

УДК 621.393.3:621.382:621.385

## ИССЛЕДОВАНИЕ ФОНОВОГО ИЗЛУЧЕНИЯ И ВОЗМОЖНОСТИ ЕГО ОГРАНИЧЕНИЯ В ПОЛУПРОВОДНИКОВОЙ ИОНИЗАЦИОННОЙ СИСТЕМЕ

Х. Т. Йулдашев, Ш. С. Ахмедов, У. С. Рустамов, К. М. Эргашев

*Ферганский политехнический институт,  
г. Фергана, Узбекистан*

Поступила в редакцию 15.05.2017

В статье приводятся результаты экспериментальных исследований явления в плоской газоразрядной ячейке с полупроводниковым электродом. Показана возможность ограничения фона, который является препятствием для повышения контрастности выходного изображения.

**Ключевые слова:** преобразователь изображений, полупроводниковый электрод, ионизационная камера, газоразрядный промежуток, полуизолирующий арсенид галлия, фотоприемник, вольтамперная характеристика, фототок, длительность импульса, импульсное напряжение.

## ДОСЛІДЖЕННЯ ФОНОВОГО ВИПРОМІНЮВАННЯ ТА МОЖЛИВОСТІ ЙОГО ОБМЕЖЕННЯ В НАПІВПРОВІДНИКОВІЙ ІОНІЗАЦІЙНІЙ СИСТЕМІ

Х. Т. Йулдашев, Ш. С. Ахмедов, У. С. Рустамов, К. М. Ергашев

У статті наводяться результати експериментальних досліджень явища в плоскій газорозрядній комірці з напівпровідниковим електродом. Показана можливість обмеження фону, який є перешкодою для підвищення контрастності вихідного зображення.

**Ключові слова:** перетворювач зображень, напівпровідниковий електрод, іонізаційна камера, газорозрядний проміжок, напівізолюючий арсенід галію, фотоприймач, вольтамперна характеристика, фотострум, тривалість імпульсу, імпульсна напруга.

## STUDY OF BACKGROUND RADIATION AND ITS POSSIBILITY LIMITATIONS IN THE SEMICONDUCTOR IONIZATION SYSTEM

Kh. T. Yuldashev, Sh. S. Akhmedov, U. S. Rustamov, K. M. Ergashev

Results of experimental exploration phenomenon in plane gas discharge cell with semiconductor electrode reduces in the article. Possibility of limitation of background, which appears the hindrance for raising of contrast gratuity representation was shown.

**Keywords:** image converter, semiconductor electrode, ionization chamber, gas-discharge gap, semi-insulating gallium arsenide, photodetector, volt-ampere characteristic, photocurrent, pulse duration, impulse voltage.

### 1. ВВЕДЕНИЕ

Полупроводниковая фотографическая система ионизационного типа, в которой один из электродов — это пластина из высокоомного и фоточувствительного полупроводника, нашла в последние годы практическое применение. На ее основе созданы так называемые фотоионизационные системы, которые используются для скоростной ИК-фотографии [1–2], бессеребряной фотографии, как ИК-преобразователи изображений [3–4], как устройства для визуализации электрических и структурных дефектов в высокоомных полупроводниках, как источник равномерного по большой площади УФ-излучения,

как система, где образуются диссипативные структуры в газовой плазме [5].

Полупроводниковая ионизационная система [6] работает в двух режимах: ждущем и стробирующем. В ждущем режиме в основном используются высокоомные полупроводники с  $\rho \geq 10^7$  Ом·см при постоянном токе. В стробирующем режиме применяются, в том числе и относительно низкоомные фотоприемники при импульсном режиме. Во втором случае темновой ток и тем самым фоновое излучение на выходном экране полупроводниковой ионизационной камеры значительно больше.

Исследование зависимостей среднего тока от различных величин (фототок, длительность импульса, импульсное напряжение, давление газа и т. д.) в системе представляет значительный интерес не только для понимания физического механизма явлений, но и имеет прикладное значение.

Проведенные в последнее время исследования вселяют надежду на то, что новый подход к плоской газоразрядной ячейке с полупроводниковым фоточувствительным электродом приведет к новому классу приборов. В наших следующих работах покажем, что изменение конфигурации и расположения элементов ячейки, а также применение новых фотоприемников позволяет создать уникальную фотографическую систему, а точнее современный вид приборов ночного видения.

