

УДК 621.383

## КОМБИНИРОВАННЫЙ ОПТИКО-МАГНИТНЫЙ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЬ

Воробей Р.И.<sup>1</sup>, Гусев О.К.<sup>1</sup>, Свистун А.И.<sup>1</sup>, Жуковский П.В.<sup>2</sup>, Тявловский А.К.<sup>1</sup>, Тявловский К.Л.<sup>1</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.** Применение полупроводников с глубокой многозарядной примесью позволяют создавать приборные структуры, которые могут быть использованы для построения преобразователей, чувствительных к магнитному полю и оптическому излучению. Комбинированный оптико-магнитный преобразователь характеризуется свойствами функционального множителя индукции магнитного поля и интенсивности оптического излучения.

**Ключевые слова:** фотоэлектрический преобразователь; магниторекомбинационный преобразователь; полупроводник; многозарядная примесь; управление характеристикой чувствительности.

## THE MAGNETIC COMBINED OPTICS CONVERTER

Vorobey R.<sup>1</sup>, Gusev O.<sup>1</sup>, Svistun A.<sup>1</sup>, Żukowski P.<sup>2</sup>, Tyavlovsky A.<sup>1</sup>, Tyavlovsky K.<sup>1</sup>, Shadurskaya L.<sup>1</sup>

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

<sup>2</sup>Politechnika Lubelska  
Lublin, Poland

**Abstract.** With deep multicharge impurity instrument structures which can be used for creation of the converters sensitive to a magnetic field and optical radiation allow to create use of semiconductors. The magnetic converter combined optics is characterized by properties of the functional multiplier of induction of a magnetic field and intensity of optical radiation.

**Key words:** photo-electric converter; magnetorecombinational converter; semiconductor; multicharging impurity; control of the sensitivity characteristic.

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

В ряде случаев требуется одновременное преобразование в одной точке пространства нескольких разнородных физических величин. Одним из путей решения этой задачи является применение одноэлементных функциональных датчиков [1] для проведения многопараметрических измерений. Оптический и магнитный способы измерений широко используются как основа при построении измерительных преобразователей в методах неразрушающего контроля материалов и изделий.

Для одновременного преобразования характеристик оптического излучения и магнитного поля предлагается использовать магниторекомбинационный преобразователь, принцип работы которого представлен на рис. 1. Традиционно противоположные грани приборной структуры с разными скоростями рекомбинации формируются в процессе изготовления при различной обработке поверхности [2]. Такой способ имеет ряд ограничений, а полученная структура не способна изменять свои преобразовательные характеристики. Однако известны структуры, в которых изменение скорости рекомбинации производится в объеме полупроводника под действием оптического излучения [3, 4]. В таких структурах, основанных на полупроводни-

ках с глубокой примесью, формирующей несколько энергетических уровней в различных зарядовых состояниях, скорость рекомбинации под действием освещения может изменяться в объеме полупроводника на несколько десятичных порядков [3]. Если на основе предложенных структур [4] изготовить магниторекомбинационный преобразователь, то освещение одной из одинаковых граней структуры (рис. 1) приведет к изменению вблизи нее скорости рекомбинации и появлению чувствительности к магнитному полю. Относительное изменение проводимости вдоль оси  $x$  вызвано изменением средней по сечению структуры концентрации носителей заряда пропорционально величине индукции магнитного поля, и обращается в нуль при равенстве скоростей поверхностной рекомбинации на противоположных гранях структуры.

При отсутствии освещения одной грани или равномерном освещении всей структуры, когда обе грани  $S_0$  и  $S_d$  находятся в одинаковых условиях, чувствительность к магнитному полю отсутствует. В качестве базовой приборной структуры комбинированного оптико-магнитного преобразователя может использоваться магниторекомбинационный

транзистор (рис. 2). Чувствительность к магнитному полю иллюстрируется отклонением потока носителей заряда на угол  $\beta$  и уменьшением тока через транзистор [2] при освещении одной из граней структуры и изменении скорости рекомбинации в объеме полупроводника с многозарядной примесью [3, 5]. Отметим, что в традиционной структуре с использованием изменения скорости поверхностной рекомбинации [2] процесс ее изменения сопровождается появлением потенциального барьера в приповерхностной области [6], что препятствует движению к этой грани носителей заряда и снижает коэффициент чувствительности к магнитному полю. В предлагаемой структуре с изменением скорости рекомбинации в объемной области полупроводника с глубокой многозарядной примесью барьер на поверхности не образуется и такая структура будет иметь существенно больший коэффициент преобразования величины магнитной индукции. Это снимает ограничения [1] на применение в магниторекомбинационных транзисторах такого материала, как кремний.

