

Вход дешифратора «ВК» – это вход «Выбора кристалла». При подаче на вход «ВК» сигнала логический «0» дешифратор осуществляет преобразование двоичного кода в унарный, т. е. вырабатывает сигнал логический «0» на одном из своих выходов в соответствии с кодом управления. При подаче на вход «ВК» логической «1» все выходы дешифратора переводятся в состояние логической «1», независимо от состояния кодов управления. Таким образом, если с вывода платы Arduino поступает сигнал логический «0», то активизируется дешифратор DD1, при этом дешифратор DD2 находится в пассивном состоянии, так как его вход «ВК» подключен к выходу платы Arduino через инвертор микросхемы K155ЛН1. Дешифратор DD2 будет активизирован при подаче логической «1» с выхода платы Arduino. Таким образом, дешифратор DD1 через герконовые реле K1–K11 подключает ко входу инструментального усилителя выходы датчиков температуры ДТ1–ДТ11. А дешифратор DD2 – через K13–K23 подключает ДТ13–ДТ23.

В настоящей работе предложена разработка информационно-измерительной системы контроля параметров медицинского одеяла на основе

анализа показаний температурных датчиков. Было выполнено макетирование коммутатора сигналов термодатчиков на безопасных платах. Результаты макетирования подтвердили возможность коммутации сигналов датчиков температуры и их подключения ко входам инструментального усилителя. Обработка полученных данных с термодатчиков продемонстрировала работоспособность ключевых элементов системы, что показывает практическую реализуемость и функциональность предлагаемой системы.

Таким образом, предлагаемая разработка информационно-измерительной системы представляет собой вариант аппаратуры контроля параметров медицинского одеяла для лечения послеоперационных осложнений, связанных с гипотермией пациентов.

Благодарности. Работа выполнена в рамках гранта Благотворительного фонда Владимира Потанина «#фондпотанина25».

Литература

1. Efficacy of forced-air warming systems with full body blankets / A. Bräuer [et al.] // Canadian journal of anaesthesia. – 2007. – № 54 (1). – 3. 34–41.

УДК 621.383

ПРИБОРНЫЙ РЯД МУЛЬТИПАРАМЕТРИЧЕСКИХ СЕНСОРОВ

Гусев О. К., Воробей Р. И., Свистун А. И., Тьявловский А. К., Тьявловский К. Л., Шадурская Л. И.

*Белорусский национальный технический университет
Минск, Республика Беларусь*

Аннотация. Одним из способов решения задач оптической диагностики является использование фотоэлектрических сенсоров на основе полупроводников с собственной фотопроводимостью, слабо легированных глубокими примесями, формирующими несколько уровней с разными зарядовыми состояниями в запрещенной зоне. Особенности физических процессов перезарядки этих уровней позволяют создавать фотоприемники с различными функциональными возможностями на основе ряда простых приборных структур.

Ключевые слова: фотоэлектрический преобразователь, мультипараметрический сенсор, приборная структура, глубокая примесь, преобразовательная характеристика, измерительный преобразователь.

SERIES OF MULTI-PARAMETRIC SENSORS

Gusev O., Vorobey R., Svistun A., Tyavlovsky A., Tyavlovsky K., Shadurskaya L.

*Belarusian National Technical University
Minsk, Republic of Belarus*

Abstract. One of the ways to solve problems of optical diagnostics is to use photovoltaic converters based on semiconductors with intrinsic photoconductivity slightly doped with deep impurities, which form several energy levels with different charge states within the semiconductor's bandgap. Peculiarities of physical processes of recharging these levels make it possible to construct photodetectors with different functionality based on a range of simple device structures.

Key words: photovoltaic converter, multi-parametric sensor, device structure, deep impurity, conversion characteristic, measurement transducer.

