

«УТВЕРЖДАЮ»

Проректор СПб АУ РАН

по учебной работе,

зав. лаб. Нанопотоники

д.ф.-м.н, чл.-корр. РАН

А.Е. Жуков

«28» декабря 2015 г.

### ОТЗЫВ ВЕДУЩЕЙ ОРГАНИЗАЦИИ

федерального государственного бюджетного учреждения высшего образования и науки  
«Санкт-Петербургский национальный исследовательский Академический университет  
Российской академии наук»

на диссертационную работу **АТРАЩЕНКО Александра Васильевича**  
«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»

Диссертация Атращенко А.В. посвящена проблеме изготовления нанопористых матриц на основе соединений  $A_3B_5$  с помощью метода анодного электрохимического травления за счет кооперативных реакций нуклеофильного замещения. Дальнейшее исследование показало возможность заполнения полученных данным методом нанопористых матриц различными металлами, например, золотом или медью. В работе приведены результаты структурных и оптических исследований таких метаматериалов. Также продемонстрирована генерация терагерцового излучения из нанопористых матриц  $A_3B_5$  под действием коротких импульсов света, приведены результаты оптических измерений и сравнение с другими источниками терагерцового излучения.

Актуальность работы обусловлена тем, что она посвящена созданию метаматериалов для различных спектральных диапазонов - видимого, ближнего ИК и терагерцового. Это новое, динамично развивающееся направление исследований на стыке науки о материалах, оптики и нанотехнологий. Возможность создания материалов с заранее известными и контролируемыми свойствами в соответствии с практическими задачами открывает путь к применению метаматериалов в различных областях, таких как телекоммуникации,

маскировочные покрытия, медицина, в частности магнитно-резонансная томография, передача изображений с субволновым пространственным разрешением, перестраиваемые и активные материалы для линз, диэлектрических волноводов, а также во множестве прочих приложений фотоники и плазмоники. Большинство экспериментальных работ по изучению свойств сред из проводов ограничиваются микроволновым диапазоном. Поэтому синтез таких сред для других востребованных диапазонов длин волн является крайне актуальной задачей.

**Научная новизна** работы состоит в том, что в ней развито модельное представление, непротиворечиво описывающее электрофизические и химические механизмы анодных реакций, приводящих к зарождению и прорастанию пор при контакте полупроводника с различными электролитами. Впервые показано, что нанопористые матрицы на основе соединений  $A_3B_5$  могут служить основой для создания сред из проводов. Проведенное в работе экспериментальное исследование свойств сильно анизотропных и пространственно дисперсных сред в диапазонах частот от оптического до терагерцового показало возможность управления свойствами света. Впервые показано, что использование анизотропных сред (нанопористых полупроводниковых матриц) в качестве источников терагерцового излучения даёт увеличение интенсивности эмиссии терагерцового излучения под действием коротких импульсов света.

**Практическая значимость** диссертационной работы состоит в том, разработана технология изготовления метаматериалов на основе пористых алмазоподобных полупроводников, диэлектриков и сред из проводов с новыми и необычными оптическими свойствами.

В качестве наиболее значимых, можно выделить следующие **научные результаты**:

1. Продемонстрирована возможность создания нано- и микропористых матриц на основе полупроводников  $A_3B_5$  и  $Si$  с различными структурными и размерными параметрами для их применения в качестве матрицы для синтеза сред из проводов, работающих в различных частотных диапазонах.

2. Предложены режимы электрохимического заполнения различными металлами ( $Cu$ ,  $Au$ ) нанопористых и микропористых матриц  $A_3B_5$  и  $Si$ . Выявлены и объяснены факторы, ограничивающие предельные параметры (длина) нанопроводов, которые заключаются в высоком удельном сопротивлении осаждённого материала (металла) при электрохимическом методе синтеза сред из нанопроводов.

3. Экспериментально изучена эмиссия терагерцового излучения, возникающего под действием коротких фемтосекундных импульсов света из нанопористых полупроводнико-

вых матриц на основе GaP. Установлено многократное увеличение эмиссии по сравнению с объёмным фосфидом галлия.

**Достоверность** результатов определяется использованием проверенных экспериментальных методик. Все утверждения подтверждены ссылками на источники. Результаты исследований многократно докладывались на семинарах и конференциях, опубликованы в известных рецензируемых научных журналах.

#### **Вопросы и замечания по диссертации:**

1. Часть работы, посвященную генерации терагерцового излучения, было бы желательно дополнить экспериментальными исследованиями, которые позволили бы определить физический механизм, ответственный за это явление в исследуемых пористых средах.
2. В работе не объяснены многозначные зависимости, приведенные в автореферате на Рис. 6 и в тексте диссертации на Рис. 4.2. А именно, фиксированным значениям параметров (толщина образца и угла падения), соответствуют несколько различных значений диэлектрической проницаемости. Каким образом выбирается конкретная ветвь приведенных теоретических зависимостей при интерпретации экспериментальных данных?
3. В работе приведены экспериментальные данные, указывающие на увеличение длинноволнового поглощения в пористых образцах InP по сравнению с объёмным материалом (Рис. 5.3 диссертации), однако объяснение этого явления отсутствует.

Указанные выше недостатки не снижают высокой оценки диссертации Атращенко А.В.

Мощные когерентные широкополосные источники терагерцового излучения одного цикла, которые можно создать на основе результатов полученных Атращенко А.В., можно использовать в терагерцовых спектрометрах.

#### **Заключение**

В целом диссертация представляет собой завершённую научно-исследовательскую работу на актуальную тему, которая относится к наиболее активно развивающейся областей физики. Полученные научные результаты имеют большое значение для развития физики полупроводников и её приложений. Автореферат диссертации правильно и полно отражает её содержание. Все используемые материалы других научных коллективов под-

креплены ссылками на соответствующие статьи и книги. Результаты, вошедшие в диссертацию, опубликованы, доложены и известны специалистам.

Диссертация «Синтез и оптические свойства метаматериалов на основе пористых полупроводников  $A^{III}B^V$  и Si» **соответствует** требованиям «Положения о порядке присуждения учёных степеней», утверждённого Постановлением Правительства РФ от 24.09.2013 № 842. Автор диссертации Атращенко Александр Васильевич **заслуживает** присуждения ему ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.10 — «Физика полупроводников».

Работа Атращенко Александра Васильевича заслушана и обсуждена на расширенном семинаре лаборатории Нанопотоники федерального государственного бюджетного учреждения высшего образования и науки «Санкт-Петербургский национальный исследовательский Академический университет Российской академии наук» (Протокол № 3 от 24 декабря 2015 г.).

Отзыв составил

старший научный сотрудник лаб. Нанопотоники СПб АУ РАН

к.ф.-м.н

Савельев А.В.