

ՀԱՅԱՍՏԱՆԻ ՀԱՆՐԱՊԵՏՈՒԹՅԱՆ ԿՐԹՈՒԹՅԱՆ ԵՎ ԳԻՏՈՒԹՅԱՆ
ՆԱԽԱՐԱՐՈՒԹՅՈՒՆ

ՀԱՅԱՍՏԱՆԻ ԱԶԳԱՅԻՆ ՊՈԼԻՏԵԽՆԻԿԱԿԱՆ ՀԱՄԱԼՍԱՐԱՆ

Ստեփան Հուսիկի Ծառուրյանի

**ԻՐԱԿԱՆ ԺԱՄԱՆԱԿՈՒՄ ՀԵՏԱԶՈՏՎՈՂ ՄԻՋԱՎԱՅՐԻ ՄՇՏԱԴԻՏԱՐԿՄԱՆ
ՀԱՄԱԿԱՐԳԻ ՄՇԱԿՈՒՄԸ**

ՍԵՂՄԱԳԻՐ

Ե.12.03 «Հեռահաղորդակցական ցանցեր, սարքավորումներ և համակարգեր»
մասնագիտությամբ տեխնիկական գիտությունների թեկնածուի գիտական
աստիճանի հայցման ատենախոսության

Երևան 2018

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РЕСПУБЛИКИ АРМЕНИЯ
НАЦИОНАЛЬНЫЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ АРМЕНИИ

Цатурян Степан Усикович

**РАЗРАБОТКА СИСТЕМЫ МОНИТОРИНГА ИССЛЕДУЕМОЙ СРЕДЫ В
РЕЖИМЕ РЕАЛЬНОГО ВРЕМЕНИ**

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени кандидата технических наук
по специальности 05.12.03 – “Телекоммуникационные сети, оборудование и системы”

Ереван 2018

Ատենախոսության թեման հաստատվել է Հայաստանի պետական
ճարտարագիտական համալսարանում (Պոլիտեխնիկ)

Գիտական ղեկավար՝ տ.գ.դ. Ս.Խ. Խոսրովերոյան
Պաշտոնական ընդդիմախոսներ՝
Ֆ.-մ.գ.դ. Ա.Գ. Ղուլյան
Ֆ.-մ.գ.թ. Վ.Պ. Քալանթարյան
Առաջատար կազմակերպություն՝ «Երևանի կապի միջոցների
գիտահետազոտական
ինստիտուտ» ՓԲԸ

Պաշտպանությունը կայանալու է 2018թ. մայիսի 11-ին, ժամը 14⁰⁰-ին Հայաստանի
ազգային պոլիտեխնիկական համալսարանում գործող 046 «Ռադիոտեխնիկա և
էլեկտրոնիկա» մասնագիտական խորհրդի նիստում (հասցեն՝ 0009, ք. Երևան, Տերյան
փ., 105, 17-րդ մասնաշենք):
Ատենախոսությանը կարելի է ծանոթանալ ՀԱՊՀ գրադարանում:
Սեղմագիրն առաքված է 2018թ. ապրիլի 9-ին:

046 մասնագիտական խորհրդի
գիտական քարտուղար, տ.գ.թ.



Մ.Յ. Այվազյան


Тема диссертации утверждена в Государственном инженерном университете Армении
(Политехник)

Научный руководитель: д.т.н. С.Х. Худавердян
Официальные оппоненты: д.ф.-м.н. А.Г. Гулян
к.ф.-м.н. В.П. Калантарян
Ведущая организация: ЗАО “Ереванский научно-
исследовательский институт
средств связи”

Защита диссертации состоится 11-го мая 2018г. в 14⁰⁰ на заседании
Специализированного совета 046 - “Радиотехника и электроника”, действующего при
Национальном политехническом университете Армении (НПУА), по адресу: 0009,
г. Ереван, ул. Теряна 105, корпус 17.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке НПУА.
Автореферат разослан 9-го апреля 2018г.

Ученый секретарь Специализированного
совета 046, к.т.н.



Մ.Ս. Այվազյան

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы. Идентификация и количественный анализ вредных веществ в окружающей среде позволяют оценить их воздействие на людей, животных, растительный мир, определить источники загрязняющих веществ и принять меры по их устранению. Не менее важное значение имеет также проблема дистанционного распознавания наркотических и взрывчатых веществ. С этой точки зрения крайне необходимо разработать системы дистанционного мониторинга, которые более просты в эксплуатации и дают возможность дистанционного анализа ситуации в различных средах. Эти системы должны иметь возможность телемониторинга, анализа данных и отображения на экране текущей ситуации с помощью современных средств связи.

В современных условиях дистанционное исследование природных объектов оптическими методами становится приоритетным направлением. Оно включает в себя передачу информации о данных мониторинга исследуемых территорий с узлов мониторинга на станцию наблюдения, которая затем по технологии пакетной радиосвязи общего пользования (GPRS\3G\4G) направляется в базу данных центра телемониторинга для конечного пользования.

В этом процессе важную роль играет спектральный анализ переносящего с объекта информативного электромагнитного излучения, полученного с помощью первичных датчиков.

Особенно важно создание простых в использовании датчиков, дающих возможность анализа ситуации в разных средах и создания на их основе систем телемониторинга.

В настоящее время спектральный анализ оптических информационных лучей осуществляется с помощью светофильтров, призмы, дифракционной решетки, а также высокоточных механических и оптических приспособлений. Это лишает спектрометр универсальности и осуществления каждой новой функции, требует новых дополнительных приспособлений и внешнего компьютерного обеспечения, вследствие чего система становится достаточно дорогой и малоприменимой в полевых условиях. Кроме того, анализ сопровождается количественным и качественным рассеиванием полученных данных.

Насущным и актуальным направлением решения проблемы является определение длины волн и их интенсивности из электронных процессов, протекающих в соответствующих полупроводниковых структурах, и разработка систем мониторинга на основе подобных фотодетекторов.

Цель и задачи работы. Целью диссертации является разработка метода и системы дистанционного мониторинга вредных веществ на основе полупроводникового двухканального фотодетектора в режиме реального времени.

