

---

**PHOTOELECTRIC AMPLIFIED PROCESSES IN A GAS DISTRIBUTIVE CELL INCLUDING A SEMICONDUCTOR PHOTO RECEIVER AND PLASMA CONTACTS**

---

**Yuldashev Kh. T.**

*Senior Lecturer, Fergana Polytechnic Institute*

**Ibroximov J.M.**

*Assistant, Ferghana Polytechnic Institute*

**Rustamov U.S.**

*Assistant, Ferghana Polytechnic Institute*

**Ergashev Q.M.**

*Senior Lecturer, Fergana Polytechnic Institute*

---

**ФОТОЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ УСИЛИТЕЛЬНЫЕ ПРОЦЕССЫ В ГАЗОРАЗРЯДНОЙ ЯЧЕЙКЕ, ВКЛЮЧАЮЩЕЙ ПОЛУПРОВОДНИКОВЫЙ ФОТОПРИЕМНИК И ПЛАЗМЕННЫЕ КОНТАКТЫ**

---

DOI: [10.31618/ESU.2413-9335.2019.5.62.122](https://doi.org/10.31618/ESU.2413-9335.2019.5.62.122)

**Йулдашев Х.Т.**

*Старший преподаватель,*

*Ферганский политехнический институт*

**Иброхимов Ж.М.**

*ассистент,*

*Ферганский политехнический институт*

**Рустамов У.С.**

*ассистент,*

*Ферганский политехнический институт*

**Эргашев К.М.**

*Старший преподаватель,*

*Ферганский политехнический институт*

---

**ARTICLE.**

The article presents the results of theoretical calculations and experimental studies of the current-voltage characteristics of crystals of gallium arsenide and cadmium telluride contacts with a plasma gas discharge in the photographic system.

**АННОТАЦИЯ.**

В статье приводятся результаты теоретических расчетов и экспериментальных исследований вольт-амперных характеристик кристаллов арсенида галлия и теллурида кадмия с плазменными контактами в газоразрядной фотографической системе.

**Keywords:** a semiconductor electrode ionization chamber, discharge gap, semi-insulating gallium arsenide, a photodetector, the current-voltage characteristic, plasma contact.

**Ключевые слова:** полупроводниковый электрод, ионизационная камера, газоразрядный промежуток, полупроводящий арсенид галлия, фотоприемник, вольтамперная характеристика, плазменный контакт.

В последнее время расширяется интерес к исследованиям фотоэлектрических свойств газоразрядных систем с полупроводниковым электродом (SGD-структуры) при малых межэлектродных расстояниях  $d_g \leq 0,1$  мм [1,2]. Такие устройства нашли практическое применение в высокоскоростных преобразователях инфракрасных (ИК) изображений ионизационного типа, в частности для пространственно-временной диагностики ИК лазерных излучений [3].

В работе посвящена изучению контактных явлений на поверхности полупроводника с газоразрядной плазмой и усилительных процессов в газоразрядной ячейке. Представлены результаты теоретических и экспериментальных исследований фототока в ионизационной системе с двумя плазменными контактами, принципиальная схема которой показана на рис. 1.

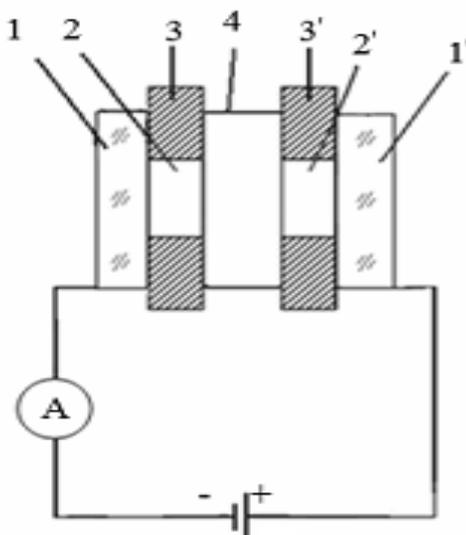


Рис.1. Принципиальная схема экспериментальной установки с двумя плазменными контактами

Полупроводниковый фотоприемник (4) помещался между калиброванными лавсановыми прокладками (3 и 3'), толщина которых составляла по 40 мкм каждая. Контрэлектрод изготовлен из стеклянной пластинки (1 и 1'), покрытой токопроводящим слоем из  $\text{SnO}_2$ , прозрачность которого необходима для визуального наблюдения и фотографирования свечения газового разряда. Постоянное напряжение  $U=Ed \approx 600$  В (где  $E$  – напряженность электрического поля,  $d$  – длина газоразрядного промежутка 2 и 2') подается между 1 и 1', при котором происходит пробой и начинается тлеющий разряд. Эксперимент проводился при комнатной температуре, необходимое остаточное давление воздуха обеспечивалось с помощью форвакуумного насоса. В качестве источника питания использован высоковольтный блок ВС-23.

