

УДК 621.383.5

ИССЛЕДОВАНИЕ ФОТОПРИЕМНИКОВ С БАРЬЕРАМИ ШОТТКИ НА ОСНОВЕ КОНТАКТА IRSI–SI

© 2023 г. Э. А. Керимов*

Государственный технический университет, пр. Г. Джавида, 25, Баку, AZ 1073 Азербайджан

*E-mail: E_Kerimov.fizik@mail.ru

Поступила в редакцию 21.11.2021 г.

После доработки 10.01.2022 г.

Принята к публикации 11.01.2022 г.

Существенное увеличение коэффициента заполнения Шоттки-матриц достигается считыванием заряда, накопленного в Шоттки-диоде, не с помощью ПЗС (приборы с зарядовой связью) – регистров, а путем его инъекции в сигнальную шину, аналогично ПЗИ (приборы с зарядовой инъекцией) – структурам на узкозонных полупроводниках. В этом случае многоэлементная матрица содержит горизонтальные шины для опроса элементов выбранной строки, вертикальные сигнальные шины, МОП (металл–оксид–полупроводник) – ключ для подключения опрашиваемого столбца и матрицы fotocувствительных элементов, каждый из которых состоит из fotocувствительного Шоттки диода и МОП-ключа.

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

DOI: 10.31857/S0544126922030048, **EDN:** CXXNWH

1. ВВЕДЕНИЕ

Чувствительность приемных устройств, использующих многоэлементные матрицы Шоттки-диодов, как и других многоэлементных приемников, зависит от отношения площади, занимаемой непосредственно fotocувствительной 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 fotocувствительной площади в многоэлементных Шоттки-матрицах (иногда ее называют коэффициентом заполнения), мала. Например, в одной из первых двухкоординатных матриц Шоттки диодов, 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 IrSi Шоттки-диодов, состоящих из 160×244 элементов, коэффициент заполнения составил 39%. Предполагается дальнейшее уменьшение размеров нефоточувствительных областей матрицы, что со-

гласно 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 fotocувствительные участки матрицы.

В последние годы разработан ряд новых фотоприемников: диодов Шоттки, МОП (металл–оксид–полупроводник) и МДП (металл–диэлектрик–полупроводник) структуры. Основными недостатками известных фотоприемников являются их низкая fotocувствительность и узкая область спектральной чувствительности. По сравнению с ДШ (диод Шоттки) и МДП-структур, фототранзистор одновременно выполняет роль предусилительного каскада.

2. ЭКСПЕРИМЕНТ

Изготовлен фототранзистор (ПТШ – полевой транзистор Шоттки) с барьером Шоттки на основе контакта IrSi–Si индуцированного и *p*-канал-

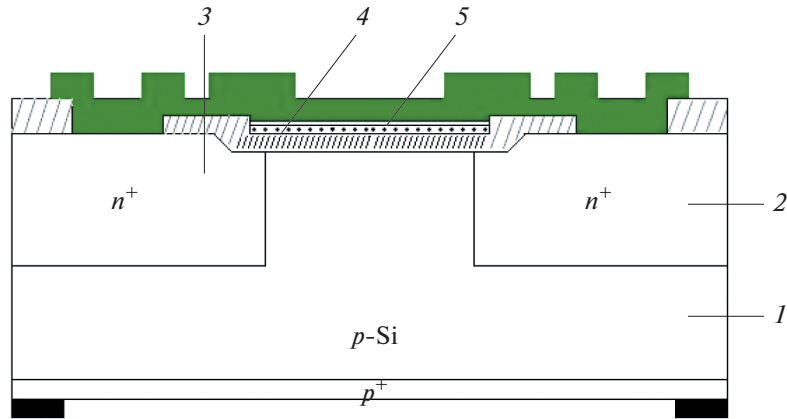


Рис. 1. Структура полевого транзистора с барьером Шоттки.

ный встроенного типа (рис. 1). Канал был сформирован внедрением ионов бора с энергией 50 кэВ и дозой $2 \times 10^{12} \text{ см}^{-2}$. Истоки и стоки полевых транзисторов сформированы диффузией фосфора с поверхностным сопротивлением $8 \text{ Ом}/\square$ и диффузией бора $6 \text{ Ом}/\square$ 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 методу пленками IrSi и кремнием 5, становится обратносмещенным. Поэтому пленка IrSi удерживает положительный заряд так, что полевой транзистор находится в откры-

том состоянии. При этом течет каналный ток, величина которого определяется нагрузочным сопротивлением и сопротивлением канала.

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

3. ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

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

$$I = SAT^2 \exp\left[-\frac{(\Phi_B - \Delta\Phi_B)}{kT}\right], \quad (1)$$

где S – площадь, A – эффективная постоянная Ричардсона, T – температура, Φ_B – высота потенциального барьера.

