



**ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА
ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ**

(12) ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ПАТЕНТУ

(21)(22) Заявка: 2011107929/28, 01.03.2011

(24) Дата начала отсчета срока действия патента:
01.03.2011

Приоритет(ы):

(30) Конвенционный приоритет:
02.03.2010 JP 2010-044838

(45) Опубликовано: 27.09.2012 Бюл. № 27

(56) Список документов, цитированных в отчете о
поиске: US 7619263 B2, 27.11.2009. JP 2006086227 A,
30.03.2006. US 2005099345 A1, 12.05.2005. US
2004201076 A1, 14.10.2004. US 5729017 A,
17.03.1998. RU 2325729 C1, 27.05.2008.

Адрес для переписки:

129090, Москва, ул.Б.Спасская, 25, стр.3,
ООО "Юридическая фирма Городиский и
Партнеры", пат.пов. Ю.Д.Кузнецову,
рег.№ 595

(72) Автор(ы):

ОУТИ Госихико (JP)

(73) Патентообладатель(и):

КЭНОН КАБУСИКИ КАЙСЯ (JP)**(54) ОПТИЧЕСКИЙ ЭЛЕМЕНТ, ОПТИЧЕСКОЕ УСТРОЙСТВО И ТЕРАГЕРЦЕВОЕ
СПЕКТРОСКОПИЧЕСКОЕ УСТРОЙСТВО С РАЗРЕШЕНИЕМ ПО ВРЕМЕНИ,
ВКЛЮЧАЮЩЕЕ В СЕБЯ ЭТО УСТРОЙСТВО**

(57) Реферат:

Предложенный оптический элемент включает в себя полупроводниковый слой, имеющий ширину запрещенной энергетической зоны, превышающую энергию фотонов света, и множество электродов в электрическом контакте с полупроводниковым слоем. По меньшей мере, один из электродов образует барьер Шотки между электродом и полупроводниковым слоем, причем этот барьер Шотки имеет высоту барьера, меньшую, чем энергия фотонов света. По меньшей мере, часть переходной поверхности между электродом, который образует барьер

Шотки, и полупроводниковым слоем включает в себя облучаемую светом поверхность, расположенную с возможностью облучения светом с поверхности полупроводникового слоя без электродов, и участок обеспечивающей взаимодействие структуры, выполненной с возможностью взаимодействия с терагерцевой волной, которая генерируется или обнаруживается посредством облучения светом. Изобретение обеспечивает возможность повышения эффективности генерирования терагерцевых волн. 3 н. и 5 з.п. ф-лы, 2 пр., 6 ил.



FEDERAL SERVICE
FOR INTELLECTUAL PROPERTY

(51) Int. Cl.
H01L 31/108 (2006.01)
G01J 3/00 (2006.01)

(12) **ABSTRACT OF INVENTION**

(21)(22) Application: **2011107929/28, 01.03.2011**

(24) Effective date for property rights:
01.03.2011

Priority:

(30) Convention priority:
02.03.2010 JP 2010-044838

(45) Date of publication: **27.09.2012 Bull. 27**

Mail address:

**129090, Moskva, ul.B.Spaskaja, 25, str.3, OOO
"Juridicheskaja firma Gorodisskij i Partnery",
pat.pov. Ju.D.Kuznetsovu, reg.№ 595**

(72) Inventor(s):
OUTI Tosikhiko (JP)

(73) Proprietor(s):
KEhNON KABUSIKI KAJJSJa (JP)

(54) **OPTICAL ELEMENT, OPTICAL DEVICE AND TERAHERTZ SPECTROSCOPIC DEVICE WITH TIME RESOLUTION, INCLUDING SAID DEVICE**

(57) Abstract:

FIELD: physics.

SUBSTANCE: optical element includes a semiconductor layer, having a band gap greater than the energy of light photons, and a plurality of electrodes in electrical contact with the semiconductor layer. At least one of the electrodes forms a Schottky barrier between the electrode and the semiconductor layer, wherein said Schottky barrier has a barrier height less than the energy of light photons. At least part of the transition surface between the electrode which forms the

Schottky barrier and the semiconductor layer includes a light-irradiated surface, which is arranged with possibility of irradiation with light from the surface of the semiconductor layer without electrodes, and an area which enables interaction of the structure, adapted to interact with a terahertz wave which is generated or detected by irradiation with light.

EFFECT: high efficiency of generating terahertz waves.

8 cl, 2 ex, 6 dwg

RU 2 4 6 2 7 9 0 C 1

RU 2 4 6 2 7 9 0 C 1

Предпосылки создания изображения

Область техники, к которой относится изобретение

Данное изобретение относится к оптическому элементу, который генерирует или обнаруживает терагерцевые волны, содержащие составляющую в частотной области от миллиметрового диапазона длин волн до терагерцевого диапазона длин волн (30 ГГц - 30 ТГц), оптическому устройству, в котором используется этот оптический элемент, и устройству, в котором используется этот оптический элемент. Конкретнее, данное изобретение относится к оптическому элементу, который генерирует или обнаруживает импульсы электромагнитных волн, содержащие Фурье-составляющую в терагерцевом диапазоне частот через облучение оптическими импульсами, оптическому устройству, в котором используется этот оптический элемент, и терагерцевому спектроскопическому устройству с разрешением по времени (ТГц-С-устройству с РпВ), в котором используется этот оптический элемент.

Уровень техники

Недавно был разработан неструктивный метод формирования изображения с использованием терагерцевых волн. Применение электромагнитных волн в терагерцевом диапазоне частот показало себя мощным методом, который обеспечивает перспективное устройство формирования изображения значительно безопаснее, чем рентгеновское устройство для осуществления формирования изображения, потому что терагерцевые волны обладают несколькими преимуществами над рентгеновскими лучами. Например, терагерцевые волны обладают весьма низкими энергиями фотонов (например, 4 мэВ при 1 ТГц), которые примерно в миллион раз ниже, чем типичные энергии фотонов рентгеновских лучей (например, в диапазоне кэВ). Следовательно, терагерцевые волны не подвергают биологическую ткань воздействию вредного излучения. На основании экстраординарного шумоподавления и исключительно высоких отношений «сигнал - шум», характерных для терагерцевой спектроскопии с разрешением по времени, также были разработаны, например, спектроскопический метод, посредством которого определяют физическое свойство вещества, такое как связанное состояние молекул, путем получения спектра поглощения внутри вещества и комплексной диэлектрической проницаемости, и метод анализа для биологической молекулы.

Широко известным способом генерирования терагерцевых волн является способ использования фотопроводящего элемента. Фотопроводящий элемент в типичном случае включает в себя специальный полупроводник и два электрода, расположенные над полупроводником. Этот специальный полупроводник отличается относительно большой подвижностью и продолжительностью времени жизни носителей заряда - порядка нескольких пикосекунд или менее. Если зазор между электродами облучают ультракоротким импульсным светом, прикладывая при этом напряжение между электродами, то возбуждаемые фотоносители мгновенно переносят электрический ток между электродами, и излучаются терагерцевые волны. Вышеупомянутые методы измерения и формирования изображения находятся в стадии исследования, а такой фотопроводящий элемент используется также как детектор для терагерцевых волн, обеспечивая терагерцевую спектроскопию с разрешением по времени (ТГц-С с РпВ). В ситуациях вышеупомянутых методов, как правило, титано-сапфировый лазер используется в качестве источника возбуждения, который генерирует ультракороткие импульсы света на центральной длине волны 800 нм. Однако для уменьшения габаритов и стоимости желательно использовать волоконный лазер с центральной длиной волны в диапазоне волн связи. В этом случае длина волны возбуждаемого

света составляет 1 мкм или более. GaAs низкотемпературного выращивания (НТВ-GaAs), который использован для фотопроводящего элемента, ведет себя как прозрачное тело для этой длины волны. Следовательно, GaAs использовать нельзя. Из-за этого в качестве фотопроводящего материала вместо GaAs исследуется InGaAs низкотемпературного выращивания (НТВ-InGaAs) (см. выложенный патент Японии No. 2006-086227).

