

УДК 621.383

**ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЙ ФОТОЭЛЕКТРИЧЕСКИЙ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЬ С УПРАВЛЯЕМОЙ ХАРАКТЕРИСТИКОЙ СПЕКТРАЛЬНОЙ ЧУВСТВИТЕЛЬНОСТИ**

**Борисенок С.В.<sup>1</sup>, Воробей Р.И.<sup>1</sup>, Гусев О.К.<sup>1</sup>, Свистун А.И.<sup>1</sup>, Тьявловский А.К.<sup>1</sup>, Тьявловский К.Л.<sup>1</sup>, Колтунович Т.Н.<sup>2</sup>, Шадурская Л.И.<sup>1</sup>**

<sup>1</sup>*Белорусский национальный технический университет  
Минск, Республика Беларусь*

<sup>2</sup>*Люблинский технический университет  
Люблин, Польша*

**Аннотация.** Предложена схема управления видом спектральной характеристики чувствительности фотоэлектрического преобразователя на основе полупроводникового фотоприемника с глубокой многозарядной примесью с использованием метода широтно-импульсной модуляции. Управление видом спектральной характеристики чувствительности для большинства комбинаций материалов полупроводника и глубокой многозарядной примеси осуществляется в диапазоне до 8 мкм.

**Ключевые слова:** измерительный фотоэлектрический преобразователь, спектральная характеристика чувствительности, управление характеристикой преобразования, широтно-импульсная модуляция.

**THE MEASURING PHOTO-ELECTRIC TRANSDUCER WITH THE MANAGED CHARACTERISTIC OF SPECTRAL SENSITIVITY**

**Borisenok S.<sup>1</sup>, Vorobey R.<sup>1</sup>, Gusev O.<sup>1</sup>, Svistun A.<sup>1</sup>, Tyavlovsky A.<sup>1</sup>, Tyavlovsky K.<sup>1</sup>, Koltunowicz T.<sup>2</sup>, Shadurskaya L.<sup>1</sup>**

<sup>1</sup>*Belarusian National Technical University  
Minsk, Belarus*

<sup>2</sup>*Lublin University of Technology  
Lublin, Poland*

**Abstract.** The control circuit by a type of a spectral characteristic of sensitivity photo-electric transformers on the basis of a semiconductor photodetector with deep multicharging impurity with use of a method of pulse-width modulation is offered. Management of a type of a spectral characteristic of sensitivity for the majority of combinations of materials of the semiconductor and deep multicharging impurity is carried out in the range up to 8 microns.

**Key words:** photo-electric transformer, spectral characteristic of sensitivity, management of the characteristic of conversion, pulse-width modulation.

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

Системы оптической диагностики решают измерительные задачи, связанные с регистрацией параметров оптического излучения, изменения которых обусловлены взаимодействием тестирующего излучения с объектом контроля. Основными параметрами измерительного фотоэлектрического преобразователя (ИФЭП) являются его энергетическая и спектральная преобразовательные характеристики [1–4].

При этом, возможность фотоэлектрического преобразователя осуществлять измерения в нескольких поддиапазонах даже при преобразовании одного параметра придает качественно новые свойства всей измерительной системе. Эти свойства ИФЭП обеспечивает приборный ряд фотоэлектрических преобразователей (ФЭП) на основе полупроводников с собственной фотопроводимостью [4], обеспечивающих комплекс новых качественных и количественных характеристик при относительной простоте приборных структур. Одним из ключевых свойств таких ФЭП является возможность получения переключа-

чаемой характеристики спектральной чувствительности, причем изменение значения красной границы спектральной чувствительности ФЭП может достигать нескольких микрометров [4, 5]. Однако, управление такой характеристикой между двумя возможными типами при подаче дополнительного электрического или оптического управляющего сигнала [5] реализуется в виде переключательной функции. Предлагаемая схема ИФЭП реализует способ непрерывного управления видом его спектральной чувствительности характеристики в некотором диапазоне. Это достигается при использовании одноэлементного ФЭП на основе полупроводника с собственной фотопроводимостью, слабо легированного глубокой многозарядной примесью. Энергетический спектр многозарядной примеси определяется занятостью уровней центра, причем в качестве активной выступает та или иная пара уровней в зависимости от заселенности уровней примесного центра. Последнее обстоятельство позволяет изменять вид энергетического спектра многоза-

рядного примесного центра, управляя заселенностью уровней путем электрической инжекции или дополнительной подсветкой [4, 5].

