

УДК 621.383

**ПРИБОРНЫЙ РЯД ОПТИЧЕСКИХ СЕНСОРОВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ  
МАГНИТОРЕКОМБИНАЦИОННОГО ЭФФЕКТА**

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

*Белорусский национальный технический университет  
Минск, Республика Беларусь*

**Аннотация.** Предложен приборный ряд оптикомагнитных сенсоров с использованием магниторекомбинационного эффекта. Использование полупроводникового материала с глубокой многозарядной примесью позволяет сформировать датчик с чувствительностью к магнитному полю и оптическому излучению. Комбинированные датчики можно использовать при построении функциональных измерительных преобразователей систем оптической диагностики.

**Ключевые слова:** оптический сенсор; магниторекомбинационный эффект; полупроводник; многозарядная примесь; управление характеристикой чувствительности.

**DEVICE SERIES OF OPTICAL SENSORS USING A MAGNETORECOMBINATION EFFECT**

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

*Belarusian National Technical University  
Minsk, Republic of Belarus*

**Abstract.** The device series of optomagnetic sensors using magniforecombination effect is developed and proposed. A semiconductor material with deep multi-charged dopant is used to form a sensor with sensitivity to a magnetic field and optical radiation. Combined sensors can be used to build functional measuring converters for optical diagnostic systems.

**Key words:** optical sensor; magnetorecombination effect; semiconductor; multicharged dopant; management of the sensitivity characteristics.

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

Выполнение задач неразрушающего контроля часто связано с измерением параметров оптического излучения, значения которых определяются многофакторными процессами взаимодействия тестирующего излучения с объектом контроля при одновременном воздействии ряда факторов различной физической природы [1], например, оптического излучения, электрических и магнитных полей.

Одним из подходов решения таких задач является использование фотоэлектрических преобразователей (ФЭП) на основе полупроводников с собственной фотопроводимостью, слабо легированных глубокими примесями, формирующими в запрещенной зоне несколько энергетических уровней с разными зарядовыми состояниями. Особенности физических процессов перезарядки этих уровней [2] обеспечивают на функциональном уровне комплекс новых качественных и количественных характеристик и позволяют создавать фотоприемники для преобразования различных сочетаний входных воздействий различной физической природы на основе ряда простых приборных структур.

Одной из составляющих основы работы мультипараметрических оптических сенсоров предлагается использовать магниторекомбинационный эффект [3]. При этом, противоположные грани сенсорной структуры должны иметь разные

скорости рекомбинации, что традиционно [3] достигается в процессе изготовления и при эксплуатации сенсора невозможно изменение его преобразовательной характеристики. Использование методов изменения скорости рекомбинации в полупроводниковых структурах с многозарядной примесью [2] позволяет во-первых расширить диапазон изменения управляющего параметра (скорость рекомбинации в полупроводниках с многозарядной примесью под действием внешних факторов можно изменять на несколько десятичных порядков), во-вторых делать это оперативно, причем переключение вида преобразовательной характеристики происходит за время, определяемое постоянной времени жизни носителей заряда и может составлять от единиц наносекунд до десятков микросекунд.

Основой приборного ряда оптических сенсоров с использованием магниторекомбинационного эффекта являются три структуры: резистивная и структуры биполярного и полевого транзисторов. Причем оптическое излучение вводится только в область одной из боковых граней сенсорной структуры (на рисунках выделено штриховкой). Контакты сенсорной структуры наносятся на грани 1–2 или 3–4. Освещение одной из одинаковых граней структуры 1 или 2 (рисунок 1) приведет к изменению вблизи нее скорости рекомбинации и появлению чувствительности к магнитному полю.

