

СЕНСОРЫ НА ОСНОВЕ НЕОХЛАЖДАЕМЫХ АЗВ5 ФОТОДИОДОВ ДЛЯ ИК-ТЕРМОМЕТРИИ

С.Е. Александров, Г.А. Гаврилов, Б.А. Матвеев, А.А. Капралов, М.А. Ременный,
Г.Ю. Сотникова

Фзико-технический институт им. А.Ф.Иоффе РАН

e-mail: gga_holo@mail.ru

В ФТИ им А.Ф.Иоффе в течение ряда лет ведутся научные исследования, направленные на разработку, совершенствование технологии и промышленный выпуск фотодиодов, чувствительных в диапазоне $\lambda=2-5$ мкм (средневолновые ФД), на основе узкозонных АЗВ5 полупроводниковых гетероструктур, работающих при комнатной температуре [1,2]. Основными конкурентными преимуществами средневолновых ФД по сравнению с другими известными фотоприемниками среднего ИК-диапазона являются высокие быстродействие (десятки наносекунд) и обнаружительная способность ($D^* \sim 10^{10}-10^{11}$ см $\cdot$ Вт $^{-1}$ $\sqrt$ Гц), спектральная селективность ($\Delta\lambda/\lambda \approx 0.1$) и минимальное энергопотребление. На их основе были разработаны одно и двухспектральные фотодиодные фотометрические сенсоры (ФДС) для использования в качестве измерительных преобразователей газоанализаторов и ИК-термометров [3-5] с целью улучшения характеристик уже существующей аппаратуры, а также разработки новых измерительных устройств с более широким набором функциональных свойств.

Для оценки технического уровня и конкурентоспособности ИК-термометров на основе этих типов сенсоров была разработана аналитическая модель ФДС[4], адекватная для пирометрических применений и проведен теоретический и экспериментальный анализ их метрологических характеристик: передаточной функция, порога обнаружения, точности и стабильности измерений. В качестве основных подходов для коррекции и/или стабилизации параметров средневолновых ФДС были использованы следующие методические, схемотехнические и конструктивные решения:

- использование в конструкции ФДС (фото на вставке на Рис.1) ТЭП для стабилизации температуры кристалла ФД и расположенного в непосредственной близости с ним операционного усилителя (ОУ) первого каскада преобразования тока ФД [6];
- использование ФД «сэндвич» структур [1] для мультиспектральных сенсоров;
- использование оптоволоконной (ОВ) оптической схемы;
- калибровка сенсора на рабочем месте, основанная на аналитическом описании передаточной функции сенсора [5].

