

## О ВОЗМОЖНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ КРЕМНИЕВЫХ ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНЫХ ФОТОПРИЕМНИКОВ ДЛЯ КОНТРОЛЯ КАЧЕСТВА ИСТОЧНИКОВ СВЕТА

В.В.Гаврушко, О.Р.Кадриев

## ON THE POSSIBILITY OF USING SILICON DIFFERENTIAL PHOTODETECTORS TO CONTROL THE QUALITY OF LIGHT SOURCES

V.V.Gavrushko, O.R.Kadriev

*Институт электронных и информационных систем НовГУ, Valery.Gavrushko@novsu.ru*

Анализируется возможность применения кремниевых дифференциальных фотоприемников для измерения характеристик искусственных источников света. Дифференциальные фотоприемники имели две разнесенные спектральные характеристики. Максимум чувствительности одного из каналов находился в ультрафиолетовой области ( $\lambda_1 = 0,36$  мкм), а второго канала — в видимой ( $\lambda_2 = 0,6$  мкм). Это позволяло оценить долю коротковолновой радиации в спектре источников света. Тестовые измерения обнаружили отличие на два порядка значений отношения сигналов для разных источников света. Это свидетельствовало об эффективности использования предлагаемого фотоприемника. Показана возможность определения фотоприемниками пульсаций видимого света в диапазоне до 300 Гц. Дифференциальные фотоприемники могут быть изготовлены с использованием высокоэффективной кремниевой технологии. Дополнительным преимуществом таких фотоприемников является отсутствие оптических фильтров и высокая стабильность характеристик.

**Ключевые слова:** *дифференциальный фотоприемник, источники света, кремний, ультрафиолетовое излучение, пульсации интенсивности*

The possibility of using silicon differential photodetectors to measure the characteristics of artificial light sources is analyzed. The differential photodetectors had two separated spectral characteristics. The maximum sensitivity of one of the channels was in the ultraviolet region ( $\lambda_1 = 0.36 \mu\text{m}$ ), and of the second channel - in the visible one ( $\lambda_2 = 0.6 \mu\text{m}$ ). This made it possible to estimate the proportion of short-wave radiation in the spectrum of light sources. Test measurements found a difference of 2 orders of magnitude of the ratio of signals for different light sources. This indicated the effectiveness of the use of the proposed photodetector. It is shown that photoreceivers can determine the fluctuations of visible light in the range up to 300 Hz. Differential photodetectors can be manufactured using high-performance silicon technology. An additional advantage of such photodetectors is the lack of optical filters and high stability characteristics.

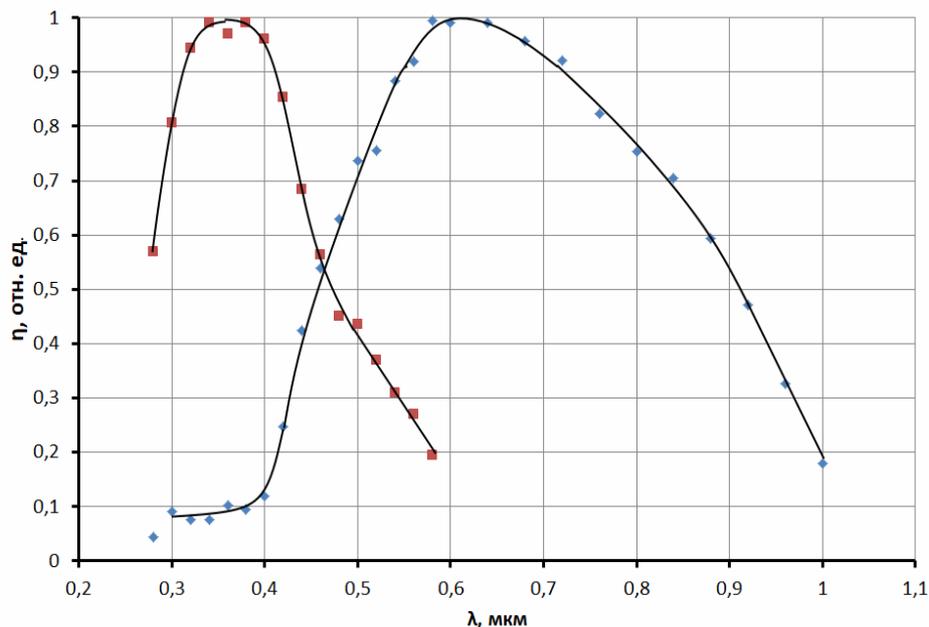
**Keywords:** *differential photodetector, light sources, silicon, ultraviolet radiation, intensity pulsations*

Одной из интересных особенностей кремниевых дифференциальных фотоприемников является возможность использования их в качестве двухцветных [1,2]. На рисунке приведена спектральная характеристика дифференциального фотоприемника, полученного для дозы имплантации вспомогательного канала 5000 мкКл/см<sup>2</sup>. Как видно, максимум чувствительности дифференциального канала находился в ультрафиолетовой области ( $\lambda_1 = 0,36$  мкм), а вспомогательного канала — в видимой ( $\lambda_2 = 0,6$  мкм). Такие фотоприемники позволяют регистрировать оптическое излучение одновременно в двух разнесенных спектральных диапазонах, представляющих интерес для оценки спектрального состава источников света.