В настоящей работе приводятся результаты экспериментальных исследований явления в плоской газоразрядной ячейке с полупроводниковым электродом. В рамках этой работы показаны возможности ограничения фона, который является препятствием для повышения контрастности выходного изображения, а в целом улучшения характеристик системы.

## 2. ПРИНЦИПИАЛЬНАЯ СХЕМА СИСТЕМЫ

Принципиальная схема полупроводниковой ионизационной фотографической системы приведена на рис. 1. Светочувствительным фотоприемником (2) служит полупроводниковый арсенид галлия ( $\rho \approx 10^8 \text{ Ом} \cdot \text{см}$ ), на одну из поверхностей которого напылен полупрозрачный никелевый контакт (1). Внутренняя поверхность пластины отделена от поверхности регистрирующего слоя (4) газовым зазором (3).

Регистрирующий слой (4) располагается на прозрачном проводящем контрэлектроде (5), выполненном, например, из стеклянной пластинки, покрытой проводящей пленкой  $\text{SnO}_2$ . При подключении к системе напряжения происходит пробой газового разряда, отличающийся тем, что в разрядной ячейке присутствует распределенное сопротивление полупроводника, способствующее демпфированию токовых неустойчивостей.

Сопротивление, полупроводника полностью определяет величину плотности тока по площади сечения и при освещении полупроводника может управлять величиной и распределением тока в газовом зазоре [7].

Для измерений использована обычная схема ионизационной системы с полупроводниковым фотоприемником из компенсированного арсенида галлия с темновым удельным сопротивлением  $\rho = 10^8 \text{ Ом} \cdot \text{см}$ , обеспечивающим выходные импульсы напряжения длительностью 0,5–30 мкс, до 1,6 кВ. Измерения выполнены при двух значениях величины газоразрядного зазора — 40 мкм и 100 мкм — и давлении воздуха 0,2 атм.

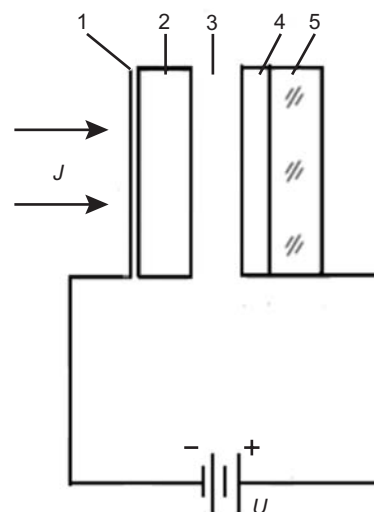


Рис. 1. Схематически — ионизационная система. 1 — полупрозрачный электрод, 2 — полупроводниковый фотоприемник, 3 — газоразрядный зазор, 4 — регистрирующий слой, 5 — прозрачный контрэлектрод

## 3. РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЯ

При подаче прямоугольного импульса напряжения на ячейку, состоящую из газоразрядного промежутка контактирующего, с одной стороны с полупроводниковым электродом, а с другой — с контрэлектродом, происходит пробой газа. Появление токовых импульсов характеризует наличие легко регистрируемого времени задержки  $\theta$  относительно момента включения напряжения. Другая особенность токовых импульсов — наличие статистического разброса величины задержки пробоя  $\chi$  относительно некоторого его значения.

На рис. 2 приведена схема осциллограмм последовательных импульсов тока, иллюстрирующая характер проявления статистического

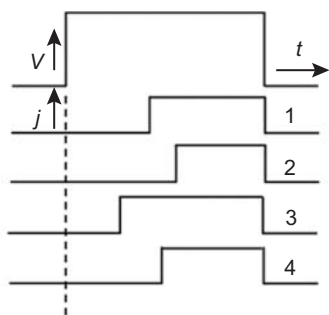


Рис. 2. Схема осциллограмм тока  $j$  пробоя при последовательно подаваемых импульсах напряжения  $V$

разброса момента зажигания разряда. В полупроводниковой ионизационной камере сняты осциллограммы последовательных импульсов тока, иллюстрирующая характер проявления статистического разброса момента зажигания разряда.

Поскольку фотографическое действие на регистрирующую среду определяется величиной среднего количества электричества, нас интересовали не только значения заряда в каждом индивидуальном импульсе тока, но и средние значения заряда и тока за период. Поэтому первая экспериментальная задача состояла в определении среднего тока, усредненного для каждого момента времени по общему количеству импульсов за время экспонирования.

