

О ФОРМИРОВАНИИ НИЗКООМНОГО СОСТОЯНИЯ ГАЗА НАД ПОВЕРХНОСТЬЮ ПОЛУПРОВОДНИКОВОГО ЭЛЕКТРОДА В ПРЕДПРОБОЙНОМ РЕЖИМЕ

Н.Н.ЛЕБЕДЕВА, В.И.ОРБУХ, Е.Ю.БОБРОВА

*Бакинский Государственный Университет
AZ 1148, г.Баку, ул. З.Халилова, 23*

Исследуется влияние пробоя в узком газоразрядном промежутке с полупроводниковым электродом на его проводимость. Показано, что пробой газа приводит к увеличению проводимости системы в области слабых допробойных полей, т. е. имеет место эффект памяти. Предлагается объяснение наблюдаемому явлению.

ВВЕДЕНИЕ

Плоская газоразрядная ячейка, 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], бессеребряной фотографии [2], как ИК-преобразователи изображений [3], как устройства для визуализации электрических и структурных дефектов в высокоомных полупроводниках [4], как источник равномерного по большой площади УФ-излучения [5], как система, где образуются диссипативные структуры в газовой плазме [6].

Действие таких систем основано на формировании газового разряда в зазоре между металлическим анодом и полупроводниковым фоточувствительным и высокоомным катодом. Разряд в такой системе имеет следующие особенности: малый разрядный зазор (десятки микрон), распределенное сопротивление полупроводникового электрода, равномерное распределение послепробойного тока и свечения газа по всей площади электрода, локальная управляемость тока и свечения разряда за счет локального изменения сопротивления полупроводникового электрода под действием света.

В настоящее время хорошо известно, что в газоразрядном зазоре (ГРЗ), заключенном между двумя металлическими электродами, допробойный, так называемый несамостоятельный, ток возникает лишь под воздействием внешней ионизации, устранение которой приводит к его прекращению [7]. Для зажигания самостоятельного разряда (пробоя газоразрядного промежутка) к электродам нужно приложить некоторое предельное напряжение. Таким предельным значением считается статическое пробивное напряжение $U_{пр}$. Если достаточно медленно повышать разность потенциалов на электродах, то при $U=U_{пр}$ скачком увеличивается ток, появляется свечение в виде узкого шнура [8].

В настоящей работе показано, что замена одного из металлических электродов на высокоомный полупроводник изменяет развитие процесса возникновения тока в узком газоразрядном зазоре при напряжениях, предшествующих напряжению пробоя. Система обладает памятью: пробой газа приводит к увеличению ее проводимости в области слабых допробойных полей, когда $U < U_{пр}$.

ЭКСПЕРИМЕНТ

Измерения проводились на газоразрядных ячейках двух типов: тип 1 (оба электрода металлические) и тип 2 (один из электродов - высокоомный и

фоточувствительный полупроводник) Рис.1(а,б). В качестве полупроводникового электрода использовался компенсированный хромом (Cr) полуизолирующий ($\rho=10^8$ ом·см) арсенид галлия (GaAs:Cr). Пластины GaAs n-типа, ориентированные в (100) плоскости роста кристалла, имели толщину ~ 1 и диаметр 20мм. На одну сторону такой отполированной пластины вакуумным напылением наносился тонкий слой Ni (70% пропускания) или прозрачный проводящий слой SnO₂, которые служили электрическими контактами к полупроводнику. Контрэлектродом был стеклянный диск, покрытый прозрачным слоем SnO₂. В ячейке типа 1 полупроводниковый электрод заменялся полированным алюминиевым диском. Зазор между электродами создавался слюдяной шайбой толщиной $d=60$ мкм, внутренний диаметр которой определял рабочую площадь газового зазора ($S=0,8$ см²). Кассета, в которой собиралась газоразрядная ячейка, помещалась в металлическую камеру с двумя окнами для освещения полупроводника и наблюдения за свечением разряда, двумя электрическими вводами и отводом для откачки газа из камеры.

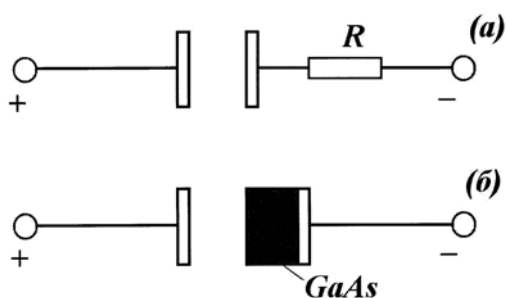
**Рис.1.**

Схема ГРЗ двух типов:
а- тип1 (два металлических электрода),
б- тип 2 (один из электродов – полупроводник).

