

УДК 621.382:530.93:365.2

Перспективы применения АФН-приемника для разработки оптоэлектронной информационно-измерительной системы*

Н.Р. РАХИМОВ¹, Д.Д. АЛИЖАНОВ², В.А. ЖМУДЬ³, Д. ПЛЕМЕНОС⁴, И.Л. РЕВА⁵

¹ 630073, РФ, г. Новосибирск, пр. Карла Маркса, 20, Новосибирский государственный технический университет, д. т. н., профессор, e-mail: n_rah@ngs.ru

² 630073, РФ, г. Новосибирск, пр. Карла Маркса, 20, Новосибирский государственный технический университет, аспирант, e-mail: doni.al@mail.ru

³ 630073, РФ, г. Новосибирск, пр. Карла Маркса, 20, Новосибирский государственный технический университет, д. т. н., профессор, e-mail: oao_nips@bk.ru

⁴ 87000, Франция, г. Лимож, ул. Франсуа Муттерана, 33, университет Лиможа, д. т. н., профессор, e-mail: plemenos@numericable.com

⁵ 630073, РФ, г. Новосибирск, пр. Карла Маркса, 20, Новосибирский государственный технический университет, к. т. н., доцент, e-mail: reva@corp.nstu.ru

В данной статье приведены результаты исследований эффекта аномально большого фотонапряжения (АФН) в полупроводниковых плёночных системах. На основе получения АФН-плёнок по данной технологии можно изготовить АФН-приемники, которые перспективны для оптоэлектроники в качестве приемника оптического излучения автономного типа.

Впервые изложена методика и приведены результаты экспериментальных исследований возможности применения оптрона открытого канала для контроля толщины рулонных материалов (полимерные материалы, искусственная кожа, линолеум и др.) непосредственно на технологической линии их изготовления.

Разработанные АФН-приёмники как приемники оптического измерения наиболее целесообразно использовать там, где требуется отсутствие источника питания (при необходимости обеспечить повышенную взрывобезопасность) и высокая чувствительность приемников оптического измерения. Расчет параметров рассматриваемого датчика производится в следующей последовательности. При заданных значениях номинальной толщины $H_{ном}$ рулонного материала, ее отклонений и известном диаметре D измерительного вала (в качестве которого можно использовать любой из подающих валов, имеющихся в технологической линии и подходящих для этой цели) рассчитывается расстояние l_2 . Затем, исходя из паспортных данных светоизлучающего диода и линейного участка энергетической характеристики АФН-плёнки, определяется максимальное расстояние L , при котором в отсутствии рулонного участка материала световой поток, падающей на АФН-плёнку размером $B \times A$, имеет значение, пропорциональное длине находящегося на границе линейного участка. Отношение L / l_2 с использованием полученного выражения позволяет рассчитать $H_{ном}$ и ΔH_{max} . Приведен расчет характеристики преобразования датчика. При недостаточной мощности одного светоизлучающего диода можно использовать несколько из них или увеличить ширину используемой АФН-плёнки.

Ключевые слова: аномальное фотонапряжение, АФН-приемник, источник оптического излучения, приемник оптического излучения, оптрон открытого канала, толщина материала, расчет датчика, оптоэлектронное устройство

ВВЕДЕНИЕ

Приемники оптического излучения (ПОИ) на основе АФН-плёнок (аномального фотонапряжения) [1, 2] представляют собой функциональный преобразователь, трансформирующий световой поток интенсивности Φ_0 в аномально большое фотонапряжение $V_{АФН}$. Соответственно принятой модели [3] эта трансформация складывается из трех этапов.

* Статья получена 07 марта 2014 г.

Во-первых, этап создания фототока I_{Φ_0} , обусловленного фотогенерацией и пространственным разделением неравновесных носителей на каждом микро- $p-n$ -переходе. Во-вторых, этап возникновения элементарных напряжений на микро- $p-n$ -переходах в результате накопления объемных зарядов, создаваемых фототоком. В-третьих, этап формирования аномально большого фотонапряжения путем суммирования элементарных фотонапряжений на $p-n$ -переходах.

Технология получения АФН-пленок основана на термическом испарении полупроводниковых материалов в вакууме $10^{-3} - 10^{-5}$ мм. рт. ст.