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

$$\Delta\Phi_B = \alpha\sqrt{U_{3C}} = \sqrt{\frac{qE}{\epsilon}}, \quad (2)$$

а ток обратносмещенного барьера

$$I = SAT^2 \frac{\exp(\alpha\sqrt{U_{3C}} + \alpha_B)}{kT}, \quad (3)$$

или

$$\ln \tau = \ln(SAT^2) - \frac{\Phi_B}{kT} + \frac{2\sqrt{U_{3C}}}{kT}. \quad (4)$$

Зависимость тока затвора ПТШ с индуцированным каналом показывает, что напряжения ИК-из-

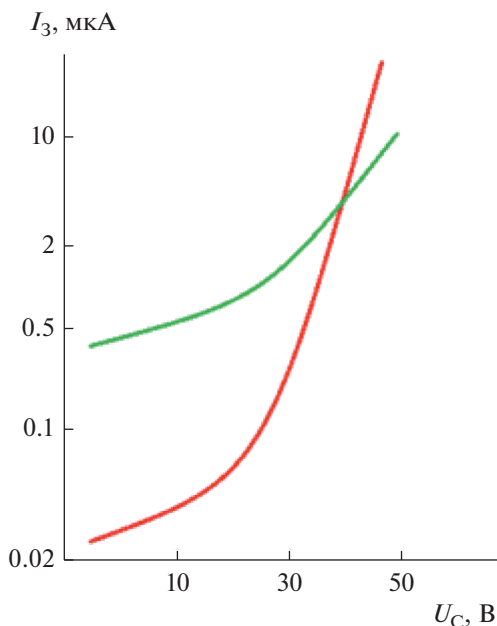


Рис. 2. Зависимость токов затвора от напряжения на стоке: 1 – при 80 К, 2 – при 300 К.

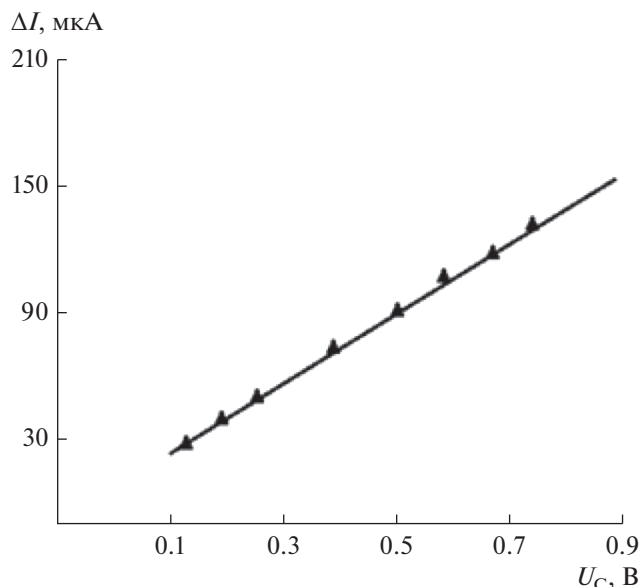


Рис. 3. Зависимость фототока от напряжения смещения.

лучением транзисторной структуры, положительный заряд, удерживаемый в пленке IrSi, разряжается в кремниевую пленку, образуя фототок в цепи затвора. Поэтому наблюдается падение напряжения на затворе в виде [3, 4]:

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

где I_{Φ} – фототок, $R_{\text{ИЗ}}$ – сопротивление канала исток – затвор.

Изменение напряжения на затворе:

$$g = -\frac{dI_C}{dV_3} \quad (6)$$

(где g – крутизна, I_C – ток проходящая через канал) вызывает изменение тока через канал на

$$\Delta I_C = g \Delta V_3 = g R_{\text{ИЗ}} I_{\Phi}. \quad (7)$$

Чувствительность к излучению фототранзистора определяется:

$$\frac{\Delta I_C}{\Phi} = \frac{g R_{\text{ИЗ}} I_{\Phi}}{\Phi}, \quad (8)$$

где Φ – мощность ИК-излучению.

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

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;

– обнаружительная способность: $D = 10^{11}$ см Гц^{-1/2} · Вт⁻¹;

– инерционность: $\tau \leq 5 \times 10^{-9}$ 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.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Выявлено что, 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 цепи затвора. Поэтому наблюдается падение напряжения на затворе.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Курбатов *Ж.Н.* Оптоэлектроника видимого и инфракрасного диапазонов спектра // М.: изд. МФТИ, 1999. 320 с.
2. Справочник по инфракрасной технике (ред. Волф У., Цисис Г., перевод с англ. под ред. Мирошникова М.М., Васильченко Н.В.). М.: “Мир”, 1999. 472 с.
3. Иванов *В.Г.*, Иванов *Г.В.*, Каменев *А.А.* Многоэлементные ИК-приемники на основе барьеров Шоттки, чувствительные к излучению с энергией квантов меньше высоты потенциального барьера // Оптический журн. 2008. № 8. С. 53–59.
4. Иванов *В.Г.*, Иванов *Г.В.*, Каменев *А.А.* Способ увеличения граничной длины волны ИК-детектора с барьером Шоттки, ИК-детектор и фотоприемная матрица, чувствительная к ИК-излучению: Пат. 2335823 Российской Федерации от 23.10.2006.