В настоящее время основными источниками искусственного света становятся энергосберегающие лампы, основанные на преобразовании коротковолнового ультрафиолетового излучения в видимый свет. Наличие излучения с длиной волны менее 400 нм считается нежелательным. Как показывают медицинские исследования, ультрафиолетовое излучение и даже

синий свет приводят к неадекватному управлению диаметром зрачка глаза и увеличивают риски раннего ухудшения зрения [3]. Высокоэнергичные фотоны могут вызывать химические изменения в органических молекулах. Это приводит к снижению выработки важного для человека гормона — мелатонина, который отвечает за периодичность сна, кровяное давление, участвует в работе клеток головного мозга. Кроме того, УФ излучение может вызывать заболевания кожи [4].

Еще одним негативным фактором современных источников света является наличие пульсаций интенсивности светового потока. Хотя постоянная времени глаза человека имеет значение около 0,1 секунды [5], однако наличие переменной составляющей с незаметной для зрения более высокой частотой может иметь негативные последствия. Многократными исследованиями доказано, что критическая частота восприятия пульсаций — 300 Гц, при достижении этого значения человеческий мозг перестает воспринимать их как таковые. Вместе с тем, наличие гармоник с частотой до



Спектральные характеристики коротковолнового и длинноволнового каналов фотоприемника

300 Гц может приводить к появлению головной боли, ухудшению самочувствия, затяжной бессоннице.

Недопустимо использование пульсирующих источников света, если имеется вероятность появления стробоскопического эффекта, например, на производстве при совпадении частоты мерцаний света и вращения детали она будет казаться неподвижной. Нежелательно наличие пульсаций внешних источников света при работе с дисплеем компьютера.

Учитывая важность отмеченного фактора, выдвигаются нормативные требования к уровню пульсаций освещенности в диапазоне частот 30-300 Гц [6]:

- в помещениях, оборудованных компьютерами — не более 5% (10%);
- в детских дошкольных учреждениях — до 10%;
- для помещений с возможностью появления стробоскопического эффекта — до 10%;
- для помещений, в которых проводятся работы, требующие высокой точности — до 10%.

Вместе с тем предлагаемые источники света имеют очень широкий разброс своих характеристик, что делает наличие доступного тестера качества источников света актуальным. Имеющиеся приборы для анализа световых характеристик обеспечивают хорошее качество измерений, но как правило, отличаются высокой стоимостью и поэтому широко не распространены. К тому же они требуются только для эпизодического применения. Существенной составляющей стоимости приборов является цена фотоприемника. Дифференциальные фотоприемники на основе кремния могут оказаться интересными для такого применения. Как отмечалось, они позволяют отдельно регистрировать излучение в УФ и видимом диапазоне. Постоянная времени фотоприемника лежит в микросекундном диапазоне, что дает возможность уверенно регистрировать низкочастотную переменную составляющую отдельно как в видимом, так и в коротковол-

новом спектральном диапазоне. Дифференциальные фотоприемники могут быть изготовлены с использованием хорошо освоенной низкочастотной кремниевой технологии. Дополнительным преимуществом таких фотоприемников является их высокая стабильность, поскольку отсутствуют внешние оптические фильтры, использование которых в фотоприемниках другого типа может приводить к их деградации (соляризации), особенно в УФ диапазоне [7].

С целью подтверждения возможности использования кремниевых дифференциальных фотоприемников для контроля качества источников света были выполнены тестовые измерения характеристик различных искусственных источников света. В качестве количественной оценки спектрального состава излучения было выбрано отношение сигналов УФ канала к видимому:

$$\beta = U_{\text{УФ}}/U_{\text{вид.}}$$

В табл. 1 приведены полученные значения  $\beta$ .

Таблица 1  
Отношение сигналов  
коротковолнового канала к видимому

| № п/п | Характеристика источника света                               | Отношение сигналов $\beta$ , % |
|-------|--|--------------------------------|
| 1     | Лампа накаливания, 75 Вт                                     | 0,25                           |
| 2     | Светодиодная лампа, теплый цвет, 10 Вт (LEDGSLE27)           | 18,6                           |
| 3     | Люминесцентная лампа, теплый цвет 30 Вт (CF30-ASE27)         | 21,2                           |
| 4     | Светодиодная лампа, холодный цвет 17 Вт (LED-17 A65/865/E27) | 24,7                           |
| 5     | Светодиодная лампа, холодный цвет 7 Вт (17FQ)                | 28,3                           |
| 6     | Люминесцентная лампа, холодный цвет (15 Вт)                  | 30,4                           |

Как видно, наблюдался широкий диапазон полученных значений, превышающий 2 порядка, что свидетельствовало об эффективности использования предлагаемого фотоприемника для данных измерений.

