

## МИКРОЭЛЕКТРОННЫЙ МНОГОФУНКЦИОНАЛЬНЫЙ И МНОГОКАНАЛЬНЫЙ ДАТЧИК С ЧАСТОТНЫМ ВЫХОДОМ НА ОСНОВЕ КНИ ТОНКОПЛЕНОЧНОГО МДПДМ ТРАНЗИСТОРА В КАЧЕСТВЕ ЧУВСТВИТЕЛЬНОГО ЭЛЕМЕНТА

© 2016 г. А.А. МАЛЫХ<sup>1,2</sup>, М.И. ПАВЛЮК<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Институт проблем технологии микроэлектроники и особочистых  
материалов Российской академии наук, г. Черноголовка,

<sup>2</sup>Национальный исследовательский технологический университет «МИСиС», г. Москва,

<sup>3</sup>АО «ПКК Миландр», г. Москва, Зеленоград  
e-mail: malykhanton21@gmail.com

### Введение

В последнее время активно разрабатываются датчики с частотным выходом (ДЧВ). Частотная форма выходного сигнала, обеспечивает возможность организации помехозащищенной беспроводной связи с функциональными блоками аппаратуры. Кроме того, сигнал, передаваемый в виде частоты, фактически представляет собой последовательный цифровой код и обладает преимуществами цифровых систем. Эта особенность может быть полезна для применения в «нодах» беспроводных сенсорных сетей, поскольку позволяет использовать единственный цифровой канал для передачи информации.

В нашей работе представлен многофункциональный микроэлектронный ДЧВ, первичный преобразователь которого способен регистрировать различные внешние воздействия, управлять рабочей частотой и обеспечивает возможность создания датчиков с расширенным диапазоном рабочих температур.

### Чувствительный элемент

Чувствительный элемент представляет собой двухзатворный тонкопленочный КНИ МОП транзистор со встроенным  $n^+n-p^+$  каналом и металл-диэлектрик-полупроводник-диэлектрик-металл полевой управляющей системой, интегрированный с традиционным кремниевым элементом Холла в единой структуре [1]. Далее такой чувствительный элемент обозначен как полевой чувствительный элемент (ПЧЭ). ПЧЭ сформирован в тонком слое  $n$ -кремния ( $500 \times 500 \times 0.2$  мкм) КНИ структуры с концентрацией доноров  $5 \cdot 10^{14} \text{ см}^{-3}$ . На поверхности рабочего слоя кремния выращен термический слой  $\text{SiO}_2$  толщиной 350 нм, на который нанесена пленка Al. Эта комбинация представляет собой верхнюю МДП полевую управляющую систему. Нижняя система состоит из захороненного слоя  $\text{SiO}_2$  (толщина 350 нм) КНИ структуры и Si подложки с Al металлизацией. На боковых противоположных сторонах рабочего слоя кремния располагается пара  $n^+$  контактов, служащая для измерения эффекта Холла. Основной режим функционирования ПЧЭ – режим аккумуляции электронов вблизи границ Si –  $\text{SiO}_2$ . Схематически структура ПЧЭ и режим функционирования поясняются рис. 1.

Особенностью ПЧЭ является возможность регистрации различных внешних воздействий, любым образом влияющих на поведение потока электронов в канале (например, магнитное поле благодаря эффекту Холла, температуры и давления из-за изменения подвижности электронов, ионизирующего излучения из-за накопления положительного заряда в обоих диэлектриках и соответствующего изменению проводимости аккумулярованных областей). В этой работе ПЧЭ лежит в основе многофункционального ДЧВ магнитного поля и температуры.

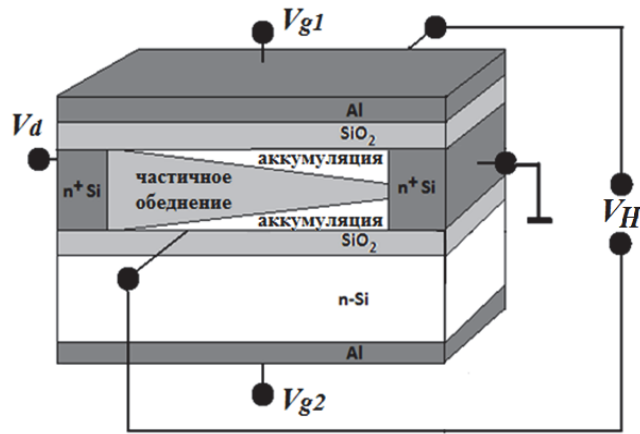


Рис. 1. Схематическое изображение структуры ПЧЭ.  $V_d$  – напряжение питания,  $V_{g1}$ ,  $V_{g2}$  – напряжения на затворах,  $V_H$  – регистрируемое напряжение Холла.

