

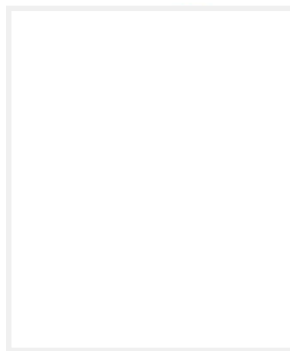
УТВЕРЖДАЮ

Директор ИАиЭ СО РАН,

Чл.-корр. РАН, д.ф.-м.н.

 С.А. Бабин

» января 2019 г.



## ОТЗЫВ ВЕДУЩЕЙ ОРГАНИЗАЦИИ

**федерального государственного бюджетного учреждения науки  
«Институт автоматики и электрометрии Сибирского отделения  
Российской академии наук» (ИАиЭ СО РАН)**

на диссертационную работу Чесницкого Антона Васильевича «Разработка и исследование магнитооптических и трехосевых холловских датчиков», представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальностям 01.04.10 «Физика полупроводников» и 05.27.01 «Твердотельная электроника, радиоэлектронные компоненты, микро- и нанoeлектроника, приборы на квантовых эффектах»

### 1. Актуальность темы

Диссертационная работа А.В. Чесницкого посвящена разработке и исследованию характеристик электрических и оптических микродатчиков магнитного поля. Развитие технологий «интернета вещей», портативной энергоэффективной электроники и робототехники требует повышения чувствительности интегральных датчиков, уменьшения их массы, размеров и потребляемой мощности. Развитие технологий трёхмерного микро- и наноструктурирования плоских пленок позволяет создавать современные твердотельные приборы и датчики с уникальными свойствами и улучшенными характеристиками.

В настоящее время процесс изготовления трехосевых датчиков магнитного поля представляет собой последовательную сборку из 3х одноосевых. Данный подход не позволяет существенно уменьшать

габаритные размеры датчиков и осуществить с их помощью локальные измерения магнитного поля. При создании локальных трехосевых холловских микродатчиков в работе была применена российская технология сворачивания напряженных полупроводниковых нанопленок. Разработанный холловский микродатчик на основе наногетероструктуры, содержащей двумерный электронный газ в квантовой яме GaAs, обладает высокой чувствительностью и позволяет одновременно и локально измерять все три компоненты вектора магнитного поля в пространстве.

Для многих практических применений важным является дистанционное бесконтактное измерение магнитного поля оптическими методами. В диссертационной работе достигнуто усиление магнитооптического отклика плазмонноусиленного датчика на два порядка по сравнению с традиционными структурами без плазмонов.

Тем самым, диссертационная работа А.В. Чесницкого посвящена решению ряда важных научных задач и является актуальной. Полученные в работе результаты имеют значение для твердотельной электроники, микро- и нанoeлектроники, физики полупроводников и для создания новых типов оптических и электрических микродатчиков магнитного поля.

## **2. Структура и содержание диссертации**

Диссертация состоит из введения, четырех глав, заключения и двух приложений, содержащих акты внедрения и патент на изобретение РФ. Перечень использованной литературы содержит 135 источников, охватывающих все затронутые в работе аспекты исследования.

*Во введении* обоснована актуальность темы исследования, цель и задачи работы, сформулированы основные положения, выносимые на защиту, раскрыта научная новизна и практическая значимость диссертационной работы.

*В первой главе* автор проводит обзор и анализ научно-технической литературы и современных тенденций в области магнитных измерений. Рассмотрены передовые технологии создания электрических и оптических

датчиков магнитного поля, в том числе датчиков с изменяемой формой для нужд гибкой электроники и технологий «интернета вещей». Появление множества новых конструкций трехмерных датчиков физических величин в последние годы главным образом обусловлено развитием подходов микро- и наноструктурирования пленок и нанотехнологий. На основе проведенного анализа сформулированы нерешенные проблемы и основные задачи диссертационного исследования.

