

## ИССЛЕДОВАНИЕ КОНТАКТА ВЫСОКООМНОГО ПОЛУПРОВОДНИКОВОГО ЗОНДА С ГАЗОРАЗРЯДНОЙ ГЕЛИЕВОЙ ПЛАЗМОЙ

МУРАДОВ А.Х.

*Бакинский Государственный Университет*

Измерена ВАХ плоского полупроводникового зонда, помещенного в 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. Оценена глубина проникновения поля в полупроводник.

### 1. Введение

Решение таких вопросов, как стабилизация работы различных приборов газового разряда, [1,2] преобразование инфракрасного излучения в видимое [3,4], преобразование изображений и бессеребряное фотографирование [5,6] и т. д. 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 разрядов. Однозначного мнения о механизме стабилизации разряда с полупроводниковым электродом и физической интерпретации процессов в такой газоразрядной ячейке не существует. Однако, по-видимому, физические процессы, происходящие в контакте полупроводника и плазмы, играют определяющую роль в формировании разряда. В литературе, посвященной изучению этого вопроса, неизвестны исследования непосредственного контакта полупроводника с плазмой.

В данной работе измерена ВАХ плоского полупроводникового зонда, помещенного в 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. Оценена глубина проникновения поля в полупроводник.

### 2. Условия эксперимента и результаты измерений

Измерялась ВАХ полупроводникового зонда, помещенного в плазму. Зонд был изготовлен из высокоомного образца GaAs ( $\rho = 10^8 \text{ Ом.см}$ ) в виде диска толщиной 1 мм и диаметром 8 мм. Боковая и тыльная стороны были покрыты стеклом так, что с плазмой контактировала только обращенная к ней поверхность. С помощью проводящей пасты зонд был приклеен к молибденовому проводнику, служившему выводом для измерений.

В качестве плазмы, контактирующей с полупроводником, бралась плазма газового разряда, образующаяся в положительном столбе (ПС) разряда в гелии.

Разрядная трубка длиной 50 см и с внутренним диаметром 2,4 см имела катод прямого накала из вольфрамовой нити и никелевый конусообразный анод. Такая форма анода бралась для гашения анодных колебаний, т.к. из-за сильной нелинейности вольтамперной характеристики зонда наличие колебаний параметров плазмы, особенно колебаний потенциала пространства, могут сильно исказить форму ВАХ.

Выбор гелия в качестве рабочего газа вызван следующими обстоятельствами.

При изучении влияния постороннего излучения на зондовые характеристики, возможно влияние излучения на электрические параметры самой плазмы. Так, поглощение постороннего излучения может перевести атом с метастабильного в резонансное состояние и, тем самым, уменьшить заселенности метастабильных уровней. Последнее может привести к уменьшению скорости ионизации и, вследствие этого, изменению электрического поля и потенциала в точке расположения зонда. В случае гелия интеркомбинационные переходы излучением запрещены, поэтому атом гелия, находящийся в метастабильном состоянии  $2^3S_1$ , на долю которого приходится почти вся ступенчатая ионизация, поглотив фотон, переходит на высокорасположенный триплетный уровень, а затем, испустив фотон, опять переходит в триплетное метастабильное состояние. Поэтому постороннее излучение почти не влияет на заселенности метастабильных уровней. Кроме того, в гелии исключается влияние излучения на электрические параметры плазмы в результате фотоионизации, т.к. порог фотоионизации с основного состояния находится в области вакуумного ультрафиолета, а с метастабильного состояния – за  $0,26\mu k$ .

Отсутствие зависимости электрических параметров плазмы от постороннего излучения экспериментально проверялось облучением плазмы с помещенным в нее металлическим зондом. При этом во всем диапазоне разрядных условий изменения потенциала металлического зонда не наблюдалось.

В разряде в инертных газах в очень широких пределах изменения разрядных условий существуют бегущие слоистраты. При наличии в положительном столбе страт все электрические параметры периодически изменяются, и вследствие этого, определение плавающего потенциала становится невозможным. В случае гелия возможен подбор разрядных условий так, что в области отсутствия страт можно было проводить измерения при изменении силы разрядного тока и давления на порядок.