Однако InGaAs имеет меньшую ширину запрещенной энергетической зоны, чем GaAs, и это означает, что концентрация носителей беспримесного (чистого) полупроводника этого типа может увеличиваться. Кроме того, концентрация остающихся носителей возрастает по мере роста дефекта кристалла. Поэтому трудно увеличить сопротивление. Следовательно, прикладываемое напряжение увеличить нельзя, и трудно увеличить значение изменения при временной дифференциации для количества фотоносителей по сравнению с GaAs. Из-за этого эффективность генерирования терагерцевых волн оказалась ограниченной. Ограничение эффективности генерирования терагерцевых волн является существенным «узким местом» для разработки фотопроводящего элемента в диапазоне волн связи. Поэтому предложена новая система фотореле. Предложенная новая система фотореле использует барьер Шотки, не используя фотопроводимость. См. «2008 Conference on Quantum Electronics and Laser Science, Conference on Lasers and Electro-Optics, CLEO/QELS 2008, Article number 4551244». С помощью этой системы, основная концепция которой воспроизведена на фиг.6, где участки 72 барьера Шотки, расположенные между подложкой 70 из полуизолирующего InP 70 и электродами 71 из Ti/Au облучаются светом 73 возбуждения. Соответственно, электроны, которые получают энергию для пересечения барьера Шотки, мгновенно перемещаются из электродов 71 в подложку 70 из InP, и генерируются терагерцевые волны. В этом случае свет 73 возбуждения имеет длину волны в диапазоне 1,5 мкм. Этот свет не поглощается подложкой 70 из InP, а имеет оптическую энергию, которая больше, чем высота барьера Шотки. Поскольку используется полуизолирующий InP, элемент имеет сопротивление, большее, чем в случае InGaAs-типа, и поэтому к нему можно прикладывать более сильное электрическое поле. Соответственно терагерцевые волны можно генерировать весьма эффективным образом.

Однако при наличии элемента типа Шотки, описанного в первоисточнике «2008 Conference on Quantum Electronics and Laser Science Conference on Lasers and Electro-Optics, CLEO/QELS 2008, Article number 4551244», трудно эффективно облучать светом возбуждения поверхность раздела между электродами и полупроводником. Это происходит потому, что, как можно заметить, обращаясь к фиг.6, светом 73 облучаются, в основном, концевые участки 72 электродов 71 и полупроводник 70, а в качестве областей генерирования терагерцевых волн используются только барьеры Шотки, сформированные около упомянутых концевых участков. То есть, поскольку свет 73 возбуждения испускается сверху электродов, зона областей барьеров Шотки, которые облучаются этим светом, становится малой, что приводит к ограничению эффективности генерирования терагерцевых волн.

Краткое изложение существа изобретения

В свете вышеуказанного, в данном изобретении предложен оптический элемент, конфигурированный для облучения его светом и для генерирования или обнаружения в ответ на это терагерцевой волны, и включающий в себя нижеследующую конфигурацию. Оптический элемент в соответствии с аспектом данного изобретения включает в себя полупроводниковый слой, имеющий ширину запрещенной

энергетической зоны, превышающую энергию фотонов света, и множество электродов, выполненных в электрическом контакте с полупроводниковым слоем. По меньшей мере, один из электродов образует барьер Шотки между электродом и полупроводниковым слоем, причем этот барьер Шотки имеет высоту барьера, меньшую, чем энергия фотонов света. По меньшей мере, часть поверхности между электродом, который образует барьер Шотки, и полупроводниковым слоем включает в себя облучаемую светом поверхность, расположенную с возможностью облучения светом с поверхности полупроводникового слоя без электродов, и участок обеспечивающей взаимодействие структуры, выполненной с возможностью взаимодействия с терагерцевой волной, которая генерируется или обнаруживается посредством облучения светом.

При наличии этой конфигурации переходная поверхность, которая образует барьер Шотки, облучается светом из полупроводникового слоя, а в результате этого облучаемая светом область на переходной поверхности расширяется. Соответственно можно увеличить эффективность генерирования и обнаружения терагерцевой волны.

Дополнительные признаки данного изобретения станут ясными обычным специалистам в данной технике из нижеследующего описания возможных вариантов осуществления со ссылками на прилагаемые чертежи.

Краткое описание чертежей

На фиг.1А-1С представлены структурные схемы, иллюстрирующие оптический элемент в соответствии с первым вариантом осуществления данного изобретения.

На фиг.2А и 2В представлены иллюстрации, поясняющие барьер Шотки.

На фиг.3А и 3В представлены структурные схемы, иллюстрирующие оптический элемент в соответствии со вторым и третьим вариантами осуществления данного изобретения.

На фиг.4А и 4В представлены структурные схемы, иллюстрирующие оптический элемент в соответствии с четвертым вариантом осуществления данного изобретения.

На фиг.5 представлена структурная схема, иллюстрирующая спектроскопическое устройство в соответствии с пятым вариантом осуществления данного изобретения, в котором используется оптический прибор в соответствии с вариантом осуществления данного изобретения.

На фиг.6 представлена структурная схема, иллюстрирующая известный оптический элемент.

Подробное описание изобретения

Оптический элемент в соответствии с вариантом осуществления представляет собой элемент типа Шотки. В типичном фотопроводящем элементе область между электродами облучается возбуждающим светом, и посредством межзонного перехода генерируются носители. В отличие от этого, в случае оптического элемента, соответствующего варианту осуществления данного изобретения, переходная поверхность между электродами и полупроводниковым слоем, который представляет собой фоточувствительную пленку, облучается светом возбуждения, что заставляет носители электродов пересекать барьер. Кроме того, в случае известного элемента типа Шотки возбуждающий свет испускается в области около переходной поверхности между электродами и фотопроводящей пленкой с верхней стороны (стороны электродов). В отличие от этого, в случае оптического элемента, соответствующего варианту осуществления данного изобретения, свет возбуждения испускается с не имеющей электродов поверхности полупроводникового слоя (с плоской поверхности или боковой поверхности полупроводникового слоя, не

имеющей электродов). Соответственно, облучаемая светом область на переходной поверхности расширяется. Кроме того, около облучаемой светом поверхности выполнен конфигурационный участок обеспечивающей взаимодействие структуры. Соответственно терагерцевые волны взаимодействуют с обеспечивающей
5 взаимодействие структурой для эффективного излучения или обнаружения терагерцевых волн. На основании этого исходного условия, основная структура оптического элемента в соответствии с вариантом осуществления данного изобретения имеет вышеупомянутую конфигурацию.

10 Ниже, со ссылками на прилагаемые чертежи, приводится описание вариантов осуществления и примеров данного изобретения.

