

УДК 621.393.3:621.382:621.385

## ИССЛЕДОВАНИЕ ИНФРАКРАСНОЙ ФОТОГРАФИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ НА ОСНОВЕ КРЕМНИЯ, ЛЕГИРОВАННОГО ПЛАТИНОЙ

**Х. Т. Йулдашев, Ш. С. Ахмедов, З. Хайдаров**

*Ферганский политехнический институт,  
Фергана, Узбекистан*

Поступила в редакцию 22. 02. 2017

В работе исследовалась работоспособности полупроводниковой фотографической ионизационной камеры (ПФИК) со сверхтонкой газоразрядной ячейкой с использованием фотоприемных пластинок из кремния, легированного платиной. Экспериментально изучены вольтамперные характеристики, температурные зависимости, амперваттные характеристики, а также спектральные характеристики фототока в газоразрядной ячейке ПФИК.

**Ключевые слова:** фотографическая регистрация, инфракрасное излучение, электронно-оптический преобразователь, температурные зависимости, спектральные характеристики.

## ДОСЛІДЖЕННЯ ІНФРАЧЕРВОНОЇ ФОТОГРАФІЧНОЇ СИСТЕМИ НА ОСНОВІ КРЕМНІЮ, ЛЕГОВАНОГО ПЛАТИНОЮ

**Х. Т. Йулдашев, Ш. С. Ахмедов, З. Хайдаров**

В роботі досліджувалася працездатність напівпровідникової фотографічної іонізаційної камери (НФІК) з надтонкою газорозрядною коміркою з використанням фотоприймальних пластинок із кремнію, легованого платиною. Експериментально вивчено вольтамперні характеристики, температурні залежності, амперватні характеристики, а також спектральні характеристики фотоструму в газорозрядній комірці НФІК.

**Ключові слова:** фотографічна реєстрація, інфрачервоне випромінювання, електронно-оптичний перетворювач, температурні залежності, спектральні характеристики.

## INVESTIGATION OF INFRARED PHOTOGRAPHIC SYSTEM BASED ON SILICON DOPED WITH PLATINUM

**X. T. Yuldashev, Sh. S. Akhmedov, Z. Haydarov**

In the present work we investigated the performance of the semiconductor photographic ionization chamber with superfine gas discharge cell plates using a photodetector of the silicon doped with alloy addition platinum. Experimentally studied the current-voltage characteristics, temperature dependences, ampere watt characteristics and spectral characteristics of the photocurrent in the gas discharge cell.

**Keywords:** photographic recording, infrared, electro-optical transducer, the temperature dependence of spectral characteristics.

### 1. ВВЕДЕНИЕ

Полупроводниковая фотографическая система ионизационного типа остается наиболее перспективным устройством для регистрации оптических изображений в широком спектральном диапазоне [1, 2]. Удовлетворяя принципу управляемой фоточувствительности [3] эта система является приемлемой для удовлетворения инфракрасной фотографии. В настоящее время продолжают работы по созданию современных приборов с высокими фотографическими параметрами [4].

В полупроводниковой ионизационной камере (ПИК) фотоприемником (ФП)

инфракрасного излучения в диапазоне длин волн  $\lambda = 1,1-4,2$  мкм используется кремний, легированный платиной [5], а в диапазоне длин волн  $\lambda = 10,6$  мкм — кремний, легированный серой [6].

Авторами работы [7] экспериментально исследовано влияние степени компенсации уровней Si(S) на фотопроводимость в спектральной области 10,6 мкм. Проведены теоретические расчеты для одноуровневой системы при различной степени компенсации и для двух энергий активации ( $\Delta E$ ). Установлено, что в фотопроводимости на длине волны 10,6 мкм участвуют не менее двух уровней примеси.

В настоящей работе приводятся результаты исследований фотоэлектрических свойств полупроводниковых ФП, использованных в ионизационных системах.