### Многофункциональный многоканальный датчик с частотным выходом

Многофункциональный многоканальный ДЧВ с использованием ПЧЭ основан на схеме бистабильного мультивибратора [2] (рис. 2). Последовательное измерение магнитного поля и температуры осуществляется при перекоммутации контактов ПЧЭ с помощью электронных ключей К1-К4. Замыкание контактов 1, 4, 7, 10 реализует режим измерения магнитного поля (используются холловские контакты ПЧЭ), а замыкание контактов 2, 3, 5, 6, 8, 9 реализует режим измерения температуры (используются контакты стока и истока ПЧЭ в режиме термотранзистора).

Можно заметить, что в таком ДЧВ сигнал, индуцируемый внешним воздействием, приводит к изменению напряжения затворов полевых транзисторов Т5 и Т6. В свою очередь это ведет к перераспределению токов в биполярных транзисторах Т1-Т4 и изменению скоростей зарядки-разрядки конденсаторов С1-С3 мультивибратора, вызывающее смещение рабочей частоты.

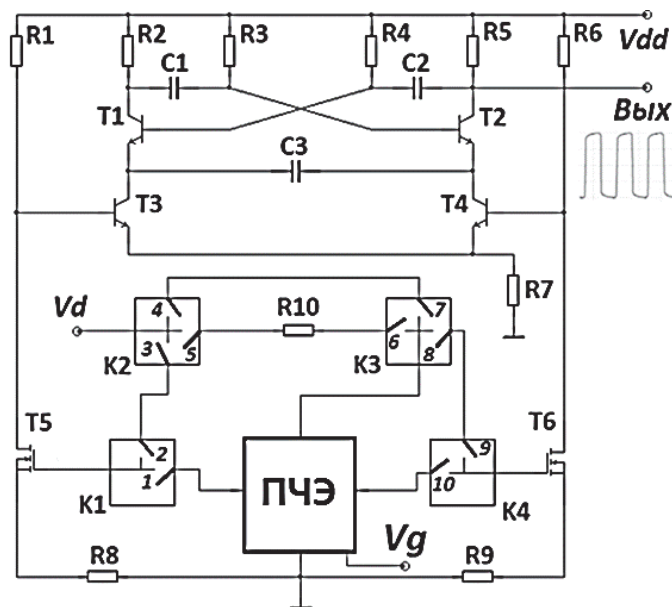


Рис. 2. Схема многофункционального датчика с частотным выходом на основе ПЧЭ (на оба затвора подается равный потенциал  $V_g$ ).

Полевое управление в ПЧЭ позволяет в таком датчике с частотным выходом осуществлять изменение рабочей частоты с крутизной порядка 20 кГц/В (рис. 3, 4, а). При этом, в случае включения ПЧЭ в качестве чувствительного элемента холловского

типа это осуществляется за счет зависимости остаточного напряжения на холловских контактах (в отсутствии магнитного поля) от электрических режимов включения чувствительного элемента, а в случае включения ПЧЭ в качестве термотранзистора, образующего с резистором R10 делитель напряжения, за счет зависимости сопротивления его канала от электрических режимов включения.

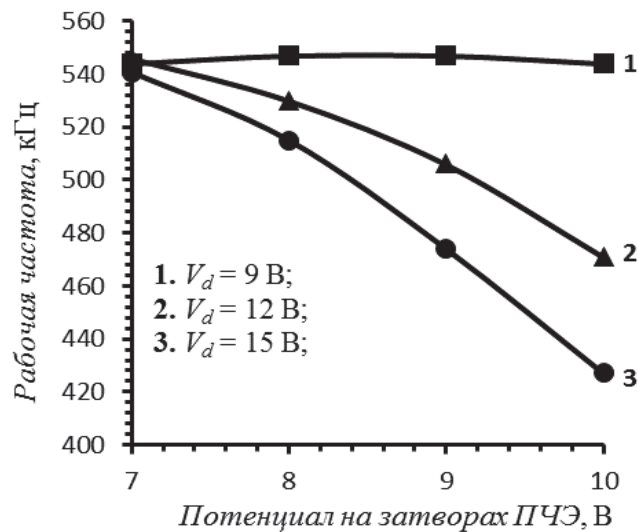


Рис. 3. Зависимость рабочей частоты многофункционального многоканального ДЧВ в режиме измерения магнитного поля от потенциала затворов ПЧЭ.