*Адрес для переписки: Тьявловский К. Л., пр. Независимости, 65, г. Минск 220113, Республика Беларусь
e-mail: ktyavlovsky@bntu.by*

Функциональные и метрологические характеристики измерительной системы в основном определяются свойствами сенсоров, входящих в состав измерительных преобразователей системы. Отдельный тип сенсоров, характе-

ризующихся возможностью управления преобразовательными характеристиками и чувствительностью к нескольким входным факторам различной физической природы, представляют одноэлементные сенсорные структуры на основе

полупроводников с собственной фотопроводимостью, содержащих малую концентрацию многозарядной примеси [1, 2]. Управление их характеристиками удобно производить дополнительным оптическим излучением. Под действием управляющего оптического сигнала возможно переключение между поддиапазонами энергетической и спектральной характеристиками преобразования оптического излучения в ближнем и среднем ИК-диапазоне, включение чувствительности к дополнительным физическим факторам, например, к магнитному полю. Так как чувствительность сенсора к оптическому излучению определяется процессами рекомбинации, а каждое зарядовое состояние характеризуется отличающимися параметрами, то это позволяет создавать фотоприемники с различными функциональными возможностями на основе ряда простых приборных структур. Благодаря изменению свойств активной области сенсора вследствие особенностей свойств зарядовых состояний одного примесного центра, возможно управление характеристиками одноэлементного сенсора, чувствительного к входным факторам различной физической природы. Причем управление параметрами преобразовательных характеристик можно осуществлять в диапазоне энергетических характеристик до нескольких десятичных порядков, и спектральных характеристик от десятых долей до 6 мкм в области чувствительности от видимого до среднего ИК-диапазона преобразования [2]. Приборная структура таких сенсоров достаточно проста: от фоторезистивной до транзисторной (биполярной или полевой).

Уже простая фоторезистивная структура из-за последовательной перезарядки уровней с различными зарядовыми состояниями обеспечивает формирование энергетической характеристики чувствительности с несколькими поддиапазонами. Фоторезистивная структура с элетродами по четырем сторонам обеспечивает позиционную чувствительность к координатам светового пятна внутри светочувствительной области, а использование структуры с электродами на лицевой и тыльной сторонах сенсора обеспечивает реализацию функций оптического компаратора и детектора длины волны относительно некоторого значения [3].

Проявлением фоточувствительности сенсорной структуры полевого транзистора с каналом в полупроводнике с многозарядной примесью является смещение сток-затворной характеристики и изменение значения напряжения отсечки при изменении освещенности активной области. При этом дополнительной управляющей подсветкой можно изменять и вид спектральной характеристики чувствительности, переключая значение «красной» границы. Вывод затвора

может быть использован как управляющий электрод, так и как электрод-контакт с исследуемой жидкой средой (биологическим объектом), например, через иммерсионную жидкость [4].

Гальваномагнитный преобразователь образуется структурами биполярного транзистора с длинной базой или полевого МДП транзистора, в которых базовая область или канал выполнены из полупроводника с примесью, формирующей в запрещенной зоне несколько энергетических уровней для разных зарядовых состояний. Причем области с разными скоростями рекомбинации формируются в изначально однородной области полупроводника, только за счет изменения зарядовых состояний под действием освещения.

Отметим, что в ряде случаев конструкция сенсорной структуры требует применения «обратной засветки», которая для обеспечения высокой чувствительности реализуется путем утоньшения полупроводника под активной областью. Недостатки такой структуры могут быть устранены при размещении областей сенсорных структур и структур управляющих светодиодов, генерирующих управляющий сигнал, на сапфировой подложке, обеспечивающей хорошую совместимость с многими полупроводниковыми материалами [5]. Кроме того, сапфир обладает отличными оптическими свойствами в спектральном диапазоне от 0,2 до 6,0 мкм.

Таким образом, приборные структуры на базе полупроводников с низкой концентрацией глубокой примеси, формирующей в запрещенной зоне несколько энергетических уровней для разных зарядовых состояний, позволяют создавать фотоэлектрические преобразователи с большим динамическим диапазоном энергетических и спектральных характеристик. Ряд приборных структур одноэлементных сенсоров реализует чувствительность к нескольким входным факторам различной природы, таким как интенсивность и длина волны оптического излучения, координата светового пятна, величина электрического и магнитного поля, химический состав газовой или жидкой среды, контактирующей с затвором сенсора.

Выбор приборной структуры сенсора, материала полупроводника, типа глубокой примеси и ее концентрации позволяют создавать фотоприемники и измерительные преобразователи с заданными функциональными свойствами и характеристиками преобразования.

Конструкции и технологии мультипараметрических сенсоров на основе полупроводников с многозарядными примесями совместимы с «около кремниевыми» технологиями и технологиями «полупроводник на сапфире».

