

ОТЗЫВ

официального оппонента, доктора физико-математических наук, профессора, заведующего кафедрой ФГБОУ ВО «МГУТУ им. К.Г. Разумовского (ПКУ)» КОПЫТОВА ГЕННАДИЯ ФИЛИППОВИЧА на диссертацию МАЗИНОВА АЛИМА СЕИТ-АМЕТОВИЧА по теме «Особенности взаимодействия электромагнитных волн с проводящими и полупроводниковыми наноструктурированными средами», представленную на соискание ученой степени доктора физико-математических наук по специальностям 1.3.4 – Радиофизика и 1.3.11 – Физика полупроводников

АКТУАЛЬНОСТЬ ТЕМЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Одним из основных направлений развития современной радиоэлектроники является стремительное уменьшение элементной базы. Это условие диктуется не только требованиями к удельной массе и линейным размерам приборов, но непосредственно к потребляемой мощности системы в целом. При этом стоит отметить, что достижение проводящими средами наноразмерных величин может значительно влиять на их электродинамические свойства, а это, в свою очередь, может быть востребовано в построении новых приборов. Использование связки кремния и углерода в качестве принципиально новых структур, открывает широкую перспективу интеграции полупроводниковой электроники с органическими и биологическими системами.

Также, всё расширяющийся диапазон используемых частот требует более детального исследования процессов трансформации и преобразования электромагнитного излучения в проводящих и полупроводниковых средах. А понимание предельных режимов воздействия электромагнитных волн на наноразмерные объекты дает возможность прогнозировать аппаратные свойства радиотехнических систем, базирующихся на их основе. С этой точки зрения, рассматриваемая диссертационная работа является современным научным исследованием в весьма актуальной области.

НОВИЗНА РЕЗУЛЬТАТОВ РАБОТЫ

Изложенная выше актуальность определяет вектор научных исследований и новизну рецензируемого диссертационного изыскания, которая заключается в следующих тезисах:

- экспериментально и теоретически показана тесная взаимосвязь аномального поглощения электромагнитных волн СВЧ диапазона с геометрией поверхностной неоднородности проводящих сред, имеющих толщины от 1 нм до 15 нм;
- определены зависимости смещения максимума поглощения сверхвысокочастотного излучения, который в отдельных случаях может достигать 50%, от типа материала, вида подложки и технологических особенностей формирования пленочной структуры взаимодействия;
- основное влияние на поглощения электромагнитных волн СВЧ диапазона оказывают пространственная и омическая неоднородность пленок, имеющих нанометровые толщины, которые определяют электронный транспорт проводящей подсистеме среды взаимодействия;
- физические явления трансформации волновой энергии при воздействии мощных электромагнитных полей стимулируют тепловой пробой перпендикулярно электрической компоненте падающей электромагнитной волны, при этом, тепловому разрушению наиболее подвержены пленки, имеющие толщины менее 10 нм;
- линейные и нелинейные процессы дифракции и рассеяния волн в естественных и искусственных средах параллельно исследованы в гигагерцовом и терагерцовом диапазонах, при этом определены влияния неоднородностей на электронный транспорт в проводящих и полупроводниковых средах;
- выявлены закономерности поглощения волн оптического диапазона, которые определяются степенью его дефектности и формирования псевдокристалличности его электронной подсистемы;
- представлены экспериментальные исследования взаимодействия электромагнитных волн в широком диапазоне частот для кремниевых, углеродных и ряда органических материалов, позволяющие сравнить

физические свойства проводящих и полупроводниковых сред для создания принципиально новых радиотехнических систем и устройств.

ПРАКТИЧЕСКАЯ ЗНАЧИМОСТЬ РЕЗУЛЬТАТОВ

К значимым практическим результатам диссертации Мазинова А.С. можно отнести следующие:

- тесная взаимосвязь экспериментальных результатов и теоретических моделей позволяет на практике прогнозировать электродинамические свойства радиотехнических приборов и систем;

- совокупность теоретических и практических работ диссертанта позволяет проектировать радио- и оптоэлектронные приборы, имеющие меньшие габариты и массы, за счет использования наноразмерных функциональных слоев;

- рассмотренные естественные и искусственные тонкопленочные среды, полученные на основе доступных материалов (алюминий, медь, кремний, углерод и т.д.) дают возможность строить дешевые радиотехнические элементы широкого назначения;

- представленные модельные подходы, поясняющие поглощение электромагнитных волн СВЧ, ИК и видимого излучения, некристаллическими проводящими и полупроводниковыми средами являются необходимым инструментом для дальнейших исследований преобразования волновой энергии и могут использоваться для оптимизации параметров новых компонентов микроэлектроники, приемников и преобразователей электромагнитного излучения;

- сопоставлены экспериментально и теоретически полученные данные по спектрам поглощения с вольтамперными зависимостями (резистивными свойствами) проводящих и полупроводниковых структур, которые поясняют полученные характеристики приборов на их основе и определяют направления изменения их физических свойств;

- выявлены модельные представления вольтамперных характеристик барьерных структур на основе кремния, представляющие возможность оптимизировать токовые режимы широкополосных преобразователей электромагнитного излучения видимого диапазона.

