

БЫСТРОДЕЙСТВУЮЩИЙ ПРИЁМНИК ОПТИЧЕСКИХ ИЗЛУЧЕНИЙ

© В. Н. Мурашев¹, С. А. Леготин¹, Д. С. Ельников^{1,2}, К. А. Кузьмина¹

¹ НИТУ «МИСиС», кафедра ФПП и ППЭ, 119991, г. Москва, Ленинский пр., 4

² ОАО «НПП «Пульсар», 105187, г. Москва, Окружной пр., 27

Статья посвящена исследованию нового типа быстродействующего матричного приёмника оптических излучений на основе функционально интегрированных биполярных структур. Принцип действия матричного приёмника излучений основан на локальном усилении фототока, создаваемого излучением, биполярным транзистором в элементарной ячейке матричного фотоприёмника. Приведены результаты экспериментальных исследований чувствительности образцов.

Ключевые слова: матричный фотоприёмник, функционально-интегрированная структура

Сведения об авторах: Мурашев Виктор Николаевич, д.т.н., профессор, vnmurashev@mail.ru; Леготин Сергей Александрович, к.т.н., доцент, serlego@mail.ru; Ельников Дмитрий Сергеевич, аспирант, d.s.elnikov@gmail.com; Кузьмина Ксения Андреевна, ks-kuzmina@inbox.ru

Благодарности: Работа выполнена в рамках федеральной целевой программы «Развитие электронной компонентной базы и радиоэлектроники» на 2008-2015 годы», государственный контракт № 14.430.12.0001 от 30.09.2013

HIGH OPERATION SPEED PHOTODETECTOR

V. N. Murashev¹, S. A. Legotin¹, D. S. Elnikov^{1,2}, K. A. Kuzmina¹

¹ NUST «MISIS», 119991, Moscow, Leninskiy prospect, 4

² JCS «S&PE «Pulsar», 105187, Moscow, Okruzhnoy proezd, 27

This article is dedicated to the research of the new type of high-speed matrix optical radiation receiver based on functionally integrated bipolar structures. Matrix radiation receiver operating principle is based on the local reinforcement of photocurrent, made by the radiation, bipolar transistor in standard cell of matrix photoreceiver. Results of measurements of sensitive samples are presented.

Keywords: matrix photodetector, bipolar structure

Data of authors: Murashev Victor Nikolaevich, Sc.D., professor, vnmurashev@mail.ru; Legotin Sergey Aleksandrovich, Ph.D., associate professor, serlego@mail.ru; Elnikov Dmitry Sergeevich, postgraduate, d.s.elnikov@gmail.com; Kuzmina Kseniya Andreevna

Acknowledgements: Research was carried out as a part of Federal Special-purpose Program «Development of electronic component base and radioelectronics» for 2008-2015», Government Contract № 14.430.12.0001, 30.09.2013

Введение

Для регистрации оптического излучения широко применяются лавинные фотодиоды, планарные PIN-диоды и фототранзисторы [1, 2]. Каждый из этих приборов имеет свои

области применения, свои достоинства и недостатки. Лавинный фотодиод не имеет линейной зависимости выходного сигнала от падающего излучения. PIN-диод не способен усиливать фототок, биполярный тран-

зистор имеет невысокое быстродействие и низкую чувствительность при низком уровне инжекции. Поэтому разработка нового типа приёмников оптического излучения, сочетающих в себе лучшие качества других типов приёмников, является актуальной задачей.

Конструкция и технологические особенности создания приёмника

Матричный приёмник оптических излучений на основе функционально-интегрированных биполярных структур представляет собой массив вертикальных биполярных транзисторов. В отличие от приёмника, описанного в работе [1], где была реализована двухкоординатная выборка, эмиттер каждого из транзисторов соединён с соответствующей разрядной шиной X_i . Все разрядные шины подключены к общему выходу.

На рис. 1 представлена конструкция элементарной ячейки приёмника, которая представляет собой вертикальный биполярный п-р-п транзистор.

