

ОТЗЫВ

официального оппонента на диссертацию А. В. Атращенко «Синтез и оптические свойства метаматериалов на основе пористых полупроводников $A^{III}B^V$ и Si» представленную на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.10 — «Физика полупроводников»

Диссертационная работа А. В. Атращенко представлена на 150 страницах, содержит 47 рисунков и 8 таблиц и состоит из введения, шести глав, заключения, списка литературы, включающего 194 наименования, списка рисунков, списка таблиц и одного приложения. К работе приложен автореферат на 18 страницах.

Актуальность исследования. Диссертационная работа посвящена изготовлению и экспериментальному исследованию пористых полупроводниковых и металл-полупроводниковых структур с субволновыми особенностями. Направление исследований, выбранное соискателем, является чрезвычайно актуальным направлением электродинамики пространственно-неоднородных сред. Структурированные на субволновых масштабах среды зачастую обладают уникальными оптическими свойствами, которые не встречаются в природных материалах. Именно на поиск новых в оптическом и терагерцовом диапазонах искусственно созданных сред, обладающих анизотропией, в том числе в режиме гиперболической дисперсии, направлена работа соискателя. Работа представляет собой многостороннее исследование на стыке материаловедения, электродинамики и физики твердого тела.

Автореферат соответствует основному содержанию диссертации.

Первая глава работы носит обзорный характер. Рассмотрены основные механизмы получения анизотропных пористых сред методами

электрохимического травления. Указаны недостатки традиционно используемых сред на основе оксида алюминия и достоинства использования полупроводников. Глава четко ставит работу соискателя в контекст имеющихся наработок. Особого внимания заслуживает раздел «Миссия работы», написанный по-латуриански и в лучших традициях школы STS.

Вторая глава посвящена отработке методики изготовления пористых структур из материалов АЗВ5. Глава в основном носит подготовительно-методологический характер. Автор на примере фосфида галлия подробно описывает процедуру изготовления и процессы, которые протекают при травлении среды. Приводятся новые экспериментальные методики изготовления сред из металлических проводов в полупроводниковой матрице.

В третьей главе описана методика терагерцовой спектроскопии и приводятся результаты измерения спектров сред из золотых проводов в кремниевой матрице. Терагерцовый отклик образца измерен как функция угла падения; по формуле Френеля восстановлены значения показателя преломления среды, что позволяет сделать выводы о значительной пространственной дисперсии в образце.

В четвертой главе, представляющей собой перевод статьи [Ginzburg et al., Optics Express 21, 14907 (2013)], описаны результаты измерений и расчетов оптических свойств системы из золотых нанопроводов в матрице из оксида алюминия. Показано, что среда способна оказывать значительное влияние на состояние поляризации света видимого и ближнего ИК-диапазонов, отраженного от наноструктуры. Характер преобразования состояния поляризации зависит от режима дисперсии, которой находится структура (эллиптическая или гиперболическая, а также режим ENZ). Показано, что в слое метаматериала толщиной порядка $\lambda/20$ возможно гигантское преобразование состояния поляризации света (например, поворот плоскости поляризации на 90 градусов).

В пятой главе описываются поляризационные свойства пористого фосфида индия. Произведена полная характеристика состояния поляризации света, прошедшего через образец, путем измерения параметров Стокса. Описана методика измерений; результаты приведены для двух случаев ориентации кристаллографических осей относительно исходной поверхности полупроводника. Показана значительная анизотропия полученных сред.

В шестой главе обнародованы наиболее приглянувшиеся мне результаты измерения эмиссии терагерцового излучения с нанопористых слоев фосфида галлия. Показано большое усиление эмиссии, на несколько порядков превышающее эмиссию с неструктурированной подложки, что находит объяснение в ряде факторов, предложенных соискателем. Подробно исследованы роли эффекта оптического выпрямления и электроиндуцированного оптического выпрямления. Проанализированы спектры эмиссии, а также зависимость мощности терагерцового излучения от длины волны накачки.

