубокому положению. При выборе такой зависимости потенциалов, может быть дополнительно уменьшено время, необходимое для перемещения электрического заряда в область фотодетектирования.

[0160] Настоящий примерный вариант осуществления может быть применен ко всем примерным вариантам осуществления.

[0161] Фиг.12 представляет собой схематический вид в разрезе лавинного диода согласно четвертому примерному варианту осуществления. Подобные ссылочные позиции присвоены блокам, имеющим подобные функции на фиг.1-11, и их подробное описание опускается.

[0162] Фиг.12 отличается от полупроводниковой области 2 р-типа на фиг.6 в том, что конфигурируются полупроводниковая область 2В р-типа и полупроводниковая область 2А р-типа, имеющие разные глубины.

[0163] На фиг.12 полупроводниковая область 2 р-типа включает в себя полупроводниковую область 2В р-типа и полупроводниковую область 2А р-типа. Полупроводниковая область 2А р-типа располагается между полупроводниковой областью 6 п-типа и полупроводниковой областью 3 р-типа, составляя изолирующий участок 16 на первой глубине X. Полупроводниковая область 2В р-типа располагается между полупроводниковой областью 5 п-типа и полупроводниковой областью 4 п-типа на второй глубине Y. Часть полупроводниковой области 2А р-типа находится в контакте с полупроводниковой областью 5 п-типа, и другая область полупроводниковой области 2А р-типа находится в контакте с полупроводниковой областью 2В р-типа.

[0164] Ниже со ссылкой на фиг.13А и 13В будет описана планарная структура изолирующего участка 16 и области фотоэлектрического преобразования, окруженной изолирующим участком 16, на любой глубине структуры разреза на фиг.12. На фиг.13А и 13В граница каждой полупроводниковой области изображается в круглой форме, но граница не ограничивается таким примером. В этой связи, схематический вид сверху отрезка EF прямой на глубине Z подобен фиг.7С и поэтому опускается.

[0165] Фиг.13А изображает схематический вид сверху отрезка АВ прямой на первой глубине X по фиг.12. Полупроводниковая область 1 п-типа включена в полупроводниковую область 6 п-типа. Полупроводниковая область 6 п-типа включена в полупроводниковую область 2А р-типа. Полупроводниковая область 2А р-типа включена в полупроводниковую область 3 р-типа.

[0166] Фиг.13В изображает схематический вид сверху отрезка CD прямой на второй глубине Y по фиг.12. Полупроводниковая область 4 п-типа включена в полупроводниковую область 2В р-типа. Полупроводниковая область 2В р-типа включена в полупроводниковую область 5 п-типа. Полупроводниковая область 5 п-типа включена в полупроводниковую область 3 р-типа.

[0167] Если фиг.13А поместить сверху на фиг.13В, то полупроводниковая область 2А р-типа перекрывает полупроводниковую область 2В р-типа и полупроводниковую область 5 п-типа.

[0168] Согласно конфигурации в настоящем примерном варианте осуществления, часть области, где полупроводниковая область 2 р-типа располагается на второй глубине Y по фиг.6, может быть заменена на полупроводниковую область 5 п-типа. Следовательно, особенно тогда, когда выбирается тип с передней засветкой, может быть улучшена эффективность фотодетектирования коротковолнового света.

[0169] Настоящий примерный вариант осуществления может быть применен ко всем примерным вариантам осуществления.

[0170] Фиг.14 представляет собой схематический вид в разрезе лавинного диода согласно пятому примерному варианту осуществления. Подобные ссылочные позиции присвоены блокам, имеющим подобные функции на фиг.1-13В, и их подробное описание опускается. Фиг.14 отличается от фиг.6 в том, что размещается множество

полупроводниковых областей 1 n-типа и множество полупроводниковых областей 4 n-типа.

[0171] Фиг.14 изображает конфигурацию, в которой располагаются по две из полупроводниковых областей 1 n-типа и полупроводниковых областей 4 n-типа, но
5 число областей не ограничивается двумя, при условии, что располагается более одной области.

[0172] Полупроводниковая область 1A n-типа окружена полупроводниковой областью 6 n-типа. Аналогично, полупроводниковая область 1B n-типа окружена полупроводниковой областью 6 n-типа.

10 [0173] Полупроводниковая область 4A n-типа окружена полупроводниковой областью 2 p-типа. Аналогично, полупроводниковая область 4B n-типа окружена полупроводниковой областью 2 p-типа.

[0174] Ниже со ссылкой на фиг.15A и 15B будет описана планарная структура изолирующего участка 16 и области фотоэлектрического преобразования, окруженной
15 изолирующим участком 16, на любой глубине структуры разреза на фиг.14. На фиг.15A и 15B граница каждой полупроводниковой области изображена в круглой форме, но граница не ограничивается таким примером. В этой связи, схематический вид сверху отрезка EF прямой на глубине Z подобен фиг.7C и поэтому опускается.

[0175] Фиг.15A изображает схематический вид сверху отрезка AB прямой на глубине
20 X на фиг.14. Каждая из полупроводниковой области 1A n-типа и полупроводниковой области 1B n-типа включена в полупроводниковую область 6 n-типа.

Полупроводниковая область 6 n-типа включена в полупроводниковую область 3 p-типа. Площадь полупроводниковой области 6 n-типа больше площади полупроводниковой области 1A n-типа или полупроводниковой области 1B n-типа.

25 [0176] Фиг.15B изображает схематический вид сверху отрезка CD прямой на глубине Y по фиг.14. Каждая из полупроводниковой области 4A n-типа и полупроводниковой области 4B n-типа включена в полупроводниковую область 2 p-типа.

Полупроводниковая область 2 p-типа включена в полупроводниковую область 7 p-типа.

30 [0177] Если фиг.15B поместить сверху на фиг.7C, то полупроводниковая область 4A n-типа, полупроводниковая область 4B n-типа и полупроводниковая область 2 p-типа перекрывают полупроводниковую область 5 n-типа.

[0178] Кроме того, если фиг.15A поместить сверху на фиг.15B, то полупроводниковая область 1A n-типа перекрывает по меньшей мере часть полупроводниковой области
35 4A n-типа на виде сверху. Полупроводниковая область 1B n-типа перекрывает по меньшей мере часть полупроводниковой области 4B n-типа на виде сверху. Как описано выше, все области в полупроводниковой области 1 n-типа перекрывают полупроводниковую область 4 n-типа на виде сверху подобно включенным в нее.

[0179] Если фиг.15A поместить сверху на фиг.15B, то полупроводниковая область 6
40 n-типа перекрывает по меньшей мере часть полупроводниковой области 2 p-типа.

[0180] Согласно конфигурации в настоящем примерном варианте осуществления, среднее расстояние перемещения электрического заряда, сгенерированного в области фотоэлектрического преобразования, в область фотодетектирования может быть
укорочено полупроводниковой областью 1 n-типа и полупроводниковой областью 4
45 n-типа, каждая из которых расположена во множестве расположений. Поэтому, может быть уменьшено время, необходимое для детектирования электрического заряда, сгенерированного в глубоком положении области фотоэлектрического преобразования.

[0181] Настоящий примерный вариант осуществления может быть применен ко всем

примерным вариантам осуществления.

[0182] Фиг.16 представляет собой схематический вид в разрезе лавинного диода и блока управления согласно шестому примерному варианту осуществления. Подобные ссылочные позиции присвоены блокам, имеющим подобные функции на фиг.1-15В, и их подробное описание опускается.

[0183] На фиг.16 блок 201 фотоэлектрического преобразования и блок 202 управления расположены на разных полупроводниковых подложках. Конфигурация лавинного диода, составляющего блок 201 фотоэлектрического преобразования, подобна конфигурации в первом примерном варианте осуществления. Множество блоков блока 201 фотоэлектрического преобразования располагается на полупроводниковой подложке 15. Здесь в качестве примера изображена конфигурация, в которой располагаются два лавинных диода. Блок 202 управления и проводящая линия 1107, подключенная к блоку 202 управления, расположены на полупроводниковой подложке 1102. Здесь, изображена конфигурация, в которой блок 202 управления и проводящая линия 1107 расположены на полупроводниковой подложке 1102, но также могут быть расположены другие схемы (цепи).

[0184] Лавинный диод согласно настоящему примерному варианту осуществления выполнен в виде типа с обратной засветкой. Свет поступает в направлении от полупроводниковой области 5 n-типа к полупроводниковой области 1 n-типа. В этом случае свет поступает в полупроводниковую область 5 n-типа при прохождении через микролинзу 1103 и светофильтр 1104.

[0185] Как описано выше, в полупроводниковой области 5 n-типа происходит фотоэлектрическое преобразование, и сгенерированный электрический заряд перемещается в полупроводниковую область 1 n-типа, проходя через полупроводниковую область 4 n-типа. Лавинное усиление вызывается электрическим полем между полупроводниковой областью 1 n-типа и обедненным слоем, сгенерированным между полупроводниковой областью 2 p-типа и полупроводниковой областью 4 n-типа, так что ток протекает к проводящей линии 9.

[0186] Проводящая линия 9 подключена к блоку 202 управления, обеспечиваемому на полупроводниковой подложке 1102, созданной отдельно, через проводящий участок 1105.

[0187] Детектированный для каждого лавинного диода сигнал обрабатывается схемой сканирования или т.п., обеспечиваемой на периферии области пикселя полупроводниковой подложки 1102. В этой связи, схема сканирования также может располагаться на полупроводниковой подложке, отличной от полупроводниковой подложки 15 и полупроводниковой подложки 1102.