Первый вариант осуществления

Оптический элемент в соответствии с первым вариантом осуществления данного изобретения описывается со ссылками на перспективное изображение на фиг.1А и
15 сечение на фиг.1В, проведенное по линии 1В-1В, показанной на фиг.1А. Этот вариант осуществления обеспечивает структуру, позволяющую получить переходную поверхность между электродом, объединенным с антенной 3, которая включает в себя множество электродов, включающих в себя взаимодействующую с
20 электромагнитными волнами структуру, имеющую желаемую частотную характеристику, и полупроводниковый слой 2, облучаемый светом β возбуждения с подложки 1. Благодаря этому подложка 1 не является подложкой, получаемой, когда полупроводниковый слой 2 подвергается эпитаксиальному выращиванию, а является подложкой, выполненной из материала, прозрачного для испускаемого
25 возбуждающего света β и имеющей малую дисперсию длин волн. Полупроводниковый слой 2 переносится на подложку 1. То есть полупроводниковый слой 2 является эпитаксиальным слоем, полученным путем удаления выращенной подложки эпитаксиального слоя и переноса удаленного участка на другую подложку 1.
30 Контактный участок, расположенный между металлом и полупроводником и образующий барьер Шотки, обеспечивается путем формирования электрода, объединенного с антенной 3, на полупроводниковом слое 2, имеющем ширину запретной энергетической зоны, превышающую энергию фотонов возбуждающего света β . Электроны, образующие барьер Шотки, служат в качестве электрода,
35 объединенного с антенной 3, включающего в себя облучаемую светом поверхность, которая облучается возбуждающим светом β , и обеспечивающую взаимодействие структуру, взаимодействующую с терагерцевыми волнами, генерируемыми в предлагаемом элементе. При наличии этой конфигурации область пропускания для
40 возбуждающего света β перед тем, как этот свет достигает облучаемой светом поверхности, включает в себя область полупроводникового слоя 2 и область подложки 1, имеющей дисперсию длин волн, меньшую чем дисперсия длин волн полупроводникового слоя 2 в диапазоне длин волн возбуждающего света β . Иными
45 словами, свет возбуждающий β достигает облучаемой светом поверхности подложки 1 непосредственно под облучаемой светом поверхностью электрода, объединенного с антенной 3. Область подложки 1 имеет дисперсию длин волн, меньшую чем дисперсия длин волн полупроводникового слоя 2 в диапазоне длин волн возбуждающего света β . В этом варианте осуществления обеспечивающая взаимодействие с
50 электромагнитными волнами структура представляет собой электрод, объединенный с антенной 3, включающий в себя участок зазора для повторного излучения через посредство взаимодействия с генерируемыми терагерцевыми волнами и имеющий желаемую частотную характеристику. В альтернативном варианте, обеспечивающая

взаимодействие с электромагнитными волнами структура может быть типичной обеспечивающей взаимодействие структурой. Позиция 4 на фиг.1А обозначает проводник и площадки для подачи смещения на электрод, объединенный с антенной 3.

5 Принцип генерирования терагерцевых волн будет описан со ссылками на фиг.2А и 2В. На фиг.2А изображена структура энергетического диапазона около контактного участка между металлом и полупроводником. Позиция 54 обозначает переходный участок. Левая сторона обозначает металл (в вышеупомянутой структуре - электрод, объединенный с антенной 3), а правая сторона обозначает полупроводник (в
10 вышеупомянутой структуре - полупроводниковый слой 2). Позиция 50 обозначает уровень Ферми металла. За счет перехода, уровень 50 Ферми металла совпадает с уровнем 52 Ферми полупроводника. На этом пояснительном чертеже позиции 51 и 53 соответственно обозначают зону проводимости и валентную зону полупроводника. Например, этот чертеж иллюстрирует случай, в котором уровень Ферми
15 располагается, по существу, в центре, потому что используется полуизолирующий полупроводник. Кроме того, чертеж иллюстрирует случай, в котором рабочая функция Φ_m , т.е. работа выхода металла, совпадает с рабочей функцией Φ_s , т.е. работой выхода полупроводника, что приводит к формированию плоской зоны. При
20 этом зона 51 проводимости полупроводника располагается в энергетическом положении, которое выше, чем уровень Ферми металла, на $q(\Phi_m - \chi)$ (где q - элементарный заряд). Эта разность определяет высоту барьера Шотки - $q\Phi_b$. Здесь χ - сродство к электрону полупроводника, представляющее собой разность энергий между уровнем вакуума и зоной 51 проводимости. Так определяется барьер Шотки в
25 идеальном случае. Однако на самом деле возникает пиннинг (захват), зависящий от условий на поверхности, и поэтому проявляется тенденция, в соответствии с которой Φ_b имеет тенденцию становиться малым. Барьер Шотки приходится получать посредством реального измерения.

30 Когда вышеописанная конфигурация подвергается смещению за счет соединения анода с полупроводником и катода с металлом, протекание электрического тока, как правило, оказывается маловероятным из-за барьера Шотки. Как показано на фиг.2В, если область около барьера Шотки облучается светом 55, имеющим энергию фотонов, превышающую высоту $q\Phi_b$ барьера, электроны, которые приобретают энергию,
35 пересекают барьер, имеющий энергию, меньшую чем энергия фотонов света. Кроме того, электроны ускоряются электрическим полем, прикладываемым к полупроводнику. Если облучение светом мгновенно осуществляется в этот момент, мгновенно протекает несущий ток, диполь изменяется, и поэтому генерируются
40 электромагнитные волны в терагерцевом диапазоне. Если облучение светом осуществляется с помощью оптических импульсов длительностью порядка фемтосекунд, то можно генерировать импульсы электромагнитных волн, содержащие Фурье-составляющую в терагерцевом диапазоне. Оптический элемент отличается от вышеупомянутого фотопроводящего элемента тем, что вместо фотоносителей,
45 получаемых посредством облучения светом, имеющим энергию фотонов, равную ширине запрещенной энергетической зоны полупроводника или превышающей ее, используются фотоэлектроны с энергией, которая позволяет пересечь барьер Шотки. Следовательно, энергия фотонов облучающего света 55 может быть меньшей, чем
50 энергия запрещенной зоны полупроводникового слоя, и в этом случае облучающий свет 55 может быть пропущен через полупроводниковый слой. Кроме того, приложение электрического поля в направлении, показанном на фиг.2В, может способствовать поддержанию высокого сопротивления. Сильное электрическое поле

можно прикладывать до тех пор, пока не возникнет пробой. В отличие от этого, при использовании вышеупомянутого фотопроводящего элемента из InGaAs, поскольку сопротивление является низким, электрический ток может увеличиваться и перед наступлением пробоя. Таким образом, величина прикладываемого напряжения была ограничена.

Если электроны, движущиеся по полупроводнику, теряют энергию, например, из-за рассеяния в полупроводнике, электромагнитные волны больше не генерируются. Как правило, электроны исчезают, если оптические импульсы имеют длительность несколько сотен фемтосекунд или менее из-за продольного оптического рассеяния фотонов. Это значение достаточно мало для типичного полупроводника по сравнению со временем жизни носителей, которые исчезают при повторном связывании носителей. Таким образом, можно генерировать терагерцевые импульсы. В вышеописанной конфигурации облучение светом 55 применяется к участку электрода, служащему эмиттером для электронов, в пределах спаренного электрода, объединенного с антенной. То есть в этом варианте осуществления облучаемая светом поверхность представляет собой участок электрода, служащий в качестве эмиттера. При этом, если аналогичный барьер Шотки сформирован на другом участке электрода (который не облучается светом), принадлежащем электроду, объединенному с антенной 3, а между ними находится участок зазора, то, поскольку состояние другого участка электрода оказывается смещенным противоположно состоянию, показанному на фиг.2В, электроды проводимости полупроводникового слоя могут проходить на другой участок электрода. Следует отметить, что барьер Шотки или омический переход можно формировать и на другом участке электрода, служащем в качестве коллектора.

