

ИНФРОКРАСНЫЕ ПРИЕМНИКИ ИНФОРМАЦИИ НА ОСНОВЕ ПОЛУПРОВОДНИКОВЫХ КОМПОЗИТНЫХ МАТЕРИАЛОВ

Керимов Э. А.¹, Гаджиев М.М.², Иванова Л.В.³

¹Военная Академия Вооруженных Сил, Азербайджан,
AZ-1065, г. Баку, ул. Академика Ш. Мехтиева 136,

²Одесская национальная академия связи им. А.С. Попова,
65029, Украина, г. Одесса, ул. Кузнечная, 1,

³Одесский технический колледж Одесской национальной академии пищевых технологий,
65006, Украина, г. Одесса, ул. Балковская, 54.

E_Kerimov.fizik@mail.ru, gadjievmm@ukr.net, ivanova_l_v@ukr.net,

ИНФРОЧЕРВОНІ ПРИЙМАЧІ ІНФОРМАЦІЇ НА ОСНОВІ НАПІВПРОВІДНИКОВИХ КОМПОЗИТНИХ МАТЕРІАЛІВ

Керімов Е.А.¹, Гаджієв М.М.², Іванова Л.В.³

¹Воєнна Академія Збройних Сил, Азейбарджан,
AZ-1065, м. Баку, вул. Академіка Ш. Мехтієва, 136,

²Одеська національна академія зв'язку ім. О.С. Попова Україна,
65029 м. Одеса, вул. Кузнечна, 1,

³Одеський технічний коледж Одеської національної академії харчових технологій Україна,
65006, м. Одеса, вул. Балківська, 54.

E_Kerimov.fizik@mail.ru, gadjievmm@ukr.net, ivanova_l_v@ukr.net,

INFRARED INFORMATION RECEIVERS BASED ON SEMICONDUCTIVE COMPOSITE MATERIALS

Kerimov E.A.¹, Hadzhyiev M.M.², Ivanova L.V.³

¹Academy of the Armed Forces,
AZ-1065, Azerbaijan, Baku city, Sh. Mehtiyev street 136,

²Odessa National Academy of Telecommunications. O.S. Popova,
65029, Ukraine, Odessa, Kuznyechna ave., 1,

³Odessa Technical College Odessa National Academy of Food Technologies,
65006, Ukraine, Odesa, 54, Balkivska Str.

E_Kerimov.fizik@mail.ru, gadjievmm@ukr.net, ivanova_l_v@ukr.net,

Аннотация. В статье представлен фототранзистор (ПТШ – полевой транзистор Шоттки) с барьером Шоттки на основе контакта IrSi-Si индуцированного и р-канального встроенного типа, который имеет высокую фоточувствительность и более широкую область спектральной чувствительности по сравнению с диодами Шоттки и МОП (металл-оксид-полупроводник) и МДП (металл-диэлектрик-полупроводник) структурами. Исследованы вольтамперные характеристики затвора полевого транзистора, управляемого барьером Шоттки на основе контакта IrSi-Si, определена зависимость токов затвора от напряжения. Существенное увеличение коэффициента заполнения Шоттки-матриц достигается считыванием заряда, накопленного в диоде Шоттки, не с помощью ПЗС (приборы с зарядной связью) – регистров, а путем его инжекции в сигнальную шину, аналогично ПЗИ (приборы с зарядной инжекцией) – структурам на узкозонных полупроводниках. В этом случае многоэлементная матрица содержит горизонтальные шины, для опроса элементов выбранной строки, вертикальные сигнальные шины, МОП-ключ (металл-оксид-полупроводник) для подключения опрашиваемого столбца и матрицы фоточувствительных элементов, каждый из которых состоит из фоточувствительного диода Шоттки и МОП-ключа. Экспериментальным способом установлено что, зависимость тока затвора ПТШ с индуцированным каналом показывает, что для напряжения с ИК-излучением транзисторной структуры, положительный заряд, удерживаемый в пленке IrSi, разряжается в кремниевую пленку, образуя фототок в затворе полевого транзистора.

Рассмотренный ИК-детектор может быть совмещен с элементами интегральных схем, что открывает широкие перспективы для его использования в многоэлементных инфракрасных фотоприемниках большой степени интеграции.

