

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ АВТОНОМНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ
УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ «НОВОСИБИРСКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ
ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ».

Физический факультет

Кафедра общей физики

Барнаков Александр Викторович

КУРСОВАЯ РАБОТА

Мощностные измерения фото-ЭДС на поверхности GaAs с адсорбированными слоями цезия

Электромагнитный практикум, 2 курс, группа №18310

Научный руководитель:

к.ф.-м.н. А. Г. Журавлев

Оценка научного руководителя

«_____» _____ 20__ г.

Преподаватель практикума

Оценка преподавателя практикума

«_____» _____ 20__ г.

Куратор практикума:

к.т.н. В. Т. Астрелин

Оценка научного руководителя

Итоговая оценка

«_____» _____ 20__ г.

Мощностные измерения фото-ЭДС на поверхности Cs/GaAs

Барнаков Александр Викторович

Физический факультет. Электромагнитный практикум. Курсовая работа.

Группа № 18310, 3 семестр, 2019 год.

Научный руководитель:

к. ф.-м. н. **Журавлев Андрей Григорьевич**

Аннотация

Целью работы являлось измерение фото-ЭДС.

В данной работе апробирована методика измерения фото-ЭДС по вызываемой ей модуляции тока фотоэмиссии электронов из полупроводника в вакуум. С помощью данной методики была измерена фото-ЭДС на поверхности Cs/ p^+ -GaAs в зависимости от мощности лазерной накачки при актуальном для ОЭС-фотокатодов уровне легирования образца GaAs(Cs,O). Показано, что уменьшение интенсивности лазерной накачки приводит к уменьшению величины фото-ЭДС.

Ключевые слова: фото-ЭДС, фотоэмиссия, работа выхода.

Оглавление

1. Введение	4
2. Теоретическая часть	4
3. Описание эксперимента и экспериментальной установки	5
4. Методика эксперимента и обработка экспериментальных данных	7
5. Основные результаты	8
6. Список литературы	9

1. Введение

Фото-ЭДС на поверхности полупроводников состоит в уменьшении поверхностного изгиба зон, вызванном разделением фотогенерированных электронов и дырок в поверхностном электрическом поле и, как следствие, частичной экранировкой этого поля. Эффект фото-ЭДС лежит в основе работы фотоприемников на барьерах Шоттки и должен учитываться при определении величины изгиба зон методами оптической и фотоэмиссионной спектроскопии. Величина фото-ЭДС несёт информацию о процессах накопления фотоэлектронов вблизи поверхности, их захвата на поверхностные состояния и рекомбинации.

2. Теоретическая часть

Фото-ЭДС существенно влияет на работу фотокатодов GaAs(Cs,O) с отрицательным эффективным электронным сродством (ОЭС). В данных фотокатодах с отрицательным электронным сродством, благодаря активирующему (Cs,O)-слою, уровень вакуума лежит ниже дна зоны проводимости в объеме полупроводника (рис. 1а) [1]. В результате, фотоэлектроны, достигшие путем диффузии поверхности, могут выйти в вакуум без дополнительных затрат энергии. Значение ОЭС $\chi^* = \chi - \phi$ зависит от истинного сродства χ (которое остается положительным на поверхности GaAs(Cs,O)) и величины поверхностного изгиба зон ϕ . Уменьшение изгиба зон ϕ из-за фото-ЭДС приводит к увеличению величины эффективного электронного сродства χ^* и, как следствие, к уменьшению квантового выхода фотоэмиссии. В случае, когда полупроводниковый фотокатод с отрицательным электронным сродством освещается мощными лазерными импульсами, из-за фото-ЭДС во время импульса, может происходить почти полное распрямление изгиба зон. В результате происходит переход из состояния с отрицательным электронным сродством $\chi^* < 0$ в состояние с близким к нулю или даже с положительным электронным сродством, и квантовый выход фотоэмиссии резко уменьшается. Это ограничивает количество электронов, испускаемых в вакууме в течение