Для достижения намеченной цели в работе поставлены и решены следующие задачи:

- разработка структуры двухканального полупроводникового фотодетектора и математическое моделирование фотоэлектронных процессов в них;
- разработка алгоритма и необходимых программ для определения спектральной зависимости интенсивности поглощенного детектором информативного излучения;
- изготовление и тестирование прототипа спектрофотометра на основе двухканального полупроводникового фотодетектора;
- разработка принципов построения и аппаратных узлов спектрофотометрической системы для дистанционного мониторинга вредных веществ в режиме реального времени с использованием современных телекоммуникационных средств.

Методы исследования в работе. использованы математические модели фотоэлектронных процессов в полупроводниковых структурах на основе уравнений Пуассона и уравнений непрерывности, программные средства описания, анализа и функционирования полупроводниковых приборов и цифровых схем.

Научная новизна. В процессе проведения работ получены результаты, отличающиеся новизной:

1. Разработка структуры полупроводникового двухканального фотодетектора, в котором фотоэлектронные процессы описываются с помощью аналитических выражения, связывающего внешнего напряжения смещения, параметров поглощаемого излучения и структурных параметров фотодетектора.
2. Разработка алгоритма и необходимых для его работы программ, обеспечивающих пошаговое изменение внешнего напряжения с милливольтовой точностью, переход от коэффициента поглощения к длине волны, корректировку входных цифровых данных, которые на выходе алгоритма обеспечивают получение спектральной зависимости интенсивности излучения.
3. Разработка, на базе двухканального кремниевого фотодетектора, спектрофотометрической системы, изготовление и тестирование прототипа спектрофотометра.
4. Разработка принципов построения и аппаратных узлов спектрофотометрической системы для дистанционного мониторинга вредных веществ в режиме реального времени, позволяющих осуществлять спектральный анализ информативного излучения первичным фотоспектрометром, и при помощи технологии пакетной радиосвязи GPRS\3G\4G, направлять выходные данные в базу данных центра мониторинга для конечного использования.
5. Обоснование возможности обнаружения вредных веществ в воде и взрывчатых веществ при помощи системы дистанционного мониторинга.

Практическая ценность работы. Разработанный спектрофотометр малогабаритный, недорогой и может быть использован как для индивидуального, так и для общего применения. Созданную на его основе спектрофотометрическую систему можно использовать в быту и в полевых условиях для дистанционного определения

степени загрязнения воздуха, воды, продуктов питания, состава взрывчатых веществ и медикаментов и т.д. в режиме реального времени.

Внедрение результатов работы. Результаты работы применены:

- в компании “RD Alfa Microelectronics” (г. Рига, Латвия) для коммерциализации разработанных фотодетекторов и спектрофотометрических систем на их основе;
- в базовой лаборатории “Фотоэлектронные устройства в системах оптической связи” НПУА при выполнении международной программы NATO SfP EAP.SFPP 984403;
- в учебном процессе кафедры “Системы связи” НПУА;
- в ООО “National Instruments AM” (г. Ереван) в системах беспроводной сенсорной сети с широким охватом территорий.

Достоверность полученных результатов достигнута математическим моделированием с применением известных классических и современных методов, подтверждена наличием прототипов спектрофотометра и протоколом тестирования его эксплуатационных параметров, сопоставлением данных теоретических оценок и практических испытаний, а также публикациями в отечественных и зарубежных журналах и сборниках.

На защиту выносятся следующие научные положения:

- Структура полупроводникового двухканального фотодетектора.
- Математическая модель, описывающая фотоэлектронные процессы в фотодетекторе
- Алгоритм спектрального анализа интенсивности поглощаемого в фотодетекторе излучения
- Прототип фотоспектрометра на основе полупроводникового двухканального фотодетектора
- Принципы построения системы дистанционного мониторинга в режиме реального времени при помощи технологии пакетной радиосвязи GPRS\3G\4G.

Апробация работы. Основные научные и практические результаты диссертации докладывались на:

- ежегодных научных конференциях НПУА (2008 - 2016 гг.);
- научных семинарах факультета “Радиотехника и системы связи” НПУА (2008 - 2016 гг.);
- NATO Workshop “Technological Innovations in Detection and Sensing of CBRN Agents and Ecological Terrorism” (Moldova, Chisinau, June 7-17, 2010);
- NATO Advanced Research Workshop “Tecnological Innovations in CBRNE Sensing and Detection for Safety, Security and Sustainability” (Yerevan, Armenia, 29 September - 01 October, 2012);
- NANOSMAT International Conference (Granada, Spain, 22-25 September, 2013);
- NATO Advanced Research Workshop "Meeting Security Challenges Through Data Analytics and Decision Support" (Aghveran, Armenia, 1-5 June, 2015).

За проведенные исследования по теме диссертации в составе научной группы получил премию Президента Республики Армения в номинации за значительное открытие или вклад в сфере технических наук и информационных технологий (2013).

Публикации. По теме диссертации опубликовано 12 научных работ, список которых приводится в конце автореферата.

Структура и объем работы. Диссертация состоит из введения, трех глав, основных выводов, списка литературы, включающего 94 наименований, и трех приложений. Основной текст работы изложен на 115 страницах, включая 56 рисунков и 6 таблиц. Общий объем работы вместе с приложениями – 130 страниц. Диссертация написана на армянском языке.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении обоснована актуальность темы диссертации, сформулированы цель и задачи исследования, представлены научная новизна, практическое значение полученных результатов, а также основные положения, выносимые на защиту.

В первой главе проведен литературный обзор современных методов и средств спектрального анализа оптических информативных сигналов, выявлена роль спектрального исследования в различных сферах жизнедеятельности человека, обоснована необходимость дистанционного мониторинга вредных веществ в режиме реального времени.

Особое внимание уделено фотодетекторам с избирательной чувствительностью и анализаторам спектра на их основе, проанализированы их технические параметры и конструкции, отмечены также недостатки и преимущества. В частности, показано, что в настоящее время спектральный анализ оптических информационных лучей осуществляется с помощью светофильтров, призм, дифракционных решеток путем применения высокоточных механических и оптических узлов. Необходимость их периодической юстировки уменьшает надежность таких анализаторов оптического излучения. Кроме того они требуют внешнего компьютерного оснащения. В результате современные анализаторы спектра имеют высокую себестоимость и большие габариты. Обоснована необходимость создания малогабаритного спектрофотометра для эксплуатации в полевых условиях.