СТЕПЕНЬ ОБОСНОВАННОСТИ И ДОСТОВЕРНОСТИ НАУЧНЫХ ПОЛОЖЕНИЙ, ВЫВОДОВ И РЕКОМЕНДАЦИЙ

Достоверность результатов данной диссертационной работы и обоснованность сформулированных выводов и положений не подлежат сомнению. Достоверность обеспечивается широким набором методов и многолетними экспериментальными исследованиями, использованием современных приборов, сравнением теоретической и экспериментально полученной информацией. Достоверность выражается в применении строгих математических методов, включающих в себя аналитические и численные подходы к моделированию поглощения и преобразования волновой энергии, начиная от простейших приближений, с усреднёнными параметрами структуры, и заканчивая квантованием наноразмерной системы, требующей учета волновых свойств электронов и определения электронных спектров материалов и композиционных соединений.

Обоснованность подкрепляется сравнением полученных результатов с большим количеством данных, сопоставляемых с результатами ведущих научно-исследовательских групп России и мира, которые на протяжении 30 лет представлялись и обсуждались на региональных и международных конференциях, симпозиумах и круглых столах. Обоснованность подтверждена более чем 50 статьями, которые опубликованы в рецензируемых научных изданиях по специальностям 1.3.4 – Радиофизика и 13.11 – Физика полупроводников, удовлетворяющих требованиям к рецензируемым изданиям входящих в перечень, установленный Министерством науки и высшего образования Российской Федерации. Как дополнение стоит отметить, что обоснованность подтверждается публикациями в изданиях по смежным физическим специальностям (физика конденсированного состояния, оптика, физическая электроника), а также других групп научных специальностей (математика, химические науки), которые отвечают требованию пункта 12 положения Правительства РФ от 20 сентября 2013.

ОЦЕНКА СОДЕРЖАНИЯ ДИССЕРТАЦИИ И ЕЕ СООТВЕТСТВИЕ СПЕЦИАЛЬНОСТЯМ

Несомненно, автор диссертационной работы А. С. Мазинов выполнил достаточно большой объём исследований и получил весьма интересные результаты. При этом из общего объема сложно выделить отдельные главы и подразделы, которые бы строго отвечали всего лишь одной специальности. Из шести представленных глав, первые две главы раскрывают общие подходы и методы по исследованию физических явлений преобразования энергии электромагнитных волн в проводящих и полупроводниковых средах, сформированных на основе металлов и полупроводников. Даются методы формирования искусственных сред, задействованных в работе.

Последующие, третья и четвертая главы, раскрывают особенности проведенных экспериментов, в которых рассматривается широкий круг вопросов трансформации электромагнитных волн и дифракционных свойств пленочных структур, включая многослойные гетероструктуры и композиты. Материал, содержащийся в них, относится к радиофизической специальности, в частности к направлению исследования «Изучение линейных и нелинейных процессов распространения, дифракции, рассеяния, взаимодействия и трансформации волн в естественных и искусственных средах». Исследование углеродных и органических структур, обладающих полупроводниковыми свойствами, удовлетворяет исследованиям флуктуаций, случайных процессов и полей в сосредоточенных и распределенных стохастических системах ...». Также они соответствуют специальности «Физика полупроводников» по направлению исследования структурных и морфологических свойств полупроводниковых материалов и композитных структур на их основе, а также изучения транспортных и оптических явлений в структурах пониженной размерности.

Теоретические модели и их сравнение с экспериментом представлены в завершающей части диссертационной работы. Построенные на разноплановых моделях они описывают специфику трансформации преобразования волн СВЧ и оптического диапазонов, определяемую физическими свойствами кристаллических и некристаллических проводящих и полупроводниковых материалов. Сопоставление моделирования и экспериментальных результатов в этих главах соответствует научным исследованиям по разработке физических

основ преобразования электромагнитных волн в неоднородных системах. В них выстраивается основание для создания высокоэффективных приемников излучения сверхвысокочастотного и оптического диапазонов, которое необходимо для технического освоения новых частотных диапазонов. При этом изучаются линейные и нелинейные процессы распространения, дифракции, рассеяния, взаимодействия и трансформации волн в естественных и искусственных средах, полученных самим соискателем. В соответствие с научной специальностью “Физика полупроводников” Мазинов А. С. рассматривает дефекты в полупроводниках и их электронный спектр, который определяет электронный транспорт в некристаллических структурах.