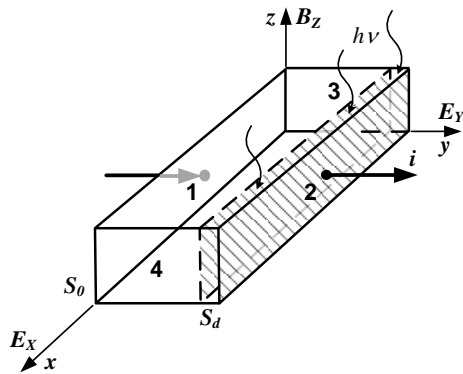


Рисунок 1 – Резистивный оптический сенсор с использованием гальваномагниторекомбинационного эффекта в полупроводнике с разными скоростями рекомбинации на боковых гранях 1 и 2

Относительное изменение проводимости вдоль оси  $x$  вызвано изменением средней по сечению структуры концентрации носителей заряда пропорционально величине индукции магнитного поля  $B$  в такой структуре чувствительность к магнитному полю появляется только при освещении одной из боковых граней, и, в свою очередь, изменение магнитного поля приводит к изменению чувствительности к оптическому излучению.

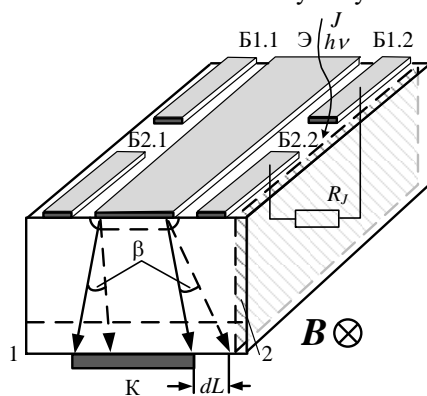


Рисунок 2 – Оптико-магнитный сенсор на основе биполярного транзистора

Структура оптического сенсора с управлением магнитным полем на основе биполярного транзистора приведена на рисунке 2.

Разделенные выводы области базы позволяют использовать ее как фоторезистор для независимого, от влияния магнитного поля, измерения интенсивности оптического излучения.

Управление чувствительностью к магнитному полю под действием оптического излучения происходит благодаря использованию в качестве

основы сенсора полупроводника с глубокой многозарядной примесью [2], например  $\text{Si}(\text{Ni})$ ,  $\text{Si}(\text{Fe})$  и др.

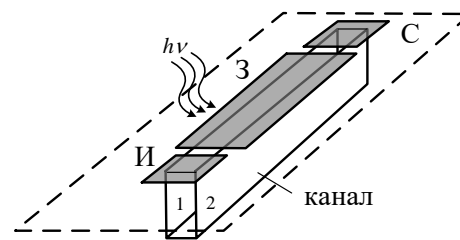


Рисунок 3 – Оптико-магнитный сенсор на основе полевого транзистора

Изменение типов базового материала и примеси, а также ее концентрации позволяет в широком диапазоне изменять диапазон спектральной характеристики чувствительности (от 1 до 12 мкм) и диапазон управления преобразовательными характеристиками чувствительности к оптическому излучению и магнитному полю. Следует отметить, что для управления характеристиками чувствительности и к оптическому излучению, и к магнитному полю, может использоваться дополнительное оптическое излучение. При производстве сенсорных структур может использоваться как технология их изготовления на основе монокристаллических материалов, так и с применением некремниевых технологий и технологий применения разнородных материалов на диэлектрической подложке [4], например,  $\text{Si}(\text{Ni}) + \text{GaAlAsP}$  на сапфире.

Предлагаемые сенсоры, в которых чувствительность к одному параметру изменяется при воздействии фактора другой физической природы, реализуют функцию умножения интенсивности оптического излучения на напряженность магнитного поля. При освещении обеих граней сенсора реализуется функция компаратора оптического излучения.

#### Литература

1. Методология и средства измерений параметров объектов с неопределенными состояниями / 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. – No 2. – P. 108–116.
3. Информационно-измерительная техника и электроника. Преобразователи неэлектрических величин / под общ. ред. О.А. Агеева, В.В. Петрова. – 2-е изд. – М. : Юрайт, 2018. – 158 с.
4. Масол, И.В. Информационные нанотехнологии / И.В. Масол, В.И. Осинский, О.Т. Сергеев. – Киев : Макрос, 2011. – 560 с.