[0188] Согласно конфигурации в настоящем примерном варианте осуществления, полупроводниковая подложка 1102, отличная от полупроводниковой подложки 15, на которой располагается лавинный диод, укладывается стопкой на нее (расположена на ней). Затем при расположении схемы обработки, такой как блок 202 управления, на полупроводниковой подложке 1102, которая была уложена в стопку, эффективность фотодетектирования может быть улучшена при увеличении относительного отверстия лавинного диода.

[0189] Когда микролинза 1103 располагается на каждом лавинном диоде в настоящем примерном варианте осуществления, выбирается такое взаимное расположение, что оптическая ось микролинзы 1103 включена в полупроводниковую область 4 n-типа на виде сверху. Если, например, вертикальный свет поступает на центральный участок элемента 101 фотоэлектрического преобразования, распределение вероятности

генерирования информационного заряда внутри полупроводниковой области 5 n-типа максимально около оптической оси микролинзы 1103. Здесь оптической осью микролинзы 1103 является ось, проходящая через центр микролинзы 1103 на виде сверху и перпендикулярно полупроводниковой подложке 15.

5 [0190] Согласно конфигурации в настоящем примерном варианте осуществления, если оптическая ось микролинзы 1103 включена в полупроводниковую область 4 n-типа двумерно, более вероятно, что электрический заряд будет генерироваться в положении полупроводниковой области 5 n-типа ближе к полупроводниковой области 4 n-типа на виде сверху. Тогда может быть уменьшена вероятность генерирования
10 электрического заряда, генерируемого в двумерно более удаленном положении, так что ухудшение временного разрешения до детектирования электрического заряда в области фотодетектирования может предотвращаться электрическим зарядом, генерируемым в неглубоком положении от первой поверхности полупроводниковой подложки 15, и электрическим зарядом, генерируемым в ее глубоком положении.

15 [0191] В настоящем примерном варианте осуществления конфигурируется фотодиод типа с обратной засветкой, но тип с передней засветкой также может достигать эффектов согласно настоящему примерному варианту осуществления, т.е. одновременно высокую эффективность фотодетектирования и низкое сопротивление постоянному току (DCR). Однако в настоящем примерном варианте осуществления, поскольку блок
20 фотоэлектрического преобразования выполнен сформированным на задней стороне, тип с обратной засветкой может детектировать электрический заряд, генерируемый около самой верхней поверхности (стороны падения света) подложки, более эффективно, чем тип с передней засветкой. Т.е. с точки зрения способности осуществления высокой эффективности фотодетектирования в широком диапазоне длин волн от коротких длин
25 волн до длинных длин волн, выбирается тип с обратной засветкой для блока 201 фотоэлектрического преобразования в настоящем примерном варианте осуществления.

[0192] Настоящий примерный вариант осуществления может быть применен ко всем примерным вариантам осуществления.

[0193] В седьмом примерном варианте осуществления будет описан пример системы
30 фотодетектирования, использующей устройство 1010 фотодетектирования согласно каждому примерному варианту осуществления. Со ссылкой на фиг.17 будет описана система детектирования невидимого света в качестве примера системы фотодетектирования и системы медицинской диагностики, такой как позитронно-эмиссионная томография (PET). Подобные ссылочные позиции присваиваются блокам,
35 имеющим подобные функции на фиг.1-16, и их подробное описание опускается. В этой связи, пиксель 100 согласно настоящему примерному варианту осуществления включает в себя TDC и память вместо схемы 209 счетчика на фиг.5. Здесь предоставляется описание с предположением, что TDC является TDC 204, и памятью является память 205.

[0194] Фиг.17 представляет собой блок-схему, иллюстрирующую конфигурацию
40 системы детектирования невидимого света. Система детектирования невидимого света включает в себя блок 1201 преобразования длины волны и блок 1207 обработки данных, и множество устройств 1010 фотодетектирования.

[0195] Объект-источник излучения 1200 испускает свет в диапазоне длин волн, которым является невидимый свет. Блок 1201 преобразования длины волны принимает
45 свет диапазона длин волн, которым является невидимый свет, испускаемый из объекта-источника излучения 1200, и испускает видимый свет.

[0196] Блок 201 фотоэлектрического преобразования, в который поступает видимый свет, испускаемый из блока 1201 преобразования длины волны, выполняет

фотоэлектрическое преобразование, и устройства 1010 фотодетектирования сохраняют цифровой сигнал, основанный на сигнале, основанном на фотоэлектрически преобразованном электрическом заряде, в памяти 205 посредством блока 202 управления, блока 203 формирования формы сигнала и TDC 204. Множество устройств 1010 фотодетектирования может быть сформировано в виде одного устройства или множества располагаемых устройств.

[0197] Блоком 1207 обработки данных выполняется обработка сигналов множества цифровых сигналов от множества устройств 1010 фотодетектирования, сохраненных в памяти 205. Здесь блоком обработки сигнала выполняется процесс объединения множества изображений, полученных из множества цифровых сигналов.

[0198] Ниже будет описана, в качестве конкретного примера системы детектирования невидимого света, конфигурация системы медицинской диагностики, такая как PET (система позитронно-эмиссионной томографии или двухфотонной томографии).

[0199] Объект в качестве объекта-источника излучения 1200 испускает пару излучения (два гамма-кванта) изнутри тела. Блок 1201 преобразования длины волны составляет сцинтиллятор, и сцинтиллятор испускает видимый свет, когда поступает пара излучения, излучаемая от объекта.

[0200] Блок 201 фотоэлектрического преобразования, на который поступил видимый свет, испущенный из сцинтиллятора, выполняет фотоэлектрическое преобразование, и устройство 1010 фотодетектирования сохраняет цифровой сигнал, основанный на сигнале, основанном на фотоэлектрически преобразованном электрическом заряде, в памяти 205 посредством блока 202 управления, блока 203 формирования формы сигнала и TDC 204. Т.е. устройство 1010 фотодетектирования выполнено с возможностью детектирования времени поступления пары излучения, испущенной из объекта, и детектирует видимый свет, испущенный из сцинтиллятора, и сохраняет цифровой сигнал в памяти 205.

[0201] Блоком 1207 обработки данных выполняется обработка сигнала цифровых сигналов множества устройств 1010 фотодетектирования, сохраненных в памяти 205. Здесь блоком обработки сигнала выполняется процесс объединения, такой как реконфигурирование изображения, с использованием множества изображений, полученных из множества цифровых сигналов, для формирования изображения внутри тела объекта.

[0202] В восьмом примерном варианте осуществления будет описан пример системы фотодетектирования, использующей устройство 1010 фотодетектирования, согласно каждому примерному варианту осуществления. Подобные ссылочные позиции присвоены блокам, имеющим подобные функции на фиг.1-16, и их подробное описание опускается.

[0203] Система детектирования расстояния, в качестве примера системы фотодетектирования, будет описана на фиг.18. В этой связи, пиксель 100 согласно настоящему примерному варианту осуществления включает в себя TDC и память вместо схемы 209 счетчика на фиг.5. Здесь предоставлено описание с предположением, что TDC является TDC 204, а памятью является память 205.

[0204] Со ссылкой на фиг.18 будет описан пример блок-схемы системы детектирования расстояния согласно настоящему примерному варианту осуществления. Система детектирования расстояния включает в себя блок 1301 управления источником света, блок 1302 излучения света, оптический элемент 1303, устройство 1010 фотодетектирования и блок 1309 вычисления расстояния.

[0205] Блок 1301 управления источником света управляет возбуждением блока 1302

излучения света. Блок 1302 излучения света испускает свет коротким импульсом (последовательностью импульсов) в направлении фотографирования, когда от блока 1301 управления источником света принимается сигнал.

[0206] Свет, испущенный из блока 1302 излучения света, отражается предметом 1304. Отраженный свет принимается блоком 201 фотоэлектрического преобразования устройства 1010 фотодетектирования через оптический элемент 1303, и сигнал, основанный на фотоэлектрически преобразованном электрическом заряде, вводится в TDC 204 посредством блока 203 формирования формы сигнала.

[0207] TDC 204 сравнивает сигнал, полученный от блока 1301 управления источником света, и сигнал, введенный от блока 203 формирования формы сигнала. Затем TDC 204 цифровым образом преобразует время от излучения импульсного света от блока 1302 излучения света до приема отраженного света, отраженного предметом 1304 с высокой точностью. Цифровой сигнал, выводимый с TDC 204, сохраняется в памяти 205.

[0208] Блок 1309 вычисления расстояния вычисляет расстояние от устройства 1010 фотодетектирования до предмета 1304, основываясь на цифровых сигналах из множества измерений, сохраненных в памяти 205. Система детектирования расстояния может быть применена, например, в качестве системы на транспортном средстве.

[0209] Ниже пример системы фотодетектирования со схемой 209 счетчика на фиг.5 изображен на фиг.19А и 19В. На фиг.19А и 19В изображена система фотодетектирования, относящаяся к камере на транспортном средстве в качестве примера системы фотодетектирования.

[0210] Системой 1000 фотодетектирования является система фотодетектирования, включающая в себя пиксель фокусировки и пиксель формирования изображения согласно раскрытию. Система 1000 фотодетектирования включает в себя блок 1030 обработки изображения, который выполняет обработку изображения на множестве цифровых сигналов, полученных устройством 1010 фотодетектирования. Дополнительно, система 1000 фотодетектирования включает в себя блок 1040 вычисления параллакса, который вычисляет параллакс (разность фаз между параллактическими изображениями) из множества порций данных изображения, полученных блоком 1030 обработки изображения.