Измерительный преобразователь, с использованием нескольких, не менее двух, фотоэлект-

рических сенсоров с различающимися параметрами, реализует линейные характеристики преобразования в широком диапазоне и для нескольких входных факторов путем выбора и объединения перекрывающихся линейных участков характеристик преобразования разных фотоэлектрических сенсоров, входящих в состав преобразователя. При этом достигается увеличение динамического диапазона энергетической характеристики не менее, чем в два раза по логарифмической шкале интенсивности излучения, с соответствующим увеличением разрядности кода результата преобразования. Расширение спектральной характеристики чувствительности происходит на величину от десятых долей до шести мкм, в зависимости от материала основного полупроводника и многозарядной примеси.

УДК 681.586.48

ОПТИМИЗАЦИЯ ЭЛЕМЕНТОВ КОНСТРУКЦИИ ПЬЕЗОЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯ МЕТОДОМ КОНЕЧНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ

Дедович Н. Н., Романов А. Ф.

*НИУ «Институт прикладных физических проблем имени А. Н. Севченко» БГУ
Минск, Республика Беларусь*

Аннотация. Представлены результаты оптимизации характеристик элементов пьезоэлектрического преобразователя для работы в газовой среде. С помощью моделирования методом конечных элементов получены значения собственных резонансных частот пьезоэлектрического преобразователя и требования к материалу согласующего слоя пьезопреобразователя.

Ключевые слова: ультразвук, пьезокерамический элемент, согласующий слой, метод конечных элементов.

OPTIMIZATION OF DESIGN ELEMENTS OF A PIEZOELECTRIC TRANSDUCER BY THE FINITE ELEMENT METHOD

Dedovich N., Romanov A.

*Sevchenko Research Institute of Applied Physical Problems
Minsk, Republic of Belarus*

Abstract. The results of optimization of characteristics of elements of piezoelectric transducer for operation in gas environment are presented. The values of natural resonance frequencies of piezoelectric transducer and requirements for material of matching layer of piezoelectric transducer are obtained by means of modeling by finite element method.

Key words: ultrasound, piezoceramic element, matching layer, finite element method.

*Адрес для переписки: Романов А. Ф., ул. Курчатова, 7, г. Минск 220045, Республика Беларусь
e-mail: ramana@bsu.by*

Общая конструкция пьезоэлектрического преобразователя (ПП) для времяимпульсного метода измерений состоит из трех элементов: демпфер, пьезокерамический элемент (ПЭ) и согласующий слой [1].

Материал, тип и геометрия ПЭ определяются необходимостью получить направленный ПП с максимальной площадью взаимодействия со средой для повышения эффективности электроакустических преобразований. Для газовой среды, как правило, используют низкочастотные ультразвуковые волны, чтобы минимизировать потери при распространении ультразвуковых

- #### Литература
1. Методология и средства измерений параметров объектов с неопределенными состояниями / О. К. Гусев [и др.] под общ. ред. О.К. Гусева – Минск: БНТУ, 2010. – 582 с.
 2. Series of Photovoltaic Converters Based on Semiconductors with Intrinsic Photoconductivity / R. I. Vorobey [et al.] // *Devices and Method of Measurements*, – 2021, № 2. – P. 108–116
 3. Многопараметрические измерительные преобразователи систем оптической диагностики на основе функциональных датчиков / Р. И. Воробей [и др.] // *Не разрушающий контроль и диагностика* – 2023, № 1. – С. 37–45.
 4. Бурункова, Ю. Э. Сенсорные системы и материалы / Ю. Э. Бурункова, Е. О. Самуйлова. – СПб: Университет ИТМО, 2023. – 117 с.
 5. Масол, И. В. Информационные нанотехнологии / И. В. Масол, В. И. Осинский, О. Т. Сергеев – Киев: изд-во Макрос, 2011. – 560 с.

волн в среде. Наиболее подходящим типом геометрии ПЭ является диск. Диапазон ультразвуковых частот от 100 кГц до 200 кГц соответствует радиальной моде колебаний диска. Для моделирования ПЭ выбран диск диаметром 14 мм с толщиной 2,1 мм [2].

Применение ПП в газообразной среде накладывает наиболее жесткие условия эксплуатации из-за большой разницы акустических сопротивлений среды и ПЭ. Для эффективного излучения и приема ультразвуковых волн требуется наличие согласующего слоя с промежуточным значением акустического импеданса.