## 2. МЕТОДИКА ЭКСПЕРИМЕНТОВ И ПОЛУЧЕННЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ

Основной частью ПИК является газоразрядная ячейка, которая заключена между фотоприемником и контрэлектродом. Контрэлектрод изготавливается из стеклянной пластинки с проводящим прозрачным покрытием  $\text{SnO}_2$  или из волоконно-оптической шайбы, также с покрытием  $\text{SnO}_2$ . При проецировании на поверхность фотоприемника инфракрасного (ИК) изображения объекта в нем возникает распределение фотопроводимости, повторяющее интенсивность падающего ИК излучения. При приложении между фотоприемником и прозрачным контрэлектродом достаточного по величине напряжения происходит пробой газоразрядного промежутка, благодаря автоэлектронной эмиссии с внутренней поверхности фотоприемника [8]. Распределение плотности тока и яркости свечения газоразрядной плазмы будет определяться распределением фотопроводимости полупроводникового фотоприемника.

### 2.1. Вольтамперные характеристики

Типичные вольтамперные характеристики (ВАХ) газоразрядной ячейки с фотоприемником из кремния р-типа проводимости, легированного платиной ( $p\text{-Si}\langle\text{Pt}\rangle$ ), приведены на рис. 1. Часть ВАХ захватывает интервал плотности токов  $10^{-9}$ – $10^{-7}$  А/см<sup>2</sup>, который ранее при изучении газоразрядных ячеек с полупроводниковыми электродами практически никогда не исследовался, поскольку при существовавших методах регистрации изображений в использованных фотоприемниках был неактуальным. Таким образом, проведенные измерения впервые осуществлены в области низких уровней плотностей токов в газоразрядной ячейке.

Из ВАХ следует, что в области напряжений, непосредственно следующих за напряжением пробоя газового промежутка, наблюдается участок сверхлинейного нарастания тока с наклоном, который увеличивается по мере

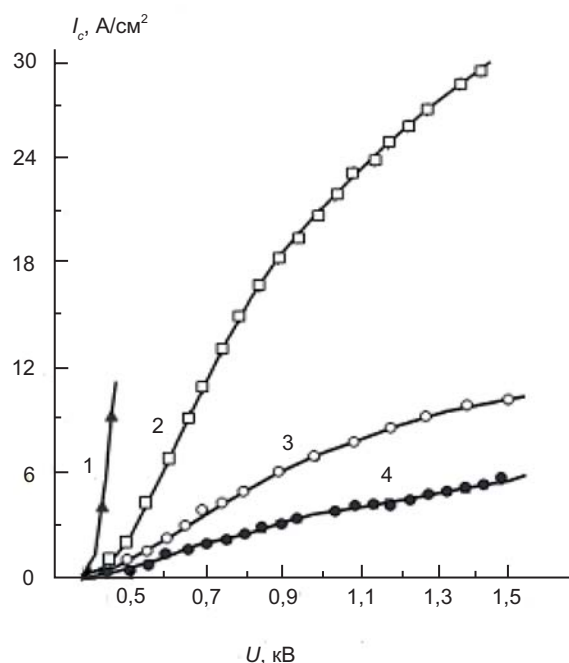


Рис. 1. Вольтамперные характеристики газоразрядной ячейки ПФИК при разных мощностях ИК излучения  $J$ : 1 —  $1,6 \cdot 10^{-4}$  Вт/см<sup>2</sup>, 2 —  $5,3 \cdot 10^{-6}$  Вт/см<sup>2</sup>, 3 —  $1,8 \cdot 10^{-6}$  Вт/см<sup>2</sup>, 4 —  $2,4 \cdot 10^{-7}$  Вт/см<sup>2</sup>

роста проводимости полупроводникового электрода. При дальнейшем возрастании напряжения сверхлинейный участок переходит в линейный. Причиной наблюдаемого хода ВАХ является, по-видимому, то обстоятельство, что на начальной стадии развития таунсендовского разряда дифференциальное сопротивление разрядного промежутка велико и сравнимо с омическим сопротивлением полупроводникового электрода. Линейный участок ВАХ не имеет тенденции к суперлинейности, т. е. при рабочих напряжениях ПФИК, вплоть до  $1,6 \cdot 10^3$  В не возникает монополярной инжекции из контактов и других нелинейных процессов.