Как описано выше, если область около участка с барьером Шотки облучается ультразвуковыми импульсами длительностью порядка фемтосекунд, то генерируются терагерцевые волны. При этом если около генерирующей электромагнитные волны участка, подобного типичному фотопроводящему элементу, предусматривается симметричная вибраторная антенна или аналогичное средство, то происходит временное взаимодействие генерируемых терагерцевых волн с антенной, а потом они излучаются в направлении, обозначенном направленной вверх стрелкой на фиг.1В. Генерируемые терагерцевые волны имеют направленность и частотную характеристику, зависящие от характеристики антенны. Чтобы улучшить направленность излучения, желательно использовать дополнительную полусферическую линзу 5, выполненную из кремния с высоким удельным сопротивлением, как показано на фиг.1В. Однако дополнительную полусферическую линзу 5 можно и не предусматривать.

В вышеизложенном описании говорилось о зоне плоского типа. Однако можно представить себе различные случаи, в зависимости от комбинаций металла, полупроводникового материала и типа проводимости. Следовательно, при формировании барьера Шотки такие различные случаи приемлемы в качестве модификаций этого варианта осуществления. Например, даже при одном и том же полупроводниковом материале, если осуществляется легирование примесью, то можно изменять уровень Ферми и можно изменять рабочую функцию, т.е. работу выхода. Соответственно форму барьера Шотки можно конфигурировать надлежащим образом. Кроме того, если носителями служат положительные дырки, то вышеупомянутые анод и катод могут быть переключаемыми. При этом, поскольку положительная дырка имеет эффективную массу, отличающуюся от эффективной

массы электрона, структуру энергетического диапазона около контактного участка между металлом и полупроводников приходится конфигурировать в соответствии с этой эффективной массой.

С помощью этого варианта осуществления можно обеспечить структуру с расширенной облучаемой светом областью на участке с барьером Шотки. Терагерцевые волны можно эффективно генерировать или обнаруживать посредством облучения светом. В частности, можно обеспечить генерирующий и обнаруживающий терагерцевые волны элемент, который служит в качестве оптического элемента, эффективного для света возбуждения в диапазоне длин волн связи 1 мкм или более, измерительное устройство, в котором используется этот элемент, и устройство формирования изображения, в котором используется этот элемент. В этом случае, в качестве облучающего блока может служить лазер возбуждения, в котором используются волокна, и поэтому можно уменьшить габариты и стоимость устройства. Кроме того, поскольку не обязательно расширять область пропускания на участке с барьером Шотки, если удельный коэффициент пропускания света увеличивается за счет уменьшения толщины электродов, можно предотвратить возникновение явления, при котором увеличивается электрическое сопротивление и растут потери терагерцевых волн.

Пример 1

Теперь будет описан пример 1, соответствующий первому варианту осуществления. Этому примеру присуща конфигурация, которая является, в основном, такой же, как в первом варианте осуществления. В этом примере предусматривается конфигурация, показанная на фиг. 1А или 1В. Подложка 1 может быть выполнена из материала, прозрачного для облучающего света лазера и имеющего малую дисперсию длин волн. В типичном случае, этим материалом может быть кварц или смола. Поверхность, на которую падает свет, подложки 1 можно обработать, например, нанося не отражающее покрытие (не показано). Полупроводниковый слой 2 может быть полуизолирующим InP. Электрод, объединенный с антенной 3, можно сформировать, например, с пленкой Au/Ti путем осаждения из паровой фазы. При этом сочетании материалов Au имеет рабочую функцию, т.е. работу выхода примерно 5,1 эВ, Ti имеет работу выхода примерно 4,3 эВ, а InP имеет сродство к электрону 4,4 эВ. InP имеет ширину запрещенной зоны 1,35 эВ. Если материал является полуизолирующим материалом, то его уровень Ферми находится в положении, которое ниже, чем зона проводимости, на $1,35/2 \approx 0,68$ эВ, и этот уровень, по существу, совпадает с уровнем ферми для Au. Поэтому можно сформировать плоскую зону, как показано на фиг. 2А. Фактически, это пример реального измерения, в котором барьер Шотки между Au/Ti и InP имеет высоту примерно 0,5 эВ. Зона проводимости участка с барьером Шотки является криволинейной. Даже в этом случае, область пропускания для света б до тех пор, пока (до того, как) свет не достигает облучаемой светом поверхности, включает в себя область полупроводникового слоя 2 и область подложки 1 (т.е. кварца), имеющую дисперсию длин волн, меньшую чем дисперсия длин волн полупроводникового слоя 2 в диапазоне длин волн света б.

Высота барьера Шотки составляет примерно 2,4 мкм, а длина волны света с энергией фотонов, соответствующей ширине запрещенной энергетической зоны InP составляет примерно 0,91 мкм. Например, если используется фемтосекундный лазер волоконного типа с диапазоном длин волн связи 1,55 мкм, то фотоэлектроны можно возбуждать на участке с барьером Шотки, тогда как в полупроводниковом слое 2 фотоэлектроны возбуждать нельзя. Таким образом, использование такого

фемтосекундного лазера удобно для снижения габаритов и стоимости системы. В этом примере, электрод, объединенный с антенной 3, имеет форму антенны с зазором 5 мкм, длину антенны 15 мкм и ширину 10 мкм, как показано на фиг.1С. Однако форма не ограничивается указанной. Полупроводниковый слой 2 пленки
5 полуизолирующего InP сформирован путем легирования Fe и имеет толщину 1 мкм. Пленка InP выполнена на подложке 1 путем перемещения эпитаксиальной пленки на подложку из InP с удаляемым слоем InGaAs между ними методом эпитаксиального переноса. Пленку можно наклеить на поддерживающую подложку 1, такую как
10 кварцевая, путем непосредственного соединения или способом, предусматривающим использование клея. После соединения подложки из полуизолирующего InP с поддерживающей подложкой 1, если оставляется тонкая пленка путем полирования или аналогичной обработки, полупроводниковый слой 2 можно сформировать и без осаждения пленки для эпитаксиального слоя.

15 Если омический переход формируется на другом участке электрода, присущем электроду, объединенному с антенной 3, то можно предусмотреть такие способы (не проиллюстрированы), которые могут обуславливать диффузию примеси в области электрода, область электрода можно заменить сплавом с использованием электрода
20 из AuGe/Ni/Au, или можно избирательно предусмотреть эпитаксиальный слой из InGaAs с n-проводимостью под электродом. На фиг.1А или 1В показано, что полупроводниковый слой 2 имеет размер, меньший чем размер подложки 1. Вместе с тем, эти компоненты могут иметь одинаковую форму, или полупроводниковый слой 2 может быть сформирован только в области, занятой антенной электрода,
25 объединенного с антенной 3.

Если подложка 1 является подложкой из InP, то, поскольку возникает дисперсия длин волн, можно не получить желательную ширину узкого импульса даже если на подложку падает свет возбуждения. В отличие от этого, данный пример обеспечивает
30 структуру, пригодную для опадения света с подложки 1. Широкую область на переходной поверхности, где электроды находятся в контакте с полупроводником и поэтому образуется барьер Шотки, можно облучать светом. Поэтому можно очень эффективно генерировать и обнаруживать терагерцевые волны. Другие особенности аналогичны тем, которые имеются в первом варианте осуществления.

