

УДК 621.317

*П. П. Першенков, А. В. Савенков***ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫЙ ДАТЧИК
НА ОСНОВЕ ФОТОГАЛЬВАНИЧЕСКОГО ЭФФЕКТА***P. P. Pershenkov, A. V. Savenkov***INTELLECTUAL SENSOR BASED
ON PHOTOGALVANIC EFFECT**

А н н о т а ц и я. *Актуальность и цели.* Работа посвящена актуальному вопросу практического использования достижений нанотехнологий в измерительной технике. Целью исследования является разработка интеллектуального датчика на основе фотогальванического эффекта для измерения напряженности магнитного поля. *Результаты.* Предложена структура измерительного преобразователя напряженности магнитного поля в электрический ток с последующим аналого-цифровым преобразованием. Для коррекции передаточной характеристики используется микропроцессор. Разработан соответствующий алгоритм. Приведена структурная схема интеллектуального датчика на основе микропроцессора. Предложен алгоритм компьютерной линеаризации передаточной функции фотогальванического преобразователя. *Выводы.* Обоснована возможность использования достижений в области наноразмерных наноструктур, а именно фотогальванического эффекта для построения первичного измерительного преобразователя напряженности магнитного поля. Рассмотренный компьютерный алгоритм позволяет получить линейную передаточную характеристику.

A b s t r a c t. *Background.* Work devoted to topical issues of practical use of nanotechnology advances in measurement technology. The aim is to develop a smart sensor based on the photovoltaic effect to measure magnetic field strength. *Results.* The structure of the transmitter of the magnetic field intensity into an electrical current, followed by analog-to-digital conversion. To correct the transfer characteristic of the microprocessor used. A corresponding algorithm. The block diagram of smart sensor based on a microprocessor. An algorithm for computing the linearization of the transfer function of the photovoltaic inverter. *Conclusions.* The possibility of using advances in nanoscale nanostructures, namely photovoltaic effect for the construction of a primary transmitter magnetic field. Considered a computer algorithm provides a linear transfer characteristic.

К л ю ч е в ы е с л о в а: датчик, микропроцессор, измерение, наноструктура, фотогальванический эффект, программирование, магнитное поле, передаточная характеристика, коррекция.

К e y w o r d s: sensor, measurements, microprocessor, programs, nanostructures, photogalvanic effect, magnetic field.

В последние годы быстрыми темпами происходит внедрение нанотехнологий во все сферы науки и техники, однако практическое внедрение нанотехнологий и наноструктур отстает от быстрого развития теории наноструктур и потребностей науки и техники. В полной

мере это относится к измерительной и датчиковой аппаратуре. В этой связи весьма актуальной и практически значимой является разработка и создание измерительных преобразователей и датчиков на основе достижений теории наноразмерных структур и, в частности, с использованием фотогальванического эффекта.

В статье рассматривается возможность создания датчика магнитного поля на основе фотогальванического эффекта на асимметричной наноструктуре в магнитном поле. В работе [1] исследовались образцы $i\text{-Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{As}/i\text{-GaAs}$ ($x = 0,25$) с тремя квантовыми ямами шириной слоев $L_W = 54, 60$ и $70 \text{ \AA}$, разделенных барьерными слоями $L_B = 20$ и $30 \text{ \AA}$. Данная асимметричная система туннельно-связанных квантовых ям находилась между двумя широкими ($200 \text{ \AA}$) барьерными слоями $i\text{-Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{As}$ ($x = 0,25$) со стороны буферного слоя $i\text{-GaAs}$ (1 мкм) и закрывающего структуру слоя $i\text{-GaAs}$ ($200 \text{ \AA}$). Образцы имели прямоугольную форму размером $8 \times 2 \text{ мм}$ и одну пару контактов, симметрично расположенных вдоль одной линии на расстоянии 4 мм друг от друга. Световое излучение подводилось галогеновой лампой по гибкому световоду диаметром 1 мм . Мощность светового излучения не превышала 5 мВт . Эксперимент показал, что освещенные участки имели сопротивление примерно в 100 раз меньше, чем неосвещенные, а при увеличении светового пятна с 2 до 3 мм ток возрастает более чем в $3,3$ раза.

Как показали экспериментальные исследования фотогальванического эффекта в асимметричной наноструктуре $\text{GaAs}/\text{AlGaAs}$ [2], при лазерном облучении образца имеет место линейная зависимость фототока от напряженности магнитного поля (рис. 1) [3].

