

УТВЕРЖДАЮ

Проректор НИТУ «МИСиС»

по науке и инновациям

проф. Филонов М.Р.

«25» июня 2016 г.



## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

По диссертационной работе Малых Антона Александровича «Микроэлектронные датчики с частотным выходом на основе КНИ чувствительного элемента транзисторного типа», представленной на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.27.01 – «Твердотельная электроника, радиоэлектронные компоненты, микро- и нанoeлектроника, приборы на квантовых эффектах».

Выписка из протокола № 9-2015/2016 заседания кафедры полупроводниковой электроники и физики полупроводников от 21.06.16 г.

ПРИСУТСТВОВАЛИ: проф. Осипов Ю.В., проф. Мурашев В.Н., доц. Диденко С.И., доц. Кобелева С.П., доц. Коновалов М.П., доц. Лагов П.Б., доц. Паничкин А.В., доц. Юрчук С.Ю., доц. Орлова М.Н., доц. Леготин С.А., доц. Таперо К.И., ст.пр. Борзых И.В.

СЛУШАЛИ: доклад аспиранта Малых Антона Александровича по законченной диссертационной работе на тему «Микроэлектронные датчики с частотным выходом на основе КНИ чувствительного элемента транзисторного типа», представленной на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.27.01 – «Твердотельная электроника, радиоэлектронные компоненты, микро- и нанoeлектроника, приборы на квантовых эффектах».

Работа выполнена в Национальном исследовательском технологическом университете «Московский институт стали и сплавов» на кафедре «Полупроводниковой электроники и физики полупроводников» под научным руководством доктора технических наук, проф. Мурашева В.Н. в период 2012-2016 гг.

В обсуждении доклада приняли участие: доц. Кобелева С.П., проф. Осипов Ю.В., доц. Юрчук С.Ю., доц. Лагов П.Б., доц. Диденко С.И., доц. Коновалов М.П. На все вопросы, возникшие в ходе дискуссии, диссертантом были даны исчерпывающие ответы.

## 1. Актуальность проведенных исследований

Развитие датчиков и датчиковых систем с радиочастотным беспроводным интерфейсом обусловлено активным внедрением таких устройств в медицинские, спортивные, автомобильные, космические и другие контрольно-измерительные системы. Применение такого типа взаимодействия датчиков с контрольной аппаратурой позволяет полностью избавиться от части коммутационных проводов, тем самым, улучшив массогабаритные параметры. Это также крайне полезно, например, при создании многодатчиковых систем измерения различных физических свойств объектов, в частности для бортовых систем космических летательных аппаратов.

Кроме того, большой интерес проявляется к беспроводным сенсорным сетям (БСС) и измерительным комплексам. Активное развитие микроэлектронных технологий и технологий беспроводной передачи данных делают применение БСС экономически привлекательным и доступным. В связи с этим количество потребителей БСС непрерывно увеличивается. Область применения БСС охватывает транспорт, промышленность, коммунальное хозяйство, системы охраны и слежения, быт и другие, включая портативные измерительные системы.

В приведенных выше измерительных устройствах и системах могут применяться датчики с частотным выходом (ДЧВ), то есть датчики, в которых изменение частоты электрического сигнала на выходе пропорционально интенсивности внешнего воздействия. Частотная форма выходного сигнала, обеспечивает возможность организации помехозащищенной беспроводной связи с функциональными блоками аппаратуры. Это может быть крайне полезно для широкого ряда применений. Кроме этого метод преобразования воздействия в частоту позволяет повысить рабочую частоту, разрешающую способность датчиков, позволяет упростить преобразование аналогового сигнала в цифровой, поскольку в некоторых случаях дает возможность отказаться от использования блоков усиления и(или) аналого-цифрового преобразования. Устройства, основанные на таком методе преобразования, могут иметь сравнительно малую стоимость, и при этом быть высокоточными передатчиками данных.

Для применения в БСС важным преимуществом является частотная форма выходного сигнала ДЧВ. Поскольку сигнал, передаваемый в виде частоты, фактически представляет собой последовательный цифровой код, то он обладает преимуществами цифровых систем. Информация, таким образом, закодирована в частоту и может быть передана на микроконтроллер элементарной регистрирующей ячейки БСС-«нода» через единственный цифровой порт. Эта особенность дает возможность использовать в «нодах» микроконтроллеры с ограниченным количеством цифровых входов.

Для расширения сфер эффективного применения указанных измерительных устройств и систем важно, чтобы они были способны функционировать в экстремальных для микроэлектронных компонентов условиях, в частности, при экстремальных температурах. При этом особенно важной является область высоких температур.

Проблему расширения допустимой рабочей температуры можно решить, применяя для создания датчиков с частотным выходом технологию «кремний на изоляторе» (КНИ). Как известно, изоляция элементов от подложки не р-п-переходом, как в схемах на объемном кремнии, а диэлектриком значительно более надежна и позволяет поднять верхний предел рабочих температур с 120-150 °С до 300-400 °С. В настоящей работе в качестве основы датчиков с частотным выходом предлагается использование КНИ чувствительных элементов транзисторного типа. Возможности ДЧВ с их применением изучены на примере использования оригинального чувствительного элемента - полевого датчика Холла (ПДХ), выполненного по КНИ технологии.

## 2. Новизна полученных результатов

Показано, что базовая конструкция КНИ чувствительного элемента, представляющая собой интеграцию в единой конструкции двухзатворного тонкопленочного МОП транзистора со встроенным аккумулярованным каналом и магниточувствительного элемента холловского типа, может быть использована для регистрации различных физических явлений, влияющих на ток канала (магнитное поле, температура, ионизирующая радиация).

