
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.

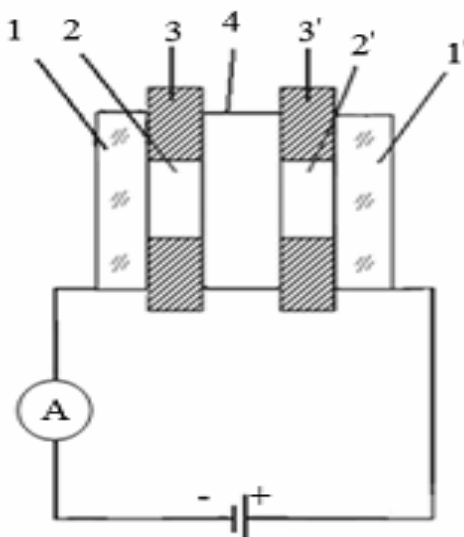


Рис.1. Принципиальная схема экспериментальной установки с двумя плазменными контактами

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 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, μ – подвижность носителей, β – коэффициент квантового выхода, k – коэффициент поглощения света в полупроводнике, τ – 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 τ к времени пролета t_{np} носителя между электродами: $t_{np} = L_n / \mu E_n$ (μ – 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 τ / 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, ε – 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 κ , 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)	μ_n см ² /В·с	μ_p см ² /В·с	ε
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 ξ – коэффициент пропорциональности, м⁻¹

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/см²: 1-0,15; 2-2,0; 3-9,0), а также фотоприемника из CdTe, толщиной 2,5 мм (б), 1,5 мм (в), 0,5 мм (г) ($F \cdot 10^4$, Вт/см²: 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).

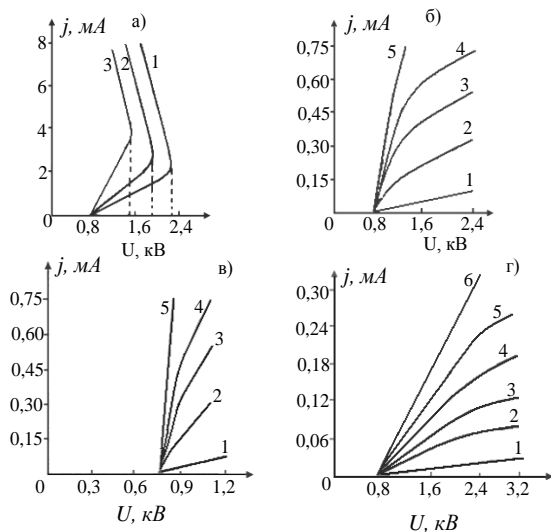


Рис.2. ВАХ системы с разными фотоприемниками и при разных интенсивностях освещения.

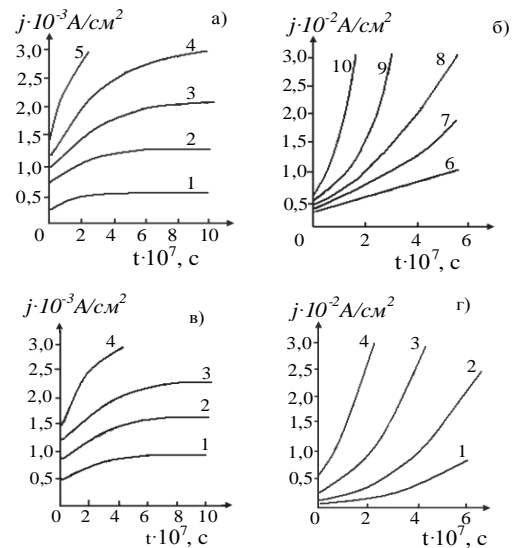


Рис. 3. Расчетные релаксационные кривые носителей тока в полупроводнике.

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⁻³с⁻¹), $\tau=10^{-7}$ с $\mu=500$ см²·В⁻¹с⁻¹, $\xi=1$ см⁻¹; в) $F \cdot 10^{16}$ (см⁻³с⁻¹)=0,6 (1); 1,0 (2); 1,5 (3); 2,0 (4) и $E=10^4$ В/см; г) $F \cdot 10^{16}$ (см⁻³с⁻¹)= 0,08 (1); 0,2 (2); 0,8 (3); 2,0 (4) и $E=10^4$ В/см, а значение параметров τ , μ и ξ 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: $V(\text{kВ})=2,0$ (1); 2,8 (2); 2,9 (3); 2,95 (4); 3,0 (5); 3,05 (6); и $F=2 \cdot 10^{-4}$ Вт/см² кривая а, $F \cdot 10^{-6}$ (Вт/см²) 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/см² 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.

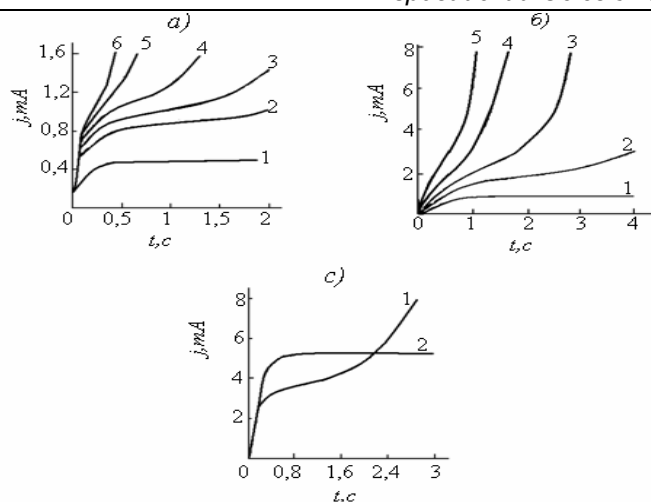


Рис.4. Экспериментальные кривые кинетики тока с фотоприемником из GaAs при разных значениях приложенного напряжения V и интенсивности оптической генерации F .

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.