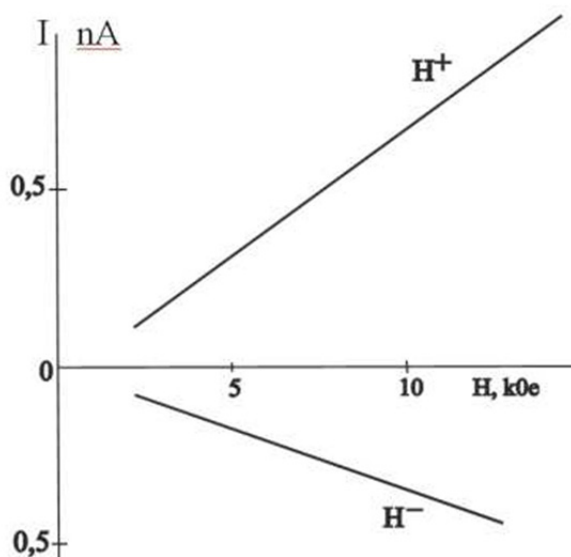


Рис. 1. Зависимость фототока от напряженности магнитного поля

Образец освещался лазером с длиной волны $\lambda = 1,065 \text{ мкм}$, магнитное поле изменялось от нуля до 11 кЭ . Зависимость фототока от напряженности сохраняется и при больших значениях магнитного поля, вплоть до 75 кЭ , но становится нелинейной.

Рассматриваемая асимметричная наноструктура теоретически может быть использована для построения измерительного преобразователя напряженности магнитного поля в электрический ток, причем управление коэффициентом передачи, а также включение и выключение может осуществляться изменением интенсивности светового потока. Как видно из рис. 1, выходной ток такого преобразователя весьма незначителен и требуется использовать прецизионный усилитель. Но при использовании однородных образцов наноструктуры с учетом их крайне малых размеров они легко могут быть соединены в батарею, а это уже позволяет использовать и стандартные аналого-цифровые преобразователи (АЦП).

На рис. 2 приведена зависимость фототока (I) от напряженности магнитного поля (H) (кривая 1) [2]. Напряженность магнитного поля изменяется от 0 до $\pm 75 \text{ кЭ}$, $T = 283,7 \text{ К}$.

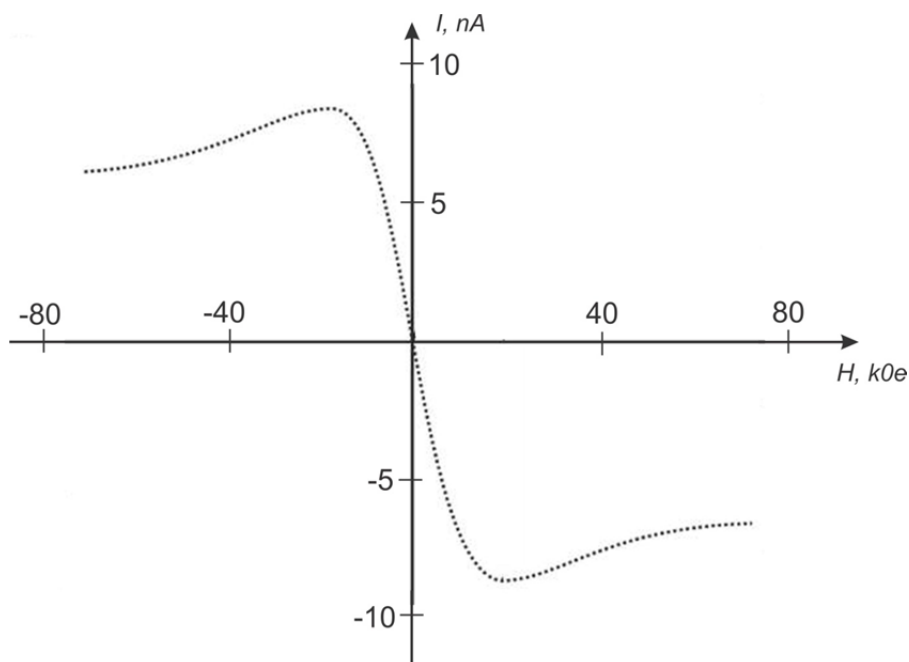


Рис. 2. График зависимости фототока от напряженности магнитного поля

Как следует из результатов экспериментального исследования указанных образцов, вольт-амперная характеристика фотогальванического эффекта (ФГЭ) и зависимость фототока от напряженности магнитного поля нелинейны уже после 10 кЭ.