Способ получения кинетики среднего тока из денситометрирования осциллограмм схематически пояснен на рис. 3а, где

оптическая плотность на осциллограмме условно изображена линиями разной толщины, а плавная кривая на рис. 3б показывает полученную кинетику среднего тока.

Расчет временной зависимости напряжения на газоразрядном зазоре  $U(t)$  до пробоя может быть выполнен аналогично задаче о зарядке двухслойного конденсатора [8], один из слоев которого (полупроводник) имеет диэлектрическую проницаемость  $\epsilon_1$ , толщину  $d_1$  и удельную проводимость  $\sigma_1$ , а второй слой (газовый промежуток) —  $\epsilon_2 = 1$ ,  $\sigma_2 = 0$  и  $d_2$ :

$$U(t) = \frac{U_0}{R \frac{1}{4\pi d_2} \left( \frac{1}{\tau_2} - \frac{1}{\tau_1} \right)} \times$$

$$\times \left[ \begin{aligned} & \left( \frac{4\pi\sigma_1\tau_1}{\epsilon_1} - 1 \right) \exp(-t/\tau_1) - \\ & - \left( \frac{4\pi\sigma_1\tau_2}{\epsilon_1 d_1} - 1 \right) \exp(-t/\tau_2) - \frac{4\pi\sigma_1}{\epsilon_1} (\tau_1 - \tau_2) \end{aligned} \right], \quad (1)$$

где  $\tau_1 = \frac{R \epsilon_1}{16\pi^2 d_1 d_2}$ ;  $\tau_2 = \frac{d_1}{\sigma_1} \left( \frac{\epsilon_1}{4\pi d_1} + \frac{1}{4\pi d_2} \right)$ .

$U_0$  — подаваемое напряжение;  $R$  — внутреннее сопротивление источника напряжения.

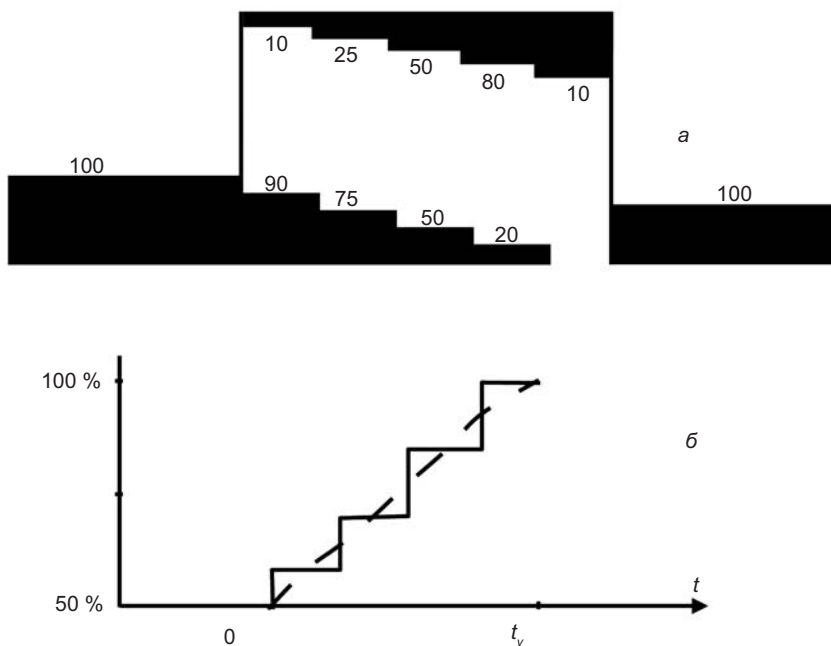


Рис. 3. а — схематически — распределение оптической плотности почернения на осциллограмме токового импульса, б — временная зависимость среднего тока, полученная из осциллограммы (а)

При пренебрежимо малой величине внутреннего сопротивления генератора поданное напряжение в начальный момент времени перераспределяется обратно пропорционально емкостям

$$\frac{U}{U_0 - U} = \frac{d_1}{\epsilon_1 d_2} \quad (2)$$

Затем с постоянной времени  $\tau_2$  все напряжение переходит на разрядный зазор. Таким образом, пробой зазора происходит в условиях возрастающего на нем напряжения. Поскольку  $\sigma_1$  зависит от освещения, величина задержки пробоя определяется временем  $\tau_2 = f(\sigma_1)$ . Другой определяющий задержку пробоя фактор — естественный статический разброс времени пробоя, являющийся единственной причиной задержки пробоя в ячейке с эквипотенциальными электродами.