Отметим, что снижение порога регистрируемой минимальной плотности тока в ПФИК напрямую связано с возможностью осуществления эффекта стабилизации и управления током газового разряда при малых плотностях тока несамоостоятельного разряда в газовом промежутке. Поскольку при описанных выше опытах контролировалась равномерность свечения экрана и формирование изображения, причем для плотностей токов до  $10^{-9}$  А/см<sup>2</sup> они были вполне удовлетворительными, можно ожидать, что естественный предел

снижения величины пороговой регистрируемой минимальной плотности тока при стационарном освещении лежит значительно ниже, чем это зафиксировано в настоящей работе.

## 2.2. Спектральные характеристики газоразрядной ячейки с фотоприемником из $p\text{-Si}\langle\text{Pt}\rangle$

Для спектральных исследований была собрана установка, в которой фотографируемым и наблюдаемым объектом являлась щель ИК монохроматора (монохроматор фирмы «Карл Цейс Йена тип S-10/2603» с призмой  $\text{NaCl}$  и источником света типа «Глобар»). Изображение щели проектировалось двояковыпуклой линзой из  $\text{BaF}_2$  на приемную поверхность фотоприемника ПФИК. Интенсивность излучения, падающего на фотоприемник, была определена прямыми измерениями метрологическим термостолбиком типа ЛЭТИ с чувствительностью 0,72 В/Вт.

На рис. 2. приведена спектральная характеристика фототока в ПФИК в диапазоне чувствительности фотоприемного элемента  $h\nu = 0,3\text{--}1,2$  эВ ( $\lambda = 1\text{--}4,13$  мкм) из  $p\text{-Si}\langle\text{Pt}\rangle$ . Полученная спектральная характеристика хорошо согласуется с данными работы [9]. В районе  $h\nu = 0,31$  эВ ( $\lambda = 4$  мкм) на длинноволновом краю спектрального диапазона фоточувствительность составляет примерно 8 % от максимального значения. Во всем заданном диапазоне ИК излучения получены удовлетворительные изображения выходной щели монохроматора.

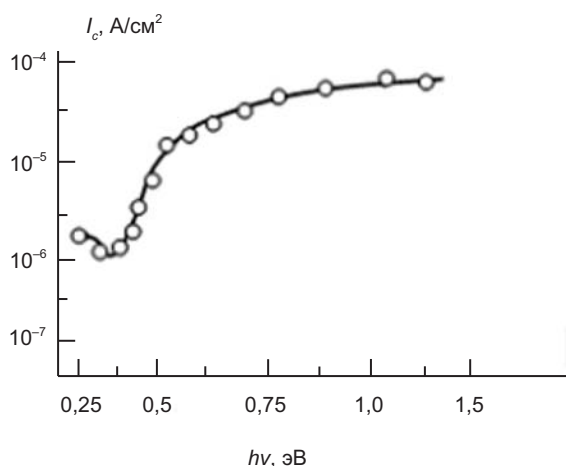


Рис. 2. Спектральные характеристики фототока в газоразрядной ячейке ПФИК

На рис. 3 приведены температурные зависимости темнового и фототоков. Как видно из кривых, фототок в широком диапазоне температур вплоть до 125 К остается неизменным, что является весьма важным признаком при эксплуатации ПФИК. Из температурных зависимостей темнового тока можно определить энергии ионизации эмиттерного уровня примеси платины в кремнии. Рассчитанная энергия ионизации примеси составляет  $\Delta E = 0,317$  эВ, что согласуется с результатами работ [10].

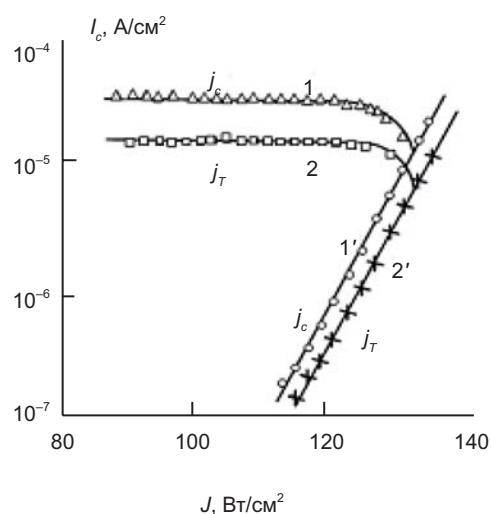


Рис. 3. Температурные зависимости темнового и фототоков в газоразрядной ячейке ионизационной камеры для двух разных исходных удельных сопротивлений  $\rho$  фотоприемников из  $p\text{-Si}\langle\text{Pt}\rangle$ : 1 и 1'—0,41 Ом·см; 2 и 2'—1,25 Ом·см