[0211] Система 1000 фотодетектирования также включает в себя блок 1050 измерения расстояния, который вычисляет расстояние до целевого объекта, основываясь на вычисленном параллаксе, и блок 1060 определения столкновения, который определяет, может ли произойти столкновение, основываясь на вычисленном расстоянии. Здесь блок 1040 вычисления параллакса и блок 1050 измерения расстояния являются примерами блока получения информации о расстоянии, который получает информацию о расстоянии до целевого объекта. Т.е. информация о расстоянии представляет собой информацию о параллаксе, величине расфокусировки, расстоянии до целевого объекта и т.п.

[0212] Блок 1060 определения столкновения может определять вероятность столкновения, используя любую порцию вышеупомянутой информации. Блок получения информации о расстоянии может быть реализован специально разработанными аппаратными средствами, программным модулем или их комбинацией. Блок получения информации о расстоянии также может быть реализован программируемой вентильной матрицей (FPGA) или специализированной интегральной схемой (ASIC) или т.п., или их комбинацией.

[0213] Система 1000 фотодетектирования подключена к устройству 1310 получения информации о транспортном средстве и может получать информацию о транспортном

средстве, такую как скорость транспортного средства, степень отклонения от курса, угол поворота рулевого колеса и т.п. Система 1000 фотодетектирования также подключена к электронному блоку 1410 управления (ЭБУ) в качестве устройства управления для вывода сигнала управления, который вызывает генерирование транспортным средством силы торможения, основываясь на результате определения блоком 1060 определения столкновения.

[0214] Система 1000 фотодетектирования также подключена к предупреждающему устройству 1420, которое выдает предупреждение водителю, основываясь на результате определения блоком 1060 определения столкновения. Если, например, вероятность столкновения является высокой в качестве результата определения блоком 1060 определения столкновения, ЭБУ 1410 осуществляет управление транспортным средством, которое предотвращает столкновение при применении торможения, отпуская педаль газа или управления мощностью двигателя для уменьшения повреждения. Предупреждающее устройство 1420 выдает предупреждение, вызывая сигнал тревоги, такой как звук, отображая предупреждающую информацию на экране автомобильной навигационной системы или т.п., или генерируя вибрации в ремне безопасности или рулевом управлении.

[0215] В настоящем примерном варианте осуществления, обстановка, например, спереди и сзади транспортного средства, отображается системой 1000 фотодетектирования. На фиг.19В изображена система фотодетектирования, когда формируется изображение спереди транспортного средства. Выше описано управление, которое предотвращает столкновение с другими транспортными средствами, но настоящий примерный вариант осуществления также может быть применен для управления автоматическим вождением при следовании за другим транспортным средством или управления автоматическим вождением при предотвращении отклонения транспортного средства от полосы движения. Дополнительно, система 1000 фотодетектирования может быть применена не только в транспортных средствах, таких как местное транспортное средство, но также в движущихся телах (движущихся устройствах), например, кораблях, самолетах или промышленных роботах. В дополнение к движущимся телам, система 1000 фотодетектирования также может быть применена к устройствам, широко использующим распознавание объектов, таким как интеллектуальная транспортная система (ITS).

[0216] Хотя раскрытие было описано со ссылкой на примерные варианты осуществления, следует понимать, что раскрытие не ограничивается описанными примерными вариантами осуществления. Объем следующей формулы изобретения должен соответствовать самой широкой интерпретации с тем, чтобы охватывать все такие модификации и эквивалентные конструкции и функции.

(57) Формула изобретения

1. Устройство фотодетектирования, содержащее:
 полупроводниковую подложку, имеющую первую поверхность и вторую поверхность, противоположную первой поверхности; и
 пиксельный блок, имеющий множество пикселей, включающих в себя лавинный диод, расположенный на полупроводниковой подложке,
 при этом лавинный диод включает в себя:
 первую полупроводниковую область первого типа проводимости, расположенную на первой глубине;
 вторую полупроводниковую область, расположенную в контакте с первой

полупроводниковой областью;

третью полупроводниковую область, расположенную на второй глубине, большей первой глубины относительно первой поверхности;

четвертую полупроводниковую область второго типа проводимости, который является типом проводимости, противоположным первому типу проводимости, расположенную в контакте с третьей полупроводниковой областью; и

пятую полупроводниковую область, расположенную на третьей глубине, большей второй глубины относительно первой поверхности, и при этом на виде сверху

первая полупроводниковая область перекрывает по меньшей мере часть третьей полупроводниковой области, вторая полупроводниковая область перекрывает по меньшей мере часть четвертой полупроводниковой области, а третья полупроводниковая область и четвертая полупроводниковая область перекрывают пятую полупроводниковую область,

значение потенциала третьей полупроводниковой области в отношении электрического заряда первого типа проводимости меньше значения потенциала четвертой полупроводниковой области в отношении электрического заряда первого типа проводимости, и

разность между значением потенциала первой полупроводниковой области в отношении электрического заряда первого типа проводимости и значением потенциала третьей полупроводниковой области в отношении электрического заряда первого типа проводимости больше разности между значением потенциала второй полупроводниковой области в отношении электрического заряда первого типа проводимости и значением потенциала четвертой полупроводниковой области в отношении электрического заряда первого типа проводимости.

2. Устройство по п.1, в котором первая полупроводниковая область перекрывает третью полупроводниковую область на виде сверху.

3. Устройство по п.1,

в котором третьей полупроводниковой областью является полупроводниковая область первого типа проводимости, где концентрация примесей меньше концентрации примесей первой полупроводниковой области,

в котором третья полупроводниковая область и четвертая полупроводниковая область образуют р-п переход, и

в котором концентрацией примесей третьей полупроводниковой области является концентрация примесей, при которой третья полупроводниковая область обедняется, когда к р-п переходу прикладывается потенциал, являющийся обратным смещением.

4. Устройство по п.3, в котором концентрация Nd примесей третьей полупроводниковой области, концентрация Na примесей четвертой полупроводниковой области, элементарный электрический заряд q, диэлектрическая постоянная ϵ полупроводника, разность V потенциалов р-п перехода между третьей полупроводниковой областью и четвертой полупроводниковой областью и длина D третьей полупроводниковой области, окруженной четвертой полупроводниковой областью, удовлетворяют формуле 1:

$$2 \times \sqrt{\frac{2\epsilon NaV}{qNd(Nd+Na)}} > D \text{ (Формула 1),}$$

в которой размерности физических величин являются следующими:

D: [м];

Na, Nd: [1/м³];

V: [В];

ε: [Ф/м] или [Кл/(В·м)];

q: [Кл].

5. Устройство фотодетектирования, содержащее:

полупроводниковую подложку, имеющую первую поверхность и вторую поверхность, противоположную первой поверхности; и

пиксельный блок, имеющий множество пикселей, включающих в себя лавинный диод, расположенный на полупроводниковой подложке,

при этом лавинный диод включает в себя:

первую полупроводниковую область первого типа проводимости, расположенную на первой глубине;

вторую полупроводниковую область первого типа проводимости, расположенную в контакте с первой полупроводниковой областью;

15 третью полупроводниковую область первого типа проводимости, расположенную на второй глубине, большей первой глубины относительно первой поверхности;

четвертую полупроводниковую область второго типа проводимости, который является типом проводимости, противоположным первому типу проводимости, расположенную в контакте с третьей полупроводниковой областью; и

20 пятую полупроводниковую область, расположенную на третьей глубине, большей второй глубины относительно первой поверхности, и

при этом на виде сверху

первая полупроводниковая область перекрывает по меньшей мере часть третьей полупроводниковой области, вторая полупроводниковая область перекрывает по

25 меньшей мере часть четвертой полупроводниковой области, а третья полупроводниковая область и четвертая полупроводниковая область перекрывают пятую полупроводниковую область,

концентрация примесей первой полупроводниковой области составляет $6,0 \times 10^{18}$

30 [атомов/см³] или более,

концентрация примесей второй полупроводниковой области составляет $1,0 \times 10^{16}$

[атомов/см³] или более и $1,0 \times 10^{18}$ [атомов/см³] или менее,

концентрация примесей третьей полупроводниковой области составляет $1,0 \times 10^{17}$

35 [атомов/см³] или менее и

концентрация примесей четвертой полупроводниковой области составляет $1,0 \times 10^{16}$

[атомов/см³] или более.

6. Устройство по п.1,

40 в котором третьей полупроводниковой областью является полупроводниковая область второго типа проводимости, где концентрация примесей меньше концентрации примесей четвертой полупроводниковой области, и

в котором третья полупроводниковая область и первая полупроводниковая область образуют p-n переход.

45 7. Устройство по п.1, в котором пятой полупроводниковой областью является полупроводниковая область первого типа проводимости, где концентрация примесей равна или меньше концентрации примесей третьей полупроводниковой области.

8. Устройство по п.1, в котором пятой полупроводниковой областью является

полупроводниковая область второго типа проводимости, где концентрация примесей меньше концентрации примесей четвертой полупроводниковой области.

9. Устройство по п.1, в котором пятая полупроводниковая область имеет значение потенциала в отношении электрического заряда первого типа проводимости, меньшее
5 в неглубоком положении относительно первой поверхности, чем в глубоком положении относительно первой поверхности.

10. Устройство по п.1, в котором третья полупроводниковая область включена в четвертую полупроводниковую область на второй глубине.

11. Устройство по п.1, дополнительно содержащее изолирующий участок, который
10 изолирует каждый из множества пикселей, расположенных в пиксельном блоке, при этом изолирующий участок включает в себя:

шестую полупроводниковую область второго типа проводимости, расположенную на стороне первой поверхности, причем концентрация примесей шестой полупроводниковой области больше концентрации примесей четвертой

15 полупроводниковой области; и

седьмую полупроводниковую область второго типа проводимости, расположенную в более глубоком положении, чем шестая полупроводниковая область, относительно первой поверхности, причем концентрация примесей седьмой полупроводниковой области больше концентрации примесей четвертой полупроводниковой области и

20 меньше концентрации примесей шестой полупроводниковой области, и при этом четвертая полупроводниковая область, шестая полупроводниковая область и седьмая полупроводниковая область электрически соединены.