ЗАМЕЧАНИЯ ПО ДИССЕРТАЦИОННОЙ РАБОТЕ

Значительный объем проведенных экспериментальных данных и множество теоретических подходов к описанию физических явлений, происходящих в проводящих и полупроводниковых структурах в процессе преобразования электромагнитных волн не могли не вызвать ряд спорных моментов, а также неточностей, допущенных соискателем при написании диссертации:

1) В приведённых исследованиях в качестве подложек для нанесения пленок использовалось боросиликатное стекло ($\epsilon = 4,7 \dots 5,2$) и ситалл ($\epsilon = 6,8 \dots 8,2$) однако не приводятся ни анализ, ни зависимости коэффициентов отражения, поглощения или прохождения металлодиэлектрических структур от диэлектрической проницаемости подложек.

2) Как одна из сторон актуальности диссертации констатируется использование полученных наработок в современной радио- и микроэлектронике. Однако в работе нет исследований по взаимодействию с металлодиэлектрическими структурами на кремниевых подложках или оксиде кремния, а они составляют основу современной электроники.

3) При описании спектров поглощения инфракрасного диапазона порядком $0,5 - 18$ мкм не рассмотрены колебательные моды для Si - O, тогда как кислород является в большинстве случаев для кремния основным окислителем.

4) В диссертации до конца не рассмотрена природа дефектов на поверхности пленок аморфного кремния, дефектность углеродных и органических структур.

5) С точки зрения стилистических, в первую очередь стоит отметить специфическую терминологию отдельных определений и фраз, например, «гамма схем». Также, в качестве замечания, следует отметить, неравномерность выводов по главам, например, выводы по второй главе минимизированы, в то время как в четвертой – объемны. Наличие сложных аббревиатур, введённых в собственных обозначениях, особенно в названии структур – образцов, главы 2, 4.

Тем не менее, отмеченные замечания не снижают научную новизну и практическую значимость основных результатов, полученных автором в его диссертационной работе.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Общий объем приведенных теоретических и экспериментальных исследований в сочетании с научной новизной, практической ценностью и достоверностью полученных результатов, говорит о том, что диссертация Мазинова А. С. является завершённой научно-квалификационной работой. Она содержит решения научных задач, имеющих существенные значения для развития физики взаимодействия и трансформации колебаний и волн в неоднородных и нелинейных средах. При этом, описывая явления, происходящие в проводящих и полупроводниковых материалах, диссертация опирается на технологии, которые применяются в современной радио- и оптоэлектронике.

Тема диссертации полностью соответствует научным специальностям 1.3.4 – Радиофизика и 1.3.11 – Физика полупроводников. Автореферат, выполненный на двух авторских листах, в достаточном объеме отображает основное содержание диссертации и дает общие представления о стержневых исследованиях соискателя. Все научные выводы, рекомендации и положения, выносимые на защиту, достаточно полно представлены в публикациях автора.

Считаю, что диссертационная работа А. С. Мазинова «Особенности взаимодействия электромагнитных волн с проводящими и полупроводниковыми наноструктурированными средами» удовлетворяет критериям, предъявляемым к докторским диссертациям в «Положении о присуждении ученых степеней», утвержденном Правительством Российской Федерации № 842 от 24.09.2013 г. (пп. 9–14), а ее автор, Мазин Алим Сеит-Аметович, заслуживает присуждения ученой степени доктора физико-математических наук по специальностям 1.3.4 – Радиофизика и 1.3.11 – Физика полупроводников.

Официальный оппонент,
доктор физико-математических наук, профессор,
заведующий кафедрой физики
ФГБОУ ВО «Московский государственный
университет технологий и управления
им. К.Г. Разумовского
(Первый казачий университет)»

Копытов Г. Ф.

07 04 2022 г.

Подпись Копытова Г. Ф. заверяю

директор департамента
кадровой политики
Т. И. Чирнова



Сведения о лице, предоставившем отзыв:

Место работы: Московский государственный университет технологий и управления им. К.Г. Разумовского (Первый казачий университет), кафедра физики.

Почтовый адрес: 109004, г. Москва, улица Земляной вал, дом 73.

Телефон: служ. тел/факс: 8 (800) 777-84-63.

e-mail: g.kopitov@mgutm.ru.