Это существенно затрудняет использование данных наноструктур в измерительных преобразователях.

Относительно просто проблема нелинейности может быть решена путем создания интеллектуального датчика магнитного поля или светового излучения со встроенным микропроцессором [3–5].

Однако, как показано в работе [1], при увеличении напряжения магнитного поля более 10 кЭ зависимость фототока от напряжения становится нелинейной. Это обстоятельство не позволяет использовать данную структуру в таком виде в качестве датчика или измерительного преобразователя. Авторами данная проблема решается путем создания интеллектуального датчика на основе рассматриваемой наноструктуры и встроенного микропроцессора [3, 5–10].

Примерная схема интеллектуального датчика на основе рассмотренной выше наноструктуры и микропроцессора приведена на рис. 3.

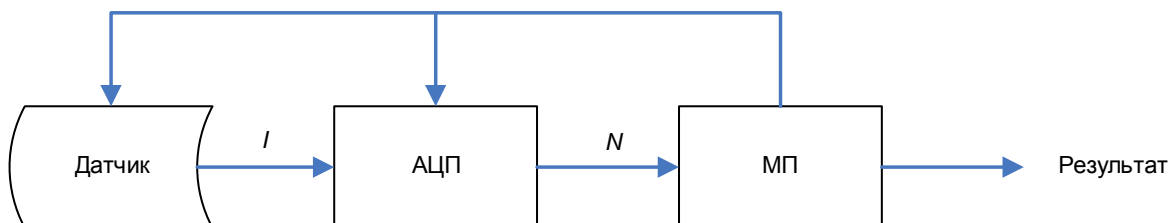


Рис. 3. Структурная схема интеллектуального датчика

Датчик представляет собой чувствительный элемент на основе фотогальванического эффекта. АЦП преобразует входной сигнал датчика (ток) в цифровой с требуемой точностью. Микропроцессор (МП) производит обработку полученной информации, калибровку и коррекцию передаточной характеристики датчика, выполняет другие служебные функции.

Для анализа передаточной характеристики интеллектуального датчика (ИД) рассмотрим алгоритм линеаризации. Допустим, нам необходимо произвести линеаризацию функции пре-

образования $y = f(x)$, график которой представлен на рис. 2. Алгоритм линейризации функции в этом случае выглядит следующим образом (рис. 4):

1. При подаче сигнала $X_0 = 0$, $Y_0 \neq 0$ необходимо произвести «установку нуля» – сменить функцию преобразования так, чтобы при $X_0 = 0$ и $Y_0 = 0$.

2. Рассмотрим часть графика, находящуюся в IV квадранте при изменении X от X_0 до $X_{\max}$. Зеркально отобразим эту часть графика (отрезок AC) относительно оси X , т.е. перенесем ее в I квадрант (рис. 4,б).

3. Находим экстремум функции (точка перегиба графика – X_e). Для нахождения экстремума функции можно использовать любой метод, например, метод дихотомии или метод «золотого сечения» (рис. 4,в). (Выбор метода зависит от удобства его программной реализации для выбранного типа процессора).

4. Производим линейризацию участков графика AB и BC с помощью метода наименьших квадратов. График приобретает вид, показанный на рис. 4,г.

5. Через точки с координатами $(0; Y_e)$ и $(X_e; Y_e)$ проводим линию Y_e .

6. Необходимо зеркально перенести участок графика BC относительно линии Y_e . Его описывает уравнение вида $y = y_e - kx$. Нам необходимо преобразовывать график так, чтобы его описывало уравнение вида $y = y_e + kx$. В общем виде алгоритм можно записать так:

6.1. Для некоторой точки участка BC (рис. 4,д) находим $\Delta Y = Y_e - Y_i$.

6.2. Проводим преобразование (рис. 4,е): $Y_i = Y_i + 2\Delta Y_i$.

6.3. Выполняем аналогичные действия для всех остальных точек участка BC .