В работах [1–12] получены АФН-пленки из различных полупроводниковых материалов с широкой и узкой запрещенной зоной – $CdTe$, Si , Ge , $GaAs$, GaP , Se , PbS халькогенидные сплавы – с использованием метода вакуумного испарения. Однако пленки, полученные этим методом, обладают низким генерируемым фотонапряжением.

Технологический режим получения АФН-плёнок зависит от большого числа параметров, таких как температура подложки и испарения, угол напыления, толщина стенки, состав и давление остаточных газов в вакуумной камере, условия термической обработки плёнок после напыления и т. д. Наиболее эффективно изготовление АФН-плёнок на основе соединения теллурида кадмия, включающее нанесение исходного материала на одну сторону подложки термическим испарением в вакууме, где в качестве исходного материала используют теллурид кадмия; на противоположную сторону подложки наносят отражающий слой из серебра при температуре подложки $250-300$ °С и давлении $5 \cdot 10^{-4} - 5 \cdot 10^{-3}$ мм. рт. ст. ($6,65 \cdot 10^{-2} - 6,65 \cdot 10^{-1}$ Па). Подложку располагают под углом 45° к направлению молекулярного пучка, чтобы создать поверхностную угловую анизотропию, приводящую к появлению аномального фотонапряжения. Часть падающего светового потока, прошедшего через исходный материал и стеклянную подложку, попадает на отражающий слой из серебра и, отражаясь, попадает на обратную сторону слоя теллурида кадмия, в результате чего происходит дополнительное поглощение света и тем самым увеличивается генерируемое фотонапряжение АФН [4–7].

На основе получения АФН-пленок по данной технологии можно изготовить АФН-приемники, которые являются перспективным элементом для оптоэлектроники в качестве приемника оптического излучения автономного типа.

Разработанные АФН-приёмники, как ПОИ, наиболее целесообразно использовать там, где требуется отсутствие источника питания (при необходимости обеспечить повышенную взрывобезопасность) и высокая чувствительность ПОИ.

1. ИЗГОТОВЛЕНИЕ АФН-ПРИЁМНИКА

Корпуса АФН-приёмника так же, как корпуса фоторезисторов и полупроводниковых устройств (как фотодиоды, фототранзисторы), работающих при нормальной температуре, должны выполнять две функции. Первой функцией является герметизация АФН-пленки, т. е. нахождение светочувствительного элемента в нейтральной среде, для защиты от атмосферных влияний и предотвращения нестабильности параметров прибора. Второй функцией является обеспечение возможности освещения соответствующей области чувствительного элемента. Следовательно, корпус АФН-приёмника должен быть не только герметичным, но и пропускать излучение с длинами волн, лежащими в области спектральной характеристики прибора.

На этой основе первым типом корпуса для АФН-приёмника являлся цельностеклянный корпус. Стекло корпуса издавна достаточно широко применяются для фотоприёмников, например для фототранзисторов серии ФТ-3Г, так как они являются наиболее герметичными. При этом технология их проста, что обеспечивает низкую стоимость изготовления. С этой точки зрения стеклянные корпуса могут быть рационально применены для АФН-приёмников.

Стекло диаметром 8 мм устанавливается герметично на крышку диаметром 11,2 мм. Вторая часть корпуса изготавливается следующим образом. На медную проволоку диаметром 0,25 мм, покрытую сплавом $FeNiCu$ и выгнутую в виде буквы Г и также покрытую бурой, надевают два кусочка трубки из свинцового стекла соответствующего размера на требуемом расстоянии.

Затем на газокислородной горелке их расплавляют с целью образования двух бусинок, через которые проходят плотные выводы.

После изготовления бусинок проволока очищается от буры путем кипячения в лимонной кислоте или погружением в 25 %-ный водный раствор азотной кислоты. Очищенные выводы для защиты от коррозии покрываются золотом или никелируются электролитическим способом. После обрезания до нужных размеров (42 мм) вывод готов для монтажа чувствительного элемента. Омические контакты АФН-приёмника получают покрытием из сплава олова с примесью 1 % сурьмы или 1 % галлия. После создания металлических контактов на наружных областях пленки она монтируется в оправке. Далее корпус герметизируется пайкой, стеклянная крышка устанавливается сверху в сухом воздухе. По этому методу изготовлен автономный приёмник оптического излучения «АФ-4М» [5], основные технические данные которого приведены ниже в таблице.