35 **Второй вариант осуществления**

Теперь будет описан второй вариант осуществления данного изобретения. Обращаясь к фиг.3А, отмечаем, что в этом варианте осуществления электрод, объединенный с антенной 22, прикреплен к поддерживающей подложке 20.

40 Полупроводник, который используется во время эпитаксиального выращивания, удаляется с полупроводникового слоя 21 и переносится на поддерживающую подложку 20. Если на поверхности поддерживающей подложки 20 сформирован электродный проводник для смещения, то электрод, объединенный с антенной 22, на поверхности полупроводникового слоя 21 можно прикрепить к поддерживающей
45 подложке 20 таким образом, что электрод, объединенный с антенной 22, вводится в электрический контакт с электродным проводником. При наличии этой структуры, для поддерживающей подложки 20 пригоден обладающий высоким сопротивлением кремний, кварц, олефин или смола, такая как олефиновая, тефлон
50 (зарегистрированная торговая марка) или полиэтилен, обладающий хорошим удельным коэффициентом пропускания. В этом случае, возбуждающий свет 23 лазера падает на полупроводниковый слой 21 со стороны, где нет электродов (т.е. где нет электрода, объединенного с антенной 22). Для полупроводникового слоя 21

используется материал, аналогичный материалу, используемому в первом варианте осуществления, а терагерцевые волны 24 генерируются и обнаруживаются на основании того же самого принципа. Поддерживающая подложка 20 может иметь форму линзы или дополнительно включать в себя линзу для улучшения
5 направленности излучения терагерцевых волн. В этом варианте осуществления область, прозрачная для возбуждающего света 23 лазера, который достигает облучаемой светом поверхности, включает в себя только область полупроводникового слоя 21. То есть, чтобы достичь облучаемой светом поверхности,
10 свет 23 лазера возбуждения должен пройти только через область полупроводникового слоя 21, которая прозрачна для возбуждающего света 23 лазера.

С помощью этого варианта осуществления возбуждающий свет 23 лазера пропускается только через полупроводниковый слой 21 и испускается на участок с переходом Шотки без дисперсионных потерь. Оказывается возможным испускание
15 света, который не подвергается воздействию дисперсии и поэтому имеет большую ширину полосы пропускания, и можно расширить диапазон терагерцевых волн. Другие особенности аналогичны тем, которые имеются в первом варианте осуществления.

20 Третий вариант осуществления

Теперь будет описан третий вариант осуществления данного изобретения. Обращаясь к фиг.3В, отмечаем, что в этом варианте осуществления в качестве части поддерживающей подложки 30 выполнено отверстие 33, так что возбуждающий свет 34 лазера может падать непосредственно на участок с барьером Шотки между
25 электродом, объединенным с антенной 32 и полупроводниковым слоем 31 через полупроводниковый слой 31. Соответственно генерируются и обнаруживаются терагерцевые импульсы 35. В этом элементе необходимо лишь, чтобы подложка была поддерживающей подложкой 30 с отверстием. Подложка может быть изолирующей
30 подложкой или подложкой, прикрепленной к полупроводниковому слою 22 посредством изолирующего слоя. На материал подложки 30 конкретных ограничений нет. Поэтому можно непосредственно использовать подложку, полученную, когда полупроводниковый слой 31 подвергается эпитаксиальному выращиванию. В этом варианте осуществления, область, прозрачная для возбуждающего света 34 лазера до
35 тех пор, пока свет не достигает облучаемой светом поверхности, включает в себя только область полупроводникового слоя 31.

При выполнении отверстия можно повысить управляемость, если между полупроводниковой подложкой и полупроводниковым слоем 31 предусмотрен
40 останавливающий травление слой. Например, в случае полупроводника типа InP, используется останавливающий травление слой InGaAs или аналогичного вещества. Этот вариант осуществления обеспечивает структуру, в которой возбуждающий свет 34 лазера и терагерцевые волны распространяются в вакууме или воздухе, но, по существу, не проходят через подложку. Дисперсия длин волн, характерная для
45 материала, мало влияет на этот свет и терагерцевые волны. Другие особенности аналогичны тем, которые имеются в первом варианте осуществления.

Четвертый вариант осуществления

Теперь будет описан четвертый вариант осуществления данного изобретения. Обращаясь к фиг.4А или 4В, отмечаем, что электрод, объединенный с антенной 43,
50 служащие в качестве электродов, сформированы на верхней и нижней поверхностях полупроводникового слоя 41. Электроды имеют зазор между ними, причем это зазор, который ограничен толщиной пленки полупроводникового слоя 41. На поверхности

поддерживающей подложки 40 предусмотрена электродная шина 43, полупроводниковый слой 41 перенесен на подложку подобно первому варианту осуществления, и на нем также предусмотрена другая электродная шина 42, также служащая в качестве антенны. В этом случае, например, электродная шина 42, простирающаяся параллельно электродной шине 43, выполнена с возможностью функционирования в качестве антенны.

Обращаясь к фиг.4А, отмечаем, что в этом варианте осуществления возбуждающий свет 44 лазера падает на боковую концевую поверхность концевого участка полупроводникового слоя 41, расположенного между электродом, объединенным с антенной 42, и электродом, объединенным с антенной 43. То есть облучаемая светом поверхность, которая облучается возбуждающим светом 44 лазера, находится на переходной поверхности по отношению к электродам на концевом участке полупроводникового слоя 41. Если в подложке 40 используется смола, такая как олефиновая, то поскольку полупроводниковый слой 41 обладает малой способностью к поглощению света и показателем преломления, превышающим показатель преломления подложки 40 из смолы, полупроводниковый слой 41, расположенный между воздухом и смолой, функционирует как пластинчатый волновод, простирающийся по переходной поверхности, по отношению к электроду, объединенному с антенной 42, и электроду, объединенному с антенной 43. Соответственно, возбуждающий свет 44 лазера, падающий на боковую концевую поверхность полупроводникового слоя 41, может способствовать эффективному генерированию фотоэлектронов на барьере Шотки, распространяясь через пластинчатый волновод. Аналогично первому варианту осуществления можно предусмотреть дополнительную полусферическую линзу 45, выполненную из обладающего высоким сопротивлением кремния, чтобы улучшить направленность терагерцевых волн 46. Другие особенности аналогичны тем, которые имеются в первом варианте осуществления.

Пятый вариант осуществления

Теперь, со ссылками на фиг.5, будет описан пятый вариант осуществления терагерцевой спектроскопической системы с разрешением по времени (ТГц-С-системы с РпВ). В этом случае терагерцевое спектроскопическое устройство с разрешением по времени сконструировано за счет использования - в качестве генерирующего терагерцевые импульсы блока - оптического устройства, включающего в себя оптический элемент в соответствии с любым из вариантов осуществления данного изобретения, источник света и оптический блок. Такая спектроскопическая система является, в основном, такой же, как известная система. Эта спектроскопическая система включает в себя в качестве основных элементов короткоимпульсный лазер 830, служащий в качестве источника света, полужеркало 910, оптическую систему 920 задержки, служащую в качестве блока задержки, генерирующий электромагнитные волны элемент 800 и обнаруживающий электромагнитные волны элемент 940. Свет 931 накачки и свет 932 зондирования, разделенные полужеркалом 910, соответственно испускаются на генерирующий электромагнитные волны элемент 800 и обнаруживающий электромагнитные волны элемент 940 через линзы 990 и 980, служащие в качестве оптических блоков. Позиция 800 обозначает оптический элемент в соответствии с любым из вариантов осуществления данного изобретения, который образует генерирующий электромагнитные волны элемент, так что свет 931 накачки, проходящий через линзу 990, испускается на облучаемую светом поверхность электрода, имеющую барьер Шотки. Блок задержки может быть блоком

любого типа в той мере, в какой этот блок может регулировать время задержки между генерированием терагерцевых волн генерирующим электромагнитные волны элементом 800 и обнаружением терагерцевых волн обнаруживающим электромагнитные волны элементом 940.

