

УДК 621.393.3:621.382:621.385

ИССЛЕДОВАНИЕ ГАЗОРАЗРЯДНОГО ПРОМЕЖУТКА В КАМЕРАХ ИОНИЗАЦИОННОГО ТИПА ЗОНДОВЫМ МЕТОДОМ

Х. Т. Йулдашев, Ш. С. Касымов

*Ферганский политехнический институт,
Фергана, Узбекистан*

Поступила в редакцию 13.10.2016

В статье приводятся результаты исследования ВАХ полупроводниковой фотографической системы ионизационного типа путем введения металлического зонда в область газового разряда, не нарушая его природу.

Ключевые слова: газовый разряд, газоразрядная ячейка, фотоприемник, вольтамперная характеристика, металлический зонд.

ДОСЛІДЖЕННЯ ГАЗОРАЗРЯДНОГО ПРОМІЖКУ В КАМЕРАХ ІОНІЗАЦІЙНОГО ТИПУ ЗОНДОВИМ МЕТОДОМ

Х. Т. Йулдашев, Ш. С. Касымов

У статті наводяться результати дослідження ВАХ напівпровідникової фотографічної системи іонізаційного типу шляхом введення металевго зонду в область газового розряду, не порушуючи його природу.

Ключові слова: газовий розряд, газорозрядна комірка, фотоприймач, вольтамперна характеристика, металевий зонд.

THE STUDY OF THE GAS-DISCHARGE GAP IN THE CHAMBER IONIZATION-TYPE PROBE METHODS

Kh. T. Yuldashev, Sh. S. Kasymov

The article presents the results of experimental studies of the current-voltage characteristics of ionization type photographic system. These characteristics have been obtained by introducing a metal probe to the area of gas discharge, without altering its nature.

Keywords: gas discharge, gas discharge cell, optical detector, current-voltage characteristic, metallic probe.

1. ВВЕДЕНИЕ

Полупроводниковые фотографические системы и спектральные преобразователи изображений ионизационного типа [1, 2] нашли достаточно широкое применение для высокоскоростной пространственно-временной фотографической диагностики лазерных инфракрасных излучений [3]. В настоящее время они являются одним из наиболее перспективных типов устройств, составляющих основу несеребряной высокочувствительной фотографии [4].

Решение таких вопросов, как стабилизация работы различных приборов газового разряда [5], преобразование инфракрасного излучения в видимое, передача изображений и бессеребряное фотографирование [6] и т. п. осуществляется с помощью газоразрядных ячеек с высокоомным полупроводниковым электродом. В этих ячейках используется узкий газоразрядный зазор с плоским металлическим электродом и пластиной из

высокоомного и фоточувствительного полупроводника. В такой системе возникает контакт полупроводника с плазмой газового разряда. Наличие этого контакта существенным образом влияет на свойства газового разряда и коренным образом отличает его от классических затрудненных и барьерных разрядов. Однозначного мнения о механизме стабилизации разряда с полупроводниковым электродом и физической интерпретации процессов в такой газоразрядной ячейке не существует. Однако физические процессы, происходящие в контакте полупроводника и плазмы, играют определяющую роль в формировании разряда.

В работе [7] измерены первые производные ВАХ полупроводникового зонда, помещенного в неоновую газоразрядную плазму. Под действием внешнего излучения производные характеристики смещаются в сторону электронной части. Величина смещения интерпретируется как глубина

проникновения электрического поля в полупроводник. По зависимости потенциала смещения максимума первой производной характеристики от давления газа при одинаковой освещенности дана интерпретация смещения характеристик.

В работе [8] измерены вольт-амперные характеристики плоского полупроводникового зонда, помещенного в гелиевую газоразрядную плазму. Изучено влияние постороннего излучения на зондовую характеристику. Обнаружено, что под действием излучения величина зондового тока сильно возрастает, плавающий потенциал смещается в сторону электронной части характеристики. Величина смещения интерпретируется как глубина проникновения поля в полупроводник. Измерены также первые производные вольт-амперных характеристик полупроводникового зонда. Под действием внешнего излучения производные характеристик также смещаются.

Целью настоящей работы является проверка правильности этого предположения, то есть исследование распределения потенциалов в элементах системы и исследование ВАХ газоразрядного промежутка методом зондовых измерений.