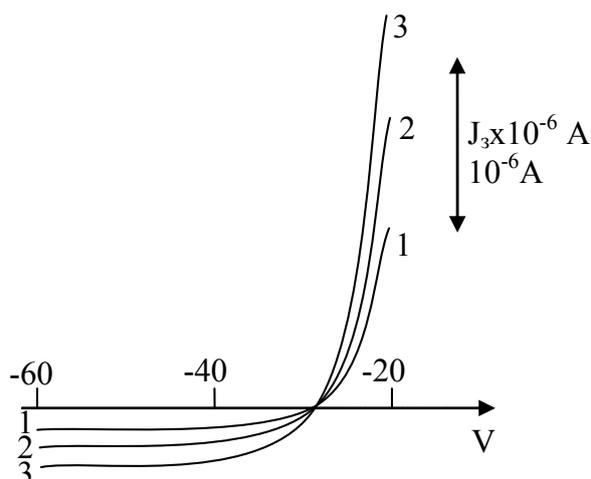


Рис. 1.

Зондовые характеристики, измеренные при различных освещенностях зонда. 1 – 0%, 2 – 50%, 3 – 100%. ( $He, P = 0,2 Torr, J_p = 150 mA$ ).

На рис.1 приведены зондовые характеристики при различных освещенностях зонда. Измерения проведены при условии  $P = 0,2 \text{ Torr}$  и силе разрядного тока  $J_p = 150 \text{ mA}$ . В качестве источника излучения использовался проектор "Связь". Изменение интенсивности излучения проводилось с помощью нейтральных фильтров. Из рисунка видно, что с ростом интенсивности излучения зондовые характеристики возрастают круче. Такие же характеристики, полученные при излучении через инфракрасные фильтры, идут существенно ниже (ближе к оси напряжения). Этот факт дает возможность заключить, что измерения характеристик связаны в основном с объемными процессами.

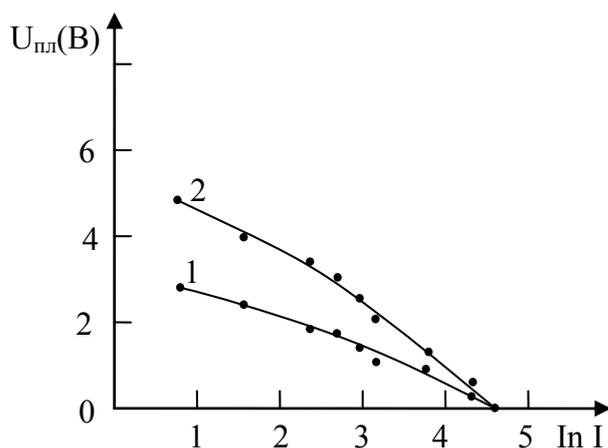


Рис.2.

Зависимость плавающего потенциала полупроводникового зонда от интенсивности излучения при различных давлениях газа  
 (1. –  $P = 0,6 \text{ Torr}$ ,  $J_p = 50 \text{ mA}$ ; 2. –  $P = 0,2 \text{ Torr}$ ,  $J_p = 50 \text{ mA}$ )

На рис.2 приведены зависимости плавающего потенциала от интенсивности излучения при различных разрядных условиях. При проведении измерений было обнаружено, что с увеличением разрядного тока абсолютные значения зондовых токов растут. С ростом давления изменения  $U_{пл}$  от интенсивности излучения уменьшается. Это, по-видимому, связано с тем, что при низких давлениях теплопроводность газа низка, и под действием излучения полупроводниковый образец нагревается до высоких температур, и, вследствие этого, уменьшается его сопротивление. С ростом давления теплопроводность газа увеличивается и поэтому устанавливается более низкая температура и низкая проводимость зонда.

### 3. Уравнение плазмы и слоя

Рассмотрение контакта плазмы с металлом приводит к т. н. уравнению плазмы и слоя [7]. Для вывода этого уравнения воспользуемся уравнением Пуассона

$$\nabla^2 V = 4\pi e(n_i - n_e) \quad (1)$$

При отрицательных значениях потенциала концентрация электронов подчиняется распределению Больцмана

$$n_e = n_0 \exp \frac{-e(V - V_0)}{kT_e}, \quad (2)$$

где  $n_0$ ,  $V_0$  - концентрация и потенциал у границы слоя,  $T_e$  - электронная температура в невозмущенной плазме.