Рассмотрены основные подходы дистанционного применения спектрофотометров для оперативного получения информации в режиме реального времени. В качестве примеров проанализированы практические системы контроля состава воды и определения размеров частиц в потоках нефтепродуктов. В первом случае фотодетекторы устанавливаются на узлах водных территорий и с помощью спутниковой связи осуществляют передачу сигналов на сервер для последующей обработки. Во втором случае проходящий через поток лазерный луч передает фотодетектору точную информацию о количестве и размерах частиц в потоке.

Во второй главе представлены результаты разработки и исследования спектрофотометра на основе двухканального полупроводникового фотодетектора.

Проанализирована возможность идентификации вредных веществ с помощью спектрального анализа информативного оптического сигнала полупроводникового двухканального фотодетектора, планарная структура и схема которого изображены на рис. 1.

Фактически двухканальный фотодетектор состоит из двух параллельно расположенных фотодиодов. Эти диоды изолированы друг от друга с помощью толстого бокового слоя двуокиси кремния SiO_2 и внутренней пленки SiO_2 , нанесенной на полукристаллическую кремниевую подложку PC Si. Электрически диоды связаны p-базами через высоколегированный n^+ слой. Поверхностная пленка SiO_2 антиотражающая и нанесена на металлические полупрозрачные контакты.

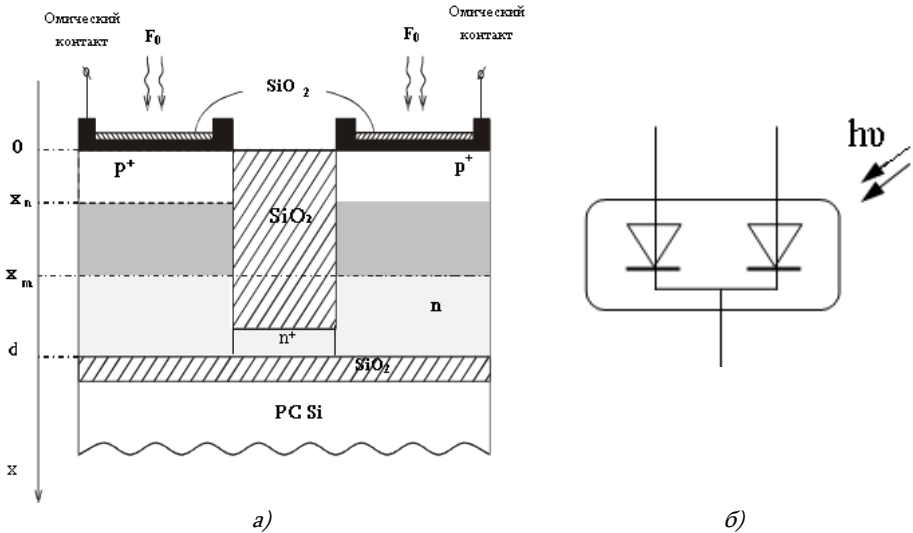


Рис. 1. Планарная структура (а) и схема (б) двухканального фотодетектора

Луч направляется на светочувствительную поверхность обоих фотодиодов. При любой полярности внешнего напряжения один из p-n переходов смещен в прямом направлении, а другой – в противоположном. Слой p^+ тонкий, поэтому толщина d в основном определяется слоем n^+ , а интенсивность излучения в точке x_n равна поверхностной интенсивности F_0 . Расширение одного из обедненных слоев с толщиной x_{n-p} и уменьшение второго обеспечивают разную эффективность поглощения в зависимости от длины волны излучения. Полукристаллическая подложка пропускает нерегистрируемую часть глубоко проникающего излучения. В результате обусловленный противодействующими барьерами итоговый ток содержит информацию о длине волны и интенсивности излучения.

Решением одномерного диффузионного уравнения получено выражение для протекающего через двухканальный фотодетектор тока при поглощении интегрального потока излучения:

$$\sum_{ij} J_{totij} = q \sum_{ij} F_{oi} \left(\frac{e^{-\alpha_i x_{n2j}} - e^{-\alpha_i x_{n1j}}}{1 + \alpha_i L_p} \right),$$

где $F(\lambda_i)$ – полный поток фотонов при длине волны λ_i ; α_i – коэффициент поглощения; L_p – коэффициент диффузии дырок в базе, подстрочные индексы $i = 1, 2, 3, \dots$ - изменяются при изменении длины волны в интегральном потоке, а подстрочные индексы $j = 1, 2, 3, \dots$ при изменении напряжения смещения.

Таким образом, полученное выражение устанавливает связь между цифровыми данными вольт-амперной характеристики полупроводниковой структуры, длиной отдельных волн и их интенсивностью.

На рис. 2 показан упрощенный алгоритм получения спектральной зависимости интенсивности излучения. Здесь входные цифровые данные фототока на выходе преобразуются в спектральную зависимость интенсивности излучения.

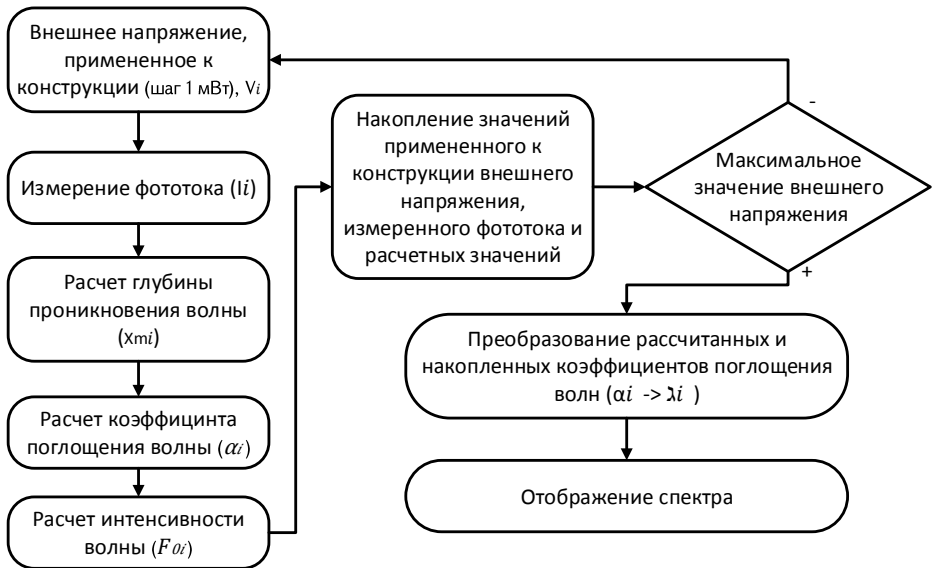


Рис. 2. Упрощенный алгоритм определения спектральной зависимости интенсивности излучения