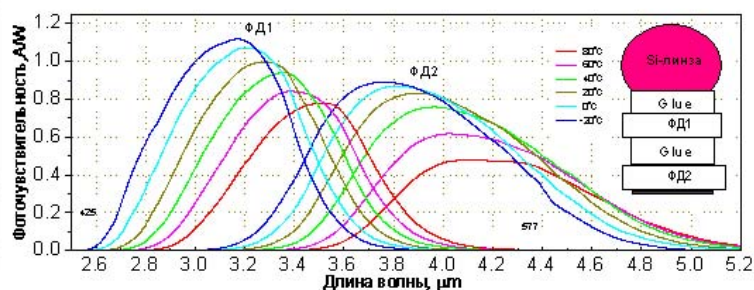


Рис.1 Внешний вид ФДС с ОВ входом и блоком термостабилизации

Рис.2. Спектральные характеристики и конструкция двухспектральной ФД структуры

Разработаны экспериментальные макеты быстродействующих (десятки микросекунд) пирометрических средневолновых ФДС, в том числе двухспектральных и оптоволоконных. Внешний вид пирометрического ФДС с оптоволоконным вводом излучения представлен на Рис.1, а спектральные характеристики и структура двухспектрального ФД – на Рис.2. Сенсор включает электронное обрамление, обеспечивающее наилучшие метрологические характеристики ФДС при заданных физико-технических параметрах средневолновых ФД, отрезки ИК-оптоволокон (кварц, сапфир, CIR), а также алгоритмы градуировки, калибровки и измерений температуры. Выходами сенсора являются аналоговые сигналы напряжения, пропорционального току ФД. Температура фотодиодной структуры и расположенного в непосредственной близости с ней ОУ первого каскада усиления поддерживается посредством ТЭП с соответствующей схемой термостабилизации на уровне 20 ± 0.5 °С, что позволяет реализовать высокие значения чувствительности, точности и стабильности измерений тепловой мощности излучения при минимальном энергопотреблении ФДС.

На основе рассматриваемых ФДС разработана система контроля температуры торца оптоволокон, интегрируемая в драйверы мощных п/п лазеров с оптоволоконным выводом излучения в составе медицинских лазерных скальпелей [7]. Высокая спектральная селективность средневолновых ФД с иммерсионной Si-линзой, спектр чувствительности которых не перекрывает возможные длины волн излучения лазерных диодов (800-1000 нм), обеспечивает возможность измерения малых потоков мощности теплового излучения от объекта, нагреваемого излучением лазерного диода, как при импульсном, так и при непрерывном режиме генерации, характеризуемом наличием сильного рассеянного излучения на длине волны генерации лазерного диода. Внедрение таких систем приводит не только к повышению надежности и безопасности лазерных хирургических инструментов, но и к новым функциональным возможностям драйвера – измерение, управление и стабилизацию температуры объекта на торце оптоволокон. Разработанная система позволяет контролировать температуру на торце кварцевого оптоволокон диаметром от 400 мкм в диапазоне 500-1100 °С с точностью не хуже 1% при быстродействии 1000 отсчетов/секунду.

Теоретически обосновано и экспериментально доказано, что пирометрические сенсоры на основе средневолновых ФДС позволяют создавать ИК-термометры, сочетающие в одном измерительном устройстве высокое быстродействие (10 мкс), низкий порог детектирования (десятки °С) и малые размеры измеряемого объекта (менее 1 мм²) при точности измерений на уровне единиц процентов от измеряемой величины, что соответствует предельным параметрам лучших мировых аналогов.

Список литературы.

- [1] <http://www.ioffeled.com>
- [2] <http://www.ibsg-st-petersburg.com>
- [3] Matveev, B. A.; Zotova, N. V.; Karandashev, S. A.; Remennyi, M. A.; Stus', N. M.; Talalakin, G. N. "Backside illuminated In(Ga)As/InAsSbP DH photodiodes for methane sensing at 3.3 μm"- Proc. SPIE Vol 4650, p.173-178, Photodetector Materials and Devices VII (2002)
- [4] G.Yu. Sotnikova, S.A. Aleksandrov, G.A. Gavrilov, A.A.Kapralov, S.A.Karandashev, B.A. Matveev, M.A. Remenny "Low Voltage CO₂-Gas Sensor Based on III-V Mid-IR Immersion Lens Diode Optopairs: Where we are and how far we can go?"- IEEE Sensors Journal, vol.10 N.2, 2010, pp225-234.
- [5] G.Yu. Sotnikova, S.E. Aleksandrov and G.A. Gavrilov, "A3B5 photodiode sensors for low-temperature pyrometry"- Proc. of SPIE Vol. 8073, 8073A1-9, Optical Sensors 2011; and Photonic Crystal Fibers V, edited by F. Baldini, J. Homola, R. A. Lieberman, K. Kalli, doi: 10.1117/12.886309.
- [6] Александров С.Е., Гаврилов Г.А, Сотникова Г.Ю.// ПЖТФ, 2014, т.40, вып.16, с.58-64.
- [7] Александров С.Е., Гаврилов Г.А, Сотникова Г.Ю., Тер-Мартirosян А.Л.//ФТП, 2014, т. 48, вып.1