



КРИОГЕННЫЙ ФОТОПРИЕМНИК С ИЗМЕНЯЕМОЙ СПЕКТРАЛЬНОЙ ХАРАКТЕРИСТИКОЙ

Е.А.Ариас, В.В.Гаврушко

CRYOGENIC PHOTODETECTOR WITH VARIABLE SPECTRAL CHARACTERISTICS

E.A.Arias, V.V.Gavrushko

Новгородский государственный университет имени Ярослава Мудрого, Elena.Arias@novsu.ru

Приводится описание конструкции фотоприемника, содержащего два встречно включенных фотодиода. Один из них расположен на освещаемой, а второй — на тыльной стороне кристалла. В цепи первого фотодиода предложено использовать подключаемое дополнительное внешнее сопротивление. При отключенном сопротивлении фотоприемник обладал широкополосной спектральной характеристикой. Подключение внешнего сопротивления изменяло широкополосную характеристику на селективную. Подавление сигнала в коротковолновой области происходило за счет его компенсации встречно включенным напряжением, на объемном сопротивлении базовой области. На примере криогенного InSb фотоприемника показана высокая эффективность подавления коротковолнового излучения. В селективном режиме работы при замкнутом ключе наблюдалось ослабление коротковолнового сигнала почти в 10^3 раз по сравнению с широкополосным режимом при разомкнутом ключе.

Ключевые слова: фотоприемник, антимонид индия, спектральные характеристики, ключ

Для цитирования: Ариас Е.А., Гаврушко В.В. Криогенный фотоприемник с изменяемой спектральной характеристикой // Вестник НовГУ. Сер.: Технические науки. 2022. №3(128). С.75–77. DOI: [https://doi.org/10.34680/2076-8052.2022.3\(128\).75-77](https://doi.org/10.34680/2076-8052.2022.3(128).75-77)

A description is given of the design of a photodetector containing two back-to-back photodiodes. One of them is located on the illuminated side of the crystal, and the second one is on the back side. In the circuit of the first photodiode, it is proposed to use a connected additional external resistance. With the resistance turned off, the photodetector had a broadband spectral characteristic. The connection of an external resistance changed the broadband response to a selective one. Signal suppression in the short-wave region was due to its compensation by the back-to-back voltage across the bulk resistance of the base region. The high efficiency of suppression of short-wave radiation is shown by the example of a cryogenic InSb photodetector. In the selective mode of operation with a closed key, the short-wave signal was observed to be attenuated by almost 10^3 times compared to the broadband mode with an open key.

Keywords: photodetector, indium antimonide, spectral characteristics, key

For citation: Arias E.A., Gavrushko V.V. Cryogenic photodetector with variable spectral characteristics // Vestnik NovSU. Issue: Engineering Sciences. 2022. №3(128). P.75–77. DOI: [https://doi.org/10.34680/2076-8052.2022.3\(128\).75-77](https://doi.org/10.34680/2076-8052.2022.3(128).75-77)

Спектральную характеристику применяемых в настоящее время фотоприемников, как правило, нельзя изменять. Вместе с тем такая способность может оказаться полезной, поскольку расширяет возможности регистрирующего устройства, позволяя осуществлять идентификацию излучающих объектов без переключения информационных каналов систем оптической диагностики [1]. При разработке приборов последнего поколения отмечается тенденция к использованию только одного приемника на весь интересующий пользователя диапазон длин волн [2]. Особенно актуально это для широко используемых криогенных фотоприёмников. В работе [3] отмечаются трудности реализации применения физических полей для динамической перестройки области спектральной чувствительности фотоприемников на основе InSb. Проблему решают, используя внешние фильтры или применяя набор фотоприем-

ников с различными спектральными характеристиками. В настоящей работе предлагается фотоприемник, обладающий возможностью электронной перестройки его спектральной характеристики.

В источниках научно-технической информации есть описание фотоприемников с электронной перестройкой спектральной характеристики. Например, в работе [4] предлагался один из вариантов реализации такого устройства. Фотоприемник представлял собой полупроводниковую пластину, с противоположных сторон которой выполнены выпрямляющие контакты. Устройство известного фотоприемника показано на рис.1а. Здесь 1 — базовый кристалл, 2 и 3 — выпрямляющие контакты. Один из контактов делался полупрозрачным и освещался, а второй находился на темновой стороне. Выпрямляющий контакт на освещаемой стороне имел высокую чувствительность в коротковолновой области