Научная новизна и достоверность результатов. На мой взгляд, основная научная новизна работы заключается в разработке новых видов эффективных металл-полупроводниковых структур, обладающих уникальными свойствами, прежде всего, в терагерцовом режиме. Впервые показано значительное усиление эмиссии терагерцового излучения в наноструктурах на основе фосфида галлия, что может стать новым толчком в производстве компактных источников в очень важном и актуальном диапазоне $\sim 0.1-1$ ТГц. Научная ценность результатов также заключается в том, что разработаны новые методы изготовления других анизотропных сред. Привлекательность этих методов состоит, прежде всего, в самоорганизационном подходе изготовления, который является значительно более дешевым, чем традиционные top-down-подходы. Были получены среды с гигантской анизотропией как в терагерцовом, так и видимом и ближнем ИК-диапазонах. Также научная новизна подкрепляется публикациями автора в ведущих специализированных изданиях.

Достоверность результатов определяется использованием проверенных экспериментальных методик. Все утверждения подтверждены ссылками на источники.

Недостатки диссертации

1. В третьей главе из экспериментально зарегистрированного роста показателя преломления при увеличении угла падения излучения на образец делается вывод о гиперболическом режиме метаматериала. Строго говоря, это утверждение верным не является, поскольку отрицательная одноосная двулучепреломляющая среда с эллиптической дисперсией может дать такой же результат измерений, если ее оптическая ось лежит перпендикулярно границе раздела.

2. В этой же главе не обсуждается анизотропия тензора диэлектрической проницаемости среды из проводов. Из описания эксперимента не становится ясной поляризация используемого терагерцового излучения, хотя известно (например, из главы 4), что результаты измерений для s- и p-поляризованных волн должны отличаться.

3. Работа содержит большое количество опечаток и грамматических ошибок (более 50 после первого просмотра). К сожалению, я вынужден сделать это замечание, поскольку наличие, например, рассогласованных падежей значительно усложняет восприятие информации. Большинство рисунков содержит подписи на английском, а также не даны расшифровки некоторых аббревиатур (например OR, EFIOR или обозначения на рис. 3.2). Наконец, имеются ошибки в формулах (например, 20 страница, 6 строка; ср. с [41], формула (16)).

4. Работу нельзя назвать сбалансированной. Так, обзор литературы представляется чересчур массивным; он заканчивается на 66 странице, то есть почти на середине работы. Напротив, глава 3 занимает менее 6 страниц. Естественным следствием дисбаланса является недостаток деталей проделанных работ; например, в главе 6 приводятся спектры эмиссии терагерцового излучения из нанопористого фосфида галлия. Однако остается

неясным, чем обусловлена форма спектра — особенностями образца или особенностями измерительной системы?

Оценка диссертации в целом. Тем не менее, указанные недостатки не снижают ценности полученных результатов. Диссертационная работа А. В. Атращенко выполнена на высоком научном уровне. Результатом работы является решение важных задач актуальных направлений на стыке материаловедения, физики конденсированного состояния и фотоники. Приведенные результаты можно классифицировать как новые, обоснованные и имеющие большое практическое и научное значение.

Заключение

Работа отвечает требованиям п. 9 Положения "О порядке присуждения ученых степеней" № 842, а ее автор Атращенко Александр Васильевич заслуживает присуждения ему ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.10 — «Физика полупроводников».

Кандидат физико-математических наук, научный сотрудник
кафедры квантовой электроники физического факультета
МГУ имени М. В. Ломоносова

М. Р. Щербаков

Подпись Щербакова М. Р. 

Проректор МГУ имени М. В. Ломоносова

Проф.

А. А. Федянин

Данные официального оппонента по диссертации – М. Р. Щербакова:

Почтовый адрес: 119991, Москва Ленинские горы, МГУ имени

М.В.Ломоносова Дом 1, строение 2, Физический Факультет

Телефон (рабочий): +7 495 638-4667

Электронная почта: shcherbakov@nanolab.phys.msu.ru