12. Устройство по п.11, в котором восьмая полупроводниковая область второго типа проводимости расположена в более глубоком положении, чем пятая

25 полупроводниковая область, относительно первой поверхности, а восьмая полупроводниковая область и полупроводниковая область второго типа проводимости, включенная в изолирующий участок, соединены.

13. Устройство по п.11,

в котором вторая полупроводниковая область имеет градиент концентрации примесей

30 и

в котором полупроводниковая область первого типа проводимости расположена в области, близкой к первой полупроводниковой области, а полупроводниковая область второго типа проводимости расположена в области, близкой к изолирующему участку.

14. Устройство по п.11, в котором пятая полупроводниковая область имеет значение потенциала, меньшее в области, которая дальше от изолирующего участка, чем в области, которая ближе к изолирующему участку, в параллельном первой поверхности направлении.

15. Устройство по п.11,

40 в котором девятая полупроводниковая область второго типа проводимости расположена между изолирующим участком и второй полупроводниковой областью на первой глубине таким образом, что девятая полупроводниковая область находится в контакте с изолирующим участком,

в котором часть пятой полупроводниковой области расположена между четвертой полупроводниковой областью и изолирующим участком на второй глубине и

45 в котором часть девятой полупроводниковой области находится в контакте с частью пятой полупроводниковой области, а другая область девятой полупроводниковой области находится в контакте с четвертой полупроводниковой областью.

16. Устройство по п.1,

в котором в каждом из пикселей расположено множество первых полупроводниковых областей и третьих полупроводниковых областей,

в котором каждая из множества первых полупроводниковых областей включена во вторую полупроводниковую область на виде сверху на первой глубине и

5 в котором каждая из множества третьих полупроводниковых областей включена в четвертую полупроводниковую область на виде сверху на второй глубине.

17. Устройство по п.1, дополнительно содержащее другую полупроводниковую подложку, отличную от упомянутой полупроводниковой подложки,

10 в котором на другой полупроводниковой подложке расположен блок управления, выполненный с возможностью управления потенциалом, прилагаемым к первой полупроводниковой области,

в котором упомянутая полупроводниковая подложка и другая полупроводниковая подложка уложены стопкой и

15 в котором первая полупроводниковая область и блок управления электрически соединены через проводящую линию.

18. Движущееся тело, содержащее:

устройство фотодетектирования по п.1;

20 блок получения информации о расстоянии, выполненный с возможностью получения информации о расстоянии, указывающей на расстояние до целевого объекта, из параллактического изображения на основе сигнала от устройства фотодетектирования; и

блок управления, выполненный с возможностью управления движущимся телом на основе информации о расстоянии.

19. Устройство фотодетектирования, содержащее:

25 полупроводниковую подложку, имеющую первую поверхность и вторую поверхность, противоположную первой поверхности; и

пиксельный блок, имеющий множество пикселей, включающих в себя лавинный диод, расположенный на этой полупроводниковой подложке,

при этом лавинный диод включает в себя:

30 первую полупроводниковую область первого типа проводимости, расположенную на первой глубине;

вторую полупроводниковую область первого типа проводимости, расположенную в контакте с первой полупроводниковой областью;

35 третью полупроводниковую область первого типа проводимости, расположенную на второй глубине, большей первой глубины относительно первой поверхности;

четвертую полупроводниковую область второго типа проводимости, который является типом проводимости, противоположным первому типу проводимости, расположенную в контакте с третьей полупроводниковой областью; и

40 пятую полупроводниковую область первого типа проводимости, расположенную на третьей глубине, большей второй глубины относительно первой поверхности, и при этом на виде сверху

первая полупроводниковая область перекрывает по меньшей мере часть третьей полупроводниковой области, вторая полупроводниковая область перекрывает по меньшей мере часть четвертой полупроводниковой области, а третья полупроводниковая область и четвертая полупроводниковая область перекрывают пятую полупроводниковую область.

20. Устройство по п.19,

в котором концентрация примесей второй полупроводниковой области меньше

концентрации примесей первой полупроводниковой области,

в котором концентрация примесей третьей полупроводниковой области меньше
концентрации примесей первой полупроводниковой области и

5 в котором концентрация примесей пятой полупроводниковой области меньше
концентрации примесей первой полупроводниковой области.

