

**ИССЛЕДОВАНИЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ И ЭЛЕКТРООПТИЧЕСКИХ  
ХАРАКТЕРИСТИК КРИСТАЛЛОВ ДЕТЕКТОРОВ ОДИНОЧНЫХ ФОТОНОВ НА  
ОСНОВЕ ЛАВИННЫХ ФОТОДИОДОВ ALINAS/INGAAS/INP**

**Ефимов А.О.** (Университет ИТМО), **Петренко А.А.** (Университет ИТМО), **Ковач Я.Н.**  
(Университет ИТМО),

**Научный руководитель – к.ф.-м.н. Новиков И.И.**  
(Университет ИТМО)

**Введение.** Однофотонные детекторы ближнего инфракрасного диапазона (1,0–1,7) мкм нашли свое применение в таких областях науки и техники, как квантовые коммуникации и системы LIDAR. Системы «машинного зрения» и точного позиционирования на основе технологии автоведения являются подготовительными этапами внедрения беспилотных технологий. В настоящий момент предложены различные устройства и методы детектирования одиночных фотонов, например, фотоэлектронные умножители, однофотонные лавинные фотодиоды (ЛФД), детекторы на основе генерации суммарных частот (ап-конверсии), детекторы на основе сверхпроводящих наноструктур, детекторы одиночных фотонов (ДОФ) на квантовых точках и дефектах. Для прикладных задач используют сверхпроводящие ДОФ, ДОФ на основе ап-конверсии и однофотонные ЛФД. Среди однофотонных ЛФД наиболее популярны кремниевые и на основе InGaAs, среди сверхпроводящих ДОФ— на основе сверхпроводящего туннельного контакта, нитевидных нанокристаллов и узких полосок из тонкой NbN пленки. Основным недостатком сверхпроводящих ДОФ по сравнению с ЛФД считают высокую стоимость и большие габариты, необходимость обеспечения криогенных температур. ДОФ на основе ап-конверсии обладают паразитным нелинейным шумом, вследствие чего в большинстве случаев использование однофотонных ЛФД является экономически выгоднее. Благодаря высокой чувствительности однофотонные ЛФД идеально подходят для дальнометрии, а также для систем машинного зрения [1]. Бортовые LiDAR системы могут достигать высоких скоростей покрытия области за счет использования больших массивов лавинных фотодиодов, каждый из которых точно фиксирует время регистрации отдельных фотонов [2, 3]. Использование в структуре ЛФД материала InAlAs обусловлено его высоким отношением коэффициентов ударной ионизации носителей заряда, что позволяет снизить уровень шумов лавинного умножения и оказывает положительное влияние на температурную стабильность напряжения пробоя [4]. Таким образом, однофотонные ЛФД обладают весомыми преимуществами: малый геометрический размер, низкое энергопотребление, а также прочность и надежность.

**Основная часть.** В данной работе представлены результаты комплексного исследования электрических и электрооптических характеристик кристаллов ДОФ на основе AlInAs/InGaAs ЛФД. Приведены зависимости темнового тока и фототока от приложенного напряжения, измеренные при комнатной температуре для AlInAs/InGaAs ЛФД с диаметром приемного окна 32 мкм. Проведено сравнение параметров ЛФД без и с сульфидно-полиамидной пассивацией меза-структуры ЛФД и измерена соответствующая зависимость величины коэффициента усиления от напряжения. Полученные значения пробивного напряжения и напряжения прокола составляют -85 В и -25 В, соответственно. Характерные значения величины темнового тока при напряжении -76 В составляют 11 нА, измерения темнового тока, выполненные с интервалом в 6 месяцев, продемонстрировали стабильность на уровне 5%. Исследованный набор кристаллов ЛФД продемонстрировал высокую однородность пробивного напряжения, при этом спектральная чувствительность (фотоотклик) на длине волны 1550 нм достигает 0,85 А/Вт.

**Выводы.** Продемонстрированные результаты исследования характеристик кристаллов ЛФД на основе AlInAs/InGaAs без и с сульфидно-полиамидной пассивацией меза-структуры могут быть использованы при разработке детекторов ДОФ на основе ЛФД с высоким уровнем характеристик и структурного качества для применения в области квантовой коммуникации, а также расширения отечественной компонентной базы в данной отрасли.

Работа выполнена при поддержке Министерства науки и высшего образования РФ (проект тематики научных исследований № 2019-1442).

**Список использованных источников:**

1. Gray G. High Altitude Lidar Operations Experiment (HALOE)–Part 1, System Design and Operation //Proc. of Military Sensing Symposium, Active Electro-Optic Systems. – 2011. – С. 12-14.
2. Clifton W. E. et al. Medium altitude airborne Geiger-mode mapping LIDAR system //Laser Radar Technology and Applications XX; and Atmospheric Propagation XII. – SPIE, 2015. – Т. 9465. – С. 39-46.
3. Aull B. F. Single-photon-sensitive solid-state image sensors for flash lidar //2016 Conference on Lasers and Electro-Optics (CLEO). – IEEE, 2016. – С. 1-2.
4. Малеев Н. А. и др. Грибовидная меза-структура для лавинных фотодиодов на гетероструктурах InAlAs/InGaAs //Письма в Журнал технической физики. – 2021. – Т. 47. – №. 21. – С. 36-38.