5 Терагерцевые волны, генерируемые из генерирующего электромагнитные волны элемента 800, к которому прикладывается напряжение из источника 820 напряжения, направляются к образцу 950 по терагерцевым волноводам 933 и 935. Терагерцевые волны, содержащие такую информацию, как спектр поглощения образца 950,
10 направляются терагерцевыми волноводами 934 и 936 и обнаруживаются обнаруживающим электромагнитные волны элементом 940. В этом случае обнаруживающий электромагнитные волны элемент 940 представляет собой фотопроводящий элемент из НТВ-GaAs. Амперметр 960, соединенный с обнаруживающим электромагнитные волны элементом 940, обеспечивает значение
15 обнаруженного тока, которое пропорционально амплитуде обнаруживаемых терагерцевых волн. Чтобы воплотить разрешение по времени (т.е. получить временной сигнал электромагнитных волн), можно управлять моментами облучения светом 931 накачки и светом 932 зондирования, например, путем перемещения
20 оптической системы 920 задержки, что изменяет длину оптического пути света 932 зондирования.

В этом варианте осуществления в качестве короткоимпульсного лазера 830 (лазерного источника света возбуждения) возможно применение фемтосекундного лазера волоконного типа с диапазоном 1,5 мкм, а в качестве генерирующего
25 элемента 800, соответствующего этому варианту осуществления данного изобретения, возможно применение элемента, описанного в примере 1, в котором используется барьер Шотки, ограниченный полуизолирующим InP и Au/Ti. Хотя количество компонентов в секции обнаружения увеличивается, если для получения света 832 зондирования вводится генератор 970 второй гармоники (кристалл ГВГ), а в качестве
30 обнаруживающего электромагнитные волны элемента 940 применяется фотопроводящий элемент из GaAs низкотемпературного выращивания, то можно улучшить отношение «сигнал - шум». Как описано выше, терагерцевая спектроскопическая система с разрешением по времени может быть сформирована
35 путем использования генерирующего терагерцевые импульсы блока, который представляет собой оптическое устройство в соответствии с вариантом осуществления данного изобретения. В альтернативном варианте, терагерцевое спектроскопическое устройство с разрешением по времени может быть сформировано путем
40 использования оптического устройства, включающего в себя оптический элемент в соответствии с любым из вариантов осуществления данного изобретения, источника света и оптического блока в качестве обнаруживающего терагерцевые импульсы блока.

Пример 2

45 Теперь будет описан пример 2, соответствующий пятому варианту осуществления. В этом примере к генерирующему электромагнитные волны элементу 800, соответствующему варианту осуществления данного изобретения, прикладывается напряжение 20 В, а из короткоимпульсного лазера 830 (волоконного лазера)
50 излучается свет в виде ультракоротких импульсов, имеющий длительность импульсов 30 фс, их среднюю мощность 20 мВт и длину волны 1,56 мкм, в качестве света 931 накачки. В блоке обнаружения электрический ток, обнаруживаемый посредством облучения светом 932 зондирования с мощностью 5 мВт, преобразуется в

сигнал напряжения усилителем напряжения, управляемым током и имеющим коэффициент усиления примерно 107 и диапазон 10 кГц, а при необходимости вводится фильтр. Соответственно в типичном случае наблюдаются терагерцевые импульсы, имеющие пик около 100 мВ. За счет модуляции длины оптического пути света 932 зондирования оптической системой 920 задержки, можно измерять временной сигнал генерируемых терагерцевых волн на основании принципа выборки. Осуществляя преобразование Фурье для получаемого временного сигнала, можно получить спектр в диапазоне, превышающем 5 ТГц. Условия возбуждения являются просто примером, а напряжение, прикладываемое к генерирующему электромагнитные волны элементу 800, и мощность облучающего света не ограничиваются вышеупомянутыми значениями. В альтернативном варианте, напряжение, прикладываемое к генерирующему электромагнитные волны элементу 800, можно модулировать частотой 10 кГц, или интенсивность света можно модулировать путем использования оптического модулятора, а сигнал можно обнаруживать посредством обнаружения с помощью синхронного усилителя.

Шестой вариант осуществления

Оптический элемент в соответствии с любым из вариантов осуществления данного изобретения описан в качестве генерирующего терагерцевые волны элемента. Вместе с тем, этот оптический элемент можно использовать и в качестве обнаруживающего элемента. Обнаруживающий элемент может иметь такую же конфигурацию, как та, которая показана на фиг.1А или 1В, со ссылками на которые описан первый вариант осуществления. К этому элементу и идет направление распространения терагерцевых волн 7. Основа обнаружения терагерцевых волн является следующей. Электроны, которые получают энергию посредством облучения светом 6 возбуждения, пересекают барьер, образованный электрическим полем входных терагерцевых волн 7, и проходят через полупроводниковый слой 2. Соответственно между электродами протекает электрический ток, и путем обнаружения этого электрического тока можно обнаружить напряженность электрического поля терагерцевых волн. В этом случае терагерцевые волны 7 взаимодействуют с электродом, объединенным с антенной 3, и эффективно принимаются. Возбуждающий свет 6 эффективно подводит энергию к электронам.

А именно фотоэлектроны возбуждаются в моменты, когда облучаемая светом поверхность облучается светом 6. Если благодаря терагерцевым волнам 7 прикладывается электрическое поле, то - в зависимости от полярности - получается такая структура энергетического диапазона, как показанная на Фиг.2В. Соответственно, ввиду протекания фотоэлектронов, можно обнаружить электрическое поле, обуславливаемое терагерцевыми волнами 7. Однако эта конфигурация - в отличие от фотопроводящего элемента - не является биполярной. При анализе выходного сигнала необходима коррекция с помощью данных, таких как ранее полученная калибровочная кривая.

Хотя данное изобретение описано со ссылками на возможные варианты осуществления, следует понять, что изобретение не ограничивается описанными возможными вариантами осуществления. Объем притязаний нижеследующей формулы изобретения следует интерпретировать в самом широком смысле, как охватывающий все такие модификации и эквивалентные структуры и функции.

Формула изобретения

1. Оптический элемент, сконфигурированный для облучения его светом и для

генерирования или обнаружения в ответ на это терагерцевой волны, содержащий:
 полупроводниковый слой, имеющий ширину запрещенной энергетической зоны, превышающую энергию фотонов света; и
 множество электродов, сформированных в электрическом контакте с полупроводниковым слоем,

при этом, по меньшей мере, один из электродов образует барьер Шотки между электродом и полупроводниковым слоем, причем этот барьер Шотки имеет высоту барьера меньшую, чем энергия фотонов света, и

при этом, по меньшей мере, часть переходной поверхности между электродом, который образует барьер Шотки, и полупроводниковым слоем включает в себя: облучаемую светом поверхность, расположенную с возможностью облучения светом с поверхности полупроводникового слоя без электродов, и

участок обеспечивающей взаимодействие структуры, выполненной с возможностью взаимодействия с терагерцевой волной, которая генерируется или обнаруживается посредством облучения светом.