Постоянное напряжение от стабилизированного источника ($U=40\div 1000$ В) подавалось на вход блока управления, в котором был делитель входного напряжения и сопротивление нагрузки, включенное последовательно с газоразрядной ячейкой. С блока управления часть напряжения ($0,0015U$) подавалась на горизонтальный X- вход координатного самописца типа “Эндим”, а с сопротивления нагрузки (10^3 и 10^4 кОм) напряжение подавалось на У-вход. Наименьший ток, который регистрировал усилитель самописца (потенциометрический вход с сопротивлением 50МОм), был $8\cdot 10^{-10}$ А. Давление воздуха в камере контролировалось манометром с точностью до 4мПа. Давление воздуха менялось в интервале $p=20$ мПа $\div 1$ Па. Засветка полупроводникового электрода осуществлялась светом лампы накаливания (400Вт), прошедшим через фильтр ($\lambda\geq 1$ мкм). Интенсивность света менялась нейтральными фильтрами.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЯ

Вольт- амперные характеристики (ВАХ) для зазоров обоих типов измерялись при одинаковом давлении воздуха ($p=80$ мПа) и при одинаковых размерах зазора. Процедура измерений была следующей. После установления кассеты воздух из камеры откачивался до $p\leq 0,133$ мПа, затем в камере устанавливалось рабочее давление 80мПа. Далее на ячейку подавалось постоянное напряжение, и для каждого значения напряжения измерялся стационарный ток. В ячейке типа 1, где оба электрода металлические, ток до пробоя не регистрируется, т.е. он меньше $8\cdot 10^{-10}$ А, непосредственно перед пробоем наблюдаются шумы и при $U_{пр}=380$ В ток скачком увеличивается так, что на ВАХ наблюдается быстрый рост тока, величина которого определяется сопротивлением нагрузки (Рис.2, кривая 1).

В ячейке, где один из электродов полупроводник, сопротивление которого $8\cdot 10^8$ Ом, ток порядка 10^{-10} А регистрируется уже при $U\geq 300$ В (Рис.2, кривая 2) и при $U\geq 350$ В начинает плавно возрастать. При этом напряжении начинается процесс ионизации газа. Токи, регистрируемые до начала ионизации, не зависят от давления в интервале 20мПа $\div 1$ Па. Различия в ВАХ до начала ионизации для двух

типов газоразрядных зазоров объясняются следующим образом. В случае полупроводникового электрода, который представляет собой распределенное по сечению сопротивление, переход из устойчивого состояния с малым током в устойчивое состояние с большим током происходит локально в различных участках независимо друг от друга, в результате чего наблюдается плавное нарастание тока. В случае металлических электродов из-за постоянного потенциала на поверхности поле в зазоре постоянно, т.е. локальные переходы невозможны, поэтому ток возникает скачком одновременно во всем объеме.

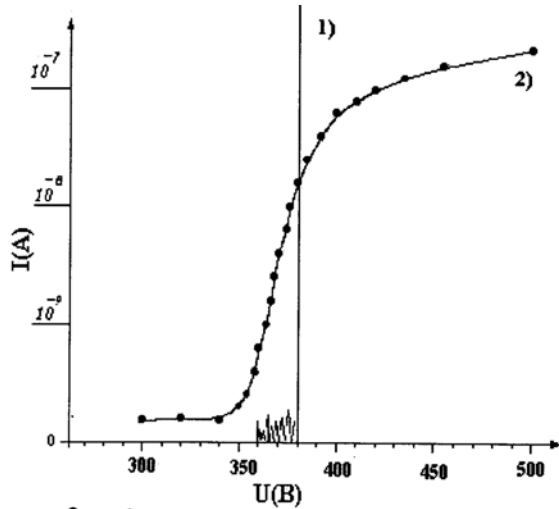


Рис. 2.

ВАХ для двух типов ячеек: (1) – ячейка типа 1, (2) – ячейка типа 2.

