

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 фоточувствительных элементов, каждый из которых состоит из фоточувствительного Шоттки диода и МОП-ключа.

*Ключевые слова:* барьер Шоттки, силицид иридия, геометрический шум, фоточувствительность, 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 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. 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  $160 \times 244$  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 фоточувствительные 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 фоточувствительность 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-

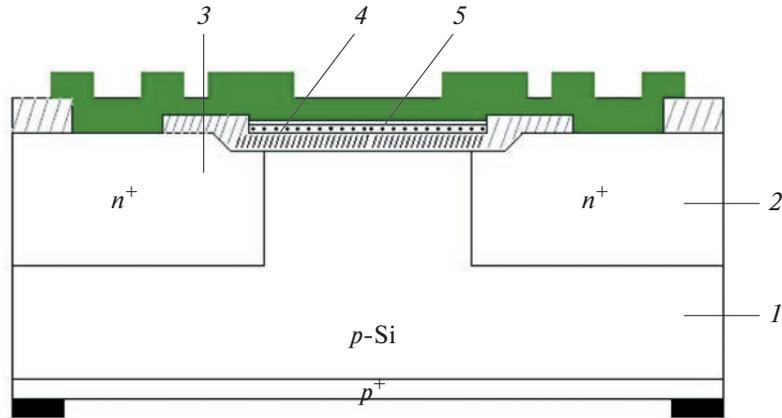


Рис. 1. Структура полевого транзистора с барьером Шоттки.

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,  $\Phi_B$  – 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 равно:

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

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-

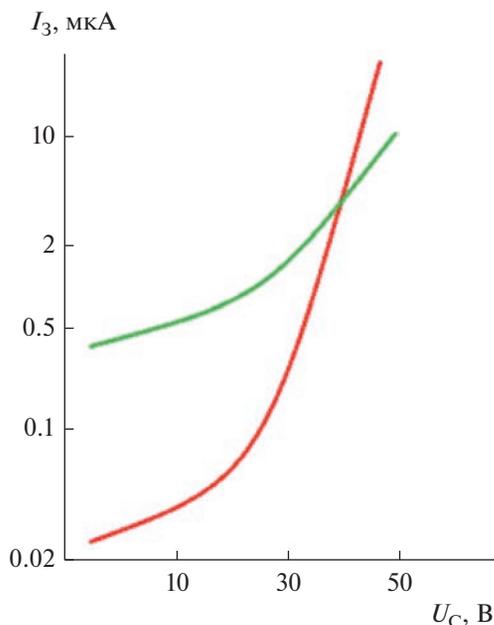


Рис. 2. Зависимость токов затвора от напряжения на стоке: 1 – при 80 К, 2 – при 300 К.

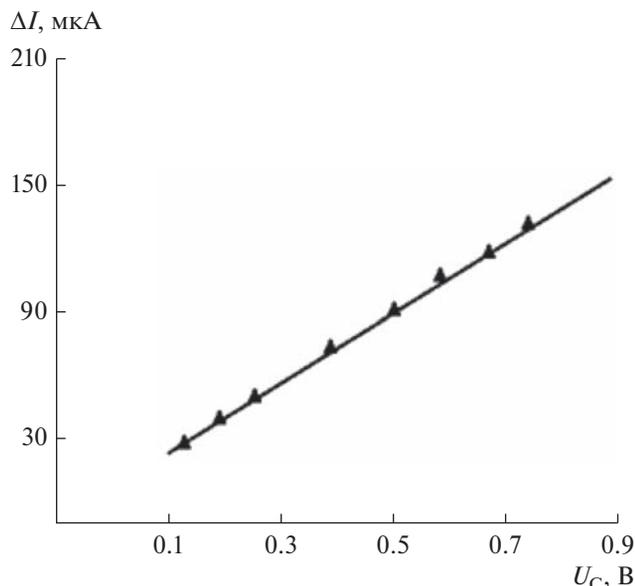


Рис. 3. Зависимость фототока от напряжения смещения.

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  $I_{\Phi}$  – 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  $\Phi$  – 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<sup>-1/2</sup> · Вт<sup>-1</sup>;

– 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.