Предположим, что информативным сигналом является фототок. При изменении напряжения сдвига на 1 мВ имеем два максимальных значения x_1 и x_2 и

соответствующие им значения фототоков I_1 и I_2 . Эти значения получены в результате поглощения наиболее глубоко проникающей волны λ . В соответствии с законом Бугера-Ламберта для поглощения излучения в однородных средах получим коэффициент поглощения волны:

$$\alpha_i = \frac{1}{\Delta x} \ln \frac{I_2}{I_1}$$

где $\Delta x = x_{n1} - x_{n2}$

Далее, пользуясь зависимостью $\alpha = f(\lambda_i)$, для материала фотодетектора (например, для кремния) программным путем определяется длина соответствующей волны, а из выражения для тока – интенсивности отдельных волн в поглощенном излучении. На следующем шаге, пользуясь выражением для тока и с учетом площади поглощения, строится зависимость $I_1=f(V)$, которая вычитается из экспериментальной зависимости суммарного тока $I=f(V)$. В итоге имеем новую зависимость суммарного фототока от V без зависимости $I_1=f(V)$. В программном режиме путем последовательных вычислений получаем длины всех имеющихся волн и их интенсивности, а также зависимости, обусловленные соответствующими волнами фототоков от V . В результате имеем спектральную зависимость интенсивности для наблюдаемого количества волн.

Таким образом, предложенный алгоритм путем перехода от коэффициента поглощения к длине волны позволяет определить спектральную зависимость интенсивности излучения двухканального фотодетектора при пошаговом изменении внешнего напряжения.

На рис. 3 представлена АМ0 (атмосферная масса 0) для нескольких значений солнечного спектра. Когда луч падает непосредственно на светочувствительную поверхность фотодетектора, появляются точки типа 1, а когда проходит через исследуемый объект и несет к фотодетектору информацию о размере поглощения – точки типа 2. Каждая волна поглощается только одной примесью. Следовательно, можно осуществлять идентификацию примесей, при этом количество поглощения будет характеризовать количество данной примеси. Таким образом можно реализовать количественный анализ вредных веществ в окружающей среде.

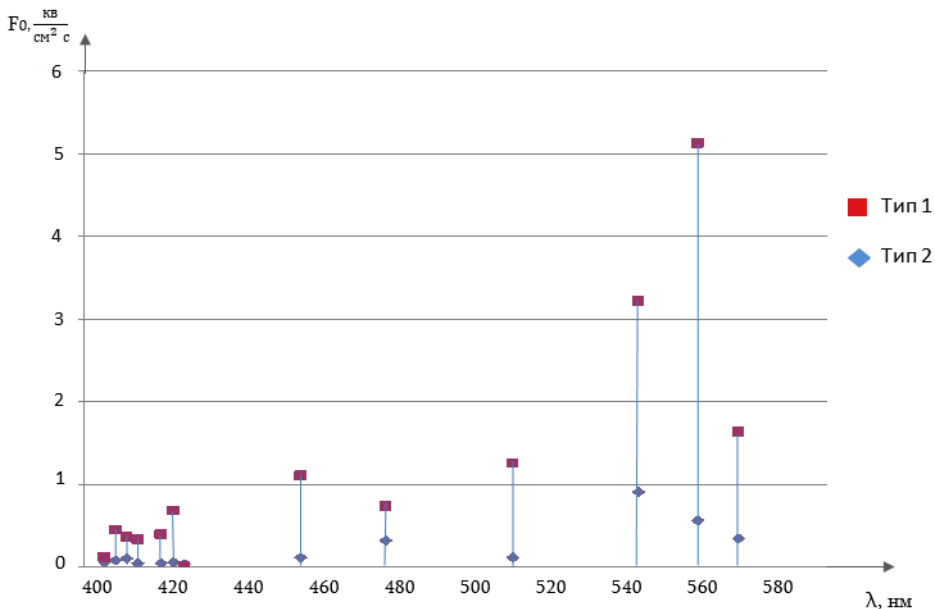


Рис. 3. Изменение распределения спектральной интенсивности излучения

На основе вышеизложенного алгоритма были разработаны соответствующие программы в средах LabVIEW и LabVIEW Real-Time по определению спектральной зависимости интенсивности излучения фотодетектора при пошаговом изменении внешнего напряжения.

Для экспериментальных исследований и тестирования разработанных программ на базе двухканального кремниевый фотодетектора ФД-20-30К и контроллера NI sbRIO 9636 был изготовлен прототип спектрофотометра (рис. 4). Выбор фотодетектора ФД-20-30К обусловлен низким уровнем потребляемой мощности. Спектральный диапазон спектрофотометра составляет 220...1100 нм. Размеры прототипа обусловлены размерами процессора и экрана. При соответствующем выборе можно достичь себестоимости в 100,000 драмов.

Испытания проводились при дневном комнатном освещении и с использованием лазерного зеленого луча. Получены спектры светового и лазерного лучей (рис. 5). Показано хорошее совпадение спектра зеленого лазерного луча с эталонной волной. Получены спектральные зависимости интенсивности излучения, сопоставимые с известными данными. Отклонения, в зависимости от спектрального диапазона, составили 1...5 нм.