Впервые продемонстрировано, что КНИ чувствительный элемент, интегрирующий в своей конструкции двухзатворный тонкопленочный МОП транзистор со встроенным аккумулярованным каналом и магниточувствительный элемент холловского типа, обеспечивает возможность создания высокочувствительных датчиков, способных в рамках единой конструкции осуществлять регистрацию различных внешних воздействий.

Теоретически обосновано, что использование холловского магниточувствительного элемента транзисторного типа со встроенным каналом в режиме аккумуляции носителей, изготовленного по КНИ технологии, позволяет расширить предельную рабочую температуру до значений порядка 575-700 °С в датчиках магнитного поля с аналоговым или цифровым выходом, соответственно. Это по крайней мере на 400 °С выше, чем у Si аналогов.

Показано, что в холловском двухзатворном КНИ чувствительном элементе транзисторного типа со встроенным обогащенным каналом наблюдается эффект зарядовой связи между затворами, сопровождающийся изменением подвижности носителей.

Продemonстрировано, что скачки тока на вольтамперной характеристике КНИ чувствительного элемента транзисторного типа со встроенным аккумулялированным каналом в режиме лавинного умножения носителей могут быть использованы для создания датчика с частотным выходом автогенераторного типа.

### 3. Практическая значимость полученных результатов

Показано, что на основе КНИ чувствительного элемента транзисторного типа со встроенным аккумулялированным каналом может быть создан датчик различных внешних воздействий с частотным выходом.

Предложена схема универсального многофункционального датчика с частотным выходом на основе КНИ чувствительного элемента транзисторного типа, способного последовательно осуществлять измерения как минимум магнитного поля и температуры без принципиального изменения электрической схемы датчика.

Определен режим включения затворов КНИ чувствительного элемента транзисторного типа со встроенным аккумулялированным каналом и полевой управляющей системой типа металл-диэлектрик-полупроводник-диэлектрик-металл (МДПДМ), обеспечивающий повышение магниточувствительности такого чувствительного элемента.

### 4. Степень достоверности полученных результатов

Достоверность научных результатов обусловлена применением общепризнанных экспериментальных методов: измерениями вольт-амперных и передаточных характеристик, э.д.с. Холла и др., а также использованием измерительных приборов с высоким классом точности. Полученные в работе результаты и выводы не противоречат ранее известным данным, неоднократно апробированы на международных и российских конференциях.

### 5. Результаты работы докладывались и обсуждались на:

- XI Международная IEEE Сибирская конференция по управлению и связи SIBCON-2015, Россия, Омск, 2015 г.
- 17th International Conference on Sensors and Measurement Technology SENSOR 2015, ФРГ, Нюрнберг, 2015 г.
- Международная конференция EUROSENSORS 2015, ФРГ, Фрайбург, 2015 г.

- Школа-конференция с международным участием "Saint-Petersburg OPEN 2016", Россия, Санкт-Петербург, 2016 г.

- 23-я Всероссийская межвузовская научно-техническая конференция студентов и аспирантов «Микроэлектроника и информатика – 2016», Россия, Москва, 2016 г.

6. Основные результаты диссертации опубликованы в следующих работах:

- Бараночников М. Л., Леонов А. В., Малых А. А., Мордкович В. Н., Мурашев В. Н., Пажин Д. М. Датчики внешних воздействий с частотным выходом на основе полевого МДПДМ-транзистора со встроенным каналом // Нано- и микросистемная техника. - 2013. – N 10(159). – С. 8-11

- Леонов А. В., Малых А. А., Мордкович В. Н., Павлюк М. И., Тонкопленочный кремниевый магниточувствительный полевой транзистор холловского типа с расширенным до 350°C диапазоном рабочих температур //Письма в Журнал Технической Физики. – 2016. – т. 42. – №. 2. – с. 30-36

- Леонов А. В., Малых А.А., Мордкович В.Н., Павлюк М.И., Автогенераторная схема преобразователя индукция–частота на основе полевого датчика Холла с регулируемой частотой //Приборы и техника эксперимента, - 2015, - № 5, - с. 59–61

- 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. – Т. 120. – С. 1197-1200

- Малых А.А., Мурашев В.Н., Датчик магнитного поля с управляемым частотным выходом на основе бистабильного мультивибратора и полевого датчика Холла в качестве чувствительного элемента // Электронная техника. Серия 3. Микроэлектроника., - 2016, - №1(161), - с.18-22

7. Тема диссертационной работы утверждена на заседании Ученого Совета Института Новых Материалов и Нанотехнологий 25 октября 2012 г., протокол № 10.12.

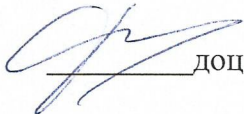
#### ПОСТАНОВИЛИ:

1. Диссертация Малых А.А. является законченной научно-исследовательской работой, и ее содержание соответствует специальности 05.27.01 – «Твердотельная электроника, радиоэлектронные компоненты, микро- и нанoeлектроника, приборы на квантовых эффектах».

2. Представленная на рассмотрение работа отвечает всем требованиям, предъявляемым ВАК при Минобрнауки России к кандидатским диссертациям.

3. Рекомендовать диссертационную работу Малых Антона Александровича «Микроэлектронные датчики с частотным выходом на основе КНИ чувствительного элемента транзисторного типа» к защите на диссертационном совете Д 002.204.01 при Физико-технологическом институте РАН на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.27.01 – «Твердотельная электроника, радиоэлектронные компоненты, микро- и наноэлектроника, приборы на квантовых эффектах».

Зав. кафедрой полупроводниковой  
электроники и физики полупроводников

 доц. Диденко С.И.

Ученый секретарь

 доц. Орлова М.Н.