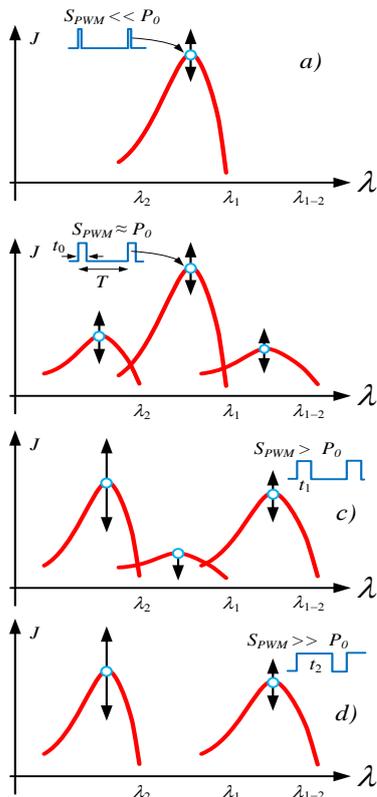


Рисунок 1 – Управление видом спектральной характеристики чувствительности

Переключение между видами энергетического спектра примесного центра происходит за время, равное времени жизни неравновесных носителей заряда, и, в свою очередь, приводит к непрерывному изменению вида спектральной чувствительности фотоприемника с многозарядной примесью (рис. 1). В предлагаемой схеме (рис. 2) управление заселенностью энергетических уровней многозарядной примеси производится методом широтно-импульсной модуляции (ШИМ).

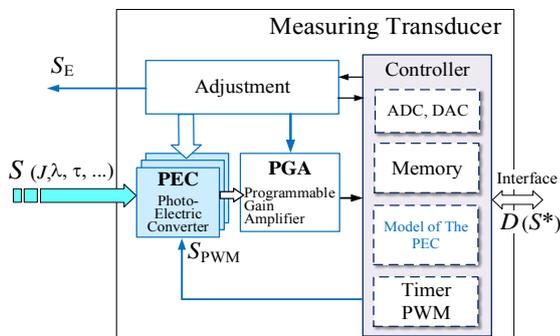
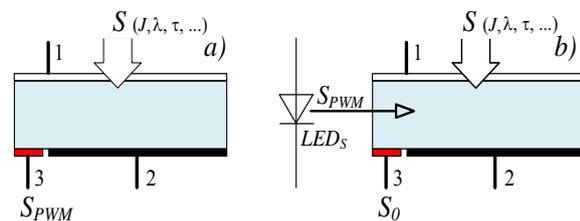


Рисунок 2 – Схема измерительного преобразователя на основе ФЭП с управляемыми характеристиками

При этом частота широтно-импульсной модуляции выбирается выше максимальной частоты изменения измеряемого оптического сигнала  $S$ , но меньше постоянной времени жизни неравновесных носителей заряда. Этим требованием определяется снижение быстродействия измерительного преобразователя при реализации данного режима.

В измерительный преобразователь ФЭП может быть подключен как по схеме с электрическим управлением (рис. 3, а), так и по схеме с оптическим (рис. 3, б, управляющий электрод 3 отсутствует) или комбинированном управлении. При комбинированном управлении на управляющий электрод 3 подается постоянный сигнал, определяющий начальное положение характеристики управления видом спектральной характеристики чувствительности ФЭП.



1 – прозрачный электрод, 2 – непрозрачный электрод, 3 – управляющий вывод барьера Шоттки

Рисунок 3 – Схема подключения ФЭП

Применение фотоэлектрических преобразователей на основе полупроводников с глубокими многозарядными примесями и широтно-импульсной модуляции позволяет реализовать вид спектральной характеристики чувствительности фотоэлектрического измерительного преобразователя. Заданный диапазон чувствительности достигается выбором типа материала и примеси фотоприемника.

### Литература

1. Лысенко, С. А. Методы оптической диагностики биологических объектов / С. А. Лысенко. – Минск : БГУ, 2014. – 231 с.
2. Филачев, А. М. Фотоприемники в оптико-электронных приборах и системах / А. М. Филачев, И. И. Таубкин, М. А. Трищенко / – М. : Физматкнига, 2016. – 104 с.
3. 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.
4. 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.
5. Controlling the characteristics of photovoltaic cells based on their own semiconductors / R. Vorobey, [et al] // Przegląd Elektrotechniczny. – 2015. – № 8. – P. 81–85.