

КОНТАКТ ВЫСОКООМНОГО ПОЛУПРОВОДНИКОВОГО ЗОНДА С ПЛАЗМОЙ ПОЛОЖИТЕЛЬНОГО СТОЛБА РАЗРЯДА В НЕОНЕ

МУРАДОВ А.Х.

*Бакинский Государственный Университет
AZ1148, Баку, З.Халилова, 23*

Измерены первые производные ВАХ плоского полупроводникового зонда, помещенного в неоновую газоразрядную плазму. Под действием внешнего излучения величина зондового тока сильно возрастает, максимумы производных смещаются в сторону электронной части характеристики. Смещения максимумов интерпретируется как глубина проникновения поля в полупроводник.

Введение

Колебания и различного рода неустойчивости в разряде газовых лазеров заметно влияют на пороги генерации, параметры излучения и другие свойства оптических квантовых генераторов [1]. Использование полупроводниковых электродов в разряде позволяет заметно стабилизировать разряд, существенно сократить область параметров возбуждения колебаний и волн по силе разрядного тока и давлению [2]. Существенное влияние полупроводникового электрода на колебательные свойства разряда связано с процессами, происходящими в контакте полупроводника и плазмы. Установившегося мнения о механизме стабилизации разряда при использовании полупроводникового электрода не существует. Имеется ряд отрывочных экспериментальных и расчетных работ. Наиболее интересными и обстоятельными являются исследования, проведенные в узких газоразрядных ячейках с полупроводниковым электродом [2-4]. Непосредственное изучение контакта высокоомного полупроводникового электрода с гелиевой плазмой проводилось в работе [5]. Измерена ВАХ плоского полупроводникового зонда, помещенного в положительный столб разряда в гелии. Обнаружено, что под действием внешнего излучения плавающий потенциал смещается в сторону электронной части характеристики. По величине этого смещения оценена глубина проникновения поля в полупроводник.

В настоящей работе 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 в полупроводник.

Условия эксперимента

Полупроводниковый зонд, изготовленный из высокоомного образца GaAs ($\rho = 10^8 \text{ Ом} \cdot \text{см}$) в виде диска толщиной 1мм и диаметром 8мм, помещался в положительный столб дугового разряда с искусственно накаливаемым катодом. Боковая и тыльная стороны зонда были покрыты стеклом так, чтобы контактировала с плазмой 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, использовалась плазма положительного столба дугового разряда в неоне с искусственно накаливаемым катодом. 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 выбрана 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 неона 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 на 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 неона атом, находящийся в метастабильном состоянии 2^3s_5 , на долю которого приходится почти вся ступенчатая ионизация, поглотив фотон, переходит на высокорасположенный уровень, а затем, испустив фотон, опять переходит в метастабильное состояние. Поэтому постороннее излучение почти не влияет на заселенности метастабильных уровней. Кроме того, в неоне 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 $0,26\text{мкм}$.

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, вольтамперная характеристика размывается. В случае неона можно подбирать разрядные условия так, чтобы амплитуда стратовых колебаний и глубина модуляции параметров была мала. Кроме того, электронные температуры в неоне существенно меньше, чем в случае гелия и поэтому характерные расстояния в вольтамперной характеристике, например, расстояние между плавающим потенциалом и потенциалом пространства, относительно невелики.

Методика измерений

Наибольшее распространение получили радиотехнические методы нахождения производных зондового тока по потенциалу зонда [6]. В цепь измерительного зонда вводится переменный сигнал малой амплитуды. Присутствие этого сигнала наряду с постоянным зондовым смещением приводит к возникновению переменных составляющих (гармоники) зондового тока, связанных с различными степенями производных. Для их измерений соответствующая гармоника усиливалась и регистрировалась.

Если дополнительный сигнал синусоидальный, т.е. $V_1 = A \cos \omega t$, то потенциал зонда будет равен $V + V_1$, а ток в зондовой цепи является функцией

$$J = f(V + A \cos \omega t)$$

Если амплитуда A достаточно мала, то, разлагая правую часть в ряд Тейлора, можно написать:

$$J(V + V_1) = J(V) + \frac{A^2}{4} J''(V) + \dots \left[AJ'(V) + \frac{A^3}{8} J'''(V) + \dots \right] \cos \omega t + \left[\frac{A^2}{4} J'' + \dots \right] \cos 2\omega t + \dots$$

Из этого выражения видно, что амплитуда гармоники на частоте ω пропорциональна первой производной зондового тока, если всеми членами амплитудного ряда при этой гармонике можно пренебречь по сравнению с первым.