Во *второй главе* А.В. Чесницким описывается технология создания трехосевых холловских микродатчиков на основе полупроводниковых микротрубок. Подробно рассмотрены особенности конструкции и основные этапы формирования микротрубок с двумерным электронным газом. Методами численного моделирования проведена оптимизация модулированно-легированной гетероструктуры, выращенной методом молекулярно-лучевой эпитаксии. Разработанная в ходе работы оригинальная топология трехосевых датчиков магнитного поля на основе полупроводниковых микротрубок  $\text{AlGaAs}/\text{GaAs}/\text{AlGaAs}$  позволяет одновременно и локально измерять все три компоненты вектора магнитного поля.

*Третья глава* посвящена непосредственно формированию лабораторных образцов трехосевых холловских датчиков и экспериментальному исследованию их характеристик. Описаны экспериментальные методы исследования магнитолевых, угловых и шумовых характеристик датчиков. В ходе исследования было показано, что характеристики изготовленных трубчатых трехосевых холловских микродатчиков соответствуют характеристикам лучших мировых аналогов одноосевых датчиков магнитного поля. В главе предложен и реализован эффективный способ защиты изогнутых тонкопленочных микродатчиков от внешних механических воздействий, путем запечатывания в матрицу полидиметилсилоксана (ПДМС).

В *четвертой главе* рассмотрена конструкция бесконтактного плазмонноусиленного магнитооптического датчика на основе гибридной металл-диэлектрической наноструктуры. Методами численного моделирования проведено исследование спектров отражения и магнитооптического отклика предложенной конструкции магнитооптического датчика. Оптимизированы геометрические параметры наноструктуры с целью повышения магнитооптического отклика, коэффициента отражения и чувствительности датчика. В ходе работы достигнуто усиление магнитооптического отклика датчика на 2 порядка за счет использования системы взаимодействующих бегущего и локализованного плазмонов.

В *заключении* обобщены и сформулированы основные результаты диссертационной работы.

### **3. Научная новизна**

Научная новизна работы заключается в следующем:

– Создан трубчатый холловский микродатчик на основе наногетероструктуры, содержащей двумерный электронный газ в квантовой яме GaAs.

– Изучены шумовые характеристики изогнутых холловских микродатчиков на основе полупроводниковой модулировано-легированной гетероструктуры InGaAs/AlGaAs/GaAs.

– Реализован эффективный способ защиты тонкопленочных изогнутых холловских мостиков от внешних воздействий среды, путем запечатывания в прозрачный полимер.

– Разработана и с помощью численного моделирования исследована и оптимизирована конструкция плазмонноусиленного магнитооптического датчика в геометрии экваториального эффекта Керра.

#### **4. Обоснованность и достоверность результатов**

Научные положения и выводы, сформулированные в работе, их достоверность и научная новизна аргументированы и обоснованы результатами экспериментальных исследований, выполненных диссертантом на современном научном оборудовании, и их хорошим соответствием с результатами численного моделирования. По материалам диссертации опубликовано 11 работ, из которых 3 в ведущих профильных российских и зарубежных журналах из списка ВАК, 7 в трудах конференций, а также получен 1 патент РФ на изобретение. Результаты неоднократно докладывались на всероссийских и международных конференциях.

#### **5. Практическая значимость**

Результаты, полученные в ходе подготовки диссертационной работы ориентированы на решение прикладных задач и обладают практической ценностью. К основным результатам можно отнести следующие:

– Разработанные трёхосевые холловские датчики на основе полупроводниковых микротрубок являются перспективными для применения в качестве бесконтактных датчиков для определения линейных и угловых перемещений, а также для локального определения распределения магнитного поля в пространстве.

– Микротрубки с холловскими датчиками, запечатанные в полимерную матрицу, являются устойчивыми к внешним воздействиям среды и могут применяться в условиях с повышенными требованиями надежности.

– Разработана и оптимизирована конструкция плазмонноусиленных магнитооптических датчиков, перспективная для практического применения в качестве датчиков магнитного поля.

Полученные в диссертационной работе результаты защищены российским патентом на изобретение «Датчик магнитного поля и способ его изготовления». Разработанные трубчатые холловские микродатчики были использованы ООО «ЛТМ-Прокат» (г. Новосибирск) в качестве датчиков

положения металлических фермовых конструкций. Технологические основы процесса формирования микродатчиков магнитного поля внедрены в учебный процесс Новосибирского государственного технического университета на кафедре полупроводниковых приборов и микроэлектроники и используются в лекционном курсе «Элементы и приборы наноэлектроники».