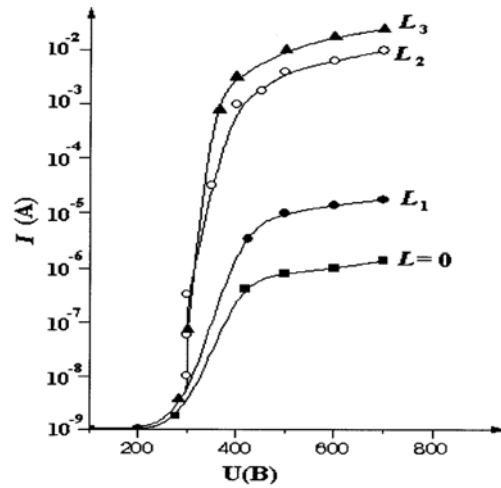


Рис.3.

ВАХ ГРЗ при разных интенсивностях засветки полупроводника L: ($L_1 < L_2 < L_3$).

На Рис.3 приведены ВАХ при разных засветках полупроводникового электрода. Сопротивление полупроводника менялось от $8 \cdot 10^8$ в темноте до $3 \cdot 10^4$ Ом при наибольшей интенсивности засветки. Сопротивления газоразрядного зазора, определенные из приведенных ВАХ при $U > U_{пр}$ по порядку величины совпадают с сопротивлением полупроводникового электрода для тех же интенсивностей засветки. Фоточувствительность у газоразрядного зазора появляется, как только начинается процесс ионизации, а при $U < U_{пр}$ фоточувствительность равна нулю.

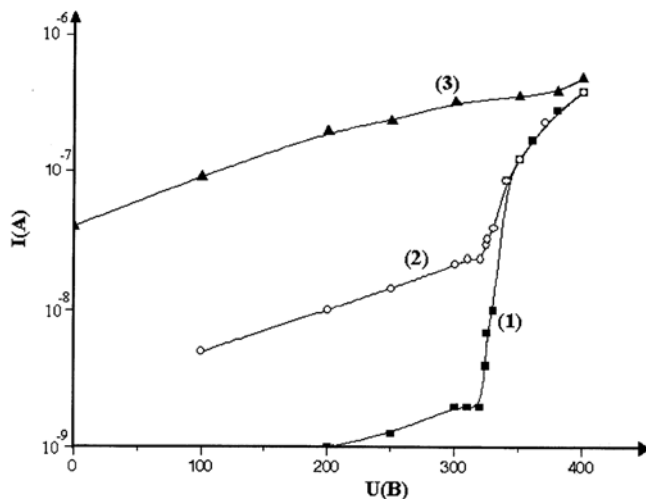


Рис.4.

ВАХ допробных токов при $p=80$ мПа для разных режимов измерений: (1) – после предварительной откачки до 0.133 мПа; (2) – после предварительной ионизации в темноте при $U=800$ В; (3) – после предварительной ионизации на свету при $U=800$ В.

Пробой газового промежутка, сопровождающийся протеканием большого тока через газоразрядную ячейку, особенно при мощной засветке ($I \sim 10^{-2}$ А), приводит к изменению проводимости системы в допробном режиме. Это демонстрирует Рис.4, на котором представлены ВАХ допробного темного тока при $p=80$ мПа, измеренные при разных режимах: (1) – перед измерением

допробойного тока ячейка была откачана до 0.133мПа, затем запускался воздух до 80мПа, и измерялась зависимость темного тока от напряжения; (2) – перед измерением допробойного тока газ был предварительно ионизован в темноте при напряжении на ячейке 800В, когда ток через ячейку был порядка 10^{-6} А, полученные значения допробойного тока не зависели от полярности поляризуемого поля; (3) – перед измерением темного тока газ был предварительно ионизован при 800В на свету, когда ток через ячейку был порядка 10^{-2} А.

Из приведенных на Рис.4 результатов следует, что допробойная электропроводность газового зазора существенно увеличивается от того, что газовый зазор подвергался пробоем. Величина этого эффекта зависит от величины ионизационного тока и не зависит от полярности ионизирующего напряжения. Эффект отсутствует, если оба электрода металлические. Эффект исчезает после откачки газа до 0.133мПа.