Фотоприёмник изготовлен на подложке КЭФ-5000. Область сильнолегированной базы транзистора формируется путём ионного легирования ионов бора с дозой 10 мкКл и энергией 100 кэВ через тонкий слой оксида. База выполняется в виде кольца. Слабелегированная активная

область транзистора формируется путём имплантации бора с энергией 100 кэВ. Примесь активируется в процессе кратковременного тридцатиминутного отжига при температуре 950 °С. Затем вскрываются контактные окна к областям эмиттера. Тонкий эмиттер формируется путём осаждения поликремния с последующим легированием его высокой дозой мышьяка.

Оценка эффективности фотоприёмника

Электронно-дырочные пары, созданные оптическим излучением в объёме коллектора, мгновенно стягиваются полем из области пространственного заряда в базу фототранзистора, где создают потенциал U_b . Переход эмиттер-база открывается, если $U_b > \varphi_k$, где φ_k – контактная разность потенциалов перехода эмиттер-база фототранзистора, которая для данного тех маршрута лежит в пределах 0,7-0,8 В.

Величину U_b оценим как потенциал, создаваемый генерированным излучением зарядом Q_i на суммарной ёмкости эмиттер-база C_{eb} и база-коллектор C_{cb} :

$$U_b = \frac{Q_i}{C_{eb} + C_{cb}}$$

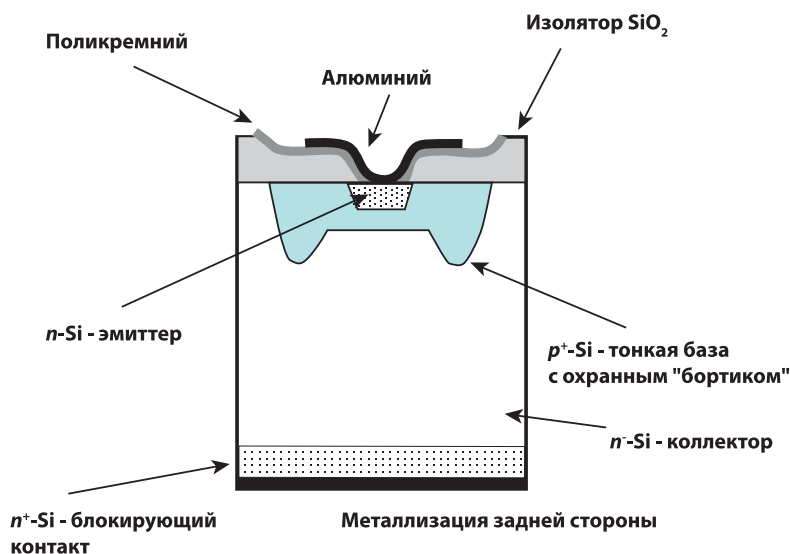


Рис. 1

Элементарная ячейка матричного фотоприёмника

При этом величину C_{cb} можно оценить, представив матрицу транзисторов с общим электродом коллектора как плоский конденсатор. Нижняя обкладка конденсатора - металлизация задней стороны (металлизация коллектора), верхняя обкладка – все базы матрицы. Толщина конденсатора равна толщине пластины d и составляет 300 мкм. Оценить ёмкость C_{cb} одной ячейки можно как

$$C_{cb} = \varepsilon_{Si} \cdot \varepsilon_0 \cdot s_1 \cdot s_2 \cdot d^{-1},$$

где s_1 и s_2 – шаг ячеек в микрометрах по горизонтальной и вертикальной осям, соответственно.

Для шага ячеек $s_1 = s_2 = 50$ мкм получим $C_{cb} = 0,9$ фФ. Такой подход к оценке ёмкости между периодическими структурами на лицевой стороне пластины и задней стороной пластины хорошо проверен при разработке матриц диодных детекторов (в особенности, стриповых) [3]. Он даёт корректный результат при условии, что шаг структур на лицевой стороне меньше, чем толщина пластины d .