Основные технические данные приемника АФ-4М

Чувствительность при $I_{\gamma} = 1$ лк, В _____	5
Внутреннее сопротивление, Ом _____	10^{14}
Быстродействие, с _____	1
Долговечность, ч не менее _____	10000
Габариты, мм _____	$11,2 \times 11,2 \times 49$
Масса, в граммах не более _____	2,0

2. РАЗРАБОТКИ ОПТОЭЛЕКТРОННОЙ ИНФОРМАЦИОННО-ИЗМЕРИТЕЛЬНОЙ СИСТЕМЫ

Одним из перспективных областей применения АФН-пленок могут стать устройства для измерения оптической толщины материала, где к ПОИ предъявляются требования высокой чувствительности. На рис. 1 приводится функциональная схема датчика толщины рулонных материалов (полимерные материалы, искусственная кожа, линолеум и др.) непосредственно на технологической линии их изготовления.

Работа датчика основана на том, что толщина рулонного материала 2 перекрывает часть луча, распространяющегося от источника 1 излучения в направлении ПОИ 4 к световому потоку, и создает тень на чувствительной поверхности двухсекционного ПОИ 4.

Высота тени пропорциональна толщине материала. Чем выше тень, тем меньше количество светового потока, попадающего на ПОИ.

Для осуществления непрерывного контроля в зоне имеется измерительный вал 3, вращающийся с постоянной скоростью, по которому в зону поступает рулонный материал 2. В устройстве также имеется вычитающее устройство 5, служащее для вычитания сигнала от незасвеченной секции ПОИ 4 из сигнала частично засвеченной секции ПОИ 4. Это позволяет сформировать выходной сигнал датчика $U_{\text{вых}}$, прямо пропорциональный толщине рулонного материала, и устранить влияние аддитивных засветок ПОИ.

Характеристика преобразования датчика толщины определяется следующим образом. Сначала рассчитывается зависимость между количеством попадающего на чувствительную поверхность ПОИ светового потока $\Phi_{\text{и}}$ и толщиной h рулонного материала. Это можно сделать в том случае, если известна диаграмма направленности излучения источника. Для светозлучающих диодов она обычно в относительных единицах приводится в справочниках (как функция угла). Тогда, аппроксимируя эту диаграмму соответствующим уравнением, можно интегрированием определить полный световой поток $\Phi_{\text{пол}}$, распространяемый светоизлучающим диодом в пространство:

$$\Phi_{\text{пол}} = \iint_{4\pi} I(\Omega) d\Omega, \quad (1)$$

где I – сила излучения; Ω – телесный угол.

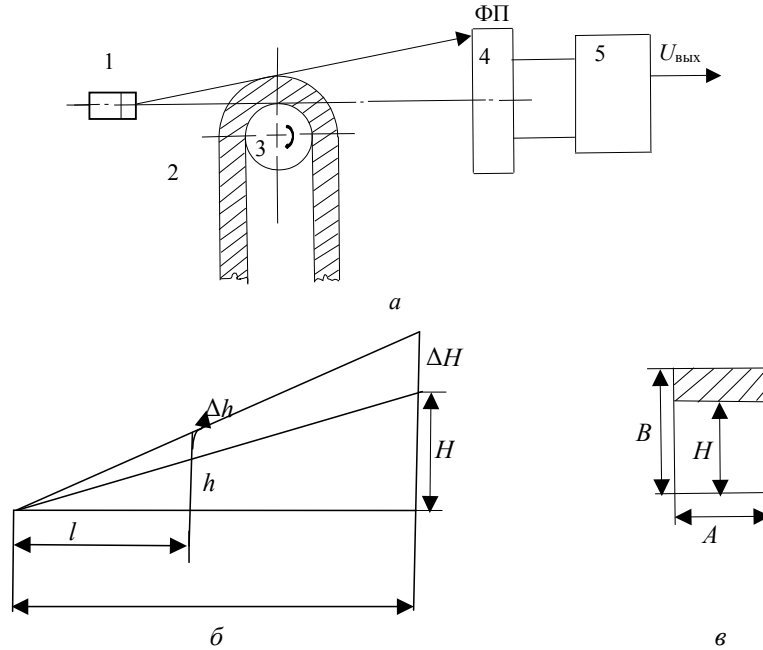


Рис. 1. Функциональная схема датчика толщины рулонных материалов (а) и вспомогательные чертежи (б и в)

После взятия интеграла (1) можно придать абсолютное значение диаграмме направленности, так как величина номинального полного светового потока светоизлучающих диодов также приводится в справочниках.