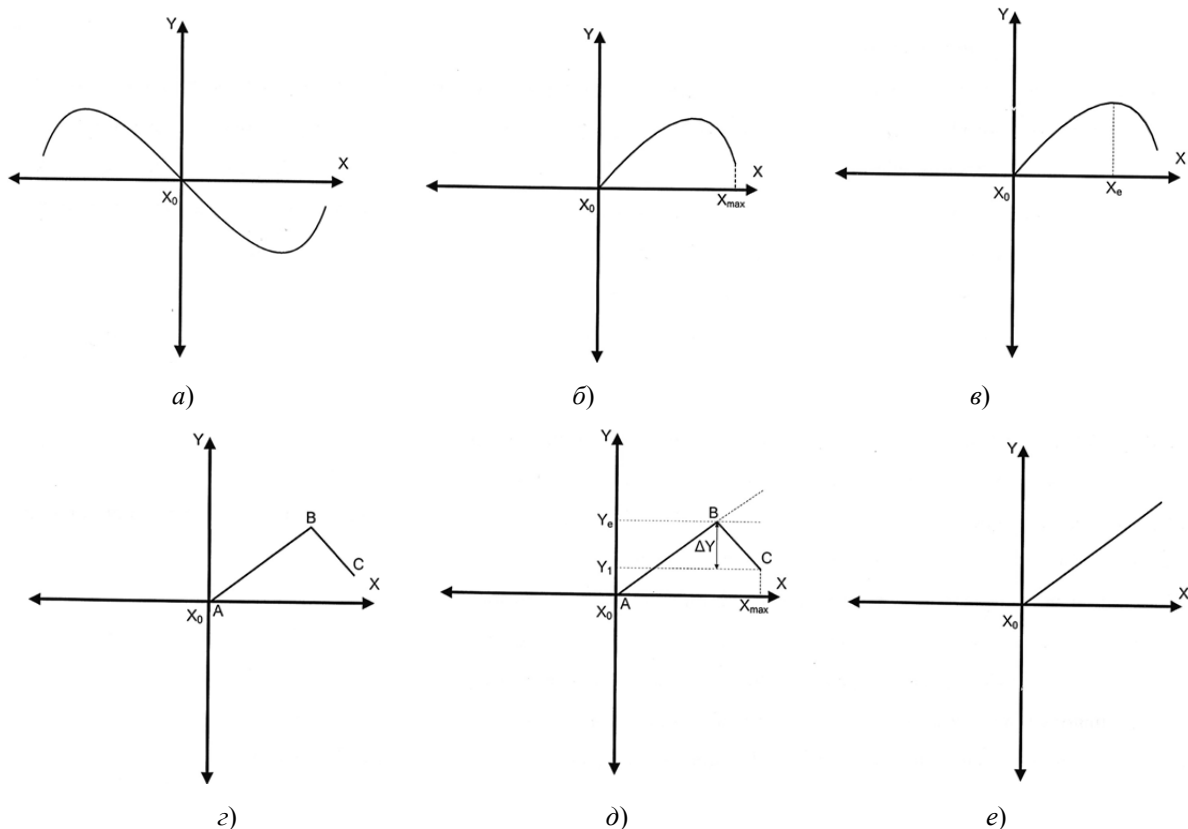


Рис. 4. Алгоритм линейризации функции $y = f(x)$:

a – график функции $y = f(x)$; b – зеркально отраженная часть графика;
 $в$ – нахождение точки экстремума; $г$ – линейризованные отрезки графика;
 $д$ – смещение отрезка $X_e X_1$; $е$ – линейризованный график функции $y = f(x)$

На рис. 5 приведена блок-схема алгоритма программы линейризации для ИД, а также блок-схема алгоритма подпрограммы зеркального отображения отрезков, которая используется при выполнении программы линейризации.

