

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

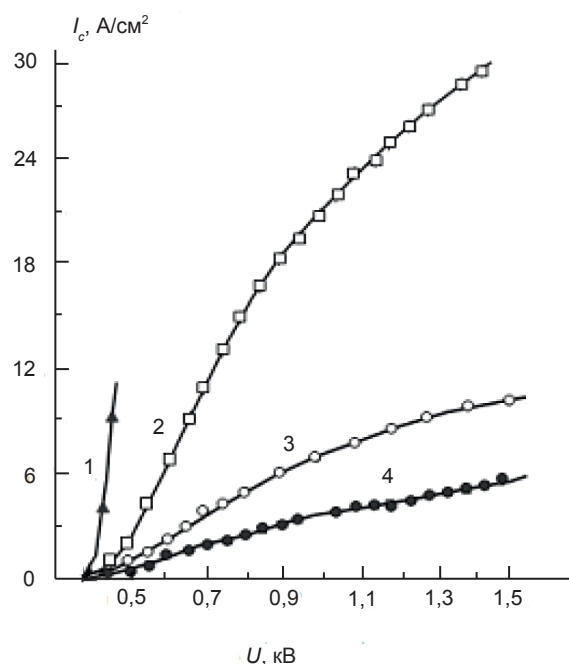


Рис. 1. Вольтамперные характеристики газоразрядной ячейки ПФИК при разных мощностях ИК излучения  $J$ : 1 —  $1,6 \cdot 10^{-4}$  Вт/см<sup>2</sup>, 2 —  $5,3 \cdot 10^{-6}$  Вт/см<sup>2</sup>, 3 —  $1,8 \cdot 10^{-6}$  Вт/см<sup>2</sup>, 4 —  $2,4 \cdot 10^{-7}$  Вт/см<sup>2</sup>

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*-Si<Pt>

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 NaCl и источником света типа «Глобар»). Изображение щели проектировалось двояковыпуклой линзой из ВаF<sub>2</sub> 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  $h\nu = 0,3-1,2$  эВ ( $\lambda = 1-4,13$  мкм) из *p*-Si<Pt>. 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.

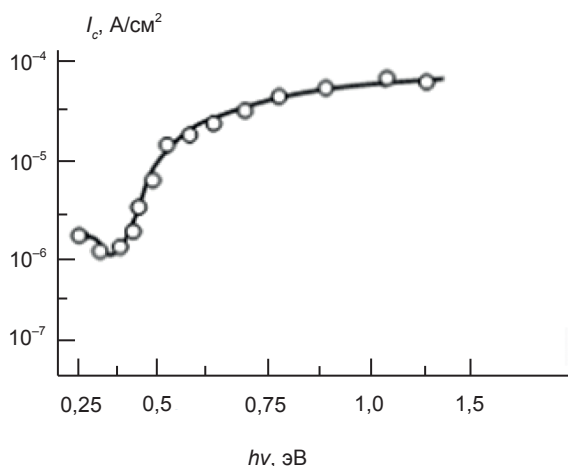


Рис. 2. Спектральные характеристики фототока в газоразрядной ячейке ПФИК

На рис. 3 приведены температурные зависимости темного 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 темного 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].

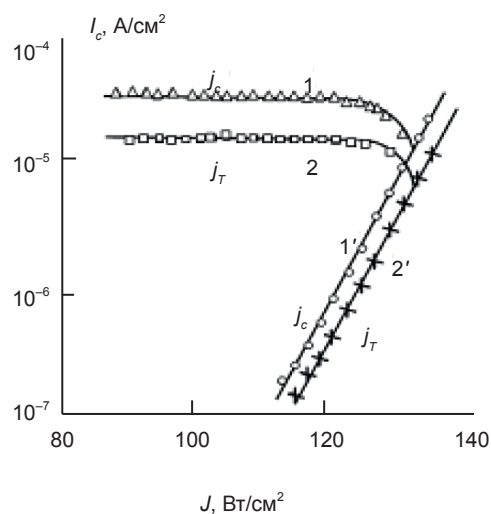


Рис. 3. Температурные зависимости темного и фототоков в газоразрядной ячейке ионизационной камеры для двух разных исходных удельных сопротивлений  $\rho$  фотоприемников из *p*-Si<Pt>: 1 и 1'—0,41 Ом·см; 2 и 2'—1,25 Ом·см

На рис. 4 приведены ампер-ваттные зависимости сверхтонкой газоразрядной ячейки ПФИК, снятые в трех участках

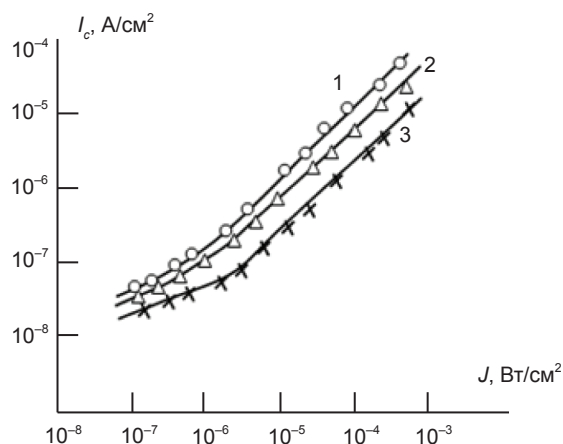


Рис. 4. Ампер-ваттные характеристики ПФИК с фотоприемником из *p*-Si<Pt> для трех разных областей спектрального диапазона длин волн  $\lambda$ : 1 — 1,1–2,3 мкм, 2 — 1,6–3,4 мкм, 3 — 2,6–4,2 мкм

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 дальнейшей 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, sostoyaschej 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., Beregulín 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. Juldashv 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.