Для расчета количества потока Φ , попадающего на чувствительную поверхность ПОИ, необходимо знать ее форму и размеры. Пусть ПОИ имеет прямоугольную поверхность с высотой B и шириной A (рис. 1, в).

Тогда количество потока Φ_n , попадающего на часть поверхности ПОИ, т. е. приходящегося на прямоугольник высотой $B-H$ и шириной A (при условии отсутствия потерь в среде распространения), определяется как

$$\Phi_n = \iint_{\Omega_n} I(\Omega) d\Omega, \quad (2)$$

где Ω_n – телесный угол, заключенный в четырехугольной пирамиде, каждая грань которой проходит через центр источника через одну из сторон незаштрихованного прямоугольника на рис. 1, в.

Вместе с тем телесный угол определяется как отношение площади G сферической поверхности к квадрату ее радиуса и поэтому

$$\Omega = \frac{G}{R^2}, \quad (3)$$

где G – поверхность сферы, вырезанной выше описанной четырехугольной пирамидой.

Тогда, используя зависимость (3), интеграл (2) можно преобразовать в поверхностный интеграл

$$\Phi_n = \frac{1}{R^2} \iint_G I(x, y, z) dG. \quad (4)$$

Здесь $I(x, y, z)$ – описание зависимости $I(\Omega)$ в прямоугольной системе координат x, y, z .

Вычисляя поверхностный интеграл (4) для конкретного значения H известными методами, получим одну точку зависимости

$$\Phi_n = f(B - H). \quad (5)$$

Присваивая H различные значения, можно рассчитать эту зависимость в целом. Для дальнейших расчетов необходимо знать энергетическую характеристику ПОИ. Люкс-вольтовая характеристика АФН-пленок является существенно нелинейной с насыщением при высоких значениях освещенности.

Для работы датчика выбирается линейный участок этой характеристики, поэтому можем записать

$$U_{\text{фп}} = k\Phi_n, \quad (6)$$

где $U_{\text{фп}}$ – фотонапряжение на АФН-пленке, генерируемое падающим на нее световым потоком Φ_n , k – крутизна характеристики.

Подставляя (5) в (6) и используя уравнение для вычитающего устройства в виде

$$U_{\text{вых}} = U_0 - U_{\text{фп}},$$

где U_0 – постоянное напряжение, можно записать окончательное выражение для характеристики преобразования датчика

$$U_{\text{вых}} = U_0 - kf(B - H). \quad (7)$$

Оценим чувствительность датчика. Пусть толщина рулонного материала с значения h увеличилась на Δh , тогда выходной сигнал увеличится также на $\Delta U_{\text{вых}}$ и чувствительность S датчика определяется как

$$S = \frac{\Delta U}{\Delta h} = \frac{U_{\text{вых}} h + \Delta h - U_{\text{вых}} h}{\Delta h} = \frac{kf(B - H) - (B - H - \Delta H)}{\Delta h}. \quad (8)$$

Из чертежа (рис. 1, б) имеем

$$\Delta H = \frac{L}{l_1} \Delta h, \quad (9)$$

где L – расстояние от источника до ПОИ; l_1 – расстояние от источника до оси измерительного вала.

Теперь, заменяя зависимость $f(B - H) \approx a(B - h)$ путем линеаризации ее в точке $(B - H)$, а также считая ΔH малой величиной и используя выражение (9), уравнение (8) можем записать в виде

$$S = \frac{ka(B - A) - ka(B - H - \Delta H)}{\Delta h} = \frac{ka\Delta H}{\Delta h} = ka \frac{L}{l_1}.$$

Отсюда видно, что чувствительность датчика прямо пропорционально связана с крутизной k энергетической характеристики фотоприемника. Поэтому применение высокочувствительных АФН-пленок в качестве ПОИ в данном датчике и определяет во многом его работоспособность. Чувствительность датчика можно повысить также за счет роста отношения L / l_1 , однако этот путь имеет определенный предел. С ростом расстояния L резко падает интенсивность светового потока, поступающего на ПОИ, и она может оказаться за порогом чувствительности последнего.