2. Оптический элемент по п.1, в котором свет достигает облучаемой светом поверхности после прохождения через область полупроводникового слоя и область подложки с дисперсией длин волн меньшей, чем дисперсия длин волн полупроводникового слоя в диапазоне длин волн света.

3. Оптический элемент по п.1, в котором свет достигает облучаемой светом поверхности после прохождения только через область полупроводникового слоя или только через область подложки с дисперсией длин волн меньшей, чем дисперсия длин волн полупроводникового слоя в диапазоне длин волн света.

4. Оптический элемент по п.1, в котором облучаемая светом поверхность расположена на концевом участке полупроводникового слоя и задает часть волновода для света, причем этот волновод простирается по переходной поверхности.

5. Оптический элемент по п.1, в котором обеспечивающая взаимодействие структура представляет собой антенну, выполненную из электродов.

6. Оптический элемент по п.1, в котором полупроводниковый слой представляет собой эпитаксиальный слой, полученный путем удаления выращенной подложки эпитаксиального слоя и переноса удаленного участка на другую подложку.

7. Оптическое устройство, выполненное с возможностью генерирования или обнаружения терагерцевой волны, содержащее:

оптический элемент по п.1;

источник света, выполненный с возможностью выпуска света, который возбуждает оптический элемент; и

оптический блок, выполненный с возможностью облучения облучаемой светом поверхности светом источника света от поверхности полупроводникового слоя без электродов.

8. Терагерцевое спектроскопическое устройство с разрешением по времени, содержащее:

генерирующий блок, выполненный с возможностью генерирования терагерцевой волны;

обнаруживающий блок, выполненный с возможностью обнаружения терагерцевой волны, которая излучается из генерирующего блока, испускается на образец и достигает обнаруживающего блока; и

блок задержки, выполненный с возможностью регулирования времени задержки между генерированием терагерцевой волны генерирующим блоком и обнаружением

терагерцевой волны обнаруживающим блоком, при этом, по меньшей мере, один из генерирующего блока и обнаруживающего блока представляет собой оптическое устройство по п.7.