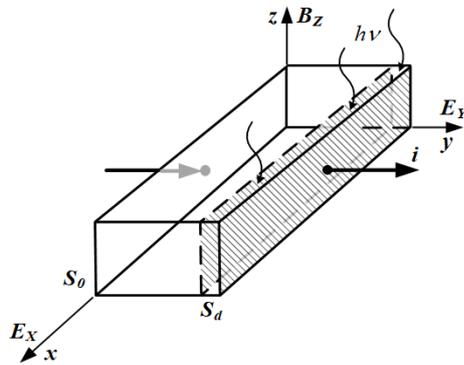


Рисунок 1 – Гальваномагниторекомбинационный эффект в полупроводнике с разными скоростями рекомбинации на боковых гранях в скрещенных электрическом и магнитных полях

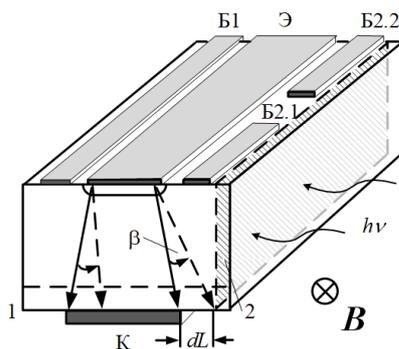


Рисунок 2 – Оптико магниторекомбинационный транзистор

Использование отдельных выводов базы B1 и B2 позволяет использовать саму базу как фоторезистор для разделения измерительного сигнала и определения параметров только оптического излучения при одновременном воздействии двух

физических параметров, магнитного поля и оптического излучения, в односигнальной модели многопараметрических измерений [1].

Применение полупроводников с глубокими многозарядными примесями в качестве базы в конструкции магниторекомбинационного транзистора позволяет реализовать чувствительность преобразователя к магнитному полю и оптическому излучению в одном объеме чувствительного элемента.

Комбинированный оптико магнитный преобразователь характеризуется свойствами функционального множителя индукции магнитного поля и интенсивности оптического излучения.

При отсутствии оптического излучения или равных интенсивностях оптического излучения на обоих гранях преобразователя чувствительность к магнитному полю отсутствует и преобразователь приобретает свойства оптического компаратора.

Коэффициенты чувствительности преобразовательных характеристик параметров магнитного поля и оптического излучения определяются геометрическими размерами структуры, типом материала базы, типом и концентрацией глубокой многозарядной примеси [5].

Для таких полупроводников, как германий и кремний, существует широкий набор примесей, образующих многозарядные центры [5], энергетические уровни которых и сечения захвата позволяют формировать комбинированные оптико магниторекомбинационные преобразователи с широким диапазоном заранее заданных свойств.

Выбор конструкции преобразователя, материала полупроводника, типа глубокой примеси и ее концентрации позволяют создавать оптико магнитные преобразователи для заданного спектрального диапазона оптического излучения.

#### Литература

1. Методология и средства измерений параметров объектов с неопределенными состояниями / под общ. ред. О.К. Гусева – Минск: Изд-во БНТУ, 2010. – 582 с.
2. Информационно-измерительная техника и электроника. Преобразователи неэлектрических величин / под общ. ред. О.А. Агеева, В.В. Петрова. – 2-е изд. – М.: Изд-во Юрайт, 2018. – 158 с.
3. Controlling the characteristics of photovoltaic cells based on their own semiconductors / R. Vorobey [et al.] // Przegląd Elektrotechniczny. – 2015. – № 8. – P. 81–85.
4. Series of Photovoltaic Converters Based on Semiconductors with Intrinsic Photoconductivity / R. Vorobey [et al.] // Devices and Method of Measurements. – 2021. – № 2. – P. 108–116.
5. Никитина, А. Г. Бистабильные амфотерные центры в полупроводнике / А. Г. Никитина, В. В. Зуев. // Физика и техника полупроводников. – 2008. – Т. 42, вып. 2. – С. 141–146.
6. Характеризация электрофизических свойств границы раздела кремний-двуокись кремния с использованием методов зондовой электротометрии / Пилипенко В. А. [и др.] // Приборы и методы измерений. – 2017. – Т. 8, № 4. – С. 344–356.