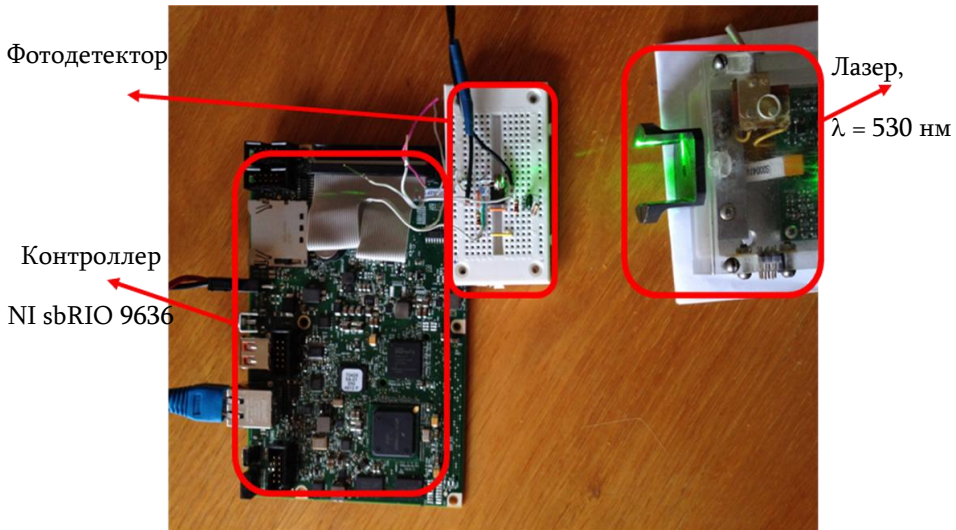


Рис. 4. Прототип спектрофотометра

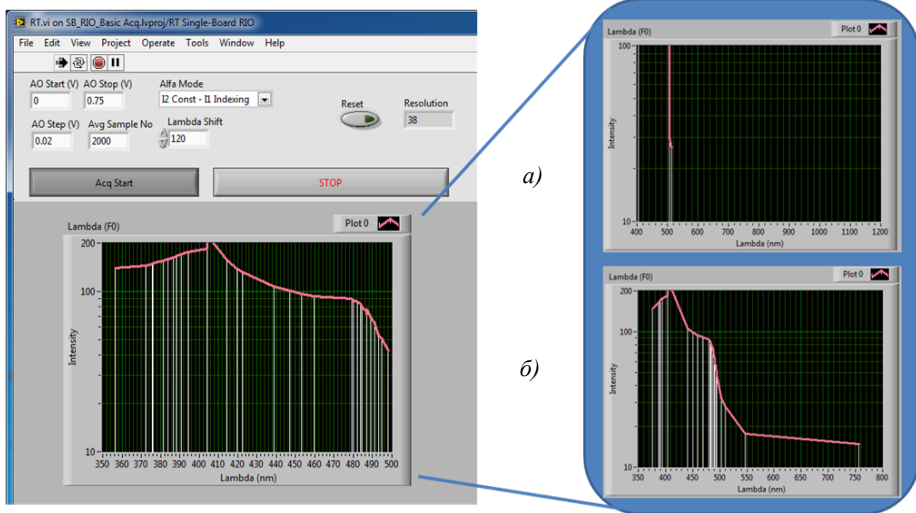


Рис. 5. Спектры светового (а) и лазерного (б) лучей

Полученные результаты исследования рассматривались с точки зрения обнаружения взрывчатых веществ. При облучении криптоновым (Кр) лазером (длина волны 310 нм) пары взрывчатых веществ подвергаются фотолизу, и, как результат, образуются молекулы окиси азота (NO), азота (N₂) и кислорода (O₂) с возбужденными электронами. Это возбуждение сопровождается флуоресценцией волн в диапазоне 234 ... 236 нм и может быть подвергнута спектральному анализу с помощью предложенного спектрофотометра.

В единице объема паров взрывчатых веществ число молекул в зависимости от типа находится в диапазоне от 10⁷ до 10¹⁵, что при 100%-й эффективности поглощения соответствует фототокам от 10⁻¹² до 10⁻⁴А. Это полностью регистрируемо, так как предлагаемый фотодетектор в составе спектрофотометра имеет структуру кремниевого p-n-перехода, пороговая фоточувствительность которого составляет ~10⁻¹⁴ Вм Гц^{-1/2}.

В третьей главе приведены результаты создания спектрофотометрической системы дистанционного мониторинга вредных веществ в режиме реального времени на основе разработанного спектрофотометра и при помощи технологии пакетной радиосвязи GPRS\3G\4G.

Для создания действующей системы мониторинга среды была разработана беспроводная сенсорная сеть. Ее основные преимущества: широкая пропускная способность, гибкие настройки, низкое потребление мощности, незначительное влияние на окружающую среду, невысокая цена.

Спектрофотометрическая система состоит из аппаратных и программных частей узлов мониторинга данных и базовой станции, а также программной части центра дистанционного мониторинга.

В качестве примера разработаны методы построения и аппаратные узлы спектрофотометрической системы дистанционного мониторинга водной среды в режиме реального времени на основе двухканального фотодетектора и при помощи технологии пакетной радиосвязи GPRS\3G\4G. С помощью этой системы можно успешно реализовать обнаружение и количественный анализ примесей, спектр поглощения которых лежит в диапазоне 220...1000 нм, например, в искусственных озерах или в сетях питьевой воды.

На рис. 6 приведено схематическое изображение системы дистанционного мониторинга водной среды.