2. ЭКСПЕРИМЕНТ

Основными элементами полупроводниковых фотографических систем ионизационного типа являются (рис. 1а) полупроводниковый

фотоприемник (ФП), газоразрядная ячейка и регистрирующая среда. В этих системах реализуются три вида усиления: 1) фотоэлектрическое усиление при преобразовании потока фотонов в фототок полупроводникового фотоприемника; 2) плазменное усиление фототока по мощности в газоразрядном зазоре; 3) химическое усиление в регистрирующей среде, подвергающейся воздействию газоразрядной плазмы.

Подбор оптимального режима и хорошего согласования этих элементов между собой является основным фактором повышения чувствительности системы в целом. До настоящего времени на основании косвенных методов исследования считалось, что ВАХ фотоприемника и системы совпадают при $U \geq U_{пр}$. Это означало, что ВАХ газового разряда строго вертикальна, дифференциальное сопротивление разрядного промежутка с большой точностью равно нулю и при освещении не происходит перераспределение напряжения в системе даже при высокой освещенности.

На поверхности полупроводника со стороны разряда наносился кольцеобразный никелевый контакт (в дальнейшем так называемый зонд) с внутренним диаметром 11,5 мм. При этом сменные слюдяные прокладки, имеющие диаметры отверстий 10,0 мм, 10,5 мм и 11,0 мм, создавали

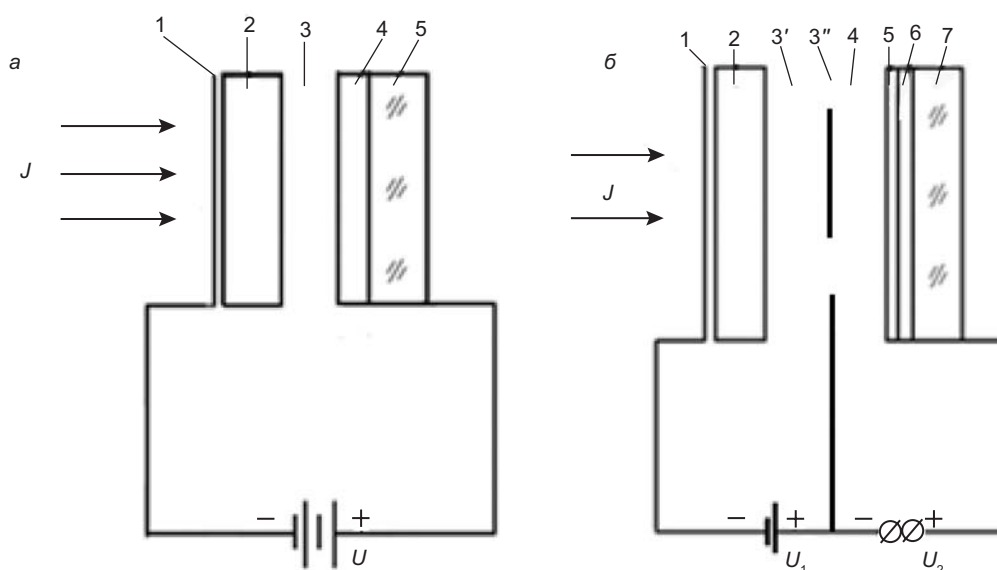


Рис. 1а. Схема ионизационной системы: 1 — прозрачный электрод, 2 — полупроводниковый фотоприемник, 3 — газоразрядный зазор, 4 — регистрирующий слой, 5 — прозрачный контрэлектрод; 1б. Схема модифицированной ионизационной системы: 6 — металлический зонд, 7 — распределенное сопротивление

газовый калиброванный зазор и исключали никелевый зонд из непосредственного участия его в процессе разряда, таким образом, сохранялся вид разряда, характерный для ионизационной системы.

Постепенное приближение (в пределе до бесконечно малого расстояния, d -разрядного промежутка к металлическому кольцеобразному зонду, напыленному на поверхность ФП со стороны разряда, с помощью слюдяных прокладок с различным диаметром отверстий, определяющих газоразрядное пространство, является более удачным, поскольку позволяет сохранить постоянство режима работы при изучении электрооптических характеристик системы. ВАХ поверхности ФП всегда остается линейной, поэтому поверхностный промежуток ФП от зонда до края разрядного промежутка изменит лишь наклон ВАХ газового разряда и при бесконечно малом приближении зонда к разряду можно наблюдать ВАХ, близкую к истинной.