На рис. 4 приведены ампер-ваттные зависимости сверхтонкой газоразрядной ячейки ПФИК, снятые в трех участках спектрального диапазона длин волн  $\lambda$ : 1 — 1,1–2,3 мкм, 2 — 1,6–3,4 мкм, 3 — 2,6–4,2 мкм

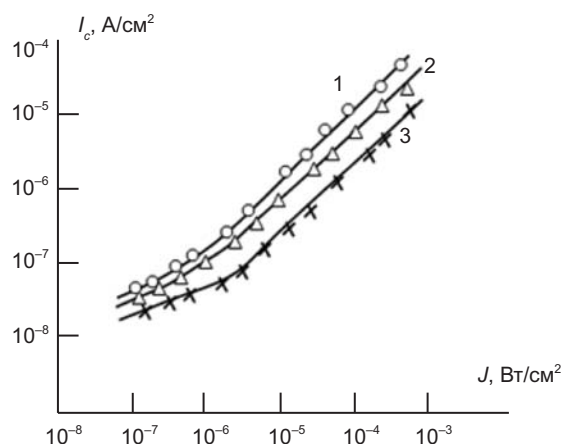


Рис. 4. Ампер-ваттные характеристики ПФИК с фотоприемником из  $p\text{-Si}\langle\text{Pt}\rangle$  для трех разных областей спектрального диапазона длин волн  $\lambda$ : 1 — 1,1–2,3 мкм, 2 — 1,6–3,4 мкм, 3 — 2,6–4,2 мкм

спектральной области чувствительности при  $\Delta\lambda = 1,1-2,3$  мкм,  $\Delta\lambda = 1,6-3,4$  мкм и  $\Delta\lambda = 2,6-4,2$  мкм. Зависимость имеет широкий диапазон линейности и допускает фотографическую регистрацию изображений при пороговой регистрируемой мощности излучения до  $10^{-7}$  Вт/см<sup>2</sup> за время экспонирования в интервале  $(0,1-2 \cdot 10^{-3})$  с.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом можно создать прибор ночного видения и пространственно-временной диагностический прибор для исследования ИК излучений объектов в ближней области длин волн при температуре термоэлектрического охладителя и дальней области длин волн при температуре жидкого азота. Применение ПИК для обнаружения дефектов и неоднородностей твердых и жидких веществ делает ее еще более современной, то есть этот метод является более дешевым и простым. Необходимо отметить, что результаты исследований с применением ПИК всегда воспроизводимы.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Йулдашев Х. Т., Хайдаров З. Новый фотографический эффект в сверхтонкой газоразрядной ячейке с полупроводниковым электродом // Прикладная физика. — 2016. — № 5. — С. 75–80.
2. Йулдашев Х. Т., Касымов Ш. С., Хайдаров З. Фотопреобразователь ИК-изображений со сверхтонкой газоразрядной ячейкой и люминофором // Прикладная физика. — 2016. — № 2. — С. 94–99.
3. Йулдашев Х. Т., Касымов Ш. С., Хайдаров З. Усилительные процессы в газоразрядной ячейке, состоящей из полупроводника с плазменными контактами // Журнал физики и инженерии поверхности. — 2016. — Т. 1, № 3. — С. 268–273.
4. Лодыгин А. Н., Астров Ю. А., Порцель Л. М., Берегулин Е. В. Динамика таунсендовского разряда в аргоне // ЖТФ. — 2015. — Т. 85, № 5. — С. 27–31.
5. Хайдаров З. Исследование сверхтонкой газоразрядной ячейки с полупроводниковым электродом из кремния, легированного платиной // ФИП. — 2011. — Т. 9, № 4. — С. 385–389.