Ионы в ускоряющем поле приобретают кинетическую энергию  $eV$ , и во всех точках значение ионного тока должно быть одинаковым.

$$j_i = n_i \sqrt{\frac{2eV}{m_i}} = n_0 \sqrt{\frac{2eV_0}{m_i}} \quad (3)$$

т. е.,

$$n_i = n_0 \sqrt{\frac{V_0}{V}} \quad (4)$$

Таким образом, концентрация ионов по мере их ускорения уменьшается. Подстановка (4) и (2) в уравнение (1) приводит к

$$\frac{d^2V}{dx^2} = n_0 e \left[ \sqrt{\frac{V_0}{V}} - e^{-\frac{e(V-V_0)}{kT_e}} \right], \quad (5)$$

Из решения этого уравнения следует, что для образования устойчивого слоя необходимо, чтобы ионы приходили к слою с энергией, превышающей

$$eV_0 = \frac{1}{2} kT_e. \quad (6)$$

В случае полупроводниковой поверхности по мере увеличения зондового тока часть разности потенциалов падает у поверхности полупроводника, и зависимость силы тока от приложенного потенциала ослабевает. Этого хорошо видно из измеренных характеристик. Т. к. при этом характеристика целиком деформируется и смещается, то плавающий потенциал также перемещается, и смещение плавающего потенциала может служить мерой проникновения поля вглубь полупроводника. Таким образом, измерив смещение плавающего потенциала, можно оценить глубину проникновения поля в полупроводник. Как следует из рисунка 2, изменение плавающего потенциала представляет собой величину порядка нескольких вольт, и возрастает с уменьшением давления.

- 
1. *Astrov Y. A., Logvin Y.A.* Phys. Rev. Lett. V.79. p. 2983, 1997.
  2. *Gurevich E. L., Liehr A. W., Amiranashvili Sh., Purwinn H. G.* Physical Review E., V.69, p. 036211-1-7. 2004.
  3. *Лебедева Н.Н., Нагиев В.В., Эйвазова Г.М., Боброва Е.Ю.* Труды МЭПП, 2001, стр. 128.
  4. *Парицкий Л.Г., Рывкин С.М.* ФТП, т.4, стр. 764, 1970.
  5. *Зейналлы А.Х., Лебедева Н.Н., Парицкий, Саламов Б.Г.* J. Potografic Sci., т. 39, с. 114, 1991.
  6. *Орбух В.И., Лебедева Н.Н., Султанов Э.А.* Известия НАН Азербайджана, сер. Физ.-мат. и техн., №5, с. 94, 2007.
  7. *Грановский В.Л.* Электрический ток в газе. Москва: Наука, 1971, 543с.

## YÜKSƏK OMLU YARIMKEÇİRİCİ ZONDUN QAZ BOŞALMASI HELIUM PLAZMASI İLƏ KONTAKTININ TƏDQIQI

**MURADOV Ə.X.**

Qaz boşalması helium plazmasına yerləşdirilmiş müstəvi şəkilli yarımkeçirici zondun voltamper xarakteristikası ölçülmüşdür. Zond xarakteristikasına kənar şüalanmanın təsiri öyrənilmişdir. Şüalanmanın təsiri ilə zond cərəyanının kəskin artdığı və Üzən potensialın

xarakteristikanın elektron hissəsinə tərəf sürüşdüyü müəyyən edilmişdir. Elektrik sahəsinin yarımkeçiricinin daxilinə nüfuz etmə dərinliyi qiymətləndirilmişdir.

**INVESTIGATION OF CONTACT OF HIGH OHMIC SEMICONDUCTOR  
PROBE WITH THE HELIUM DISCHARGE PLASMA**

**MURADOV A. H.**

The volt-ampere characteristic of plane semiconductor probe, placed in gaseous discharge plasma has been measured. The external radiation influence on the measured characteristics is studied. It has been obtained that under the influence of radiation probe current drastically increases and floating potential shifts towards the electron part of characteristics. The electric field penetrating depth into the semiconductor is estimated.