ние одного импульса (так называемая «проблема ограничения заряда»). Величина фото-ЭДС зависит от процессов накопления фотоэлектронов вблизи поверхности, их захвата на поверхностных состояниях и последующей рекомбинации. Таким образом, измерение фото-ЭДС представляется необходимым для понимания электронных процессов на поверхности GaAs с адсорбированными слоями цезия. На рисунке 1[1] представлена зонная диаграмма поверхности GaAs с отрицательным эффективным электронным сродством $\chi^* < 0$ (a) и положительным эффективным сродством к электрону $\chi^* > 0$ (b). Стрелки схематически показывают оптический переход электронов из валентной зоны в зону проводимости. Зональные диаграммы в темноте и при освещении с учетом фото-ЭДС $\Delta\phi$ показаны сплошной и пунктирной линиями, соответственно.

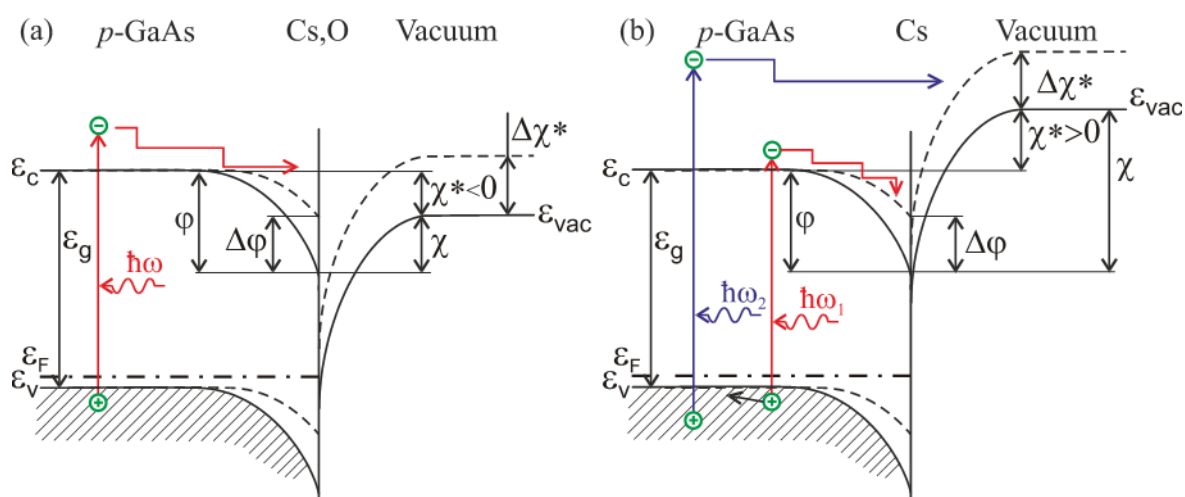


Рис.1. Зонная диаграмма поверхности GaAs с отрицательным эффективным электронным сродством $\chi^* < 0$ (a) и положительным эффективным сродством к электрону $\chi^* > 0$ (b). Стрелки схематически показывают оптический переход электронов из валентной зоны в зону проводимости. Зональные диаграммы в темноте и при освещении с учетом фото-ЭДС $\Delta\phi$ показаны сплошной и пунктирной линиями, соответственно.

3. Описание эксперимента и экспериментальной установки

Измерения фотоэмиссии проводились на эпитаксиальных слоях p^+ -GaAs с концентрацией дырок $p=7 \times 10^{18} \text{ см}^{-3}$. Атомно-чистые поверхности

GaAs(Cs,O) приготавливались удалением оксидов в растворе HCl в изопропиловом спирте в атмосфере сухого азота, переходом установку для сверхвысокого вакуума без контакта с воздухом и последующего нагревания в вакууме. Измерения проводились при комнатной температуре $T = 300$ К. Цезий наносился из диспенсеров, заполненных хроматом цезия.