Ключевые слова: барьер Шоттки, силицид иридия, геометрический шум, фоточувствительность, Шоттки-матрицы, отжиг, диодные структуры.

Анотація. У статті представлено фототранзистор (ПТШ - польовий транзистор Шотткі) з бар'єром Шотткі на основі контакту IrSi-Si індукованого і р-канального вбудованого типу, який має високу фоточутливість і ширшу область спектральної чутливості порівнянно з діодами Шотткі і МОН (метал-оксид-напівпровідник) і МДН (метал-діелектрик-напівпровідник) структурами. Досліджено вольтамперні характеристики заслону польового транзистора, керованого бар'єром Шотткі, на основі контакту IrSi-Si, визначена залежність струмів заслону від напруги. Істотне збільшення коефіцієнта заповнення Шотки-матриць досягається зчитуванням заряду, накопиченого в діоді Шотки, не з допомогою ПЗЗ (прилади із зарядним зв'язком) – реєстрів, а шляхом його інжекції у сигнальну шину, аналогічно ПЗІ (прилади із зарядною інжекцією) – структура на вузькозонних напівпровідниках. В цьому випадку багатоелементна матриця містить горизонтальні шини для опитування елементів вибраного рядка, вертикальні сигнальні шини, МОН-ключ для підключення опитуваного стовпця і матриці фоточутливих елементів, кожен з яких складається з фоточутливого діод Шотки діода і МОН-ключа. Експериментальним способом встановлено що, залежність струму заслону ПТШ з індукованим каналом показує, що для напруги з інфрачервоним випромінюванням транзисторної структури, позитивний заряд, утримуваний в плівці IrSi, розряджається в кремнієву плівку, утворюючи фотострум в заслоні польового транзистору. Розглянутий інфрачервоний детектор може бути поєднаний з елементами інтегральних схем, що відкриває широкі перспективи для його використання в багатоелементних інфрачервоних фотоприймачах великого ступеня інтеграції.

Ключові слова: бар'єр Шотки, силіцид іридію, геометричний шум, фоточутливість, Шотки-матриці, відпал, діодні структури.

Abstract. The article presents a phototransistor (PTSH - Schottky field-effect transistor) with a Schottky barrier based on an IrSi-Si contact and an p-channel type, which has a high photosensitivity and a more wider region of spectral sensitivity compared to Schottky diodes and MOS (metal oxide semiconductor) and MDS (metal-dielectric-semiconductor) structures. The current-voltage characteristics of brech-block of the field-effect transistor controlled by the Schottky barrier are investigated on the basis of the IrSi-Si contact. The dependence of brech-block currents on the voltage is determined. Essential increasing of Schottky-matrixes filling coefficient is enriched by charge readout, stored in diode Schottky, not with help DCC (devices with charge coupling) – registers, but by its injection in to signal wire, by analogy with DCI (devices with charge injection) – to structures on narrow-band gap semiconductors. In this case multi element matrix contains horizontal wires for inquiry elements selected line, vertical signal wires, MOS-key (metal-oxide-semiconductor) for connection interrogated column and matrix of photosensitive elements, every of them consist of photosensitive diode Schottky and MOS-key. By it is an experimental method set that, dependence of current of brech-block of the field transistor of Schottky shows with the induced channel, that for tension with the infrared of transistor structure, the positive charge retained in tape of IrSi runs down in silicic tape, forming a photoelectric in the aim of brech-block. The considered infrared Sensor can be combined with the elements of the integrated circuits, that opens wide prospects for his use in multielement infrared photos receivers of large degree of integration.

Key words: Schottky barrier, iridium silicide, geometric noise, photosensitivity, Schottky-matrixes, annealing, diode structures.

Чувствительность приемных устройств, использующих многоэлементные матрицы Шоттки-диодов, как и других многоэлементных приемников, зависит от отношения площади, занимаемой непосредственно фоточувствительной поверхностью ко всей площади приемника, включая и считывающую структуру.