В табл.2 приведены измеренные значения уровня пульсаций освещенности для ряда источников света. Уровень пульсаций определялся для видимого канала в диапазоне частот 30-300 Гц в соответствии с [8]:

$$K_n = 100 \frac{U_{\max} - U_{\min}}{2U_{\text{cp}}}$$

При наличии нескольких гармоник обычно доминирующей была одна, как правило, 100 Гц.

Таблица 2

Уровень пульсаций освещенности источников света

| № п/п | Характеристика источника света                | $K_n$ , % |
|-------|---|-----------|
| 1     | Светодиодная лампа 9 Вт 3000 К (LEDREDB35)    | 1,1       |
| 2     | Светодиодная лампа 11 Вт 3000 К (LED Ergolux) | 1,25      |
| 3     | Лампа накаливания, 95 Вт                      | 9,1       |
| 4     | Люминисцентная лампа 15 Вт (Ecowatt FSP)      | 11,5      |
| 5     | Люминисцентная 20 Вт 2700 К (Ecowatt FSP)     | 12,5      |
| 6     | Люминисцентная лампа 20 Вт 2700К (ESL-S41-)   | 24        |
| 7     | Светодиодная лампа 5 Вт -4000 К (LEDSmartbuy) | 98        |

Как видно, уровень пульсаций у разных источников мог отличаться почти в 100 раз, что делает оценку такой характеристики актуальной.

Таким образом, применение кремниевых дифференциальных фотоприемников для контроля качества источников света является эффективным и может быть рекомендовано для практического использования.

1. Гаврушко В.В., Ионов А.С., Кадрив О.Р., Ласткин В.А. Коротковолновый дифференциальный фотоприемник на основе кремния // ЖТФ. 2017. Т.87. Вып. 2. С.310-311.
2. Гаврушко В.В., Ионов А.С., Кадрив О.Р., Ласткин В.А. О применении кремниевых дифференциальных фотоприемников в качестве двухцветных // Тр. XXV Междунар. научн.-техн. конф. и школы по фотоэлектронике и приборам ночного видения. Т.2. М., 2018. С.385-388.
3. Капцов В.А., Дейнего В.Н. Синий свет светодиодов — новая гигиеническая проблема // Анализ риска здоровью. 2016. №1 (13). С.15-25.
4. Безопасность жизнедеятельности: Учебник для вузов / С.В.Белов, А.В.Ильницкая, А.Ф.Козьяков и др.; Под общ. ред. С.В. Белова. 4-е изд. испр. и доп. М.: Высшая школа, 2004. 606 с.
5. Браммер Ю.А., Малинский В.Д., Пашук И.Н. Радиотехника. М.: Высшая школа, 1969. 536 с.
6. СП 52.13330.2011. Свод правил естественное и искусственное освещение.
7. Гольтберг Ю.А., Царенков Б.В. Коррекция спектра квантовой эффективности GaP поверхностно-барьерных фотоприемников посредством светофильтров // ЖТФ. 1996. Т.66. Вып. 8. С.195-197.
8. ГОСТ Р 54945-2012. Здания и сооружения. Методы измерения коэффициента пульсации освещенности. М.: Стандартинформ, 2012.

## References

1. Gavrushko V.V., Ionov A.S, Kadriev O.R, Lastkin V.A. Short-Wave Differential Photodetector Based On Silicon. Journal of Technical Physics, 2017, vol. 87, no. 2, pp. 310-311.
2. Gavrushko V.V., Ionov A.S, Kadriev O.R, Lastkin V.A. O primeneni kremnievykh differentsial'nykh fotopriemnikov v kachestve dvukhtsvetnykh [On the application of differential silicon photodetectors as two-tone ones]. Proceedings of the 25th International Conference on Photoelectronics and Night Vision Devices. Moscow, 2018. vol.2, pp. 385-388. (In Russian).
3. Kaptsov V.A., Dayniy V.N. Blue Light of Leds - A New Hygienic Problem. Health Risk Analysis, 2016, no. 1 (13). pp. 15-25.
4. Life Safety: A Textbook for High Schools / S.V. Belov, A.V. Ilmitskaya, A.F. Koziaikov et al.; under the general ed. by S.V. Belov. 4<sup>th</sup> edition, corrected and extended. Moscow, Higher School Publ., 2004. 606 p.
5. Brammer Y.A., Malinsky V.D., Pashchuk I.N. Radio engineering. Moscow, Vysshaya shkola Publ., 1969. 536 p.
6. SP 52.13330.2011 Daylighting and Artificial Lighting. (In Russian).
7. Goltberg Yu.A., Tsarenkov B.V. GTP., 1996, vol. 66, issue. 8. pp. 195-197.
8. GOST R 54945-2012. Buildings and Structures. Methods for measuring the illuminance pulsation factor. Moscow, Standartinform Publ., 2012. (In Russian).