Таким образом, общее время задержки определяется двумя составляющими: временем задержки емкости разрядного зазора через освещенный полупроводник и временем статистической задержки пробоя при данном напряжении в зазоре.

Для определения величины стационарного напряжения были сняты стационарные ВАХ (рис. 4), из которых следует, что значение напряжения пробоя составляет 500 В при длине зазора 100 мкм. Величина сопротивления при освещении меняется от 50 МОм до 790 кОм.

На рис 5а и 5б приведены зависимости среднего тока в импульсе от интенсивности света при разных значениях длительности импульса напряжения. Характерная

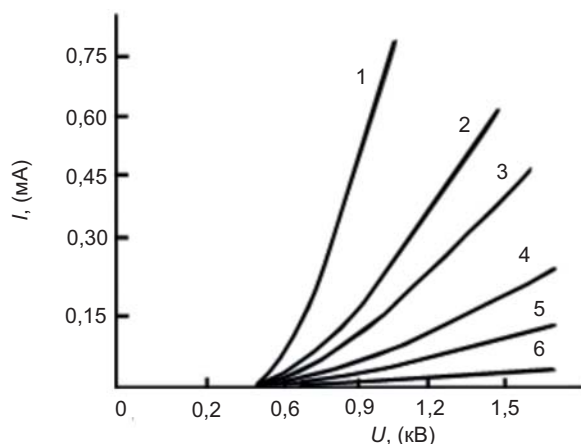


Рис. 4. Стационарные ВАХ системы при разных значениях освещенности полупроводника. Интенсивность освещения равна (в отн. ед.): 1 — 100 %, 2 — 72, 3 — 50, 4 — 25, 5 — 10, 6 — 0 %

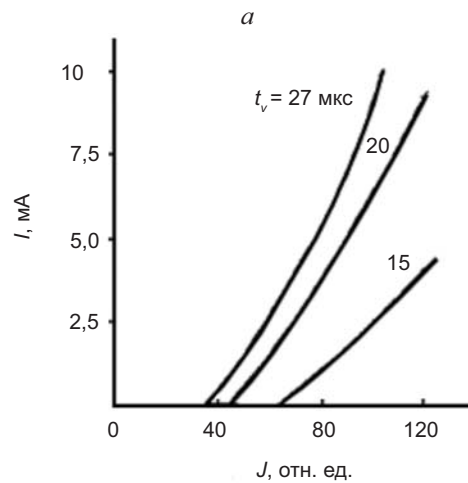
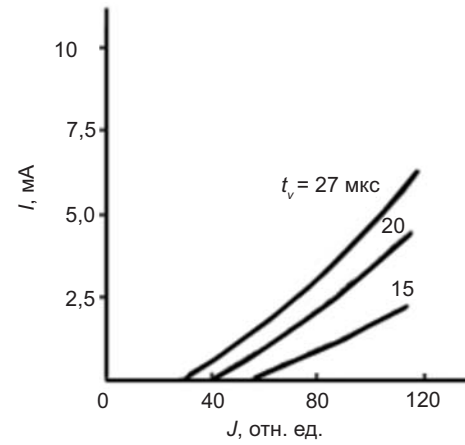


Рис. 5. а — люксамперные характеристики системы при разных значениях длительности импульса напряжения при толщине зазора  $d = 40$  мкм, б — то же при толщине зазора  $d = 100$  мкм

особенность кривых — «пороговый» вид этих зависимостей, что является следствием эффекта задержки пробоя. При увеличении длительности импульса напряжения уменьшается пороговое значение интенсивности освещения, ниже которого ток проводимости в системе, а следовательно и свечение разряда, отсутствуют. Отметим также, что начиная с порогового значения, ток, а также прошедший заряд, резко возрастают с увеличением интенсивности света. Полученные «пороговые» зависимости среднего прошедшего количества электричества и величина среднего тока с регулированием величины порога представляют значительный интерес, являясь в принципе новым методом дискриминации фона. Подобная возможность динамической дискриминации фона, несомненно, реализуема в независимых газоразрядных ячейках с распределенным сопротивлением полупроводникового электрода

в полупроводниковой фотографической системе ионизационного типа.