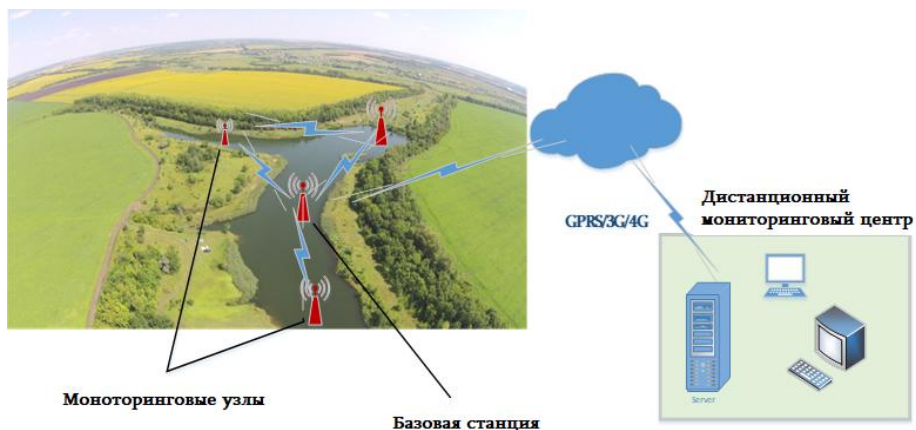


Рис. 6. Система дистанционного мониторинга водной среды

Большое количество узлов мониторинговых данных распределено в водной среде для обнаружения соответствующих параметров. Они составляют мониторинговую сеть, в которой каждый узел может регистрировать и собирать данные об изменении электромагнитного спектра поглощенного или отраженного излучения. Узлы могут решать задачи идентификации примесей и их количественного анализа. Кроме того, они способны также производить упаковку данных, сбор запоминаемых параметров и отправку на станцию базы данных.

Данные мониторинговых узлов передаются с помощью сети станций передачи данных GPRS/3G/4G. Мониторинговая станция анализирует и обрабатывает параметры качества воды, предупреждает в чрезвычайных ситуациях о загрязнении или каких-либо других неожиданных изменениях качества воды и предоставляет необходимые данные для решения профилактических задач и устранения загрязнения воды. Конечный пользователь в любой сезон может обнаружить изменения, происходящие на целевой водной территории, через Интернет.

На рис. 7 представлена системная архитектура узла мониторинга данных, которая состоит из шести следующих модулей: обнаружения, передачи, обработки, силовой, радиочастотный ZigBee и GPRS/3G/4G. Указанные модули, за исключением модуля обнаружения, могут быть установлены в закрепленных якорях водонепроницаемых камерах, которые фиксированы или плавают по воде. Модуль обнаружения, который имеет щель для доступа воды, находится в воде, но подключен кабелем к водонепроницаемой камере. С двух сторон щели за прозрачными окошками установлены источник излучения и фотодетектор.

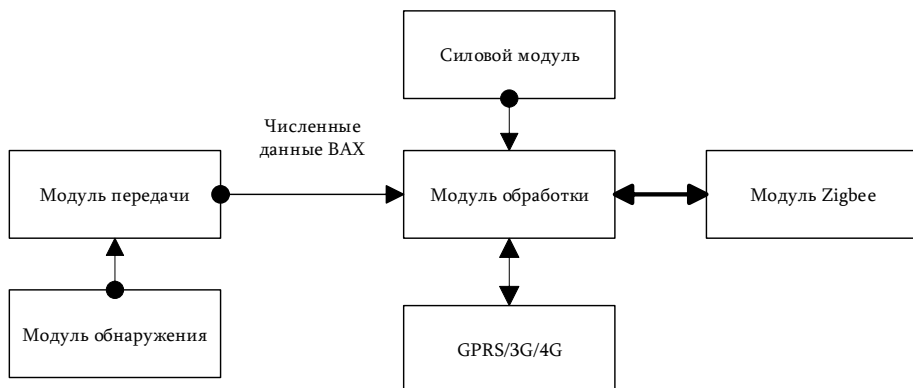


Рис.7. Системная архитектура узла мониторинга данных

Силовой модуль представляет собой источник питания со своим аккумулятором и модулем перезарядки для обеспечения необходимым питанием всех модулей. В состав модуля обнаружения входит фотодетектор, который в режиме реального времени собирает информацию с водной территории о спектре поглощения воды. Модуль передачи усиливает информативные сигналы с помощью 12-разрядного усилителя, фильтрует данные, а также изменением интервала электрического уровня позволяет выбрать диапазон монотонного изменения цифровых данных и получить достоверные данные для спектрального анализа. Модуль обработки с помощью соответствующих алгоритмов обрабатывает информативный сигнал с выхода фотодетектора, преобразует в спектр, запоминает его, а затем через модуль ZigBee передает его соседним узлам или через GPRS/3G/4G сообщает базовой станции. Все узлы соединены друг с другом и управляются базовой станцией по протоколу коммуникации ZigBee.

Аналогичную спектрофотометрическую систему дистанционного мониторинга можно также использовать в тех местах, где требуется проверка безопасности, обнаружение взрывчатых и вредных веществ, без непосредственного контакта с ними.

ОСНОВНЫЕ ВЫВОДЫ ДИССЕРТАЦИОННОЙ РАБОТЫ

1. Предложена структура полупроводникового двухканального фотодетектора и обоснована возможность идентификации вредных веществ путем спектрального анализа информативного оптического сигнала с помощью предложенного детектора [1,6].
2. Получены аналитические выражения, описывающие фотоэлектронные процессы в полупроводниковом двухканальном фотодетекторе в зависимости от внешнего напряжения смещения, спектрального состава и интенсивности поглощаемого излучения и структурных параметров фотодетектора [2,3].
3. Разработаны алгоритм и соответствующие программы для преобразования задаваемые на входе цифровые данные в спектральную зависимость интенсивности излучения при пошаговом изменении внешнего напряжения. Отличительной особенностью алгоритма является переход от коэффициента поглощения к длине волны излучения [8,10].
4. На базе двухканального кремниевое фотодетектора и разработанных программ изготовлен и протестирован малогабаритный и недорогой прототип спектрофотометра со спектральным диапазоном 220...1100 нм. Исследованы спектральные зависимости интенсивности светового и лазерного лучей, сопоставимые с известными данными. Отклонения составило ~1 нм [11,12].
5. Предложены принципы построения и разработаны аппаратные узлы спектрофотометрической системы дистанционного мониторинга вредных веществ в режиме реального времени. При этом спектральный анализ информации осуществляется первичным фотодетектором, а выходные данные направляются в базу данных центра мониторинга для конечного использования при помощи технологии пакетной радиосвязи GPRS\3G\4G [4,9].
6. Исследованы возможности дистанционного целевого спектрального анализа водной среды с помощью спектрофотометрической системы мониторинга. Аналогичную систему дистанционного мониторинга можно также использовать в тех местах, где требуется проверка безопасности, обнаружение взрывчатых и вредных веществ, без непосредственного контакта с ними [5,7].