Практически для всех фоточувствительных полупроводниковых устройств при слабых интенсивностях освещения люкс-амперная характеристика (ЛАХ) полного тока может быть представлена в виде

$$i = i_T + i_C = i_T + aEJ^n \quad (1)$$

где  $a = e\mu\beta k\tau$  ( $e = 1,6 \cdot 10^{-19}$  Кл,  $\mu$  – подвижность носителей,  $\beta$  – коэффициент квантового выхода,  $k$  – коэффициент поглощения света в полупроводнике,  $\tau$  – время жизни носителей),  $J$  – интенсивность освещения,  $n$  – показатель нелинейности ЛАХ:  $n > 1$  – для сверхлинейного,  $n < 1$  для сублинейного и  $n = 1$  для линейного фоточувствительного элемента.

Величину плотности фототока можно представить в виде:

$$i_C = eGJ^n / h\nu \quad (2)$$

где  $G$  – фотозлектрическое усиление, которое в простейшем случае однородного оптического

возбуждения полупроводника равно отношению времени жизни  $\tau$  к времени пролета  $t_{np}$  носителя между электродами:  $t_{np} = L_n / \mu E_n$  ( $\mu$  – подвижность носителя,  $L_n$  – толщина полупроводника,  $E_n$  – напряженность электрического поля в полупроводнике).

Для случая продольной фотопроводимости при неравномерном по объему поглощении света величина фотозлектрического усиления  $G$  отличается от простого соотношения  $\tau / t_{np}$  и ее можно приближенно выразить формулой

$$G = \frac{\mu k \tau \varepsilon}{\delta(1 - e^{-kL_n})} \left[ \frac{1}{1 + \frac{1}{\kappa L_n} \ln \frac{1 + \delta e^{-kL_n}}{1 + \delta}} - 1 \right], \quad (3)$$

где  $\delta = \frac{\kappa \tau J_0}{n_T}$  – начальная кратность фото-

проводимости,  $n_T$  – концентрация темновых носителей,  $\varepsilon$  – диэлектрическая проницаемость полупроводника.

Формула (3) выведена без учета диффузии, дрейфа неравновесных носителей и реабсорбцию рекомбинационного излучения, которая определяет предельно минимальное значение величины  $G$  для монохроматического освещения при заданном значении коэффициента поглощения света  $\kappa$ , поскольку учет упомянутых факторов приводит к увеличению  $G$ .

Измерение фотозлектрического усиления фотоприемных полупроводниковых пластин выполнено по следующей методике. Измерялась ВАХ фототока в ионизационной системе до максимальных

возможных значений приложенного напряжения. Ограничением предельных значений фотоэлектрического усиления служило возникновение неустойчивости тока. Освещение производилось через интерференционный светофильтр, интенсивности

света измерялось фотодиодом ФД-24К при одинаковой площади освещаемого участка. Величина  $G$  в этом случае равняется отношению тока фотопроводника к току фотодиода.

Ниже приведены типичные данные, полученные для разных фотопроводников.

№	Намуналар	Намуналар қалинликлари, (мм)	$E$ , (В/см)	$G$	$m_n^*/m_0$	$m_p^*/m_0$	$E_g$ (300К)	$\mu_n$ см <sup>2</sup> /В·с	$\mu_p$ см <sup>2</sup> /В·с	$\varepsilon$
1	GaAs	1	$2 \cdot 10^4$	7	0,7	$m_{pT} 0,45$	1,43	8500	400	10,9
1	GaAs	0,5	$2 \cdot 10^4$	10	0,7	$m_{pT} 0,45$	1,43	8500	400	10,9
1	GaAs	0,3	$2 \cdot 10^4$	15	0,7	$m_{pT} 0,45$	1,43	8500	400	10,9
2	CdS	1,5	$1 \cdot 10^4$	5	0,20	0,7	2,53	350	15	8,96
2	CdS	0,5	$1 \cdot 10^4$	13	0,20	0,7	2,53	350	15	8,96

Из таблицы следует, что имеется достаточно резкая зависимость фотоэлектрического усиления от толщины фотоприемника.