При использовании в качестве считывающей системы ПЗС-регистров в состав многоэлементного приемника должны входить электроды передачи зарядов и сигнальные шины сдвигового регистра, стоп-канальные области, электроды считывающих затворов и т.д. По этой причине относительная доля фоточувствительной площади в многоэлементных Шоттки-матрицах (иногда ее называют коэффициентом заполнения), мала [1]. Например, в одном из первых двухкоординатных диодов матриц-Шоттки, она составляла лишь 16,4%.

Путем уменьшения размеров элементов считывающей структуры, стоп-каналов и других нефоточувствительных областей удалось повысить коэффициент заполнения при сохранении достаточно большого динамического диапазона считывающей структуры. Так, в одной из последних разработок фирмы RCA в матрице PtSi диодов Шоттки, состоящих из 160 x 244 элементов, коэффициент заполнения составил 39%. Предполагается дальнейшее уменьшение размеров нефоточувствительных областей матрицы, что согласно предположениям должно увеличить коэффициент заполнения до максимальной величины, равной 83%.

Для увеличения коэффициента заполнения матрицы можно также использовать оптическую преломляющую пластинку из прозрачного в ИК-области материала (кремния, германия), которую устанавливают в непосредственном контакте с той поверхностью матрицы, через которую происходит освещение приемных элементов. Эта пластинка должна изменять ход лучей таким образом, чтобы излучение фокусировалось только на фоточувствительные участки матрицы [2].

В последние годы разработан ряд новых фотоприемников: диодов Шоттки с МОП (металл-оксид-полупроводник) и МДП (металл-диэлектрик-полупроводник) структурами. Основными недостатками известных фотоприемников являются их низкая фоточувствительность и узкая область спектральной чувствительности [3].

Цель статьи – представить разработанный фототранзистор (ПТШ – полевой транзистор Шоттки) с барьером Шоттки на основе контакта IrSi-Si индуцированного и р-канального встроенного типа, который имеет высокую фоточувствительность и более широкую область спектральной чувствительности по сравнению с диодами Шоттки и другими МОП (металл-оксид-полупроводник) и МДП (металл-диэлектрик-полупроводник) структурами.

Изготовлен фототранзистор (ПТШ – полевой транзистор Шоттки) с барьером Шоттки на основе контакта IrSi-Si индуцированного и р-канального встроенного типа (рис. 1). Канал был сформирован внедрением ионов бора с энергией 50 кэВ и дозой $2,10^{12} \text{ см}^{-2}$. Истоки и стоки полевых транзисторов сформированы диффузией фосфора с поверхностным сопротивлением 8 Ом/квадрат и диффузией бора 6 Ом/квадрат на глубину 1,5 мкм. Затвор из IrSi получен ранее описанным методом. При работе ПТШ (полевой транзистор Шоттки) подложка 1 и исток 2 заземляются, а сток 3 соединяется через нагрузочное сопротивление с положительным полюсом источника. Таким образом, контакт Шоттки, образованный по методу пленками IrSi и кремнием 5, становится обратносмещенным. Поэтому пленка IrSi удерживает положительный заряд так, что полевой транзистор находится в открытом состоянии. При этом течет канальный ток, величина которого определяется нагрузочным сопротивлением и сопротивлением канала.

Исследованы вольтамперные характеристики затвора полевого транзистора, управляемого барьером Шоттки, на основе контакта IrSi-Si. Зависимость токов затвора от напряжения показаны на рис. 2.

При увеличении напряжения ток затвора увеличивается, что объясняется действием сил зеркального изображения темновой ток барьера Шоттки, описывается формулой:

$$I = SAT^2 \exp(-(\phi_b - \Delta\phi_b/kT)), \quad (1)$$

где S – площадь; A – эффективная постоянная Ричардсона; T – температура; ϕ_b – высота потенциального барьера.