## **6. Рекомендации по использованию результатов работы**

Анализ результатов диссертационного исследования свидетельствует о целесообразности использования и внедрения предложенных конструкций плазмонноусиленных магнитооптических и трехосевых холловских микродатчиков в производственный процесс предприятий, занимающихся разработкой и промышленным выпуском микроэлектронной продукции.

Результаты диссертационной работы могут быть рекомендованы для использования в следующих научных, образовательных и промышленных организациях страны: АО «НИИ микроэлектронной аппаратуры «Прогресс» (г. Москва), АО «Научно-производственное предприятие «Восток» (г. Новосибирск), ПАО «Микрон» (г. Зеленоград), АО «Омский научно-исследовательский институт приборостроения» (г. Омск), Физико-технический институт им.А.Ф.Иоффе (г. Санкт-Петербург), Институт физики микроструктур РАН (г. Нижний Новгород), Национальный исследовательский университет «МИЭТ» (г. Москва), а также на других предприятиях микроэлектронной промышленности РФ.

## **7. Общие замечания по диссертационной работе**

По результатам обсуждения на семинаре можно сформулировать следующие замечания к диссертационной работе А.В. Чесницкого:

- 1) В Главе 3 на зависимостях холловской ЭДС трехосевого датчика от угла поворота до и после запечатывания в полимер (рисунки 3.24 и 3.25) по непонятным причинам отсутствует кривая  $U_{H3}$ , соответствующая измеряемой третьей компоненте вектора магнитного поля и приводимая ранее на рисунке 3.12.

- 2) В работе не приводятся результаты экспериментального исследования характеристик трубчатых холловских датчиков, запечатанных в полимерную матрицу, в большом температурном диапазоне.
- 3) В Главе 4 недостаточно детально рассмотрены механизмы, приводящие к значительному усилению магнитооптического отклика предложенной наноструктуры.

Указанные недостатки работы не снижают ценности полученных результатов и не влияют на правильность защищаемых положений.

## **8. Заключение**

Диссертация А. В. Чесницкого «Разработка и исследование магнитооптических и трехосевых холловских датчиков» является завершенной самостоятельной научно квалификационной работой, выполненной на достаточно высоком уровне. Диссертация полностью соответствует паспорту специальности 01.04.10 «Физика полупроводников» (пункты 17, 18 из паспорта специальности) и 05.27.01 «Твердотельная электроника, радиоэлектронные компоненты, микро- и нанoeлектроника, приборы на квантовых эффектах» (пункт 2 из паспорта специальности).

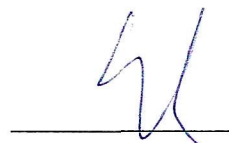
Автором самостоятельно проведена трудоемкая и обширная работа, затрагивающая несколько областей знаний. Представленные в работе результаты исследований достоверны, рекомендации по их применению и выводы обоснованы, публикации достаточно полно отражают основные положения и содержание работы. Результаты работы внедрены и в достаточной степени апробированы. Автореферат соответствует основному содержанию диссертации.

Диссертация соответствует критериям «Положения о порядке присуждения ученых степеней», а ее автор А.В. Чесницкий, заслуживает присуждения степени кандидата технических наук по специальностям 01.04.10 «Физика полупроводников» и 05.27.01 «Твердотельная электроника, радиоэлектронные компоненты, микро- и нанoeлектроника, приборы на квантовых эффектах».

Доклад А.В. Чесницкого заслушан, отзыв на диссертацию и автореферат обсужден и утвержден на заседании семинара учебно-научного центра «Квантовая оптика» ИАиЭ СО РАН 17 января 2019 года.

Отзыв подготовил:

Зав. лабораторией тонкопленочных  
сегнетоэлектрических структур  
ИАиЭ СО РАН, д.ф.-м.н.



Э.Г. Косцов

Председатель научного семинара,  
Академик РАН, профессор, д.ф.-м.н.



А.М. Шалагин

Адрес ведущей организации: 630090, г. Новосибирск, проспект Академика  
Коптюга, д. 1

Телефон: 8 (383) 330-79-69

E-mail: [iae@iae.nsk.su](mailto:iae@iae.nsk.su)

Поступил в совет 22.01.2019



Ознакомлен 22.01.2019