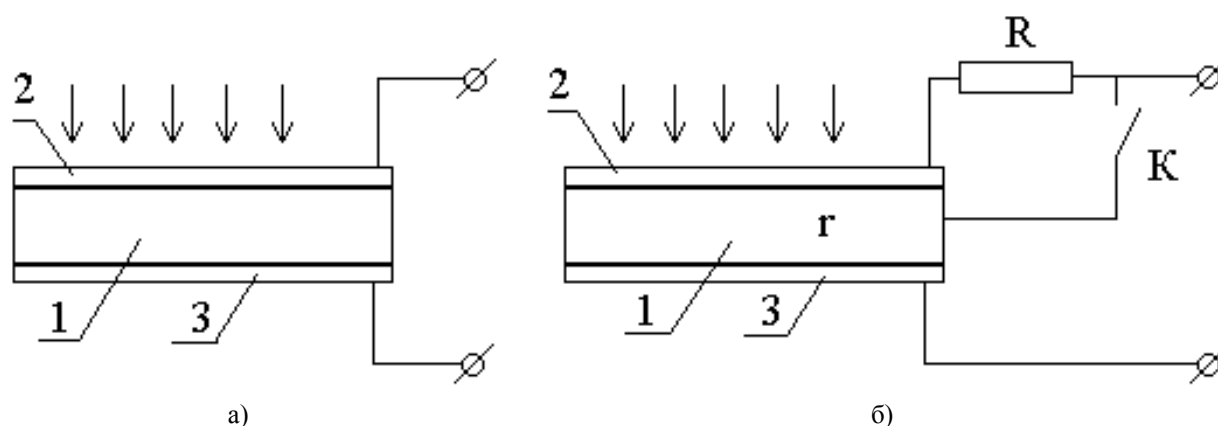


Рис.1. Фотоприемники с управляемой спектральной характеристикой

спектра. Контакт на теневой стороне с узким диапазоном спектральной чувствительности вблизи края основной полосы поглощения. Уменьшение чувствительности теневого контакта в коротковолновой части спектра связано с большим значением коэффициента оптического поглощения для высокоэнергичных квантов и, следовательно, с проникновением излучения на малую глубину по сравнению с расстоянием до темнового контакта. Фоточувствительность приемника определялась разностью сигналов от освещаемого и темнового выпрямляющих контактов. Подключая или устранив с помощью ключа внешний источник смещения с изменяющейся полярностью, можно усиливать вклад одного или другого выпрямляющего контакта и делать спектральную характеристику фотоприемника селективной или широкополосной. Аналогичный вариант фотоприемника описан в работе [5].

Недостатком известного фотоприемника является невысокая избирательность спектральной характеристики в селективном режиме работы, когда снижается чувствительность освещаемого $p-n$ перехода. Это связано с недостаточным подавлением сигнала освещаемого фотодиода при его смещении в прямом направлении.

Для работы в селективном режиме можно было бы использовать только темновой выпрямляющий контакт, отключив второй контакт. Однако на темновом контакте и в этом случае появлялся заметный сигнал в коротковолновой области, что связано с процессом диффузии неосновных носителей заряда от освещаемой поверхности к темновому фотоприемнику.

Устройство предлагаемого фотоприемника показано на рис.1б. Здесь 1 — базовый кристалл, 2 и 3 — выпрямляющие контакты. Освещаемый контакт 2 подключен к внешнему выводу через резистор R . В схеме содержится ключ K , с помощью которого внешний вывод мог быть присоединен к базе.

Работа фотоприемника в широком спектральном диапазоне происходит при разомкнутом ключе K . В этом случае, как и в известном фотоприемнике [3], фоточувствительность определяется обоими выпрямляющими барьерами, включенными во встречных направлениях. Однако, поскольку сигнал в коротковолновой области у освещаемого контакта намного выше, то он и будет определять результирующий сигнал.

При селективном режиме работы в длинноволновой области спектра доминирующим будет фотосигнал темнового барьера. Снижение паразитного сигнала темнового барьера в коротковолновой области достигается его компенсацией встречно включенным напряжением, падающим на объемное сопротивление базовой области r . Это напряжение появляется при замыкании освещаемого контакта на внешний резистор R . Величина этого резистора должна выбираться таким образом, чтобы падение напряжения на объемном сопротивлении базы компенсировало сигнал на темновом барьере в коротковолновой области спектра. Выполнение этого условия будет происходить, если $R = r \frac{U_1 - U_2}{U_2}$, где r — сопротивление базы,

U_1 и U_2 — напряжения на освещаемом и темновом контактах при воздействии коротковолнового излучения.

Для экспериментальной проверки был изготовлен фотоприемник описанной конструкции. В качестве базового материала использована пластина $n-InSb$ с концентрацией электронов около $1 \cdot 10^{14} \text{ см}^{-3}$ толщиной 165 мкм. Барьерные выпрямляющие контакты были получены методом диффузии акцепторов.

Эффективное сопротивление базы, определенное из анализа вольтамперной характеристики темнового фотодиода, имело величину 19,5 Ом. Отношение напряжений, измеренное для фоновой коротковолновой засветки, $U_1/U_2 = 3,95$. Тогда величина сопротивления R , рассчитанная по приведенной выше формуле, составила 58 Ом.