10

15

20

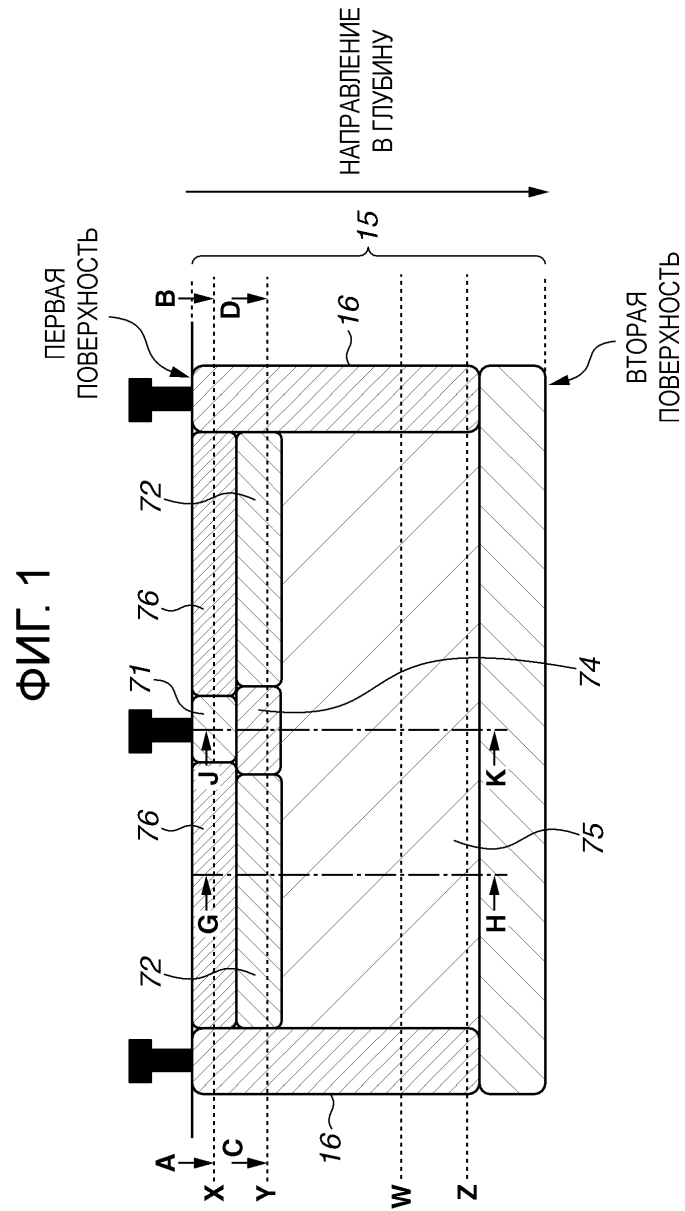
25

30

35

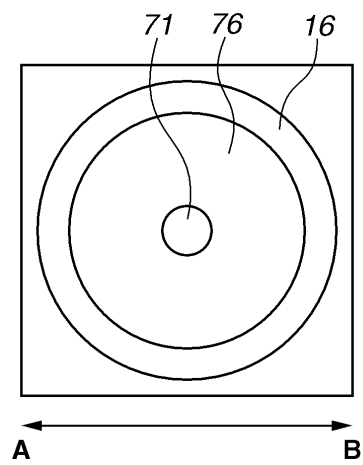
40

45

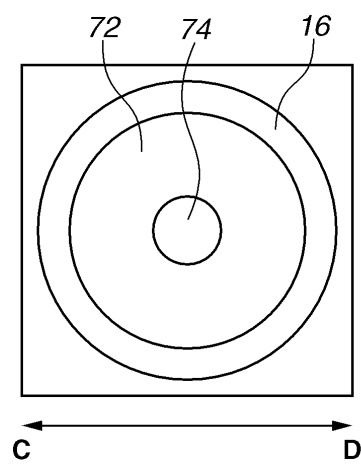


2/20

ФИГ. 2А

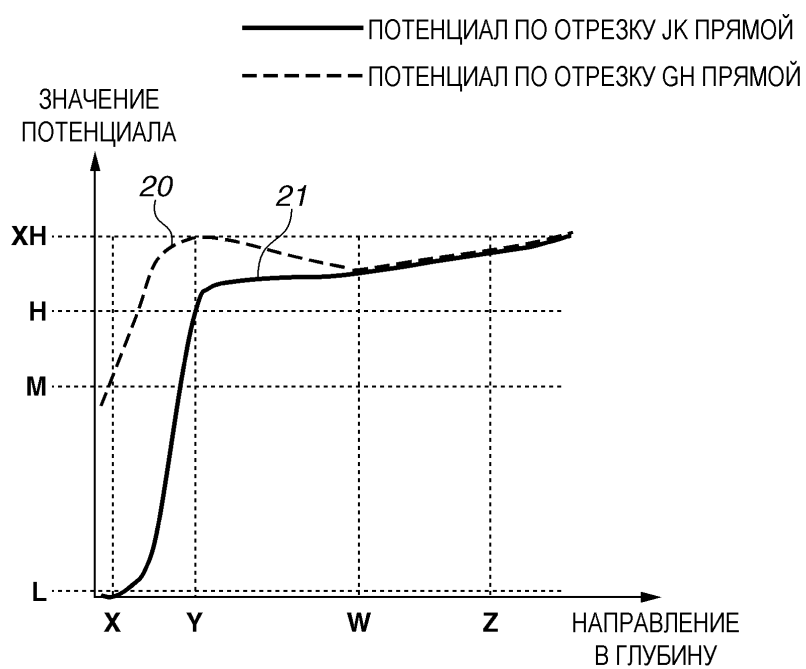


ФИГ. 2В



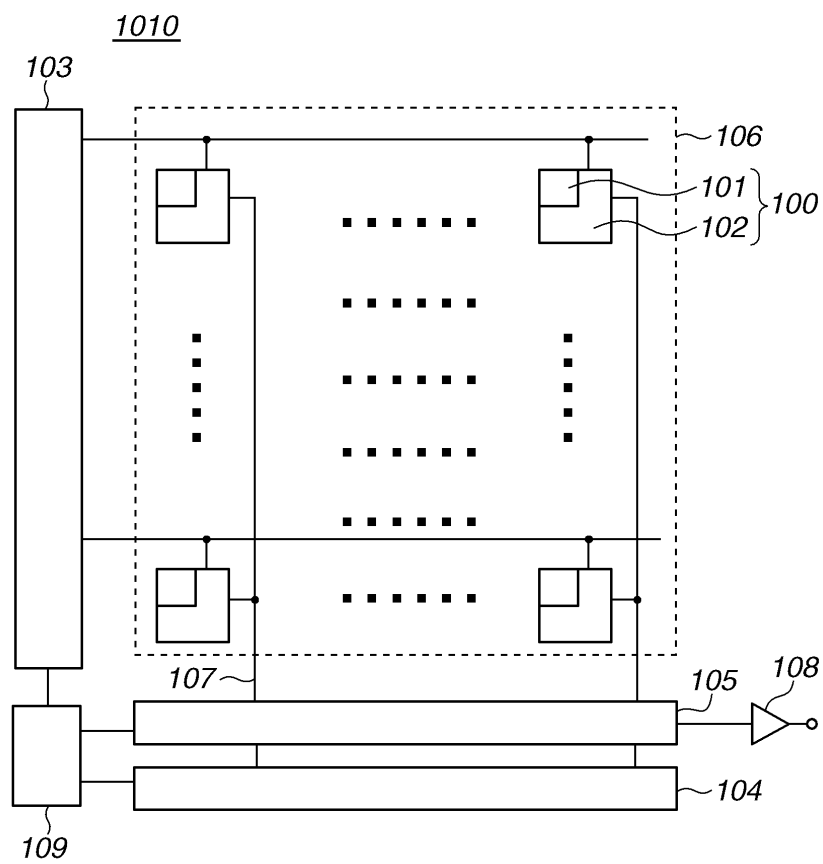
3/20

ФИГ. 3



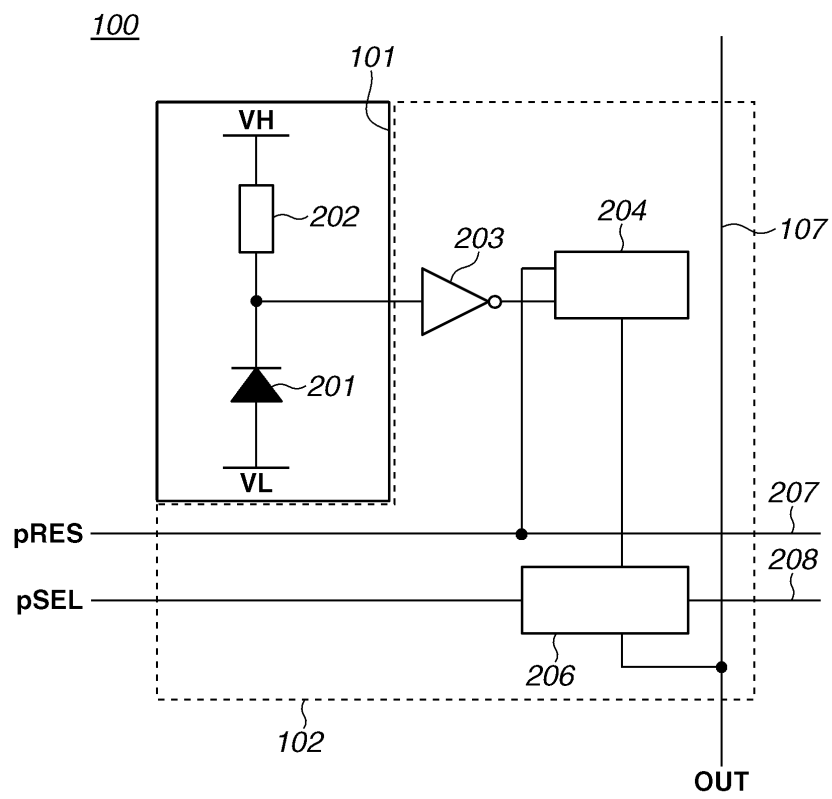
4/20

ФИГ. 4

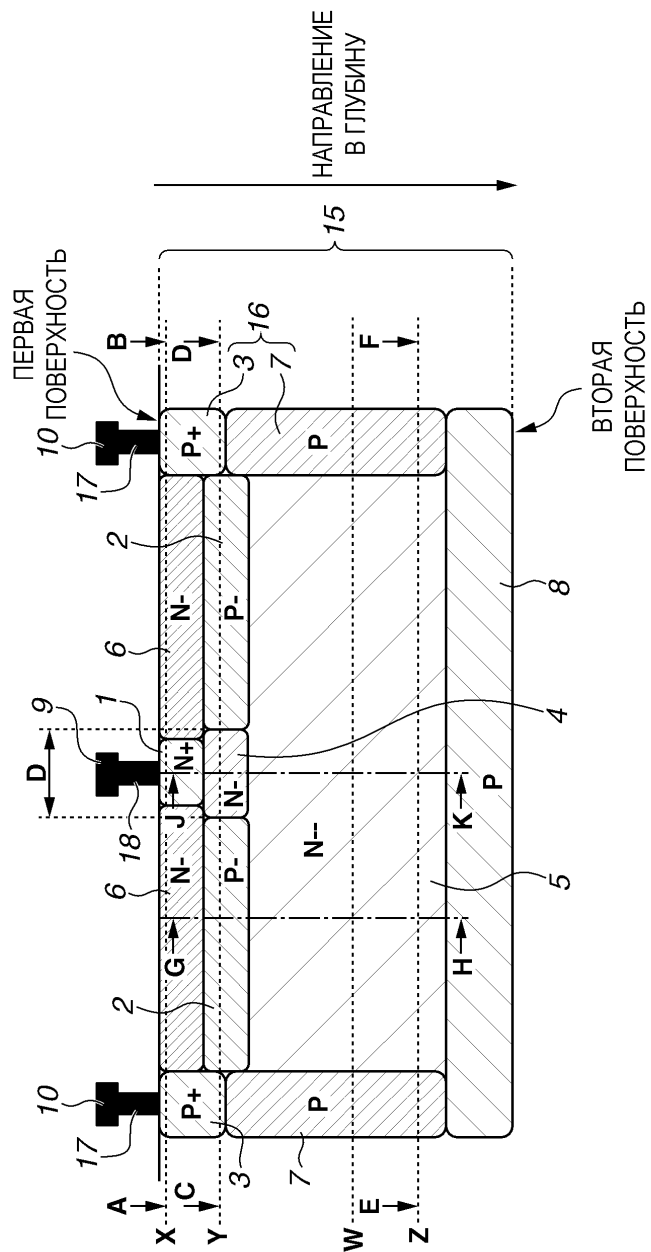


5/20

ФИГ. 5