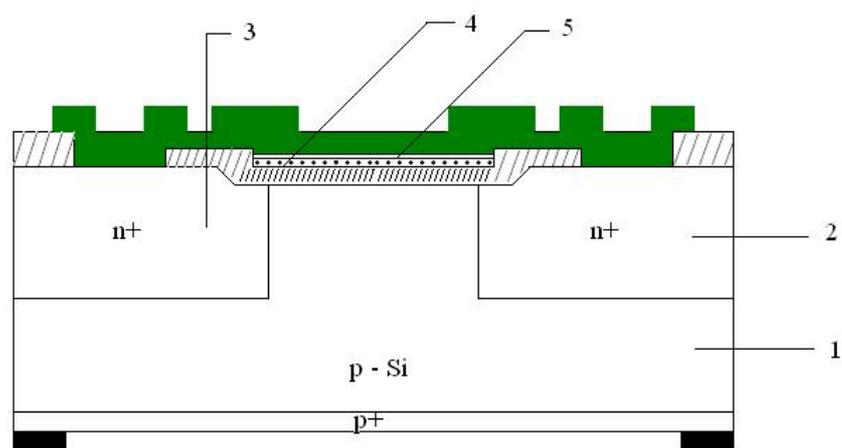


Рисунок 1 – Структура полевого транзистора с барьером Шоттки

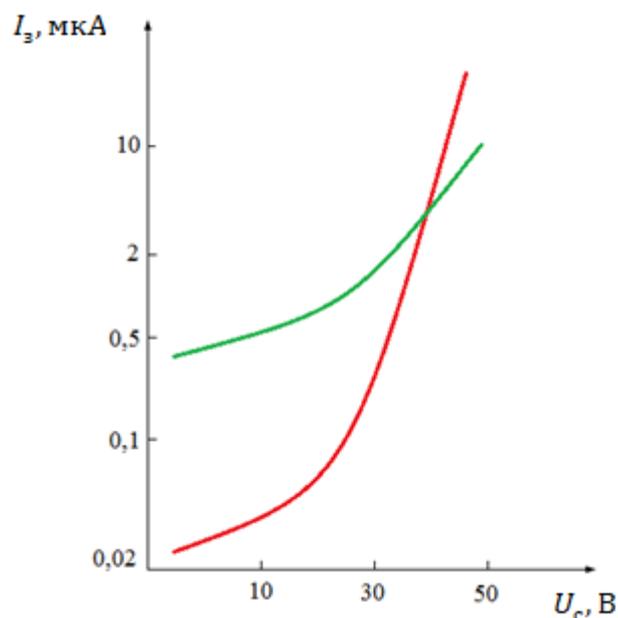


Рисунок 2 – Зависимость токов затвора от напряжения на стоке:
1 – при 80⁰ К; 2 – при 300⁰ К

Согласно [1,2] в режиме насыщения тока стока напряженность электрического поля в стоковой части канала на границе металл-полупроводник (IrSi) пропорциональна напряжению затвор-сток, поэтому изменение барьера определяется по формуле:

$$\Delta\varphi_{\text{б}} = \alpha\sqrt{U_{\text{зс}}} = \sqrt{qE/\varepsilon} , \quad (2)$$

а ток обратно смещенного барьера

$$I = \text{SAT}^2 \frac{\exp(\alpha\sqrt{U_{\text{зс}}} + \alpha_{\text{б}})}{kT} \quad (3)$$

или

$$\ln \tau = \ln \text{SAT}^2 - \frac{\varphi_{\text{б}}}{kT} + \frac{2\sqrt{U_{\text{зс}}}}{kT} . \quad (4)$$

Зависимость тока затвора ПТШ с индуцированным каналом показывает, что напряжения с ИК-излучением транзисторной структуры, положительный заряд, удерживаемый в пленке IrSi, разряжается в кремниевую пленку, образуя фототок в затворе полевого транзистора, поэтому наблюдается падение напряжения на затворе в виде:

$$\Delta V_3 = I_\Phi R_{из}, \quad (5)$$

где I_Φ – фототок; $R_{из}$ – сопротивление канала исток-затвор.

Изменение напряжения на затворе:

$$g = -dI_c/dV_3, \quad (6)$$

где g – крутизна, I_c – ток, проходящий через канал, вызывает изменение тока через канал на:

$$\Delta I_c = g\Delta V_3 = gI_\Phi R_{из}. \quad (7)$$

Чувствительность к излучению фототранзистора определяется:

$$\frac{\Delta I_c}{\Phi} = gR_{из}I/\Phi, \quad (8)$$

где Φ – мощность ИК-излучения.

На рис. 3 показана зависимость фототока в области насыщения от напряжения на полевом электроде.