5

10

15

20

25

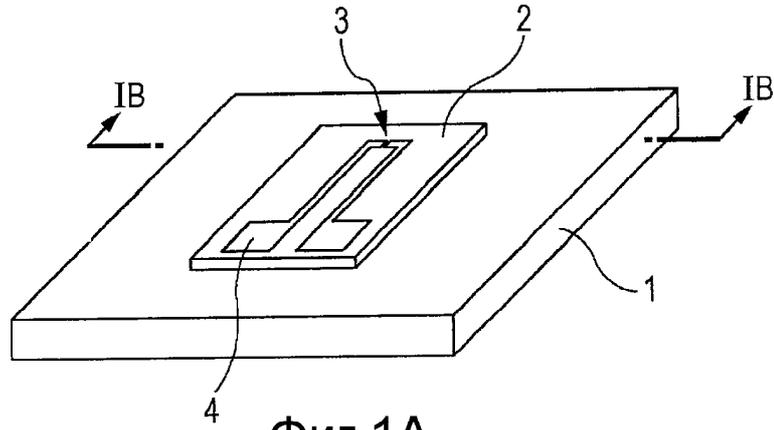
30

35

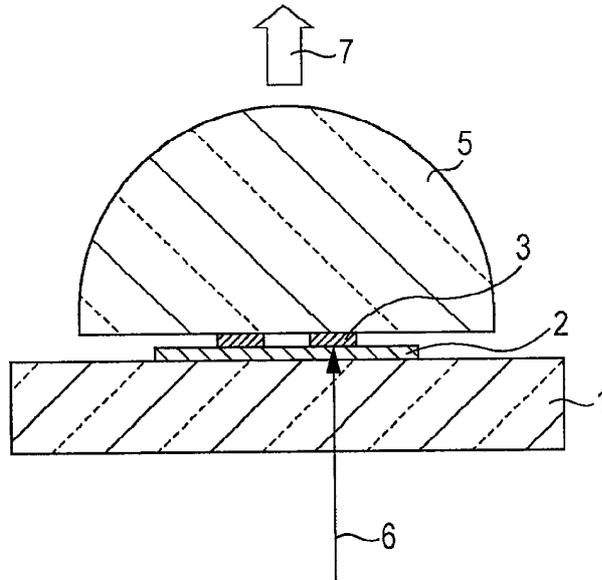
40

45

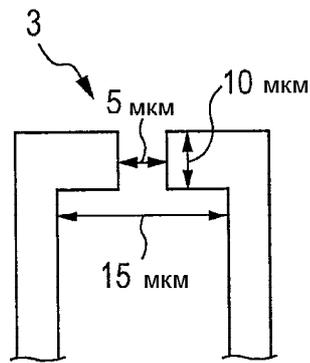
50



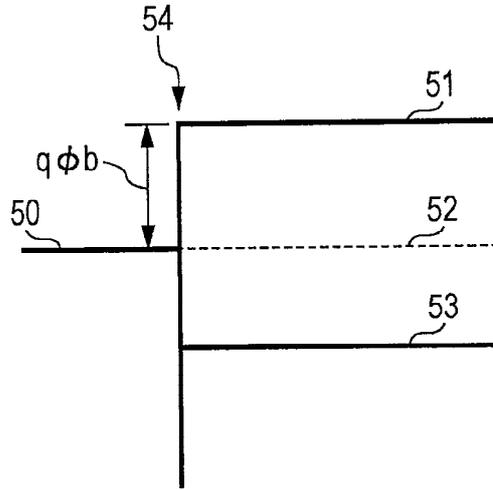
Фиг. 1А



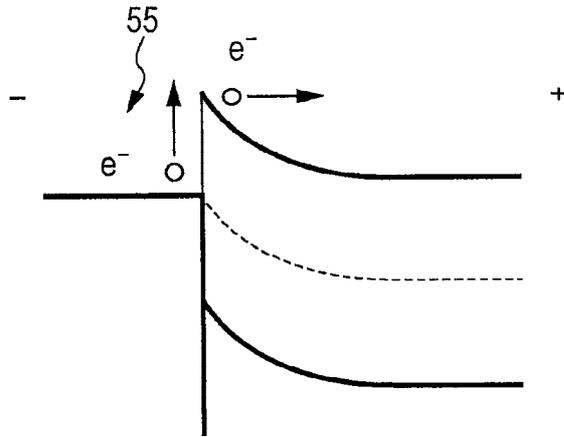
Фиг. 1В



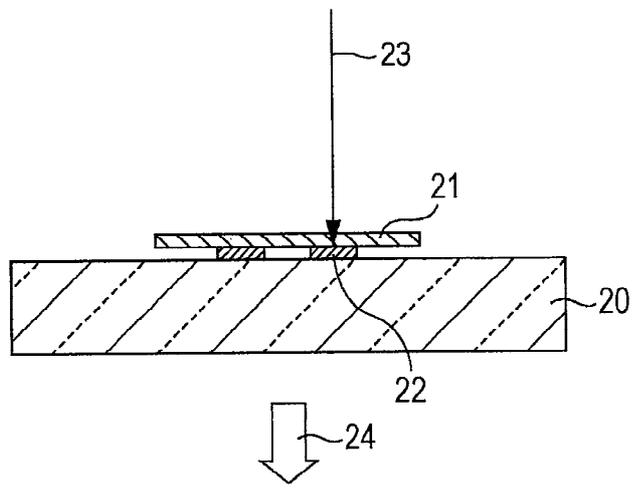
Фиг. 1С



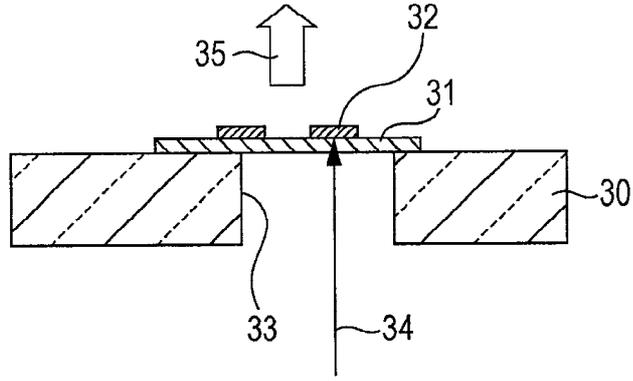
Фиг.2А



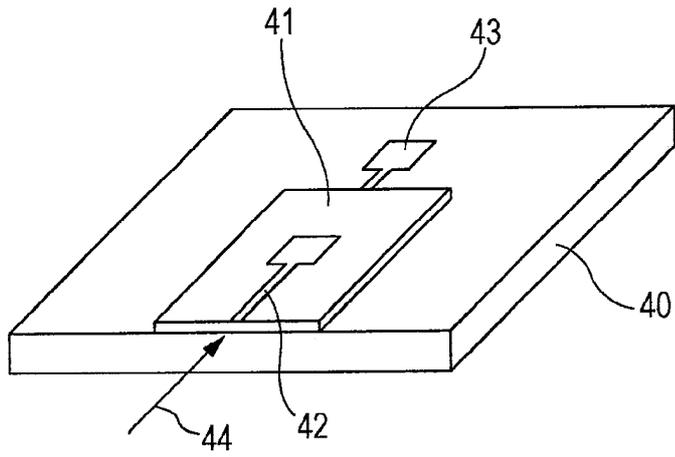
Фиг.2В



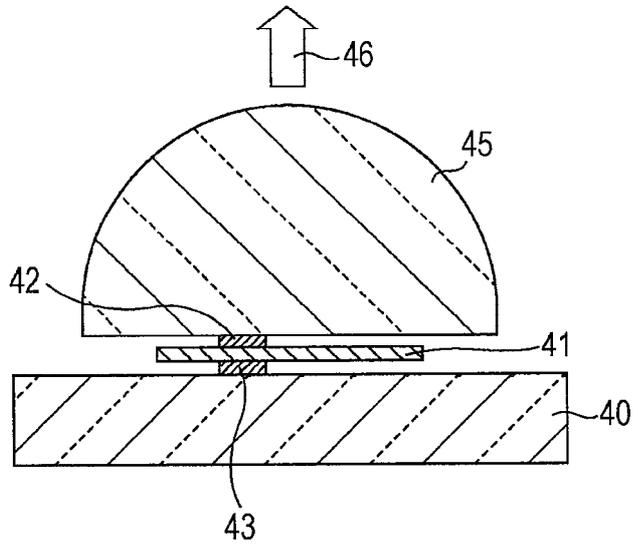
Фиг.3А



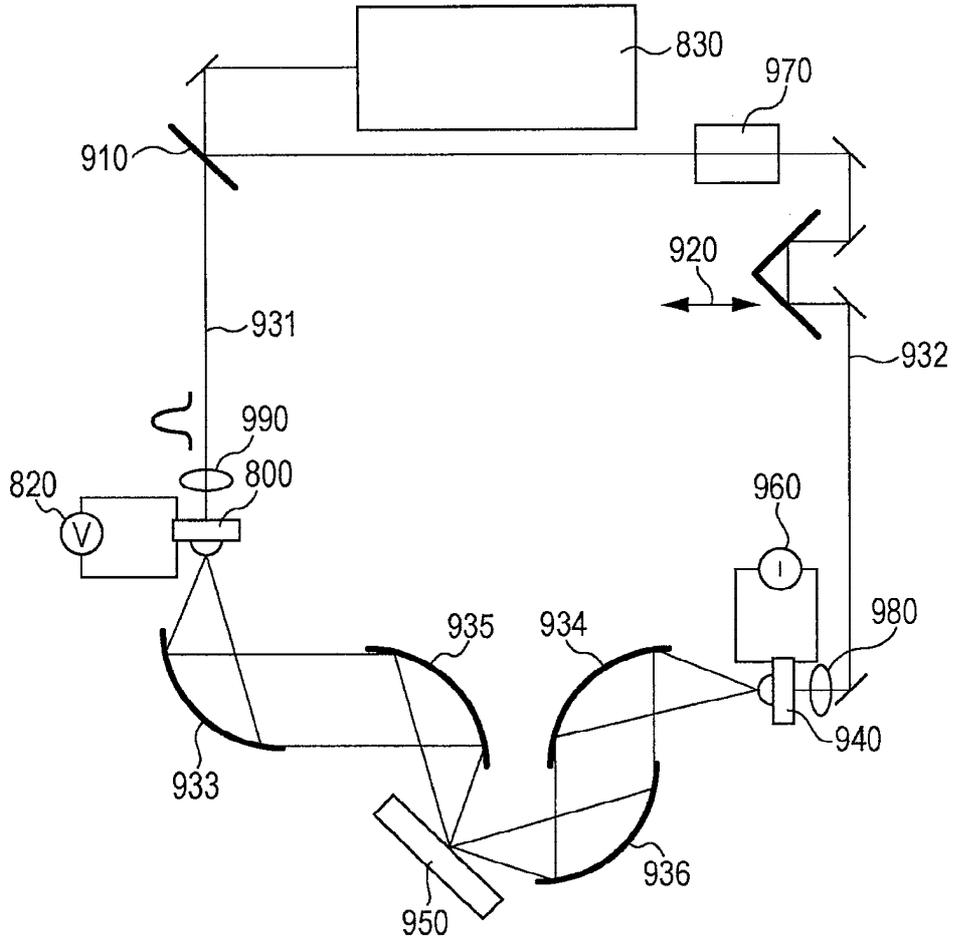
Фиг.3В



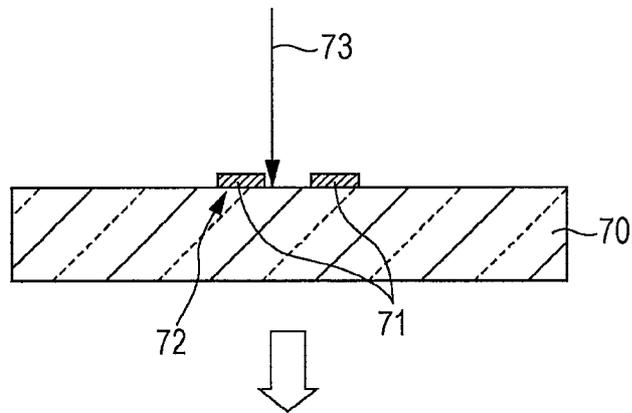
Фиг.4А



Фиг.4В



Фиг.5



Фиг.6