Проведены исследования режима динамической дискриминации фона с фотографической регистрацией изображения при разных значениях задержки пробоя и разной освещенностью отдельных участков площади полупроводникового фоточувствительного электрода.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом, показанная задержка пробоя в газоразрядной ячейке с полупроводниковым электродом при электрических и фотоэлектрических измерениях в целом подтверждает возможность реализации динамического ограничения фона на заданном уровне.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Хайдаров З., Хайдарова К. З., Йулдашев Х. Т. Высокочувствительная полупроводниковая ионизационная фотографическая камера для инфракрасного диапазона // Прикладная физика. — 2017. — № 1. — С. 65–69.
2. Йулдашев Х. Т., Хайдаров З., Касымов Ш. С. Кинетика пробоя в системе «полупроводник — газоразрядный промежуток» // Вестник СПбГУ. — 2017. — Сер. 4. — Т. 4 (62), вып. 1.
3. Йулдашев Х. Т., Ш. Ахмедов С., Хайдаров З. Исследование инфракрасной фотографической системы на основе кремния, легированного платиной // Журнал физики и инженерии поверхности. — 2017. — Т. 2, № 1. — С. 12–19.
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. Астров Ю. А., Лодыгин А. Н., Порцель Л. М. Гексагональные структуры тока в системе «полупроводник — газоразрядный промежуток» // ЖТФ. — 2011. — Т. 81(2). — С. 42–47.
6. Лебедева Н. Н., Орбух В. И., Боброва Е. Ю. О формировании низкоомного состояния газа над поверхностью полупроводникового электрода в предпробойном режиме // Azərbaycan millî elmlər akademiyasının xəbərləri fizika riyaziyyat və texnika elmləri seriyası, fizika və

- astronomiya. — 2005. — № 5. — С. 111–115.
7. Лодыгин А. Н., Порцель Л. М., Астров Ю. А. Газовый разряд в аргоне и азоте при криогенной температуре в тонких зазорах // Письма в ЖТФ. — 2008. — Т. 34(14). — С. 61–66.
8. Sadiq Y., Aktas K., Acar S., Salamov B. G. Influence of the microstructure on the charge transport in semiconductor gas discharge electronic devices // Superlattices and Microstructures. — 2010. — Vol. 47. — P. 648–660.

## REFERENCES

1. Hajdarov Z., Hajdarova K. Z., Juldashv H. T. Vysokochuvstvitel'naya poluprovodnikovaya ionizacionnaya fotograficheskaya kamera dlya infrakrasnogo diapazona // Prikladnaya fizika. — 2017. — No. 1. — P. 65–69.
2. Juldashv H. T., Hajdarov Z., Kasymov Sh. S. Kinetika proboya v sisteme «poluprovodnik — gazorazryadnyj promezhutok» // Vestnik SPbGU. — 2017. — Ser. 4. — Vol. 4 (62), vyp. 1.
3. Juldashv H. T., Sh. Ahmedov S., Hajdarov Z. Issledovanie infrakrasnoj fotograficheskoy sistemy na osnove kremniya, legirovannogo platinoj // Zhurnal fiziki i inzhenerii poverhnosti. — 2017. — Vol. 2, No. 1. — P. 12–19.
4. Lodygin A. N., Astrov Yu. A., Porcel' L. M., Beregulyn E. V. Dinamika taunsendovskogo razryada v argone // ZhTF. — 2015. — Vol. 85(5). — P. 27–31.
5. Astrov Yu. A., Lodygin A. N., Porcel' L. M. Geksagonal'nye struktury toka v sisteme «poluprovodnik — gazorazryadnyj promezhutok» // ZhTF. — 2011. — Vol. 81(2). — P. 42–47.
6. Lebedeva N. N., Orbuh V. I., Bobrova E. Yu. O formirovani nizzkoomnogo sostoyaniya gaza nad poverhnost'yu poluprovodnikovogo elektroda v predprobajnom rezhime // Azərbaycan millî elmlər akademiyasının xəbərləri fizika riyaziyyat və texnika elmləri seriyası, fizika və astronomiya. — 2005. — No. 5. — P. 111–115.
7. Lodygin A. N., Porcel' L. M., Astrov Yu. A. Gazovyy razryad v argone i azote pri kriogennoj temperature v tonkih zazorah // Pis'ma v ZhTF. — 2008. — Vol. 34(14). — P. 61–66.
8. Sadiq Y., Aktas K., Acar S., Salamov B. G. Influence of the microstructure on the charge transport in semiconductor gas discharge electronic devices // Superlattices and Microstructures. — 2010. — Vol. 47. — P. 648–660.