

ОТЗЫВ

официального оппонента на диссертацию Селиверстова Сергея Валерьевича “Энергетическое разрешение интегрированного с антенной терагерцового NbN микроболометра на горячих электронах”, представленную на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.03 - радиофизика

В последние годы отмечается значительный рост интереса к терагерцовому диапазону электромагнитных волн, который находит всё более широкое применение, как для решения научных задач, так и в практических разработках. Среди областей использования терагерцового излучения отметим радиоастрономию, лабораторную спектроскопию, медицину, создание систем безопасности и др.

Для всех перечисленных приложений необходимы высокочувствительные детекторы терагерцового излучения, причём во многих случаях высокая чувствительность должна сочетаться с высоким быстродействием устройств. Именно разработке, исследованиям характеристик и вопросам практических приложений одного из наиболее перспективных типов сверхпроводниковых детекторов для терагерцового диапазона посвящена диссертационная работа С.В.Селиверстова. Этим определяется несомненная актуальность темы диссертации.

Диссертационная работа объединяет результаты оригинальных исследований автора и направлена на выяснение путей достижения наилучших характеристик терагерцовых детекторов, реализацию и проверку предлагаемых подходов. Усилия автора позволили создать болометрические детекторы на основе тонких плёнок NbN с высокими чувствительностью, быстродействием и энергетическим разрешением, а также продемонстрировать возможности их практического применения в импульсной терагерцовой спектроскопии. Важно то, что результаты исследований автора диссертации использовались в разработке практических конструкций детекторов, которые были успешно выведены на рынок наукоёмкой продукции. Всё это подтверждает большую практическую значимость диссертационной работы.

Диссертация состоит из введения, четырех глав, заключения, списка сокращений и условных обозначений и списка литературы. Она является комплексным исследованием, включающим в себя

- анализ состояния и тенденций развития детекторных и супергетеродинных приёмников терагерцового диапазона частот с обозначением круга нерешённых проблем, на основе чего определяются цели и задачи работы;

- разработку теоретической модели болометрического детектора как распределённого элемента;

- оптимизацию технологии изготовления детекторов и уточнение методик исследования их характеристик в терагерцовом диапазоне;

- создание экспериментальных стендов для измерений параметров детекторов и проведения экспериментов с использованием этих детекторов;

- выполнение экспериментальных исследований;
- обработку и анализ полученных результатов, позволившие сформулировать основные выводы работы.

Диссертация хорошо оформлена. Автореферат и публикации по теме диссертации с достаточной полнотой отражают ее содержание. Результаты исследований опубликованы в ведущих научных и научно-технических журналах, в т.ч. из списка ВАК, а также в трудах и тезисах представительных международных и российских конференций.

Наиболее важными результатами диссертационной работы являются

- 1) получение значения оптической эквивалентной мощности шума терагерцового детектора на основе NbN болометра, равной $2 \cdot 10^{-13}$ Вт/ $\sqrt{\text{Гц}}$ на частоте 2,5 ТГц при постоянной времени детектора около 35 пс;
- 2) прямое измерение энергетического разрешения болометра, интегрированного с квазиоптической антенной, которое достигает 1,5 аДж;
- 3) демонстрация возможности измерения с помощью разработанного болометрического детектора пиковой мощности наносекундных импульсов терагерцового излучения.

При проведении экспериментов, позволивших исследовать основные характеристики болометрических детекторов на горячих электронах, автором использовались стандартные или хорошо отработанные методики измерений. В тексте диссертации показана связь проводившихся автором исследований с предшествующими работами в этом направлении его коллег по МПГУ, отмечаются преемственность работ и хорошая согласованность результатов, рассматриваемых в диссертации, с данными предыдущих исследований. Следует отметить также, что как изготовление детекторов, так и их экспериментальные исследования были выполнены на самом современном оборудовании. Всё перечисленное свидетельствует о достоверности, надёжности и обоснованности полученных в диссертации результатов.

Указаны как личный вклад автора в полученные результаты, так и вклады его коллег. Использование данных из работ других авторов сопровождается корректными ссылками на их публикации.

По диссертации имеется ряд замечаний:

- 1) Недостаточно подробно описаны методики измерений характеристик детектора. Это затрудняет оценку некоторых возможных экспериментальных погрешностей.
- 2) В тексте диссертации имеется ряд неточностей:
 - в формуле (3.4) на стр. 57 при определении коэффициента теплопередачи по смыслу должна использоваться постоянная времени τ_{es} , а не τ_{ep} ;
 - шумовая полоса смесителя определяется по величине промежуточной частоты, на которой шумовая температура приёмника увеличивается, а не уменьшается в 2 раза (стр.30);

- скорости осаждения плёнок, указанные на стр.38-39, видимо, измеряются не в нм/с, а в каких-то других единицах;

- оценка дробового шума фотонов, приведённая на стр.67 ($1,6 \cdot 10^{-15}$ Вт/ $\sqrt{\text{Гц}}$), оказывается меньше оценки электрической эквивалентной мощности шума, данной на стр.66 ($2,4 \cdot 10^{-14}$ Вт/ $\sqrt{\text{Гц}}$), всего на порядок, а не на несколько порядков.

3) Текст диссертации содержит заметное количество технических погрешностей (опечатки, лишние и пропущенные слова).

Указанные недостатки не меняют общей положительной оценки диссертационной работы С.В.Селиверстова. Диссертация является самостоятельным законченным исследованием, выполненным на современном уровне и имеющим большое научное и практическое значение.

Рецензируемая работа по объёму проведенных исследований и их значимости удовлетворяет требованиям п.9 «Положения о порядке присуждения ученых степеней» ВАК России к кандидатским диссертациям, а ее автор заслуживает присуждения ему степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.03 – радиофизика.

Официальный оппонент,

Заведующий Лабораторией спектроскопии миллиметровых волн
Физического института им. П.Н.Лебедева РАН,
канд. физ.-мат. наук

С.Б.Розанов

"04" 04 2017 г.

Подпись заведующего лабораторией, к.ф.-м.н. С.Б.Розанова заверяю.

Ученый секретарь
Физического института им. П.Н.Лебедева РАН,
канд. физ.-мат. наук



А.В.Колобов

"04" 04 2017 г.

Информация об оппоненте:

Ф.И.О.: Розанов Сергей Борисович

Учёная степень: кандидат физико-математических наук по специальности 01.03.02 – астрофизика, радиоастрономия

Почтовый адрес: 119991 ГСП-1, г. Москва, Ленинский проспект, д.53, ФИАН

Рабочий телефон: 8 (499) 132-66-11

E-mail: sergroz@sci.lebedev.ru

Организация: Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Физический институт им. П.Н.Лебедева РАН (ФИАН)

Учёное звание: нет

Должность: заведующий лабораторией

Подразделение: Отделение оптики, Отдел спектроскопии, Лаборатория спектроскопии миллиметровых волн