В нашем случае частота дополнительного сигнала была равна 600Гц. Из сопротивления $R = 50 \text{ Ом}$, помещенного в зондовую цепь, сигнал подавался на вход узкополосного усилителя. Гармоника на этой частоте усиливалась, детектировалась синхронным детектором и записывалась самопишущим потенциометром.

Результаты измерений

На рис 1. приведены первые производные зондовых характеристик при различных освещенностях зонда. Измерения проведены при условии $P = 0,2 \text{ Торр}$ и силе разрядного тока $J_p = 100 \text{ мА}$. При этих условиях амплитуда регулярных стратовых колебаний была минимальна. В качестве источника излучения использовался проектор “Связь”. Изменение интенсивности излучения проводилось с помощью нейтральных фильтров. Из рисунка видно, что с ростом интенсивности излучения величина сигнала возрастает, максимумы первых производных смещаются в сторону электронной части характеристики. Рост величины первой производной связан с увеличением силы зондового тока при облучении.

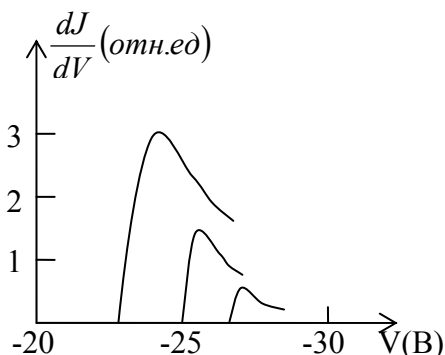


Рис. 1. Первые производные зондовых характеристик, измеренных при различных освещенностях зонда. 1 - 0%, 2 – 50%, 3 – 100% (Ne, P=0,2 Торр, $J_p=100 \text{ мА}$).

Максимум первой производной соответствует потенциалу пространства в точке расположения зонда. Смещение максимумов свидетельствует о проникновении поля внутрь полупроводника, поэтому это смещение может служить мерой проникновения.

На рис.2 приведена зависимость величины смещения максимумов первых производных характеристик от давления газа при максимальной освещенности зонда. С ростом давления, при одной и той же силе разрядного тока, $U_{см}$ уменьшается.

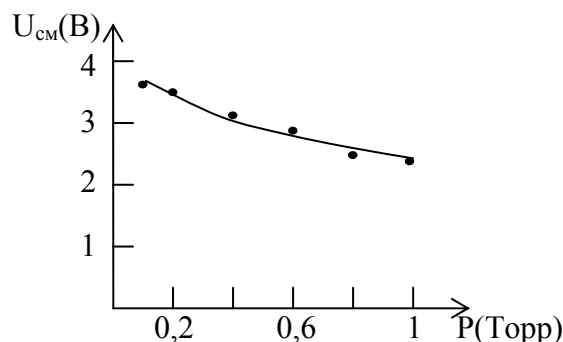


Рис. 2. Зависимость потенциала смещения максимума первой производной зондовой характеристики от давления газа при одинаковой освещенности.

Это, по-видимому, связано с тем, что при низких давлениях теплопроводность газа низка, и под действием внешнего 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.

Распределение потенциала в окрестности зонда

Распределение потенциала в окрестности зонда должно быть найдено из уравнения Пуассона. В случае плоской геометрии это уравнение, определяющее распределение потенциала в слое, имеет простой вид:

$$\frac{d^2V}{dx^2} = -4\pi e(n_i - n_e) \quad (1)$$

Исключая n_e и n_i , для $V < 0$, получаем [7]

$$\frac{d^2V}{dx^2} = -4\pi en_c \left[\left(\frac{V_c}{V} \right)^{1/2} - e^{-\frac{e(V-V_c)}{kT_e}} \right] \quad (2)$$

Здесь V_c - потенциал на границе ионного слоя пространственного заряда, отсчитываемый по отношению к невозмущенной плазме. Интегрируя (2) с учетом граничных условий $\frac{dV}{dx} = 0$, при $V = V_c$ получаем:

$$\left(\frac{dV}{dx} \right)^2 = -8\pi en_c \left\{ 2V_c \left[\left(\frac{V}{V_c} \right)^{3/2} - 1 \right] - \frac{kT_e}{e} e^{-\frac{e(V-V_c)}{kT_e}} - 1 \right\} \quad (3)$$