Расчет параметров рассматриваемого датчика производится в следующей последовательности. При заданных значениях номинальной толщины $H_{\text{ном}}$ рулонного материала, ее отклоне-

ний и известном диаметре D измерительного вала (в качества которого можно использовать любой из подающих валов, имеющих в технологической линии и подходящих для этой цели) рассчитывается расстояние l_1 . Затем, исходя из паспортных данных светоизлучающего диода и линейного участка энергетической характеристики АФН-пленки, определяем максимальное расстояние L , при котором в отсутствии рулонного материала световой поток, падающей на АФН-пленку размером $B \times A$ имеет значение, находящееся на границе линейного участка. Отношение L/l_1 с использованием выражения (9) позволяет рассчитать $H_{\text{ном}}$ и ΔH_{max} . Расчет характеристики преобразования датчика приведен выше. При недостаточной мощности одного светоизлучающего диода можно использовать несколько из них или удлинить ширину используемой АФН-пленки. Используя данные расчеты, можно разрабатывать оптоэлектронные информационно-измерительные системы для контроля толщины рулонных материалов.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Оптоэлектронные первичные преобразователи с применением АФН-приёмников в качестве автономного ПОИ открывают широкие возможности в области разработки контрольно-измерительных устройств физико-химических параметров веществ и материалов, что подтверждается имеющимся к настоящему времени значительным опытом применения АФН-приёмников в этих целях.

Расширение сфер и объёма применения АФН-приёмников для автоматизации производственных процессов связано с развитием технологии получения АФН-плёнок, совершенствованием их применения в качестве ПОИ, а также развитием метрологии и светотехники.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Рахимов Н.Р., Серьёзов А.Н. АФН-пленки и их применение: монография. – Новосибирск: СибНИА, 2005. – 64 с.
2. Рахимов Н.Р., Мамадалиева Л.К. Приемники оптического излучения на основе АФН-пленок // Известия высших учебных заведений. Приборостроение. – 2004. – Т 47, № 8. – С. 53–56.
3. Фотозлектрические явления в полупроводниках и оптоэлектронике / под ред. Э.И. Адировича. – Ташкент: ФАН, 1972. – С. 177.
4. Рахимов Н.Р., Хатамов С.О., Газиев Б. Технология изготовления АФН-пленок теллурида кадмия с серебром // Взаимодействия ионов с поверхностью ВИП-2003: 16 междунар. конф.: доклады, Звенигород, 25–29 авг. 2003 г. – М., 2003. – Т. 2. – С. 196–199.
5. Рахимов Н.Р., Ушаков О.К. Оптоэлектронные датчики на основе АФН-эффекта: монография. – Новосибирск: СГГА, 2010. – 218 с. – ISBN 978-5-87693-365-2.
6. Алижанов Д.Д. Особенности получения фоточувствительных пленок с аномальным фотонапряжением // Автоматика и программная инженерия. – 2013. – № 3 (5). – С. 81–84.
7. Рахимов Н.Р., Касымахунова А.М., Усманов Ш.Ю. Способ получения фотогенераторов: патент РУз IAP 02610 от 25.02.2003 г.
8. Матов Э.М. Исследование аномального большого фотомагнитного эффекта в пленках теллурида кадмия: дис. ... канд. физ.-мат. наук. – Ташкент, 1972. – 125 с.
9. Rakhimov N.R., Dzhurakhalov A.A. Investigation of APV-CdTe-films and development of optoelectronic devices on their basis // The European material research conference EMRS 2002. Spring meeting. – Strasbourg, France, 2002. – P. 242.
10. Mirzamakhmudov T.M., Rakhimov N.R., Gafurov U.A. Coordinate and Sensitive self-contained optical radiation detector КЧП-1М. – М.: Vneshtorgizdat, 1991. – № 3823Т. – 2 р.
11. Координатно-чувствительный приемник оптического излучения: патент 2246779 Российская Федерация, МПК⁶, Н 01 L 31/09 / Н.Р. Рахимов, А.Н. Серьёзов; патентообладатель ФГУП «Сиб. науч.-исслед. ин-т авиации им. С.А. Чаплыгина». – № 2003132158/28; заявл. 03.11.2003; опубл. 20.02.2005, Бюл. № 5. – 5 с.
12. Рахимов Н.Р., Серьёзов А.Н. Координатно-чувствительный приемник оптического излучения на основе пленок с аномальным фотонапряжением // Приборы и техника эксперимента. – 2005. – № 4. – С. 125–126.
13. Заявка № 19714820 Германия, МПК⁶ G 01 J 1/22, В 64 G 1/36. Optischer positionsauflösender Sensor. Опуб. 15.10.1998.
14. Двумерный координатно-чувствительный приемник оптического излучения: патент 2246779 Российская Федерация, МПК⁶, Н 01 L 31/09 / Н.Р. Рахимов, А.Н. Серьёзов, П.М. Петров; патентообладатель ФГУП «Сиб. науч.-исслед. ин-т авиации им. С.А. Чаплыгина». – № 2005113383/28; заявл. 03.05.2005; опубл. 10.07.2009, Бюл. № 19. – 6 с.