Для оценки величины C_{eb} также можно воспользоваться приближением плоского конденсатора. В этом случае ёмкость эмиттер-база складывается из ёмкости C_{eb1} р-п-перехода эмиттер база и ёмкости C_{eb2} между базой и поликремнием, гальванически связанного с эмиттером.

В первом случае диэлектриком конденсатора служит толщина обеднённой области эмиттера при приложенном напряжении $\varphi_K = 0,7$ В. При этом база с концентрацией $N_b \sim 10^{17}$ см⁻³ практически не обедняется, а эмиттер с концентрацией $N_e \sim 10^{15}$ см⁻³ и толщиной 0,2 мкм обедняется полностью. Для заложенных в топологию размеров получим $C_{eb1} = 2,6$ фФ, $C_{eb2} = 11,5$ фФ. Полная величина ёмкости эмиттер-база составляет примерно 14 фФ, а суммарная ёмкость C_{cb} и C_{eb} – примерно 15 фФ. Таким образом, потенциал базы определяется в основном ёмкостью эмиттер-база.

Из условия открытия перехода эмиттер-база получим оценку для минимальной величины ионизационного за-

ряда $Q_{i\min}$, при которой начинается стабильное усиление заряда в пикселе:

$$Q_{i\min} = \varphi_K \cdot (C_{eb} + C_{cb}).$$

В нашем случае $Q_{i\min} \approx 10,5$ фКл. При меньшем накопленном заряде в базе нельзя ожидать уверенного открывания транзисторов, и, соответственно, коэффициент внутреннего усиления будет значительно ниже ожидаемого по статическим измерениям.

Сделанные расчёты носят приближённый характер из-за неточности оценки размеров эмиттера и глубины обеднения в базе. Кроме того модель прибора не учитывает, в частности, конечности времени сбора ионизационного заряда из коллектора и эффектов рекомбинации собранного заряда в базе. Это приводит к очевидно не физическому результату при большой ионизации, когда наша оценка даёт неограниченный рост величины U_b .

Можно сделать вывод, что для повышения чувствительности прибора нужно уменьшать ёмкость эмиттер-база. В используемой конструкции основное внимание нужно уделить уменьшению ёмкости между базой и поликремниевым эмиттером. Также можно сокращать размер эмиттера, что сокращает величину C_{eb1} , и увеличивать плотность установки пикселей, что приводит к уменьшению C_{cb} , однако эти ёмкости влияют на работу прибора в меньшей степени.

Результаты экспериментальных исследований

На рис. 2 представлена относительная спектральная характеристика фотоприёмника с размерами активной области 1x1 см. Установка для измерения обеспечивала монохроматическую засветку образца оптическим пучком с мощностью 1 мкВт·см⁻². При этом на общий коллектор транзисторов матричного массива подавалось напряжение $U_c = 5$ В. Темновой ток фотоприёмника I_t при данном значении U_c был равен 150 нА. Пиковая

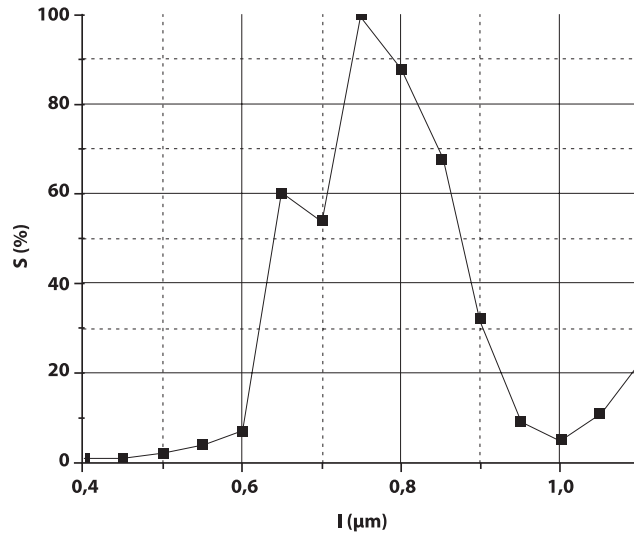


Рис. 2

Спектральная характеристика приёмника излучений

чувствительность фотоприёмника при заданных условиях измерения достигает значения $0,2 \text{ А}\cdot\text{Вт}^{-1}$.