6. Сиябеков Х. Б., Туланов В. Т. Фотопроводимость кремния, легированного серой, в спектральном диапазоне 10,6 мкм // ФТП. — 1997. — Т. 31, № 12. — С. 1425–1427.
7. Горлин Г. Б., Туланов В. Т., Сиябеков Х. Б. Влияние степени компенсации уровней серы на фотопроводимость кремния в спектральной области 10,6 мкм // ЖТФ. — 1997. — Т. 67, № 10. — С. 142–143.
8. Йулдашев Х. Т., Касымов Ш. С. Исследование характеристик полупроводникового фотопреобразователя ионизационного типа со сверхтонкой газоразрядной ячейкой // ФИП. — 2015. — № 2. — С. 137–141.
9. Астров Ю. А., Ахмедова М. М., Лебедева А. А., Мамадалимов А. Т., Парицкий Л. Г., Порцель Л. М., Юсупов П. Полупроводниковая фотографическая система и преобразователь изображений ионизационного типа на основе кремния, компенсированного платиной. — М.: (Деп. в ВИНТИ.: № 19763 — 76Деп), 1976. — 15 с.
10. Астров Ю. А., Парицкий Л. Г., Рывкин С. М. Исследование быстродействия полупроводниковых преобразователей изображений ионизационного типа. — М.: (Деп. В ЦНИИ «Электроника».: № Деп — 2472/78), 1978. — 22 с.

## REFERENCES

1. Juldashv H. T., Hajdarov Z. Novyj fotograficheskij effekt v sverhtonkoj gazorazryadnoj yachejke s poluprovodnikovym elektrodom // Prikladnaya fizika. — 2016. — No. 5. — P. 75–80.
2. Juldashv H. T., Kasymov Sh. S., Hajdarov Z. Fotopreobrazovatel' IK-izobrazhenij so sverhtonkoj gazorazryadnoj yachejkoj i lyuminoforom // Prikladnaya fizika. — 2016. — No. 2. — P. 94–99.
3. Juldashv H. T., Kasymov Sh. S., Hajdarov Z. Usilitel'nye processy v gazorazryadnoj yachejke, sostoyashej iz poluprovodnika s plazmennymi kontaktami // Zhurnal fiziki i inzhenerii poverhnosti. — 2016. — Vol. 1, No. 3. — P. 268–273.
4. Lodygin A. N., Astrov Yu. A., Porcel' L. M., Beregulin E. V. Dinamika taunsendovskogo razryada v argone // ZhTF. — 2015. — Vol. 85, No. 5. — P. 27–31.
5. Hajdarov Z. Issledovanie sverhtonkoj

- gazorazryadnoj yachejki s poluprovodnikovym elektrodom iz kremniya, legirovannogo platinoj // FIP. — 2011. — Vol. 9, No. 4. — P. 385–389.
6. Siyabekov H. B., Tulanov V. T. Fotoprovodimost' kremniya, legirovannogo seroj, v spektral'nom diapazone 10,6 mkm // FTP. — 1997. — Vol. 31, No. 12. — P. 1425–1427.
7. Gorlin G. B., Tulanov V. T., Siyabekov H. B. Vliyanie stepeni kompensacii urovnej sery na fotoprovodimost' kremniya v spektral'noj oblasti 10,6 mkm // ZhTF. — 1997. — Vol. 67, No. 10. — P. 142–143.
8. Juldashev H. T., Kasymov Sh. S. Issledovanie harakteristik poluprovodnikovogo foto-preobrazovatelya ionizacionnogo tipa so sverhtonkoj gazorazryadnoj yachejkoj // FIP. — 2015. — No. 2. — P. 137–141.
9. Astrov Yu. A., Ahmedova M. M., Lebedeva A. A., Mamadolimov A. T., Parickij L. G., Porcel' L. M., Yusupov P. Poluprovodnikovaya fotograficheskaya sistema i preobrazovatel' izobrazhenij ionizacionnogo tipa na osnove kremniya, kompensirovannogo platinoj. — M.: (Dep. v VINITI.: No. 19763 — 76Dep), 1976. — 15 p.
10. Astrov Yu. A., Parickij L. G., Ryvkin S. M. Issledovanie bystrodejstviya poluprovodnikovyh preobrazovatelej izobrazhenij ionizacionnogo tipa. — M.: (Dep. V CNII «Elektronika».: No. Dep — 2472/78), 1978. — 22 p.