Результаты исследований показывают, что в газоразрядной ячейке с полупроводником из арсенида галлия имеется достаточно большое усиление с коэффициентом  $K$  более чем на 50 единиц. Однако, с полупроводником из теллурида кадмия усиление как по току, так и, по яркости свечения не наблюдается. По-видимому, это связано с тем, что на поверхности полупроводника из CdTe имеются в достаточном количестве ловушек, которые захватывают электронов, поступающих из газоразрядной плазмы.

Для кинетики тока с учетом оптической генерации ( $F$ ) можно написать следующие уравнения без учета эксклюзии и влияния ловушек:

в условиях  $E < (\xi\mu\tau)^{-1}$

$$j = \frac{e\mu EF}{1/\tau - \xi\mu E} \left\{ 1 - \xi\mu E \tau \exp[-t(1/\tau - \xi\mu E)] \right\} \quad (4)$$

в условиях  $E > (\xi\mu\tau)^{-1}$ ,

$$j = \frac{e\mu EF}{\xi\mu E - 1/\tau} \left[ \xi\mu E \tau \exp t(\xi\mu E \tau - 1/\tau) - 1 \right], \quad (5)$$

где  $\xi$  – коэффициент пропорциональности, м<sup>-1</sup>

На рис. 2 приведены ВАХ кристаллического полуизолирующего арсенида галлия ( $\rho \approx 10^7$  Ом·см) толщиной 0,5 мм (а) при разных значениях интенсивности освещения ( $F \cdot 10^4$ , Вт/см<sup>2</sup>: 1-0,15; 2-2,0; 3-9,0), а также фотоприемника из CdTe, толщиной 2,5 мм (б), 1,5 мм (в), 0,5мм (г) ( $F \cdot 10^4$ , Вт/см<sup>2</sup>: 1-0 (темная); 2-2,0; 3-9,0; 4-15; 5-25; 6-40).

Остаточное давление воздуха составляет в системе 0,2 атм. Ток в системе до напряжения примерно 600 В отсутствует. При указанном напряжении происходит пробой газоразрядных зазоров и увеличение тока с повышением напряжения. Напряжение с постоянной скоростью под-

нималось до некоторого фиксированного значения ( $V_1, V_2, V_3$ ), затем подъем напряжения резко прекратился и с этого момента происходило самопроизвольное нарастание тока с одно-временным уменьшением напряжения на исследуемом материале. При остановке подъема напряжения ниже значения, соответствующего точке  $V_1, V_2, V_3$ , изменение тока во времени не происходило. Самопроизвольный рост тока при переходе в нестационарный режим происходит в виде участка с отрицательным дифференциальным сопротивлением и с наклоном, в точности соответствующим внутреннему сопротивлению источника тока. Значения токов и напряжений точки  $V_1, V_2, V_3$  по существу являются нестационарными. На вид вольт-амперных характеристик существенное влияние оказывает интенсивность внешнего освещения. Полупроводниковые материалы из арсенида галлия являются одним из немногих чувствительных фотоприемников к ультрафиолетовым и коротковолновым излучениям плазмы.

Как видно из кривых ВАХ кристалла теллурида кадмия на рис. 2, б, в, г, при увеличении напряжения в системе не наблюдается самопроизвольное нарастание тока. Напротив, начальные участки ВАХ имеют линейный характер и при больших напряжениях происходит насыщение тока, причем, чем меньше толщина материала, тем меньше напряжение насыщения. Величина напряжения, соответствующая линейному участку ВАХ, при толщине полупроводникового материала 0,5 мм приблизительно в 5 раз меньше, чем при толщине 2,5 мм, т.е. насыщение связано прямо с напряженностью поля.

Экспериментальные исследования стационарных ВАХ и релаксационных кривых фототока показывают, что их общий характер согласуется с теоретическим расчетом, в том числе и в области отрицательного времени жизни. Предложен и исследован режим усиления с использованием этого эффекта с ограничением максимального тока нелинейной нагрузкой или временным ограничением (“самоходное” усиление).

