

## ОТЗЫВ

на автореферат диссертации Лаврухина Дениса Владимировича

«Теоретические и экспериментальные исследования процессов генерации и детектирования терагерцового излучения фотопроводящими антеннами: физико-математическая модель и новые подходы к оптимизации», представленной на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.3.19. Лазерная физика

Диссертационная работа Д.В. Лаврухина посвящена разработке оригинальной физико-математической модели для описания процессов генерации и детектирования терагерцовых импульсов посредством фотопроводящих антенн (ФПА), а также созданию экспериментальных образцов ФПА-излучателей и ФПА-детекторов на основе предложенных автором диссертации оригинальных зонных дизайнов и топологий антенн. Актуальность работы не вызывает сомнений, поскольку разработка систем импульсной терагерцовой спектроскопии и систем построения изображений в терагерцовой области частот находится на фронтире современной науки и техники, в то время как ФПА составляют основу элементной базы таких систем благодаря своей надежности, а также возможности получения сверхширокой полосы генерации/детектирования и высокого отношения между регистрируемым сигналом и шумом спектрометра.

Соискателем получен ряд важных теоретических и экспериментальных результатов. Например, выявлен и явно учтен факт влияния соотношения импеданса ФПА и сопротивления фотопроводника на регистрируемую форму спектра. Также впервые предложен подход, позволяющий комплексно оценить влияние таких факторов, как длина зазора между электродами ФПА, размер фокального пятна лазерного излучения и транспортные характеристики фотопроводника, на мощность шума ФПА-детектора. Важно отметить, что изготовлены экспериментальные образцы ФПА-детекторов со сверхнизким уровнем шума, высоким динамическим диапазоном и полосой детектирования 3.5 ТГц.

Необходимо отметить большое число опубликованных работ в высокорейтинговых журналах первого и второго квартилей, в большинстве из которых соискатель является первым автором. Всего по теме диссертации опубликовано 10 статей в научных журналах, входящих в перечень ВАК РФ, а также получены 2 патента на изобретение.

По автореферату имеется несколько замечаний:

1. При описании экспериментальной установки не указана частота следования импульсов лазерного излучения.
2. С чем связано расхождение данных на рис.4б между экспериментальными данными и квадратичной аппроксимацией для РСС?

3. Автор справедливо указывает в актуальности работы об использовании более длинноволнового излучения для накачки излучателей или лазерного зондирования детекторов, однако все измерения, в т.ч. сверхрешеточных гетероструктур на основе фотопроводящих слоев InGaAs, проводились для длины волны 780 нм;
4. Автор использовал в качестве фотопроводящих слоев технологически развитые материалы типа LT GaAs, а также оригинальные сверхрешеточные гетероструктуры, в которых дополнительно создавались упругие напряжения для уменьшения времени релаксации носителей заряда. При этом напряжения создавались за счет уменьшения мольной доли индия в барьерах InAlAs. Рассматривал ли автор альтернативные подходы по управлению транспортными свойствами фотопроводников?

В целом, указанные замечания не снижают ценность работы.

Диссертация Д.В. Лаврухина является законченным научно-исследовательским трудом высокого уровня. Работа в полной мере соответствует требованиям к диссертациям на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по действующему «Положению о присуждении ученых степеней», а сам соискатель, Лаврухин Денис Владимирович, заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.3.19. Лазерная физика.

**Цыпкин Антон Николаевич,**  
д.ф.-м.н., доцент,  
Директор НОЦ фотоники и оптоинформатики Университета ИТМО,

Подпись А.Н. Цыпкина заверяю,

.....  
Дата 05.10.23

менеджер ОИЕ  
Виноградова А. Д.