Рахимов Нематжон Рахимович, доктор технических наук, профессор Новосибирского государственного технического университета. Основное направление научных исследований – физика полупроводников, оптоэлектроника, автоматизация технологических процессов. Имеет более 250 публикаций. E-mail: n_rah@ngs.ru

Алижанов Донёрбек Дилиходович, аспирант кафедры автоматизации Новосибирского государственного технического университета. Основное направление научных исследований – физика полупроводников, оптоэлектроника, автоматизация технологических процессов. Имеет более 10 публикаций. E-mail: doni.al@mail.ru

Жмудь Вадим Аркадьевич, доктор технических наук, профессор Новосибирского государственного технического университета. Основное направление научных исследований – автоматика, автоматизация технологических процессов, информатика. Имеет более 200 публикаций. E-mail: oao_nips@bk.ru

Племенос Димитри, доктор технических наук, профессор университета Лиможа, Франция. E-mail: plemenos@numericable.com

Рева Иван Леонидович, кандидат технических наук, доцент кафедры защиты информации Новосибирского государственного технического университета. Основное научное направление – исследования достоверности оценки защищенности речевой информации от утечки по техническим каналам, информационная безопасность. Имеет 13 публикаций. E-mail: reva@corp.nstu.ru

Outlook application AFS-receiver for development of optoelectronic information-measuring systems*

N.R. RAKHIMOV¹, D.D. ALIZHANOV², V.A. ZHMUD³, D. PLEMENOS⁴, I.L. REVA⁵

¹ Novosibirsk state technical University, 20 prospect Karla Marksa, Novosibirsk, 630073, Russian Federation, doctor of technical Sciences, Professor, e-mail: n_rah@ngs.ru

² Novosibirsk state technical University, 20 prospect Karla Marksa, Novosibirsk, 630073, Russian Federation, post-graduate student, e-mail: doni.al@mail.ru

³ Novosibirsk state technical University, 20 prospect Karla Marksa, Novosibirsk, 630073, Russian Federation, doctor of technical Sciences, Professor, e-mail: oao_nips@bk.ru

⁴ University of Limoges, 33, rue Francois Mitterrand, 87000, France, doctor of technical Sciences, Professor, e-mail: plemenos@numericable.com

⁵ Novosibirsk state technical University, 20 prospect Karla Marksa, Novosibirsk, 630073, Russian Federation, doctor of technical Sciences, Professor, e-mail: reva@corp.nstu.ru

This article presents the results of investigations of the effect of anomalously large photovoltage (AFS) in the semiconductor film systems. First set out the methodology and the results of experimental studies the possibility of using open channel optic coupler to control the thickness of rolled materials (polymeric materials, artificial leather, linoleum, etc.) directly on the production line manufacture.

Calculation of the parameters of said sensor can be made in the following sequence. For given values of the nominal thickness H_{NOM} , its deviations and known diameter D of a measuring shaft (one can use any of the feed rolls available in production line and suitable for this purpose) distance l_1 is calculated. Then, on the basis of passport data and the linear part of energy characteristics of light emitting diode made of AFS-film, the maximum length L is defined, with which luminous flow falling to the AFS-film, which size is $B \times A$, is at the edge of the linear part of this energy characteristic, if the roll portion of the material is absent. L / l_1 ratio allows us to calculate and $N_{\text{nom}} \Delta N_{\text{mah}}$ using the proposed relation. The calculation of the transfer characteristic of the sensor is given. In case of insufficient capacity of a single light-emitting diode a few of them or increase of the width of the AFS-film can be used.