Проведена оценка влияния величины входного оптического потока на величину выходного сигнала фотоприёмника (рис. 3). Так при общей освещённости поверхности фотоприёмника $E_1 = 1 \text{ лк}$ максимальный выходной сигнал достигает значения $0,7 \text{ мА}$, тогда как при освещённости $E_3 = 50 \text{ лк}$ выходной сигнал достигает значения 120 мА . Результаты исследования подтвердили закономерность, описанную выше — эффективное

усиление сигнала достигается при больших значениях входного потока.

Выводы

В работе описан и исследован приёмник оптических сигналов на основе биполярных транзисторных структур. Приведена теоретическая оценка эффективности усиления транзисторных структур фотоприёмника. Представлены результаты экспериментального исследования спектральной характеристики образца, и результаты оценки зависимости величины выходного сигнала от уровня входного оптического излучения.

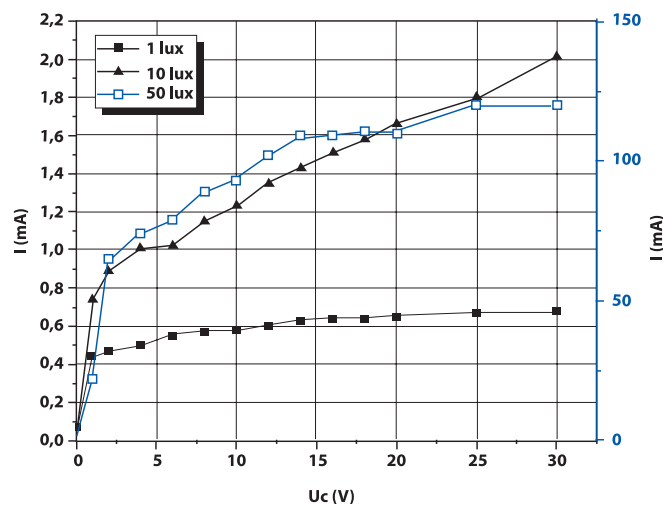


Рис. 3

Зависимость выходного сигнала от величины входного потока

Литература

1. Murashev V. N., Legotin S. A., Elnikov D. S., Didenko S. I., Rabinovich O. I. Silicon photodetectors matrix coordinate bipolar functionally integrated structures // *Journal of Nano- and Electronic Physics*, 2015, vol. 7, № 1, pp. 01009-1 - 01009-3.
2. Murashev V. N., Yurchuk S. Y., Legotin S. A., Yaromskiy V. P., Osipov Y. V., Astahov V. P., Elnikov D. S., Didenko S. I., Rabinovich O. I., Kuzmina K. A. Analysis of the p-i-n-structures electrophysical characteristics influence on the spectral characteristics sensitivity // *Journal of Nano- and Electronic Physics*, 2015, vol. 7, № 2, pp. 1-5.
3. Lutz G. *Semiconductor Radiation Detector*. Springer, 2007.

References

1. Murashev V. N., Legotin S. A., Elnikov D. S., Didenko S. I., Rabinovich O. I. Silicon photodetectors matrix coordinate bipolar functionally integrated structures // *Journal of Nano- and Electronic Physics*, 2015, vol. 7, № 1, pp. 01009-1 - 01009-3.
2. Murashev V. N., Yurchuk S. Y., Legotin S. A., Yaromskiy V. P., Osipov Y. V., Astahov V. P., Elnikov D. S., Didenko S. I., Rabinovich O. I., Kuzmina K. A. Analysis of the p-i-n-structures electrophysical characteristics influence on the spectral characteristics sensitivity // *Journal of Nano- and Electronic Physics*, 2015, vol. 7, № 2, pp. 1-5.
3. Lutz G. *Semiconductor Radiation Detector*. Springer, 2007.