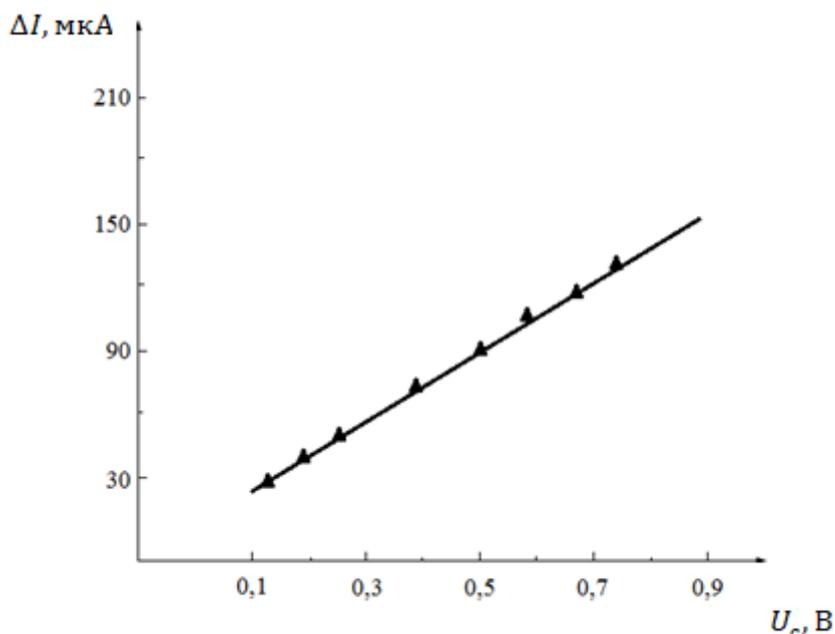


Рисунок 3 – Зависимость фототока от напряжения смещения

Экспериментальным способом установлено что, зависимость тока затвора ПТШ с индуцированным каналом показывает, что для напряжения с ИК-излучением транзисторной структуры, положительный заряд, удерживаемый в пленке IrSi, разряжается в кремниевую пленку, образуя фототок в затворе полевого транзистора. Поэтому наблюдается падение напряжения на затворе.

Разработанный фотоприемник имеет следующие параметры:

- область спектральной чувствительности: 7,5 ... 14,1 мкм;
- абсолютная токовая чувствительность при $\lambda = 9$ мкм; $S_\lambda = 6$ мА/ Вт;

- рабочая температура: 50 – 55 К;
- обнаруживающая способность: $D = 10^{11} \text{ см} \cdot \text{Гц}^{-1/2} \cdot \text{Вт}^{-1}$;
- инерционность: $\tau \leq 5 \cdot 10^{-9} \text{ с}$.

Рассмотренный ИК-детектор может быть совмещен с элементами интегральных схем, что открывает широкие перспективы для его использования в многоэлементных инфракрасных фотоприемниках большой степени интеграции.

ЛИТЕРАТУРА:

1. Курбатов И.Н. Оптоэлектроника видимого и инфракрасного диапазонов спектра /И. Н. Курбатов// МФТИ. – Москва, 1999. – 320 с.
2. Banhart F. Carbon Onions as Nanoscopic Pressure Cells for Diamond Formation. /F. Banhart, P.M. Ajayan// Publication: Nature – London, 1996. – P. 433.
3. Kukovecz A. Single Wall Carbon Nanotubes. /A. Kukovecz, Z. Konya, I. Kiricsi// Encyclopedia of Nano-Science and Nanotechnology ed. by H.S. Nalwa. American scientific publishers – 2004. – Vol. 9. – P. 923–946.

REFERENCES:

1. Kurbatov L.N. "Optoelectronics of Visible and Infrared Spectrum." Moscow (1999): 320.
2. Banhart F., Ajayan P.M. "Carbon Onions as Nanoscopic Pressure Cells for Diamond Formation." Nature no.382 (1996): 433.
3. Kukovecz A., Konya Z., Kiricsi I. "Single Wall Carbon Nanotubes." Encyclopedia of Nano-Science and Nanotechnology. Ed. by H.S. Nalwa. Valencia vol. 9 (2004): 923–946.

DOI 10.33243/2518-7139-2019-1-1-66-71