Из решения этого уравнения следует, что в околосондовой области формируется слой пространственного заряда. Внутри этого слоя при приближении к зонду потенциал быстро растет, а концентрации электронов и ионов падают, причем электронная концентрация падает гораздо быстрее ионной. Поэтому плотность заряда имеет максимум на некотором расстоянии R_0 от поверхности зонда. Начиная от этого максимума, потенциал медленно спадает по мере удаления от зонда до расстояний порядка нескольких радиусов Дебая.

С приближением к потенциалу пространства от больших отрицательных потенциалов толщина слоя уменьшается. При этом на зонд течет электронный ток с плотностью

$$j = ne \sqrt{\frac{kT_e}{2\pi m}} \quad (4)$$

Если теперь заменить металлический зонд высокоомным полупроводниковым, то зонд не может отобрать от плазмы электронный ток с плотностью, определяемой формулой (4). Сила зондового тока уменьшается, его поверхностный потенциал смещается в сторону плавающего потенциала.

Таким образом, в точках, расположенных ближе от максимума плотности пространственного заряда к поверхности зонда, часть разности потенциалов падает в объеме полупроводника, а в точках, расположенных дальше максимума плотности, распределение потенциала почти не меняется. Следовательно, зная точную форму зондовой характеристики, по значению разности токов при потенциале пространства и измеренного тока полупроводниковым зондом, определяется глубина проникновения поля в полупроводниковый электрод.

Определение потенциала пространства по максимуму первой производной позволяет более точное его определение, чем другими способами (например, по излому полулогарифмической характеристики). Поэтому приведенные на рис. 2 значения U_{cm} более точно передают зависимость глубины проникновения поля от давления.

-
1. *В.Е.Привалов*. Квантовая электроника 4 №10 (1977) 2085.
 2. *E. L.Gurevich, A. W.Liehr, Sh.Amiranashvili, H. G.Purwinn*. Physical Review E., 69 (2004) 036211-1-7.
 3. *Н.Н.Лебедева, В.В.Нагиев, Г.М.Эйвазова, Е.Ю. Боброва*. Труды МЭПП, (2001) 128.
 4. *В.И.Орбух, Н.Н.Лебедева, Э.А.Султанов*. Изв. НАНА Физ. и техн. №5 (2007) 94.
 5. *А.Х.Мурадов*. Проблемы энергетики, №1 (2008) 106.
 6. *Ю.М.Каган*. В сб. Спектроскопия газоразрядной плазмы под. ред. С.Э.Фриша, Л.: (1970) 201.
 7. *Л.Шотт*. Методы исследования плазмы, под ред. В Лохте-Хельтгревена, М.: “Мир” (1971) 459.

NEON QAZINDA ELEKTRİK BOŞALMASININ MÜSBƏT SÜTUN PLAZMASI İLƏ YÜKSƏK OMLU YARIMKEÇİRİCİ ZONDUN KONTAKTI

MURADOV Ə.X.

Neon qazında elektrik boşalmasının müsbət sütununda alınan plazmaya yerləşdirilmiş müstəvi yarımkeçirici zondun voltamper xarakteristikasının birinci tərtib törəməsi ölçülmüşdür. Kənar şüalanmanın təsiri nəticəsində zond cərəyanının şiddətinin kəskin artdığı və birinci tərtib törəmələrin maksimumunun xarakteristikanın elektron tərəfinə sürüşdüyü müşahidə edilmişdir. Maksimumların sürüşməsi elektrik sahəsinin yarımkeçirici daxilinə nüfuz etmə dərinliyi kimi interpretasiya edilmişdir.

THE CONTACT OF HIGH OHMIC SEMICONDUCTOR PROBE WITH THE POSITIVE COLUMN PLASMA OF A DISCHARGE IN NEON GAS

MURADOV A.H.

The first derivative of volt-ampere characteristics of plane semiconductor probe, placed in a positive column of neon gas discharge plasma has been measured. It has been obtained that under the influence of external radiation probe current drastically increases and maximums of first derivatives shift towards the electron part of characteristics. The shift of maximums is interpreted as the electric field penetrating depth into the semiconductor.