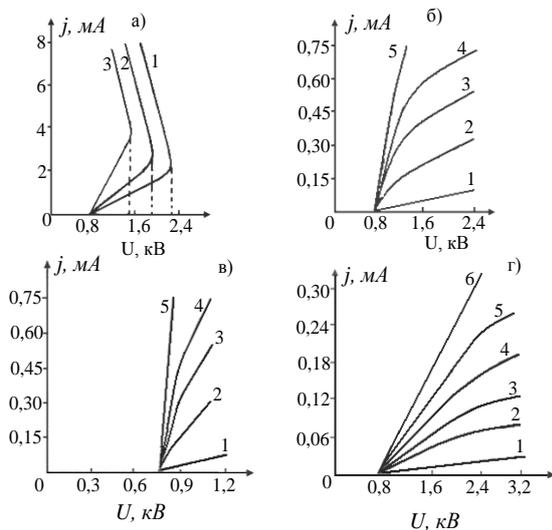


Рис.2. ВАХ системы с разными фотоприемниками и при разных интенсивностях освещения.

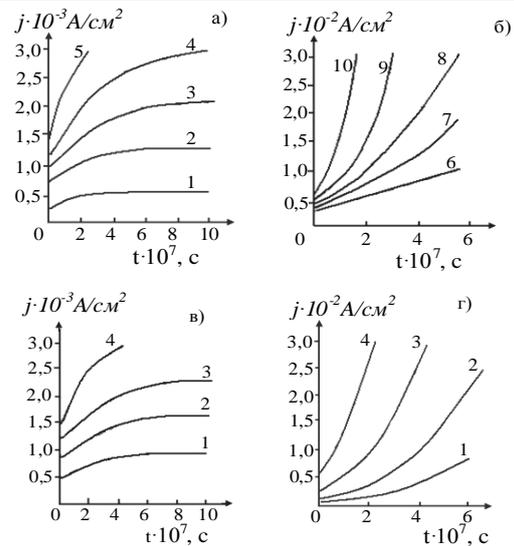


Рис. 3. Расчетные релаксационные кривые носителей тока в полупроводнике.

На рис 3, показаны релаксационные кривые носителей тока в полупроводнике при разных значениях приложенного напряжения  $E$  и постоянного освещения  $F$  (а,б), а также – при разных значениях интенсивности  $F$  и постоянного напряжения  $E$  (в, г). В области  $E < 1/\xi\mu\tau$  (где  $1/\tau_{эф} = 1/\tau - \xi\mu E$ ,  $\tau_{эф}$  – положительное эффективное время жизни) величина тока при  $t \rightarrow \infty$  имеет стационарное значение.

При  $E > 1/\xi\mu\tau$  реализуется условие эффективного времени жизни - стационарное состояние отсутствует. Характерно, что при  $E = 1/\xi\mu\tau$  релаксация выражается линейным нарастанием тока с наклоном, соответствующим темпу оптической генерации носителей тока при отсутствии рекомбинации. В этом случае предполагается, что рекомбинационные потери носителей в точности восполняются генерацией от плазмы и эффективное время жизни  $\tau_{эф}$  обращается в бесконечность. На рис, 3 а, б при  $E \cdot 10^4$  (В/см)=0,4 (кривая 1); 0,9 (2); 1,3 (3); 1,5 (4); 1,6 (5); 2 (6); 2,25 (7); 2,5 (8); 3,0 (9); 4,0 (10);  $F=10^{16}$  (см<sup>-3</sup>с<sup>-1</sup>),  $\tau=10^{-7}$ с  $\mu=500$  см<sup>2</sup>·В<sup>-1</sup>с<sup>-1</sup>,  $\xi=1$ см<sup>-1</sup>; в)  $F \cdot 10^{16}$  (см<sup>-3</sup>с<sup>-1</sup>)=0,6 (1); 1,0 (2); 1,5 (3); 2,0 (4) и  $E=10^4$  В/см; г)  $F \cdot 10^{16}$  (см<sup>-3</sup>с<sup>-1</sup>)= 0,08 (1); 0,2 (2); 0,8 (3); 2,0 (4) и  $E=10^4$  В/см, а значение параметров  $\tau$ ,  $\mu$  и  $\xi$  те же, что и на а, б.

На рис. 4 представлены экспериментальные кривые кинетики общего тока полупроводника в ионизационной системе при разных значениях напряжения и интенсивности внешнего освещения:  $V(\text{kV})=2,0$  (1); 2,8 (2); 2,9 (3); 2,95 (4); 3,0 (5); 3,05 (6); и  $F=2 \cdot 10^{-4}$  Вт/см<sup>2</sup> кривая а,  $F \cdot 10^{-6}$  (Вт/см<sup>2</sup>) 0,3 (1); 0,9 (2); 5,0 (3); 20 (4); 50 (5) и  $V=2,6$  кВ кривая б, в-при разной ориентации фотоприемника относительно светового потока, 1 и 2- соответствуют освещению противоположных сторон фотоприемника.