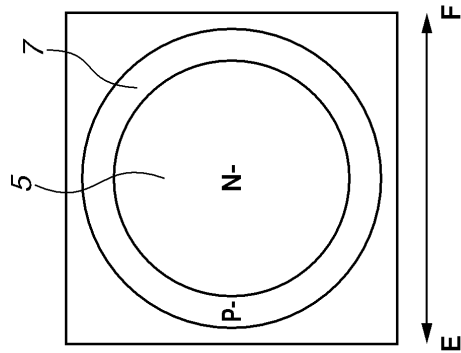


ФИГ. 6

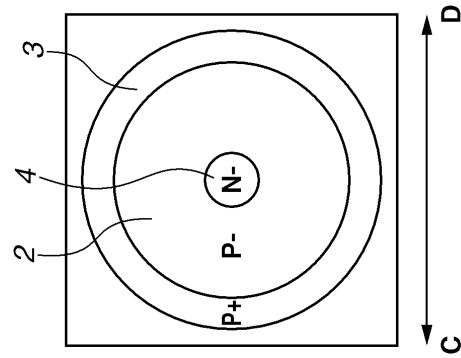


7/20

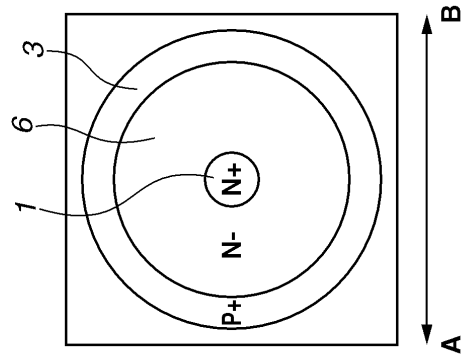
ФИГ. 7С



ФИГ. 7В

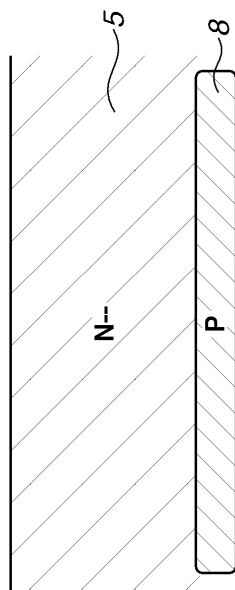


ФИГ. 7А

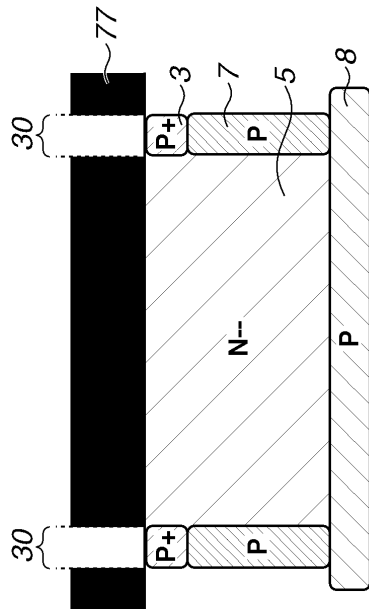


8/20

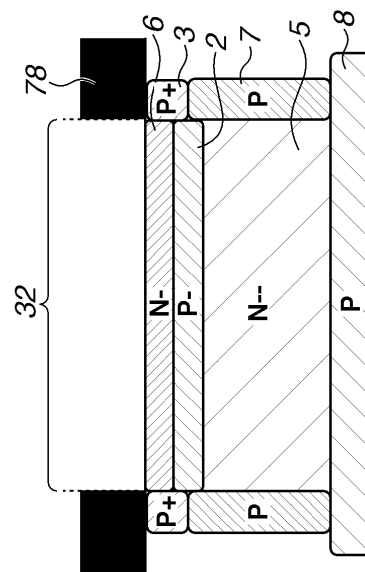
ФИГ. 8А



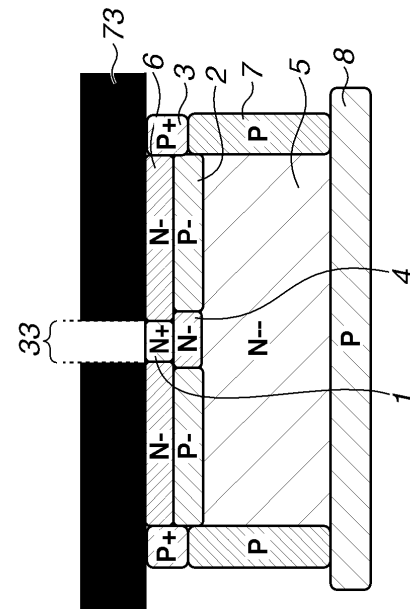
ФИГ. 8В



ФИГ. 8С

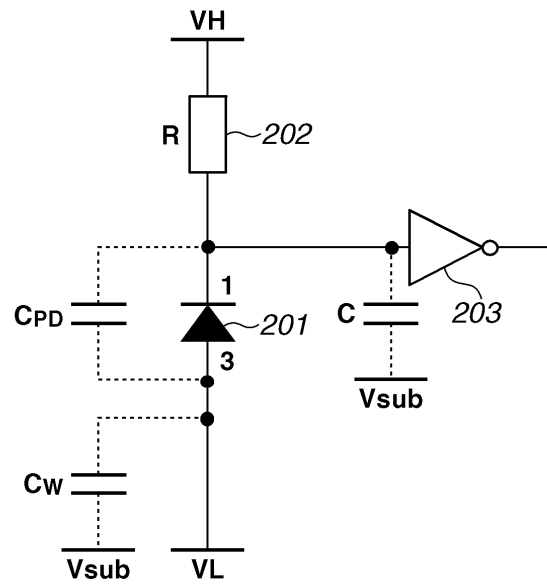


ФИГ. 8D