Keywords: anomalous photo-voltage, AFS receiver, optical radiation source, optical receiver, open channel optic coupler, material thickness, the calculation of the sensor, optoelectronic device

REFERENCES

1. Rakhimov N.R., Ser'eznov A.N. *AFN-plenki i ikh primeneniye* [AFS-films and their application. Monograph] Novosibirsk, SibNIA, 2005. 64 p.
2. Rakhimov N.R., Mamadaliyeva L.K. Priemniki opticheskogo izlucheniya na osnove AFN-plenok [Optical Radiation Receivers on the Basis of APV-films]. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedenii. Priborostroeniye – Priborostroeniye*, 2004, vol. 47, no. 8, pp. 53-56.
3. Adirovich E.I., ed. *Fotoelektricheskie yavleniya v poluprovodnikakh i optoelektroniki* [Photovoltaic phenomena in semiconductors and optoelectronics]. Tashkent, FAN Publ., 1972, p. 177.
4. Rakhimov N.R., Khatamov S.O., Gaziev B. [AFS-technology manufacturing cadmium telluride films with silver]. *Vzaimodeistviya ionov s poverkhnost'yu VIP-2003*, 16 mezhdunarodnaya konferentsiya. Doklady, Zvenigorod, 25-29 avg. 2003 [The interactions of ions with the surface of the VIP-2003. Reports], Moscow, 2003, vol. 2, pp. 196-199.
5. Rakhimov N.R., Ushakov O.K. *Optoelektronnyye datchiki na osnove AFN-effekta. Monografiya* [Optoelectronic gauges on the basis of AFN-effect. Monograph]. Novosibirsk, SSGA Publ., 2010. 218 p. ISBN 978-5-87693-365-2

* Received 07 March 2014.

6. Alizhanov D.D. Osobennosti polucheniya fotochuvstvitel'nykh plenok s anomal'nym fotonapryazheniem [Peculiarities of photosensitive films with anomalous photovoltage]. *Avtomatika i programmaya inzheneriya – Automation and Software Engineering*, 2013, no. 3 (5), pp. 81-84.
7. Rakhimov N.R., Kasymakhunova A.M., Usmanov Sh.Yu. *Sposob polucheniya fotogeneratorov* [A method for producing photogenerators]. Patent RU, IAP 02610, 2003.
8. Mastov E.M. *Issledovanie anomal'nogo bol'shogo fotomagnitnogo effekta v plenkakh tellurida kadmiya*. Dis. kand. fiz.-mat. nauk [Investigation of anomalous large Photomagnetic effect cadmium telluride films. Cand. phus. and math. sci. diss.]. Tashkent, 1972. 125 p.
9. Rakhimov N.R., Dzhurakhalov A.A. Investigation of APV-CdTe-films and development of optoelectronic devices on their basis. The European material research conference EMRS 2002 Spring meeting. Strasbourg, France, 2002, p. 242.
10. Mirzamakhmudov T.M., Rakhimov N.R., Gafurov U.A. Coordinate and Sensitive self-contained optical radiation detector КЧП-1М. Moscow, Vneshtorgizdat, 1991, № 3823Т. 2 p.
11. Rakhimov N.R., Ser'eznov A.N. *Koordinatno-chuvstvitel'nyi priemnik opticheskogo izlucheniya* [Coordinate-sensing optical receiver] Patent RF, no. 2246779, 2005.
12. Rakhimov N.R., Ser'eznov A.N. *Koordinatno-chuvstvitel'nyi priemnik opticheskogo izlucheniya na osnove plenok s anomal'nym fotonapryazheniem* [A position-sensitive optical detector based on anomalous photovoltage films]. *Pribory i tekhnika eksperimenta – Instruments and Experimental Techniques*, 2005, vol. 48, no. 4, pp. 538-539.
13. Application № 19714820 Germany, МПК⁶ G 01 J 1/22, B 64 G 1/36. Optischer positionsauflösender Sensor. Publ. 15.10.1998.
14. Rakhimov N.R., Ser'eznov A.N., Petrov P.M. *Dvumernyi koordinatno-chuvstvitel'nyi priemnik opticheskogo izlucheniya* [Two-dimensional coordinate-sensitive optical receiver]. Patent RF, no. 2246779, 2005.