Для удобства сопоставления вольт-амперных характеристик системы и фотоприемника была выбрана схема с одним газоразрядным промежутком (в некоторых вариантах фотоприемник помещается между двумя газоразрядными зазорами). В противном случае полупроводниковый омический контакт ФП, необходимый для снятия ВАХ полупроводника, изменяет наклон этой характеристики за счет гашения входной интенсивности.

С помощью диафрагмы освещался участок ФП диаметром 8 мм, на 2 мм меньше, чем наименьший диаметр отверстия в слюдяной прокладке. Это позволяет ограничить интенсивность разряда на краях зазора.

Измерения ВАХ полупроводника газоразрядного промежутка системы проводились согласно схемы, изображенной на рис. 1б при входном освещении $J = 2 \cdot 10^{-2}$ Вт/см², давлении газа $P = 50$ мм рт. ст., толщине зазора 40 мкм на разных удалениях (750 мкм, 500 мкм, 250 мкм) края зонда от темного кольцеобразного участка газового разряда шириной 1 мм. При всех измерениях контролировалась ВАХ для системы, она практически не изменялась.

3. ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ

На рис. 2 приведены следующие характеристики: 1 — ВАХ системы; 2, 3, 4 — потенциалы зонда в зависимости от тока системы, соответственно для $d = 750$ мкм, 500 мкм, 250 мкм; 5 — ВАХ ФП.

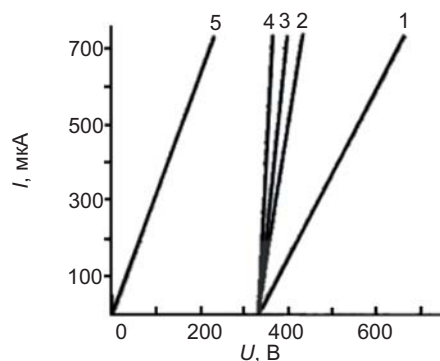


Рис. 2. Вольтамперная характеристика: 1 — система, 2, 3, 4 — газового разряда, 5 — фотоприемника

На рис. 3 показаны перестроенные из графиков 2, 3, 4 предыдущего рисунка зависимости потенциала зонда от d для трех значений тока системы: (1 — $I = 0,7$ мА, 2 — $I = 0,5$ мА, 3 — $I = 0,3$ мА).

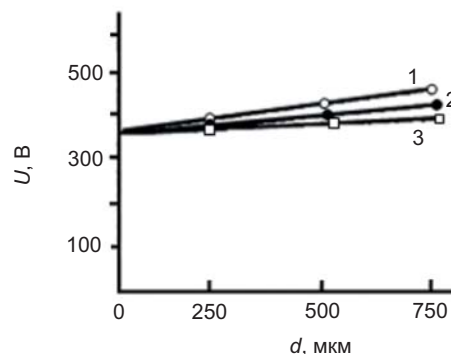


Рис. 3. Зависимость потенциала зонда от расстояния до разрядного промежутка при токе системы: 1 — 700 мкА; 2 — 500 мкА; 3 — 300 мкА

Сопоставление ВАХ системы в целом, фотоприемника и разрядного промежутка (рис. 2) указывает на то, что при токах $I > 150$ мкА все характеристики фотоприемника и системы практически совпадают, наклон ВАХ разряда с уменьшением d стремится к вертикальности (рис. 2), а кривые пересекают ось напряжений в точке 340 В (рис. 3), что совпадает с напряжением пробоя газа (для данного случая $U_{пр}$ определяется точкой пересечения ВАХ системы с осью напряжений (рис. 2, кривая 1).

Следует отметить, что в ионизационных системах в качестве контрэлектрода обычно используется прозрачный электрод в виде стекла с проводящим слоем SnO_2 , который имеет обычно поверхностное удельное сопротивление порядка $100\text{--}400 \text{ Ом} \times \text{см}$.

Незначительное несовпадение наклонов ВАХ фотоприемника и системы, а также отклонение ВАХ газового разряда (рис. 2) от вертикальности объясняется, по всей видимости, экранированием потока электронов. При использовании в качестве контрэлектрода металлических пластин, например, Cu , Ta , Al и др. ВАХ системы строго совпадает с наклоном ВАХ ФП.