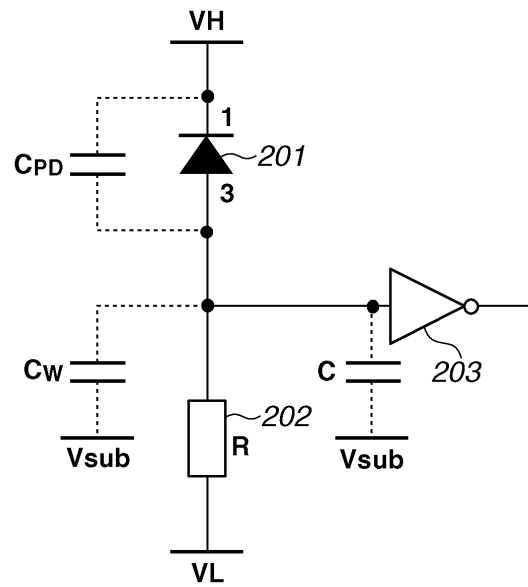


9/20

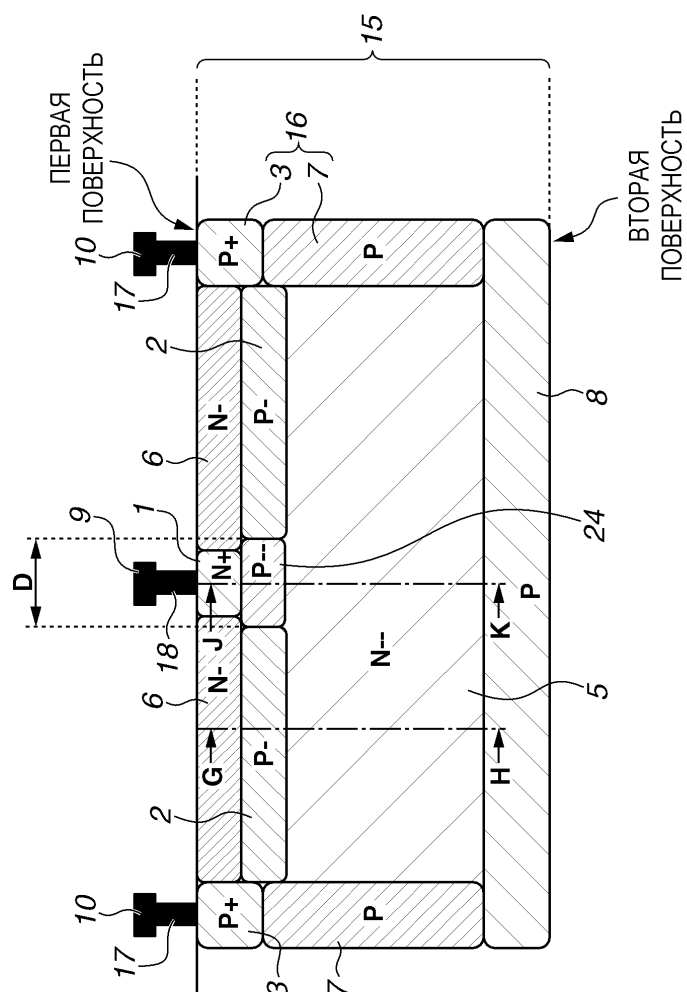
ФИГ. 9А



ФИГ. 9В

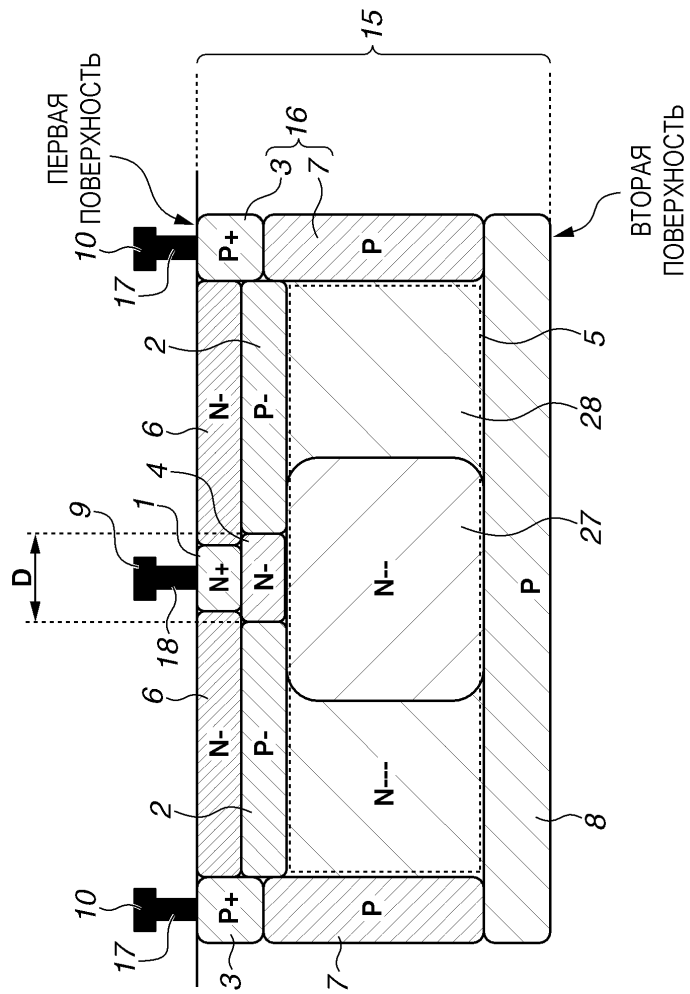


ΦΙΓ. 10



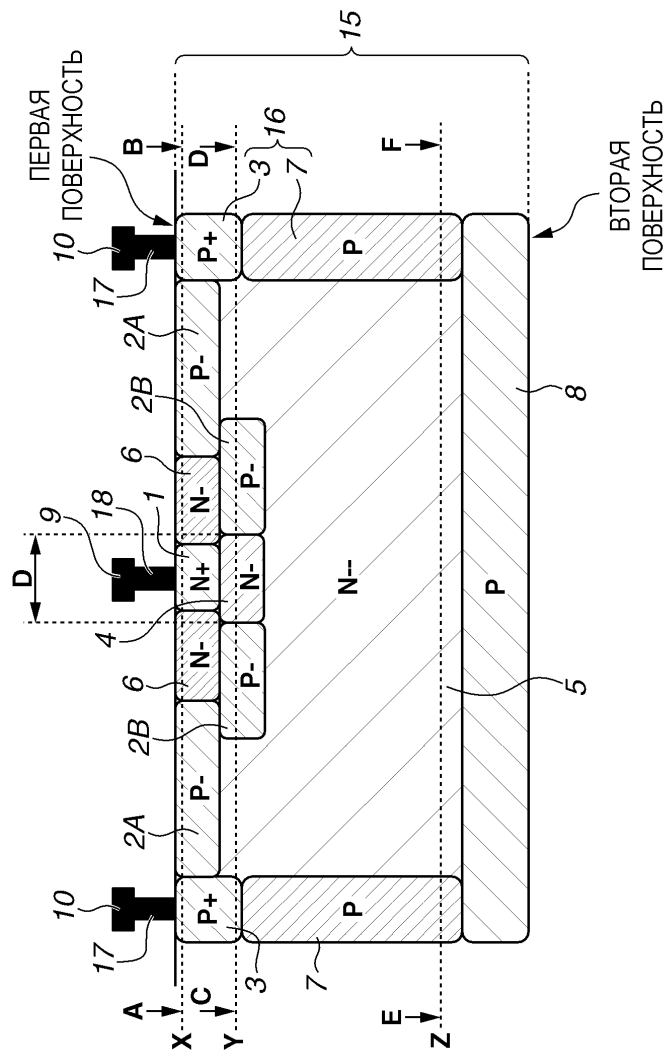
11/20

ФИГ. 11



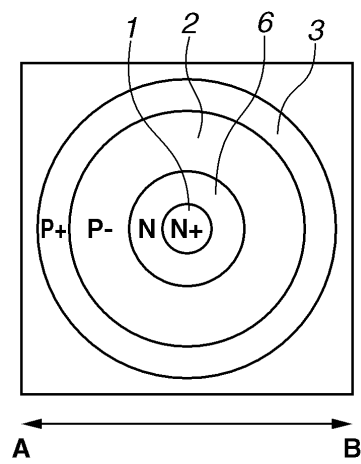
12/20

ФИГ. 12

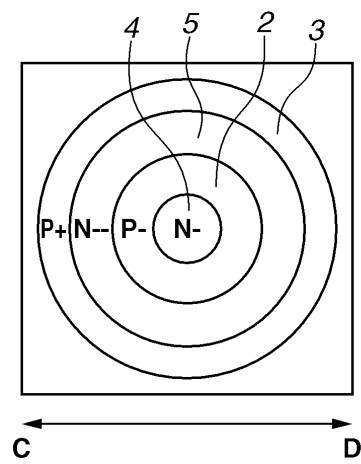


13/20

ФИГ. 13А

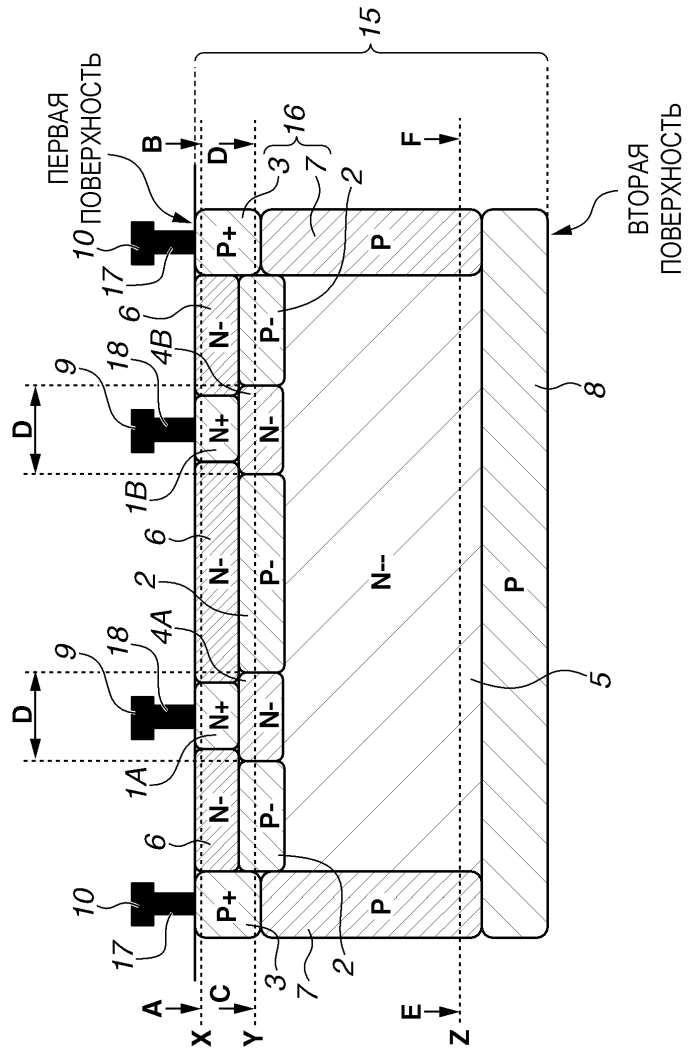


ФИГ. 13В



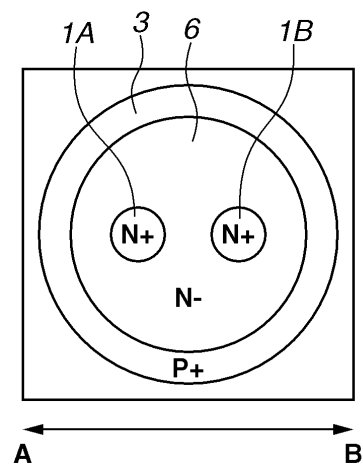