Из рис. 4 видно, что зависимости преобразования воздействия магнитного поля и температуры в изменение частоты у такого датчика линейны. Чувствительность измерений магнитного поля может достигать 2.2 кГц/мТл при рабочей частоте 420 кГц, при осуществлении режима питания ПЧЭ  $V_d = V_g = 15$  В. Чувствительность к изменению температуры достигает порядка 1.4 кГц/°С в диапазоне температур 25-150 °С.

Существенно, что ПЧЭ способен функционировать при экстремально низких (температура жидкого гелия) и экстремально высоких (по крайней мере 375 °С) температурах [3], что недоступно традиционным Si аналогам. Соответственно, конструкция микроэлектронного датчика с вынесенным ПЧЭ представляет возможность многофункциональных измерений в очень широком температурном диапазоне.

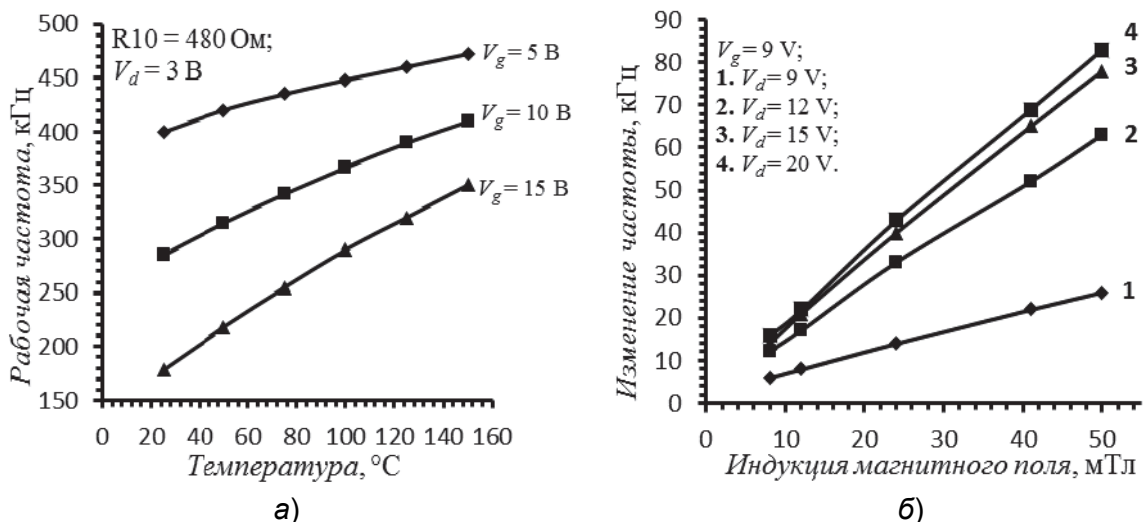


Рис. 4. Сенсорные возможности многофункционального многоканального ДЧВ на основе ПЧЭ: а) измерение температуры; б) измерение магнитного поля.

### **Заключение**

В работе показан микроэлектронный датчик с частотным выходом, первичный преобразователь которого (ПЧЭ) способен регистрировать различные внешние воздействия и управлять рабочей частотой с крутизной порядка 20 кГц/В, обеспечивая такому датчику свойства многофункциональности и многокальности. Датчик построен на основе схемы бистабильного мультивибратора. Он позволяет добиться высокой чувствительности преобразования внешних воздействий, порядка 2.2 кГц/мТл и 1.4 кГц/°С для измерений магнитного поля и температуры, соответственно. При этом в случае измерения магнитных полей отсутствует необходимость компенсации остаточного напряжения на холловских контактах ПЧЭ, к тому же зависимость его величины от электрических режимов включения ПЧЭ используется для управления рабочей частотой представленного многофункционального многоканального датчика с частотным выходом. Особенности конструкции первичного преобразователя позволяют обладать датчикам с его использованием расширенным диапазоном рабочих температур.

### **СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ**

1. *Baranochnikov M., Leonov A., Mordkovich V., Pazhin D., Filatov M.* Some Features of Magnetometric and Sensors Devices Based on The Field Effect Hall Sensor // Proceedings of the Applied Electromagnetic Symposium, 16-19 April 2012, Paris, p. 455-459.
2. *Leonov A.V., Malykh A.A., Mordkovich V.N., Pavlyuk M.I.* Sensors with SOI FET primary transducer and frequency output // Proceedings of the 17<sup>th</sup> International Conference on Sensors and Measurement Technology (SENSOR 2015), 19-21 May 2015, Nuremberg, p. 864-867.
3. *Leonov A.V., Malykh A.A., Mordkovich V.N., Pavlyuk M.I.* Field Controlled Si Hall Element with Extended Operation Temperature Range from Liquid Helium Temperature up to 650K // Procedia Engineering, - 2015, v. 120, p. 1197-1200.