Всем этим условиям удовлетворяет представление об установлении диффузионно- дрейфового равновесия в газовом промежутке (после выключения ионизирующего поля), связанное с зарядкой приповерхностного слоя полупроводника. При приложении к структуре внешнего поля в допробойном режиме ($U < U_{пр}$) в начальный момент поле однородно по всей структуре. За счет проводимости полупроводника (сопротивление полупроводника много меньше сопротивления неионизованного газа) происходит накопление заряда в приповерхностном слое со стороны полупроводника. В результате поле переходит в газ, поэтому засветка полупроводника в допробойном режиме не влияет на величину тока. После пробоя, когда сопротивление ионизованного газа становится меньше сопротивления полупроводника, вновь осуществляется перераспределение полей. Теперь уже ток проводимости в газе гораздо больше, чем в полупроводнике, поэтому в приповерхностном слое полупроводника со стороны газа образуется заряд противоположного знака, который вытесняет поле из газового зазора в полупроводник. В результате после выключения ионизирующего поля мы получаем на приповерхностном слое полупроводника заряженный конденсатор. Из-за малой концентрации носителей в газе длина экранирования в газе порядка десятков микрон, что совпадает с размерами газового зазора в нашей системе, поэтому экранирующие заряды обеспечивают проводимость в газовом зазоре. Таким образом, диффузионно-дрейфовое равновесие зарядов в газовом промежутке обеспечивает стабильность остаточной проводимости в газе.

Предлагаемая модель удовлетворяет экспериментальным результатам. Действительно, после откачки газа до 0.133мПа указанное распределение зарядов исчезает, объем газового промежутка вновь становится нейтральным, и проводимость его равна нулю; в случае двух металлических электродов нет объекта зарядки (приповерхностного слоя полупроводника), и наблюдаемый эффект отсутствует; и, наконец, самое главное: наша модель не противоречит независимости эффекта от полярности приложенного напряжения.

1. B.G.Salamov, N.N.Lebedeva, K.Golakoglu, S.Altindal, *The Imag. Sci. J.*, **46** (1998) 65.
2. A.Kh.Zeinally, N.N.Lebedeva, L.G.Paritskii, B.G.Salamov, *Photogr. Sci.*, **39** (1991) 114.
3. Л.Г.Парицкий, С.М.Рывкин, *ФТП*, **4** (1970) 764.
4. N.N.Lebedeva, B.G.Salamov, V.I.Orbukh, V.M.Nagiev, *Instrum. And Experim. Techniques*, **37** №5 par.2 (1994) СТР.
5. Н.Н.Лебедева, Б.Г.Саламов, Е.Ю.Боброва “Bakı univer. xəbərləri. Fiz.-Riy. Elm. Seryası, N3 (2002) 67.

6. Ю.А.Астров, Х.Г.Пурвинс, Пространственно-временные структуры в поперечно-протяженной полупроводниковой системе, ТОМ, ГОД, СТР
7. В.Л.Грановский, Электрический ток в газе. Установившийся ток, М. "Наука", (1971) 544.
8. Ю.Д.Королев, Г.А.Месяц, Физика импульсного пробоя газов, Москва, Наука, (1991) 223.

**DEŞİLMƏ ƏRƏFƏSİ REJİMİNDƏ YARIMKEÇİRİCİ ELEKTROD SƏTHİNDƏ AŞAĞI OMLU
QAZ HALININ YARANMASI MÖVZUSUNDA
N.N.LEBEDEVA, V.I.ORBUKH, Ye.Yu.BOBROVA**

Yarımkeçirici elektrodla dar qazboşalması aralığının keçiriciliyinə deşilmənin təsiri tədqiq olunur. Müəyyən edilmişdir ki, deşilməyədək olan zəif sahə oblastında qazın deşilməsi onun keçiriciliyinin artmasına səbəb olur. Müşahidə olunmuş hadisə yaddaş effektinə də uyğun gəlir. Bu baxımdan müşahidə olunan hadisənin izah edilməsi təklif olunur.

**ABOUT THE FORMATION OF THE LOW RESISTIVE GAS CONDITION ABOVE A
SEMICONDUCTING ELECTRODE SURFACE IN THE PREBREAKDOWN REGIME**

N.N.LEBEDEVA, V.I.ORBUKH, Ye.Yu.BOBROVA

The effect of the gas breakdown in a narrow gas discharge gap with a semiconducting electrode on its conductivity has been investigated. It was shown that the breakdown of gas leads to the increase of its conductivity in the range of the weak prebreakdown fields, i.e. "memory" effect takes place here. The explanation of the observed phenomenon was suggested.

Редактор: Дж.Абдинов