14/20

ФИГ. 14

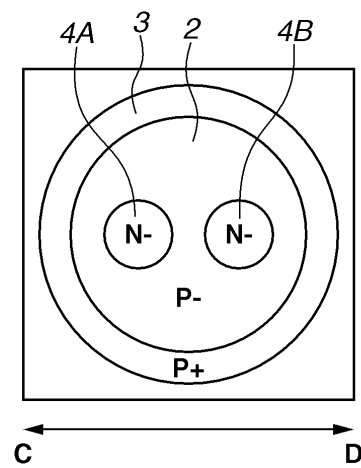


15/20

ФИГ. 15А

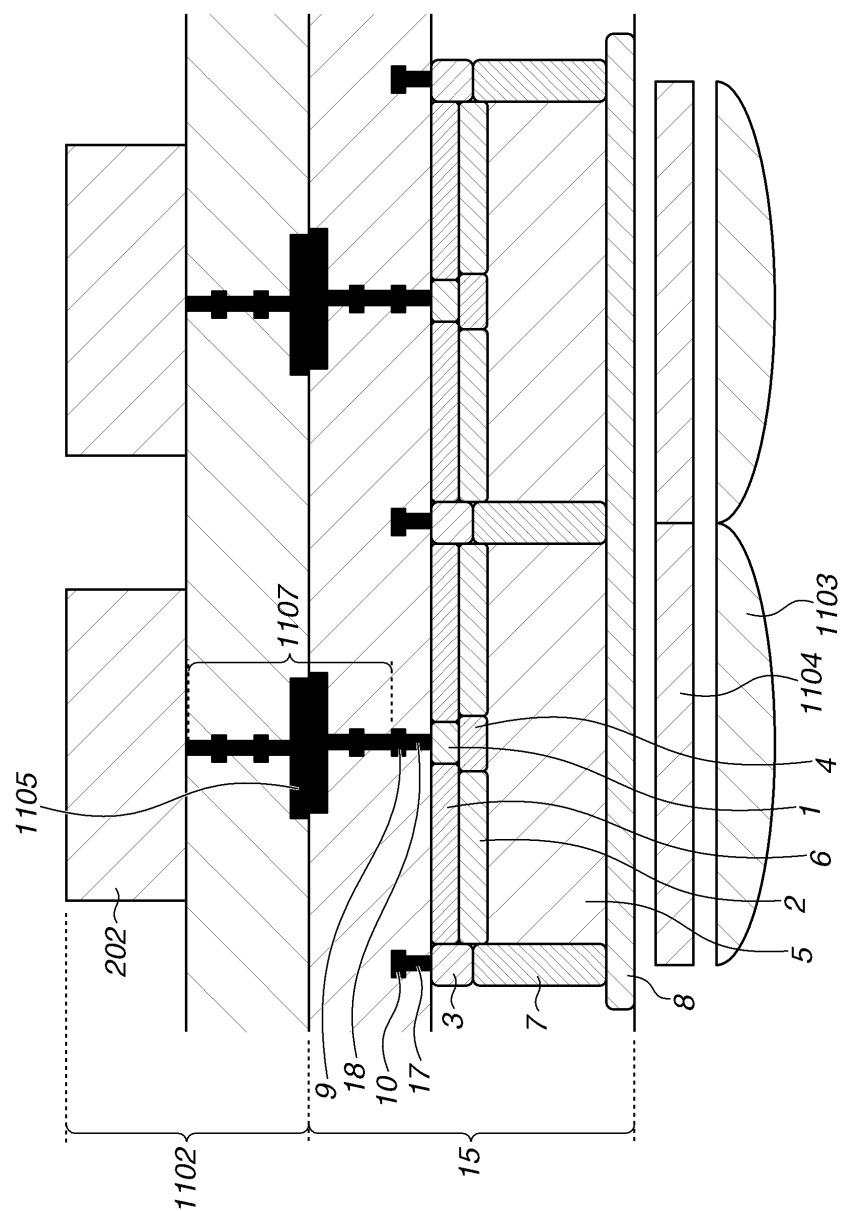


ФИГ. 15В



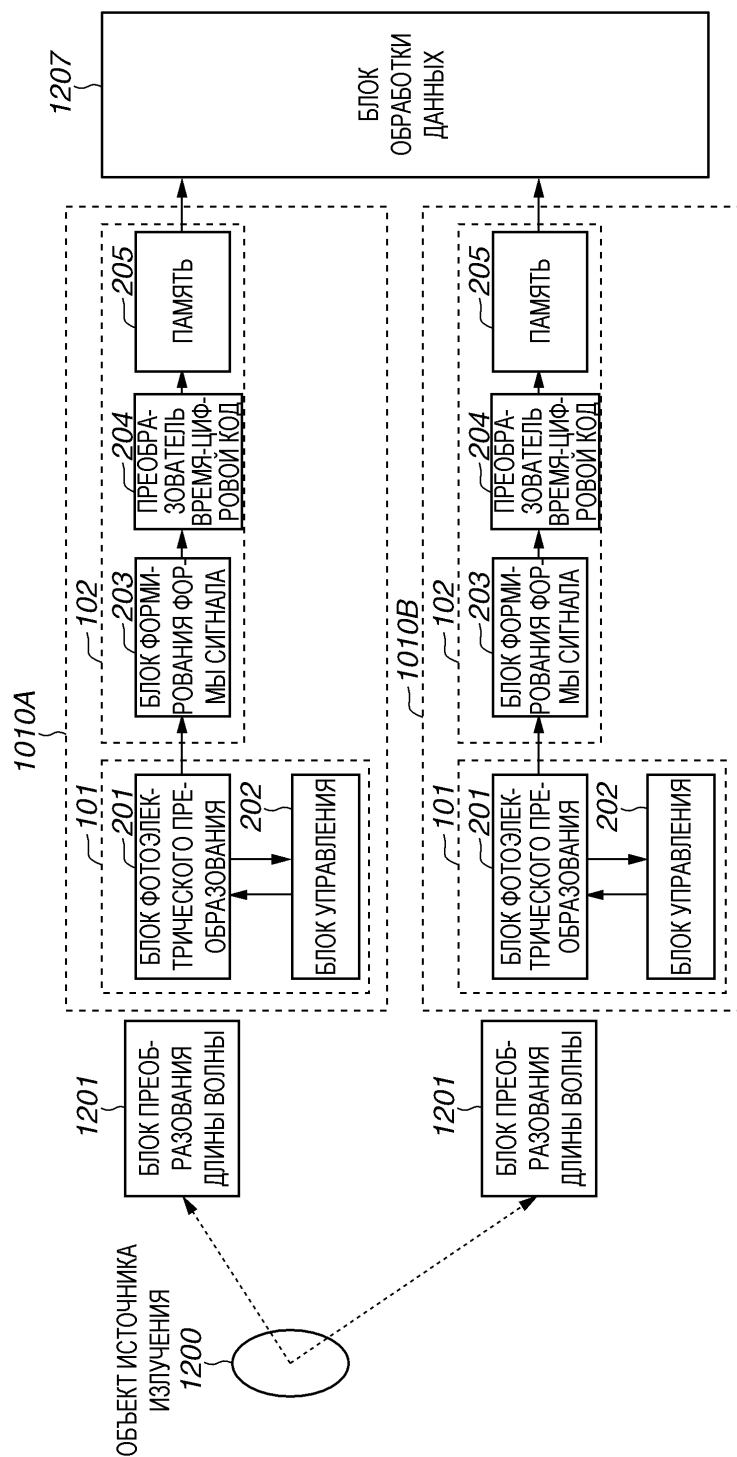
16/20

Φιν. 16



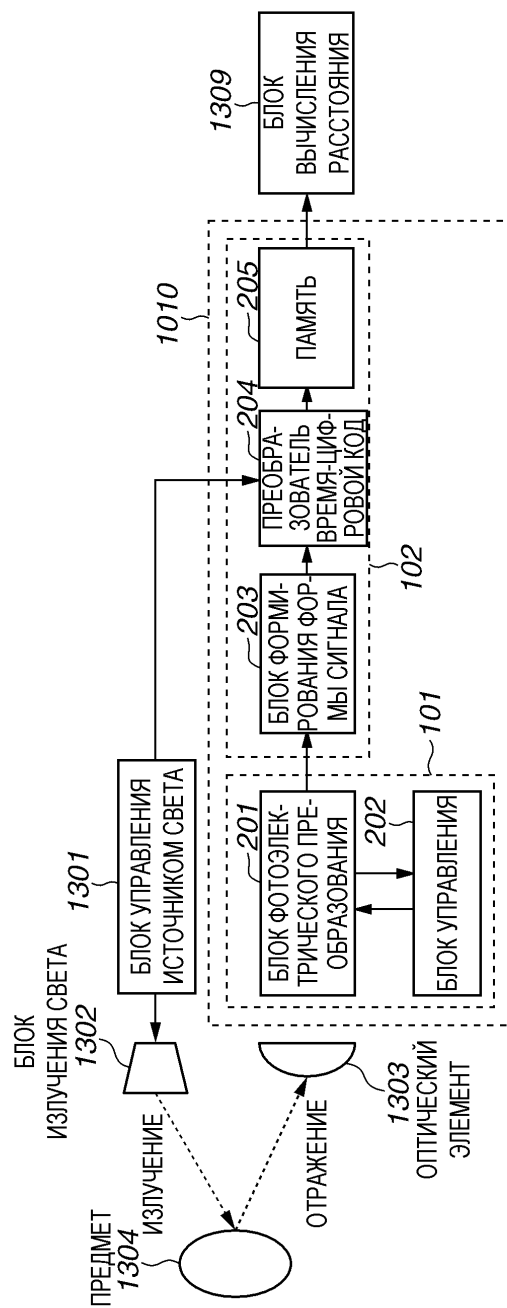
17/20

ФИГ. 17



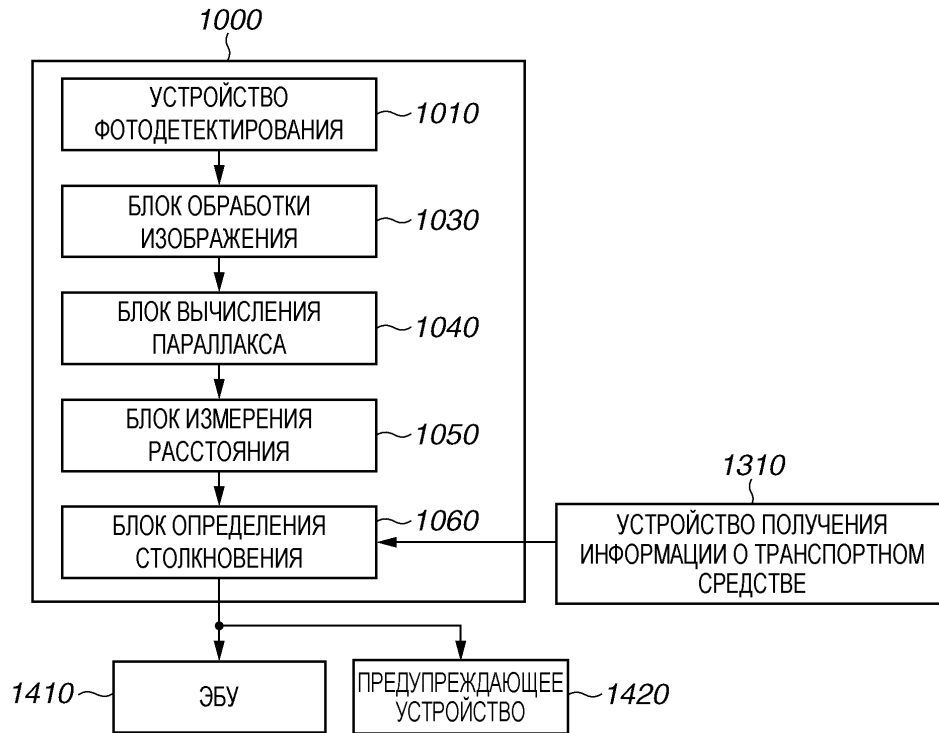
18/20

ФИГ. 18

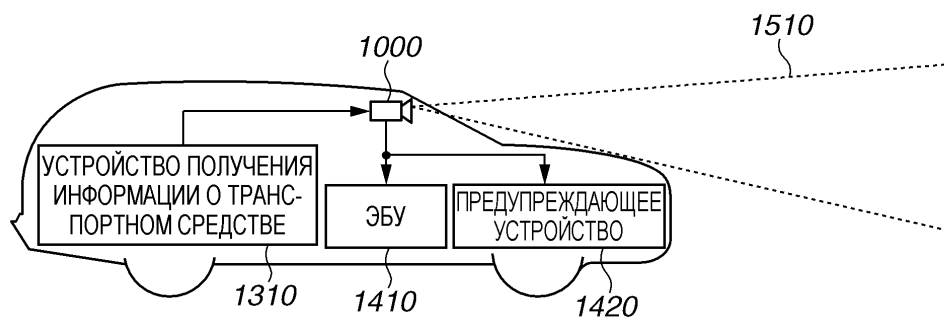


19/20

ФИГ. 19А



ФИГ. 19В



20/20

ФИГ. 20