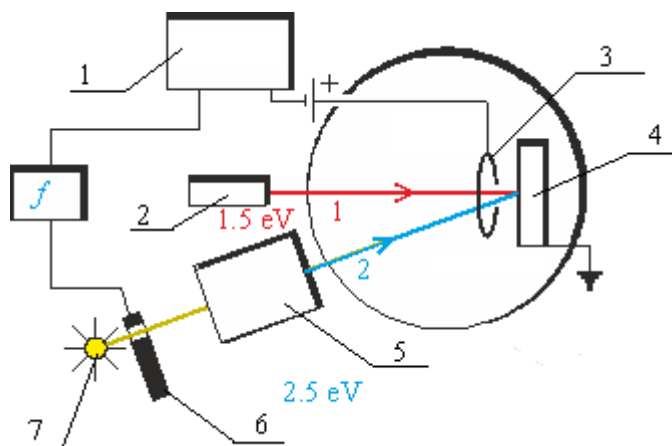


Рис.2. Схема экспериментальной установки: 1 – генератор, 2 – лазер, 3 – анод, 4 – поверхность GaAs, 5 – монохроматор, 6 – прерыватель, 7 – пучок света

На рисунке 2 представлена принципиальная схема экспериментальной установки. Для измерения фото-ЭДС использовался двухлучевой метод. Поверхность GaAs(Cs,O) освещалась двумя пучками: высокоинтенсивным пучком накачки лазерного диода с энергией фотонов $\hbar\omega_1 = 1.5$ эВ и низкоинтенсивным зондирующим пучком от монохроматора с энергией фотонов $\hbar\omega_2 = 2.5$ эВ. Интенсивность тестового пучка из монохроматора была модулирована оптическим прерывателем на частоте $f = 320$ Гц. С помощью синхронного детектирования на этой частоте происходило измерение тока фотоэмиссии, вызванной тестовым пучком. Включение лазерного диода вызывало фото-ЭДС, в результате чего работа выхода на поверхности Cs/GaAs увеличивалась и измеряемый ток фотоэмиссии уменьшался. В работе измерялась амплитуда относительного уменьшения тока фотоэмиссии, которая пропорциональна величине фото-ЭДС. Мощность лазерной накачки регулировалась с помощью установки оптических фильтров с различным показателем пропускания.

4. Методика эксперимента и обработка экспериментальных данных

Для измерения зависимости фото-ЭДС от мощности накачки была измерена зависимость токов фотоэмиссии от времени при различных мощностях лазерной накачки, включение и выключение которой вызывало уменьшение и увеличение тока фотоэмиссии с поверхности Cs/GaAs. На рисунке 3 представлена эволюция тока фотоэмиссии при включении и выключении лазерной накачки различной интенсивности.

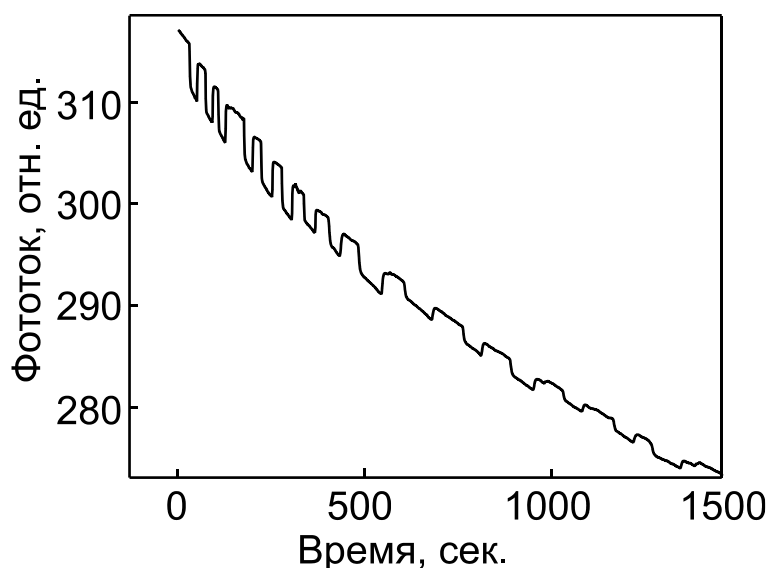


Рис.3. Эволюция тока фотоэмиссии на поверхности GaAs с адсорбированными слоями цезия при включении и выключении лазерной накачки

Как видно из рисунка 3, помимо модуляции, вызванной включением и выключением лазерной накачки, наблюдается монотонный спад тока фотоэмиссии. Данный спад, по-видимому, обусловлен релаксационными процессами в цезиевом слое на поверхности GaAs.