Основные результаты диссертации опубликованы в следующих работах:

1. Khudaverdyan Surik, Tsaturyan Stepan, Vaseashta Ashok. Selective Sensitivity Sensor for Explosive Detection and Identification // Series NATO Science for Peace and Security Series - D: Information and Communication Security. Volume 47, Security Challenges Through Data Analytics and Decision Support. IOS Press, DOI 10.3233/978-1-61499-716-0-99. ISBN 978-1-61499-715-3, Springer, 2016.-P 99-107.
2. Khudaverdyan, S., Hovhannisyan, T., Meliqyan, N., Mehrabyan, N., Tsaturyan, S., Khachatryan, M. and Vaseashta, A. On the Model of Spectral Analysis of Optical

- Radiation // Journal of Electromagnetic Analysis and Applications. 2016.-8.-P.23-32. <http://dx.doi.org/10.4236/jemaa.2016.82003>.
3. Tsaturyan S. Photocurrent analysis in security and safety systems // Proceedings of NPUA: Information technology, Electronics, Radio engineering. –2015. -№2. -P. 90-97.
 4. Tsaturyan S. A new technological approach for developing a portable photospectrometer for monitoring the environmental conditions // Proceedings of NAS of RA and NPUA. Series of technical science. Yerevan, 2015, –Vol.68, № 4. -P. 480-490.
 5. Khudaverdyan S., Vaseashta A., Caturyan S., Khudaverdyan D. Optical Sensor For The Detection of Impurities In Water. // NANOSMAT, Conference, -2013, 22-25 Sep., Granada, Spain, -P. 91-93.
 6. Khudaverdyan S., Khachatryan M., Khudaverdyan D., Tsaturyan S., Vaseashta A. New Model of Spectral Analysis of Integral Flux of Radiation. // NATO Science for Peace and Security Series B: Physics and Biophysics, DOI 10.1007/978-94-007-7-3-4_15. – Springer, 2013. –P. 261-269.
 7. Khudaverdyan S.Kh., Petrosyan O.H., Dokholyan J.G., Khudaverdyan D.S., Tsaturyan S.H. Modeling of a New Type of an Optoelectronic Biosensor for the Monitoring of the Environment and the Food Products // NATO Science for Peace and Security Series A: Chemistry and Biology, ISBN 978-94-007-2487-7. Springer. 2012, -P. 179-184.
 8. Խուդավերդյան Ա., Առուստամյան Վ., Դոխոլյան Ժ., Ծատուրյան Ա. Ճառագայթի ինտեգրալ հոսքի սպեկտրային վերլուծության նոր մոդել // ՀՊՃՀ Բանբեր: Սերիա «Ինֆորմացիոն տեխնոլոգիաներ, էլեկտրոնիկա, ռադիոտեխնիկա»: -2012. -Թող. 15, № 1, -էջ 70-75:
 9. Khudaverdyan S., Khudaverdyan D., Tsaturyan S., Vaseashta A. Optical Sensor for the Remote Detection of Hazardous Substances // Conference NATO Science for Peace and Security program, Technological Innovations in CBRNE Sensing and Detection for Safety, Security and Sustainability. -Yerevan, Armenia, Sep. 29-Oct. 01, 2012. -P. 29.
 10. Առուստամյան Վ., Խուդավերդյան Ա., Ծատուրյան Ա. Երկարգելք կառուցվածքների ընտրողական զգայնության հետազոտումը սպեկտրի օպտիկական միջակայքում // ՀՊՃՀ Լրաբեր: Գիտական և մեթոդական հոդվածների ժողովածու. - 2010. - Հատոր 2, №1, -էջ 188-191:
 11. Khudaverdyan S., Grigorian H., Khudaverdyan D., Tsaturyan S., Vaseashta A. Modeling of a new type of optoelectronic biosensor for the environmental and foodstuff monitoring // Technological innovations in detection and sensing of CBRN treats and ecological terrorism. - Moldova, Chisinau, June 7-17, 2010, -P. 49.

12. Առուստամյան Վ., Դոխոյան Ժ., Խուդավերդյան Ա., Ծատուրյան Ս. Բազմաշերտ նանոչափային կառուցվածքներում Արևի էներգիայի վերափոխման հնարավորությունների ուսումնասիրումը // ՀՊՃՀ Բանբեր: Սերիա «Ինֆորմացիոն տեխնոլոգիաներ, էլեկտրոնիկա, ռադիոտեխնիկա»: - 2009, -Թող. 12, № 2, -էջ 9-13:

ԱՄՓՈՓԱԳԻՐ

Երկրագնդի բնապահպանական անվտանգությունը պայմանավորված է բնական և մարդածին գործոններով: Դրանց ազդեցության հետևանքով օրեցօր խորանում է մարդու և բնության փոխհարաբերություններում առկա բնապահպանական ճգնաժամը: Արդյունաբերության, գյուղատնտեսության և տրանսպորտի գործունեության բացասական հետևանքները շրջակա միջավայրի վրա ազդող մարդածին հիմնական վտանգներ են: Վտանգավոր չափերի է հասել քաղցրահամ ջրի աղտոտվածությունը նավթանյութերով, ֆենոլներով, ազոտով, թունաքիմիկատներով, ծանր մետաղների միացություններով: Ստեղծված իրավիճակում առաջնային է դառնում իրական ժամանակում շրջակա միջավայրի և մասնաորապես ջրի որակի լայնամասշտաբ մշտադիտարկման իրականացումը:

Մշտադիտարկման ժամանակակից տեխնիկական միջոցներից ներկայումս մեծ դեր է վերապահվում նոր սերնդի տվիչներին, որոնք օգտագործվում են տեղում աղտոտվածությունները հայտնաբերող ժամանակակից սարքերում: Քանի որ շրջակա միջավայրին սպառնացող վտանգը դառնում է ավելի ու ավելի չկանխատեսվող, ապա անհրաժեշտ է մշակել տվիչներ և սարքեր, որոնք դյուրօգտագործելի են և տարբեր միջավայրերում իրավիճակները հեռավերլուծելուծության ու ժամանակակից կապի միջոցներով տվյալների մշտադիտարկման, դրանց վերլուծության և էկրանին միջավայրի իրավիճակի ցուցադրման հնարավորություն են ընձեռում:

Մեծ տարածությունների մշտադիտարկման համար կապահանջվի մեծ թվով տվիչներ: Հետևաբար հրատապ կարևորություն է ոչ թանկ, դաշտային հեռաճանաչմանը պիտանի, բարձր սպեկտրային զգայնության և փոքր չափերով սենսորները և դրանցով տեղեկատվության ճշգրիտ գրանցման ալգորիթմը:

Նշված պահանջները բավարարելու ճանապարհին ատենախոսի կողմից կատարվել են հետևյալ աշխատանքները՝

1. Մշակվել է կիսահաղորդչային երկուղի ֆոտոդետեկտորի կառուցվածք և հիմնավորվել դրա միջոցով օպտիկական տեղեկատվության սպեկտրային վերլուծությամբ վնասակար նյութերի նույնականացման հնարավորությունը [1, 6]:
2. Ստացվել են մաթեմատիկական արտահայտություններ, որոնցում առկա կառուցվածքային պարամետրերի, կիրառված արտաքին շեղման լարման, կլանված ճառագայթի սպեկտրային կազմի և ինտենսիվության միջև փոխկապակցվածությամբ նկարագրվում են երկուղի ֆոտոդետեկտորում ֆոտոէլեկտրոնային գործընթացները [2, 3]:

3. Մշակվել է ալգորիթմ, որը արտաքին լարման 1 մվ քայլով փոփոխություն, կլանման գործակցից ալիքի երկարության անցում, մուտքային տվյալների ճշտաբերում իրականացնող մշակված ծրագրային փաթեթի շնորհիվ ելքում ապահովում է ճառագայթի ինտենսիվության սպեկտրային կախվածություն ստացում [8, 10]:
4. Մշակվել, պատրաստվել և փորձարկվել է փոքրաչափ և էժան սպեկտրոֆոտոչափ սիլիցիումային երկուղի ֆոտոդետեկտորի հիման վրա, որը ընդգրգում է գործնականում առավել կիրառելի 220...1100 նմ սպեկտրային միջակայքը: Հետազոտվել են լույսի և լազերային ճառագայթների ինտենսիվության սպեկտրային կախվածությունները, որոնք համեմատելի էին էտալոնային հայտնի տվյալների հետ: Շեղումները կազմել են ~1 նմ և չեն զիջում ժամանակակից սպեկտրաֆոտոչափերի սպեկտրային զգայնությանը [11, 12]:
5. Մշակվել է իրական ժամանակում հեռամշտադիտարկման համակարգի և դրա սարքային հանգույցների նախագծման սկզբունքներ, որը թույլ է տալիս առաջնային ֆոտոսպեկտրաչափի միջոցով իրականացնել տեղեկատվության սպեկտրային վերլուծությունն, իսկ ելքային տվյալները փաթեթային ռադիոկապի տեխնոլոգիայով (GPRS/3G/4G) ուղարկել մշտադիտարկման կենտրոն՝ վերջնական օգտագործման համար [4, 9]:
6. Նմանօրինակ հեռամշտադիտարկման համակարգը կարող է օգտագործվել այնպիսի վայրերում, որտեղ պահանջվում է անվտանգության ստուգում, պայթուցիկ և վնասակար նյութերի հայտնաբերում՝ առանց դրանց հետ անմիջական շփման [5, 7]:

STEPAN HUSIK TSATURYAN

DEVELOPMENT OF A REAL-TIME ENVIRONMENTAL MONITORING SYSTEM

SUMMARY

The environmental safety of the Earth is conditioned by natural and anthropogenic factors. As a result of their influence, an ecological crisis in the relationship between humans and the nature is getting deeper every day. The negative effects of the industry, agriculture and transport are among the major human threats to the environment. Pollution of fresh water with oils, phenols, nitrogen, pesticides and heavy metal compounds has reached a dangerous level. In this situation, large-scale monitoring of the environment and especially the quality of water is of utmost priority.

Monitoring tools today center on using a new generation of sensors for detection and determination of contaminants. The environmental threat is becoming increasingly unpredictable, and therefore it is important to develop sensors and devices that are easy to operate and provide means for remote monitoring and analysis of the environmental data in various conditions and environments, along with the possibility of displaying locally the obtained results on the screen. A large number of sensors will be required to track a wide area. Hence there is an urgent need for small and inexpensive field monitoring sensors with high spectral sensitivity, along with an accurate algorithm for registering and analyzing the obtained data.

In order to meet the above mentioned requirements, the following tasks were fulfilled by the dissertation:

1. A novel structure for semiconductor based dual-path parallel photodetector has been developed, for optical identification and quantitative analysis of hazardous substances in optically transparent environments [1, 6].
2. Mathematical models have been developed, establishing a correlation between the structural parameters of the photodetector, the photo-current, which contains information about the media, and spectral composition and intensity of light [2, 3].
3. An algorithm has been developed which, with 1mV changes of external voltage, provides corrections to the input data based on the change of absorption factor depending on wavelength, and provides the spectral distribution of beam intensity on the output [8, 10].
4. Based on the proposed dual-path silicon photodetector, a small and inexpensive optical spectral measurement device has been developed, made and tested, working in the most applicable 220 to 1100nm spectral range. Spectral dependencies of the intensity of common light and a laser beam have been studied, which were found comparable to a known standard. The deviations were in the order of 1nm magnitude

and are no worse than the accuracy of modern commercially available spectrometers [11, 12].

5. A prototype real time monitoring system and its component modules have been developed in which a spectral analysis of the data from the primary sensor is performed and the results are sent to a remote data center by means of common wireless data packet transmission technologies (GPRS/3G/4G), for final processing [4, 9].
6. Similar remote monitoring systems can be used in environments where security checkup is required, for the detection of explosive and hazardous materials, without direct contact with those substances [5, 7].

A handwritten signature in black ink, consisting of several loops and a trailing line that ends in a small dot.