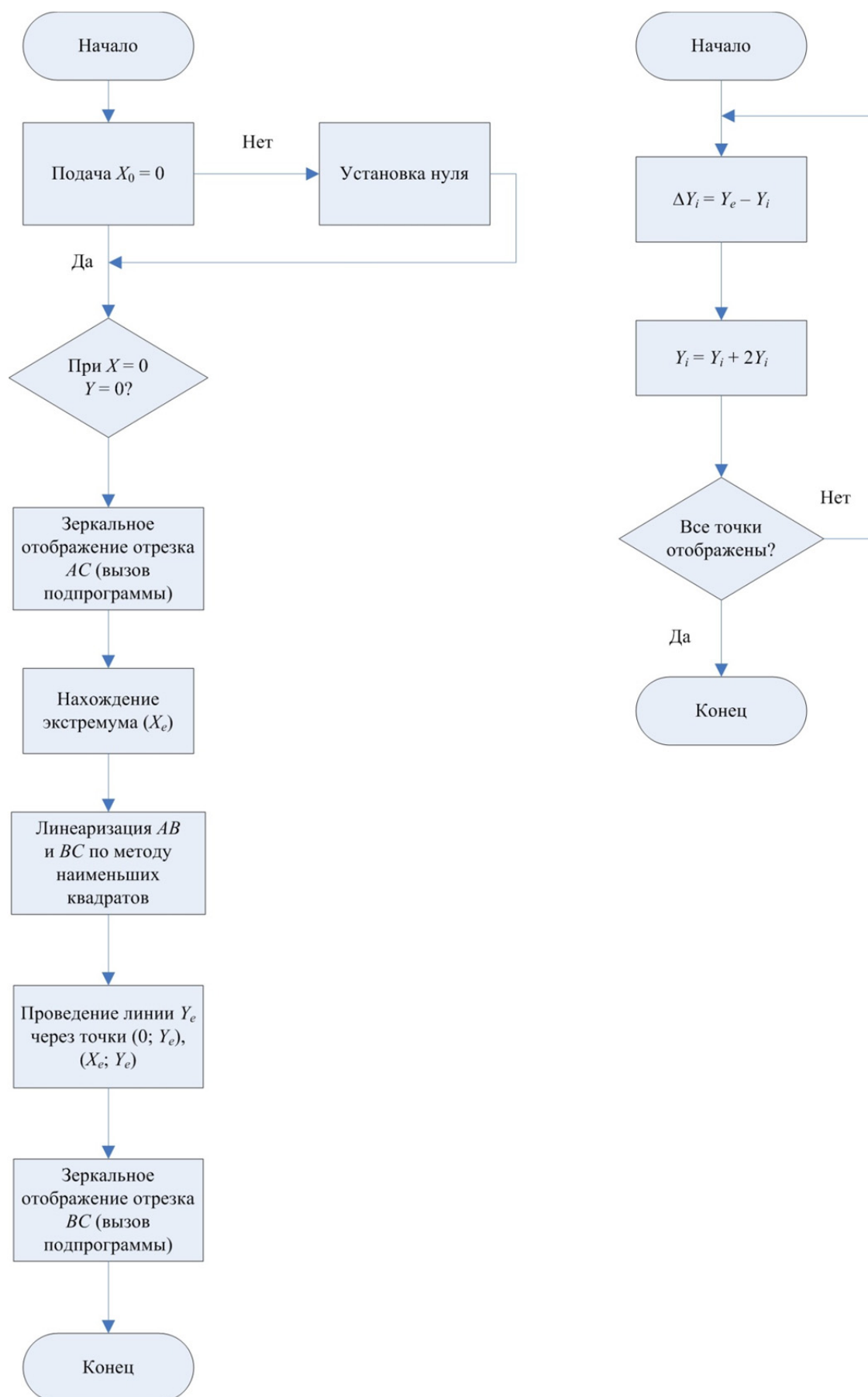


Рис. 5. Блок-схема алгоритма программы линеаризации

На рис. 6 показаны передаточные характеристики ИД после выполнения программы линейаризации (кривые 2 и 3).