На рис.2 приведено распределение спектральной чувствительности предлагаемого фотоприемника при температуре жидкого азота в широкополосном (кривая 1) и селективном (кривая 3) режимах. Как видно из рисунка, в селективном режиме работы при замкнутом ключе наблюдалось ослабление коротковолнового сигнала почти в 10^3 раз по сравнению с широкополосным режимом при разомкнутом ключе. На этом же рисунке приведена спектральная характеристика фотоприемника в селективном режиме работы без использования предлагаемого резистора R , что соответствовало известному фотоприемнику (кривая 2). Как видно, ослабление коротковолновой составляющей здесь наблюдалось всего в 4 раза.

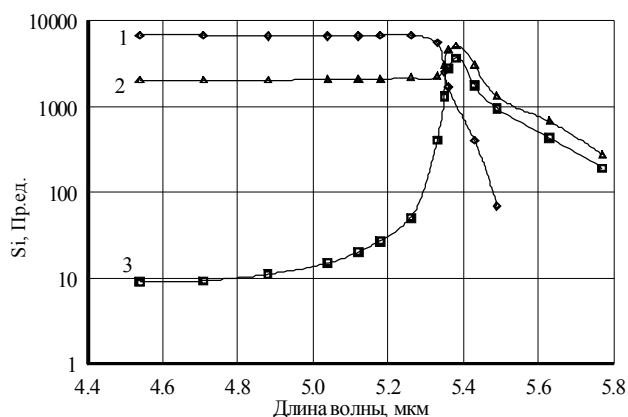


Рис.2. Спектральные характеристики фотоприемника

Таким образом, рассматриваемый фотоприемник по сравнению с известными обеспечивает более высокую избирательность в селективном режиме работы. Предлагаемый фотоприемник выгодно отличается возможностью электронного управления и может быть использован в цепях автоматики, телемеханики и оптоэлектроники, особенно там, где требуется высокое быстродействие в перестройке спектральной характеристики. Дополнительным преимуществом такого фотоприёмника является геометрическая совмещенность чувствительной области широкополосного и селективного каналов. Это позволяет использовать сравнительно простые оптические системы и не требует устройств сканирования для последовательного проецирования изображения объекта на разнесенные площадки.

1. Гусев О.К., Тявловский К.Л., Воробей Р.И. и др. Фотоприемники на основе собственных полупроводников для построения измерительных преобразователей // Метрология и приборостроение. 2017. №2. С.32–40.
2. Медведев А., Гринкевич А., Князева С. Мультиспектральные системы различного назначения // Фотоника. 2015. № 5(53). С.68–81.
3. Дмитриев Е. Динамическая перестройка спектральной чувствительности фотоприемных устройств // 2007. Фотоника. № 2. С.24–27.
4. А. с. №383125 СССР, МКИ⁵ H01L 31/0224. Полупроводниковый фоточувствительный прибор / А.А.Гуткин, М.В.Дмитриев, Д.Н.Наследов. Заявл. 22.03.1971. Оpubл. 23.05.1973. 3 с.
5. Исмаилов Н.Д. Фотоприемник с управляемой напряжением спектральной характеристикой фоточувствительности на основе $\text{CdHg}_{1-x}\text{Te}$ // Физика и техника полупроводников. 2009. Т.43. №3 С.396–398.

References

1. Gusev O.K., Tyavlovsky K.L., Vorobei R.I., et al. Fotopriyemniki na osnove sobstvennykh poluprovodnikov dlya postroyeniya izmeritel'nykh preobrazovateley [Photodetectors based on their own semiconductors for the construction of measuring transducers]. Metrologiya i priborostroyeniye, 2017, no. 2, pp. 32–40.
2. Medvedev A., Grinkevich A., Knyazeva S. Mul'tispektral'nyye sistemy razlichnogo naznacheniya [Multispectral systems for various purposes]. Fotonika — Photonics Russia, 2015, no. 5(53), pp. 68–81.
3. Dmitriev Ye. Dinamicheskaya perestroyka spektral'noy chuvstvitel'nosti fotopriyemnykh ustroystv [Dynamic restructuring of the spectral sensitivity of photodetectors]. Fotonika — Photonics Russia, 2007, no. 2, pp. 24–27.
4. Gutkin A.A., Dmitriev M.V., Nasledov D.N. A. S. No. 383125 USSR, MKI5 H01L 31/0224. Poluprovodnikovyy fochuvstvitel'nyy pribor [Semiconductor photosensitive device]. Appl. on 22.03.1971. Publ. on 23.05.1973. 3 p.
5. Ismailov N.D. Fotopriyemnik s upravlyayemoy napryazheniyem spektral'noy kharakteristikoy fochuvstvitel'nosti na osnove $\text{CdHg}_{1-x}\text{Te}$ [Photodetector with voltage-controlled photo-sensitivity spectral characteristic based on $\text{CdHg}_{1-x}\text{Te}$]. Fizika i tekhniki poluprovodnikov — Semiconductors, 2009, vol. 43, no. 3, pp. 396–398.