Анализируя эти результаты, можно констатировать, что приближением зонда к краю разряда можно определить значение пробивного напряжения $U_{\text{пр}}$ для данных параметров разрядного промежутка, которое остается постоянным. Следует отметить, что при изменении входной освещенности наклоны ВАХ газоразрядного промежутка не изменяются, т. е. значение $U_{\text{пр}}$ остается постоянным. Крутизна ВАХ системы в послепробойной области увеличивается с ростом интенсивности освещения.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Подытоживая полученные результаты, можно заключить, что полупроводниковый электрод осуществляет одновременно две функции: локально управляет плотностью тока газоразрядного промежутка и подавляет нежелательную для работы системы неустойчивость однородного распределения тока. Диапазон наблюдаемых токов и вертикальность ВАХ газоразрядного промежутка указывают на тот факт, что работа систем осуществляется в области нормального тлеющего разряда. Однако, как уже указывалось, характерное для этой стадии разряда шнурование тока в нашем случае отсутствует.

ЛИТЕРАТУРА

1. Йулдашев Х. Т., Касымов Ш. С., Хайдаров З. Фотопреобразователь ИК-изображений со сверхтонкой газоразрядной ячейкой и люминофором // Прикладная физика. — 2016. — № 2. — С. 94–99.
2. 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.

3. 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.
4. Орбух В. И., Лебедева Н. Н., Саламов Б. Г. Влияние поверхностной проводимости полупроводникового электрода на распределение газоразрядного тока // ФТП. — 2009. — Т. 43, вып. 10. — С. 1329–1332.
5. Astrov Y. A., Logvin Y. A. Formation of clusters of localized states in a gas discharge system via a self-completion scenario // Phys. Rev. Lett. — 1997. — Vol. 79. — P. 2983–2986.
6. Gurevich E. L., Liehr A. W., Amiranashvili Sh., et al. Role of surface charges in dc gas-discharge systems with high-ohmic electrodes // Physical Review E. — 2004. — Vol. 69. — P. 036211-1–7.
7. Мурадов А. Х., Аллахвердиев Ш. А. Вольтамперная характеристика контакта высокоомного полупроводникового зонда с плазмой положительного столба разряда в гелии // Вестник Бакинского Государственного Университета. — 2012. — № 1. — С. 174–181.
8. Мурадов А. Х. Дифференциальная характеристика высокоомного полупроводникового зонда в плазме неоновом разряда // Вестник Бакинского Государственного Университета. — 2013. — № 1. — С. 127–133.

REFERENCES

1. Juldashiev H. T., Kasymov Sh. S., Hajdarov Z. Fotopreobrazovatel' IK-izobrazhenij so sverhtonkoj gazorazryadnoj yachejkoj i lyuminoformom // Prikladnaya fizika. — 2016. — No. 2. — P. 94–99.
2. Lodygin A. N., Astrov Yu. A., Porcel' L. M., Beregul'in E. V. Dinamika taunsendovskogo razryada v argone // ZhTF. — 2015. — Vol. 85(5). — P. 27–31.
3. 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.
4. Orbuh V. I., Lebedeva N. N., Salamov B. G. Vliyanie poverhnostnoj provodimosti

- poluprovodnikovogo elektroda na raspredelenie gazorazryadnogo toka // FTP. — 2009. — Vol. 43, vyp. 10. — P. 1329–1332.
5. Astrov Y. A., Logvin Y. A. Formation of clusters of localized states in a gas discharge system via a self-completion scenario // Phys. Rev. Lett. — 1997. — Vol. 79. — P. 2983–2986.
 6. Gurevich E. L., Liehr A. W., Amiranashvili Sh. et al. Role of surface charges in dc gas-discharge systems with high-ohmic electrodes // Physical Review E. — 2004. — Vol. 69. — P. 036211-1–7.
 7. Muradov A. H., Allahverdiev Sh. A. Vol't-ampernaya harakteristika kontakta vysokomnogo poluprovodnikovogo zonda s plazmoj polozhitel'nogo stolba razryada v gelii // Vestnik Bakinskogo Gosudarstvennogo Universiteta. — 2012. — No. 1. — P. 174–181.
 8. Muradov A. H. Differencial'naya harakteristika vysokomnogo poluprovodnikovogo zonda v plazme neonovogo razryada // Vestnik Bakinskogo Gosudarstvennogo Universiteta. — 2013. — No. 1. — P. 127–133.