Для определения величины модуляции фототока, включение и выключение лазерной накачки производилось три раза для каждой интенсивности. Это позволило более точно определить величину фото-ЭДС и ошибку определения данной величины. На рисунке 4(а) показан фрагмент эволюции тока фотоэмиссии, при включении и выключении лазерной накачки с фиксиро-

ванной интенсивностью. С целью точного определения величины скачка фототока при включении и выключении лазерной накачки мы производили вычитание линейной функции из экспериментальных эволюций. Результат такого вычитания показан на рисунке 4(b). Таким образом, из полученных после линейного вычитания монотонного фона был определен скачек фототока при каждом включении и выключении лазерной накачки для каждой интенсивности. По полученным шести значениям определялась средняя величина скачка и дисперсия.

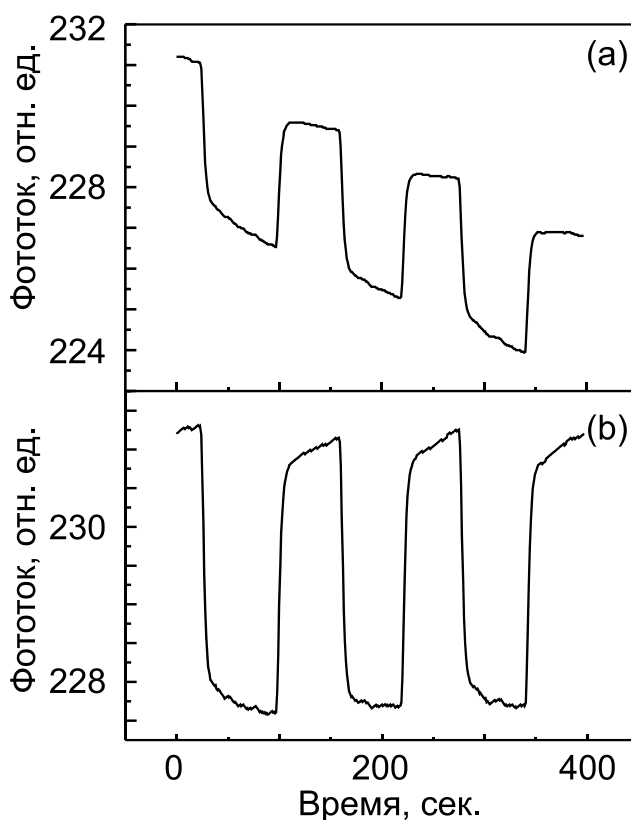


Рис.4. Фрагмент эволюция тока фотоэмиссии на поверхности GaAs с адсорбированными слоями цезия при включении и выключении лазерной накачки фиксированной интенсивности. (a) и (b) – эволюции фототока до и после линейного выравнивания

5. Основные результаты

На рисунке 5 представлена зависимость нормированной величины модуляции тока фотоэмиссии от мощности накачки лазера, что эквивалентно зависимости фото-ЭДС от мощности лазера, так как амплитуда относительного уменьшения тока фотоэмиссии пропорциональна величине фото-ЭДС. Как видно, уменьшение интенсивности лазерной накачки приводит к умень-

шению величины фото-ЭДС на поверхности Cs/GaAs в широком диапазоне лазерной накачки.



Рис.5. Зависимость величины модуляции фототока, нормированной на величину фототока, от мощности лазерной накачки

6. Список литературы

1. Khoroshilov V. S., Kazantsev D. M. and Zhuravlev A. G. 2019 J. Phys.: Conf. Ser