Общий характер релаксационных кривых в известной мере согласуется с теоретическими, в том числе и в области “отрицательного” времени жизни. Для напряжения 2 кВ на рис.8, а и интенсивности освещения  $3 \cdot 10^6$  Вт/см<sup>2</sup> на рис.4, б наблюдается достижение стационарного состояния. При больших напряжениях и интенсивности освещения происходит резкое возрастание тока.

Полученные экспериментальные результаты исследования ВАХ и кинетики тока в полуизолирующем арсенида галлия по общему характеру зависимостей качественно соответствует ожидаемым из упрощенной теории. Сам факт самопроизвольного нарастания тока, его зависимости от поля и освещения, а также квазиэкспоненциальный ход нарастания соответствует полученным теоретическим результатам.

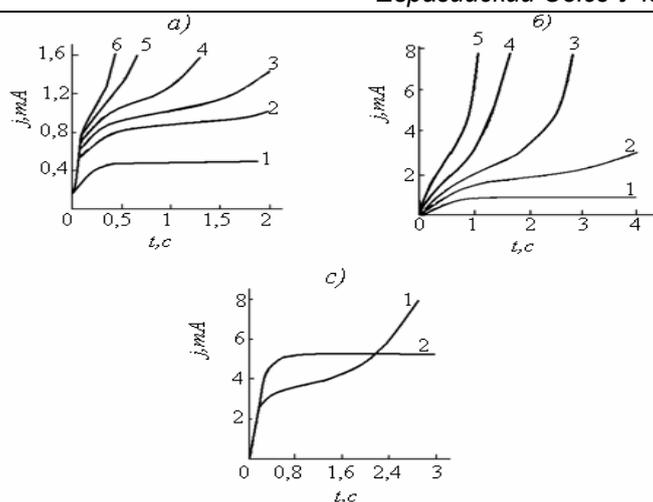


Рис.4. Экспериментальные кривые кинетики тока с фотоприемником из GaAs при разных значениях приложенного напряжения  $V$  и интенсивности оптической генерации  $F$ .

Однако, неожиданным является расхождение во временных масштабах кинетики тока. Действительно, теоретически ожидается самопроизвольное возрастание за время, порядка времени жизни, тогда как экспериментально определенные значения - порядка секунды и даже десятков секунд. Это различие, на наш взгляд, связано с контактными явлениями на границе полупроводника с газоразрядной плазмой, а также свойствами полупроводников. При самопроизвольном нарастании тока происходит увеличение свечения газа и потока частиц. Действие плазменного потока на поверхность полупроводника тем сильнее, чем больше ток в системе, тем сильнее поток частиц и свечение газа в плазме.

#### Список литературы

1. Х.Т.Йулдашев. Фотозлектрические усиленные процессы в сверхтонкой газоразрядной ячейке с полупроводниковым электродом. // Диссертация. 2019 г.
2. А.Н. Лодыгин, Л.М. Порцель, Ю.А. Астров Газовый разряд в аргоне и азоте при криогенной температуре в тонких зазорах. // Письма в ЖТФ. 2008. Vol. **34**(14). PP. 61-66.
3. Ю.А. Астров, А.Н.Лодыгин, Л.М. Порцель Гексагональные структуры тока в системе "полупроводник-газоразрядный промежуток. // ЖТФ. 2011. Vol. **81**(2). PP. 42-47.

#### IMPLEMENTATION OF THE COMPETENCE APPROACH IN TEACHING PHYSICS IN THE HIGHER EDUCATIONAL ESTABLISHMENT

DOI: [10.31618/ESU.2413-9335.2019.5.62.120](https://doi.org/10.31618/ESU.2413-9335.2019.5.62.120)

*Kassenova Leila Galymbekovna*

candidate of pedagogical Sciences, associate Professor

*Saduakassov Kuanysh Bagdatovich*

senior lecturer, Department "Information systems and technologies»

Kazakh University of Economics, Finance and international trade

The Republic of Kazakhstan, Nur-Sultan city

#### ABSTRACT.

The modern university is relevant competence-based approach in the teaching of academic disciplines, including physics. The article presents the methods of implementation of competence approach in teaching physics from the experience of the teacher.

#### АННОТАЦИЯ.

В современном вузе актуальным является компетентностный подход в преподавании учебных дисциплин, в том числе физики. В статье представлены способы реализации компетентностного подхода в преподавании физики из опыта работы преподавателя.

**Key words:** competence approach, physics, education.

**Ключевые слова:** компетентностный подход, физика, образование.