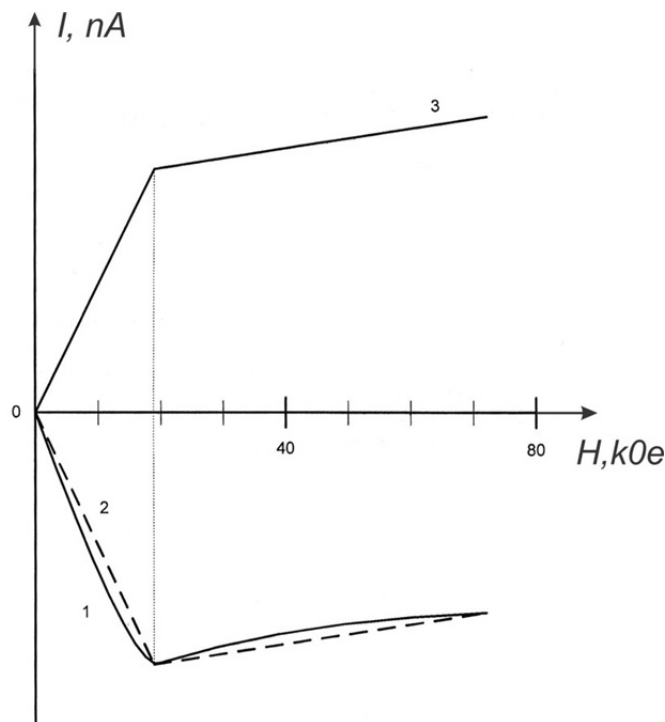


Рис. 6. Передаточные характеристики ИД после выполнения программы линейаризации

Такая передаточная характеристика позволяет работать в диапазоне от 0 до 80 кЭ с разбивкой на два поддиапазона.

Список литературы

1. Омеляновский, О. Е. Фотогальванический эффект в асимметричной системе трех квантовых ям в сильном магнитном поле / О. Е. Омеляновский, В. И. Цербо, В. И. Кадушкин // Письма в Журнал экспериментальной и теоретической физики. – 1996. – Т. 63, № 3. – С. 197–202.
2. Кучеренко, И. В. Фотогальванический эффект в асимметричной наноструктуре GaAs/AlGaAs при лазерном возбуждении / И. В. Кучеренко, Л. К. Водопьянов, В. И. Кадушкин // Физика и техника полупроводников. – 1997. – Т. 31, № 7.
3. Першенков, П. П. Применение интеллектуальных датчиков в современных ИИС / П. П. Першенков // Труды Международного симпозиума Надежность и качество. – 2011. – Т. 1. – С. 68–69.
4. Першенков, П. П. Применение интеллектуальных датчиков в измерителе давления / П. П. Першенков, Е. А. Тюрин // Перспективные технологии искусственного интеллекта : сб. тр. науч.-практ. конф. – Пенза, 2008. – С. 190.
5. Першенков, П. П. Перспективы применения наноразмерных структур в измерительных преобразователях и детекторах / П. П. Першенков, В. Д. Кревчик, А. В. Иванов // Информационно-измерительная техника. – 2012. – Вып. 37. – 2012. – С. 39–44.
6. Першенков, П. П. Применение интеллектуальных датчиков в современных ИИС / П. П. Першенков // Труды Международного симпозиума Надежность и качество. – 2011. – Т. 1. – С. 68–67.
7. Першенков, П. П. Исследование возможности измерения частоты электросети методом трех мгновенных значений / П. П. Першенков, О. В. Башкиров, Е. А. Тюрин / Известия высших учебных заведений. Поволжский регион. Технические науки Пенза. – 2008. – № 4. – С. 107–116.
8. Полосин, В. Г. Информационный способ идентификации несимметричных распределений / В. Г. Полосин, П. П. Першенков // Измерительная техника. – 2013. – № 12. – С. 8–11.

9. Першенков, П. П. Датчики на основе наноразмерных структур / П. П. Першенков, К. В. Иванов // XIV Всероссийская молодежная конференция по физике полупроводниковой опто- и наноэлектроники : материалы конф. – СПб., 2012. – С. 87.
10. Иванов, К. В. Асимметричные наноструктуры в измерительной технике и системах диагностики / К. В. Иванов, В. Д. Кревчик, П. П. Першенков // Методы создания, исследования микро-, наноэлектроники : материалы III Всерос. науч.-техн. конф. – Пенза : Изд-во ПГУ, 2011. – С. 86–88.

Першенков Петр Петрович

кандидат технических наук, профессор,
кафедра физики,
Пензенский государственный университет
(Россия, г. Пенза, ул. Красная, 40)
E-mail: peter@pnzgu.ru

Pershenkov Petr Petrovich

candidate of technical sciences, professor,
sub-department of physics,
Penza State University
(40 Krasnaya street, Penza, Russia)

Савенков Александр Валерьевич

соискатель,
Пензенский государственный университет
(Россия, г. Пенза, ул. Красная, 40)
E-mail: peter@pnzgu.ru

Savenkov Aleksandr Valer'evich

applicant,
Penza State University
(40 Krasnaya street, Penza, Russia)

УДК 621.317

Першенков, П. П.

Интеллектуальный датчик на основе фотогальванического эффекта / П. П. Першенков, А. В. Савенков // Измерение. Мониторинг. Управление. Контроль. – 2016. – № 4 (18). – С. 22–28.