

## **ОТЗЫВ ОФИЦИАЛЬНОГО ОППОНЕНТА**

на диссертационную работу 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

Развитие сенсорной техники в настоящее время является актуальной задачей, поскольку применение различных сенсоров глубоко проникло практически во все сферы человеческой деятельности. В последнее время все больше интереса уделяется многодатчиковым измерительным системам, а развитие беспроводных технологий обусловило активную разработку беспроводных сенсорных устройств и систем различного функционального назначения. В этой связи диссертационная работа А.А. Малых, направленная на разработку микроэлектронных датчиков с частотным выходом на основе универсального КНИ транзисторного чувствительного элемента, способных обеспечить улучшение характеристик и упрощение конструкций датчиковых устройств и систем (в том числе и беспроводных), безусловно, является актуальной.

Диссертант для разработки датчиков с частотным выходом (ДЧВ) использует оригинальный чувствительный элемент транзисторного типа, выполненный по КНИ технологии, так называемый полевой датчик Холла (ПДХ). ПДХ сочетает в себе свойства тонкопленочных МОП транзисторов со встроенным обогащенным каналом и двойным полевым управлением, а также традиционных кремниевых чувствительных элементов холловского типа. Такой КНИ транзисторный чувствительный элемент является интересным физическим объектом, что и продемонстрировано в диссертационной работе при изучении его свойств. В работе также убедительно показано, что микроэлектронный датчик с частотным выходом

на основе чувствительного элемента типа ПДХ может быть построен на основе различных физических явлений. В тексте диссертации приведено сравнение достоинств и недостатков различных конструкций датчиков с частотным выходом. При этом впервые показано, что наиболее интересными как с точки зрения характеристик датчика (прежде всего чувствительности), так и с точки зрения возможности практической реализации результатов работы, являются датчики с частотным выходом на основе мультивибратора. Именно такой датчик обладает простотой конструкции, не нужен усилитель сигнала, индуцированного внешним воздействием, автоматически осуществляется преобразование аналогового сигнала в частоту.

В работе А.А. Малых получены результаты, научная новизна и практическая полезность которых не вызывает сомнений. Особо отметить можно следующие новые научные результаты:

1. Показано, что конструкция КНИ тонкопленочного чувствительного МДПДМ элемента обеспечивает ему свойства универсального чувствительного элемента. Экспериментально показано, что такой чувствительный элемент с частотным выходом способен регистрировать как изменение индукции магнитного поля, так и воздействие температуры и радиации.

2. Впервые продемонстрировано, что в режиме аккумуляции электронов вблизи обеих границ интерфейсов  $\text{SiO}_2 - \text{Si}$  элемента, абсолютная чувствительность к магнитному полю возрастает.

3. Использование режима обогащения встроенного канала значительно повышает допустимую рабочую температуру датчиков.

Полезность полученных в диссертационной работе результатов характеризуется следующим:

1. Показано, что физические свойства использованного в работе КНИ транзисторного чувствительного элемента обеспечивают возможность управления рабочей частотой ДЧВ на его основе с помощью изменения потенциала на управляющих затворах чувствительного элемента. Это

позволяет регулировать диапазон рабочих частот, не прибегая к изменению его конструкции и состава использованных активных и пассивных элементов.

2. Применение КНИ чувствительного элемента транзисторного типа позволяет использовать различные физические механизмы как для формирования частотного выхода датчика, так и для преобразования сигнала чувствительного элемента в изменение частоты (использование осцилляций на ВАХ чувствительного элемента, использование в качестве нелинейного элемента в схеме автогенератора и использование в качестве элемента, управляющего рабочей частотой бистабильного мультивибратора).

3. В работе предложена и реализована схема универсального мультивибраторного ДЧВ на основе КНИ ПДХ, способная осуществлять измерения магнитного поля и температуры, используя единственный чувствительный элемент.

При проведении большого объема исследований А.А. Малых использовал надежные, зарекомендовавшие себя экспериментальные методики, а также аппаратуру, активно применяющуюся в микроэлектронике для изучения свойств транзисторов, чувствительных элементов и датчиков на их основе. Это характеризует надежность полученных в диссертационной работе результатов. Из анализа содержания диссертации следует ее высокая научная значимость как исследования, в котором получены новые данные о свойствах тонкопленочных КНИ МДПДМ транзисторных чувствительных элементов со встроенным каналом и ДЧВ на их основе. Безусловна и практическая значимость диссертации, результаты которой могут найти применение в различных областях сенсорной техники при разработке сенсорных систем как общего, так и специального назначения. Полученные данные надежны и достоверны, а основные выводы и заключения обоснованы. В целом, диссертационная работы А.А. Малых является исследованием, проведенным на высоком научном уровне.

По тексту работы имеются вопросы и замечания:

1. Не описано, какие параметры определяют линейные зависимости холловского напряжения (рис. 36), а также изменение частоты на выходе ДЧВ (рис. 62) (и соответствующие значения чувствительности) от величины индукции магнитного поля.

2. Неясно, как установлены значения критерия (Таб. 4) для определения температуры.

3. Не дано объяснение заметного максимума на зависимости выходной частоты ДЧВ (рис. 69) от потенциала на затворе.

Приведенные выше замечания не влияют на общую положительную оценку работы, которая получила широкую апробацию. Несколько статей опубликованы в ряде зарубежных научных изданий и 4 статьи по результатам работы опубликованы в изданиях, рекомендованных ВАК РФ. Опубликованные работы и содержание автореферата достаточно точно и полно передают содержание диссертации.

Таким образом, диссертационная работа А.А. Малых «Микроэлектронные датчики с частотным выходом на основе КНИ чувствительного элемента транзисторного типа» является законченным научным трудом и обладает всеми необходимыми элементами: актуальностью, достоверностью, новизной, научной и практической значимостью результатов и отвечает всем квалификационным признакам ВАК РФ для кандидатских диссертаций. Работа соответствует требованиям, предъявляемым к кандидатским диссертациям, изложенным в «Положении о порядке присуждения ученых степеней», утвержденном Постановлением Правительства Российской Федерации № 842 от 24 сентября 2013 г., и ее автор, Антон Александрович Малых, заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.27.01 – твердотельная электроника, радиоэлектронные компоненты, микро- и наноэлектроника, приборы на квантовых эффектах.

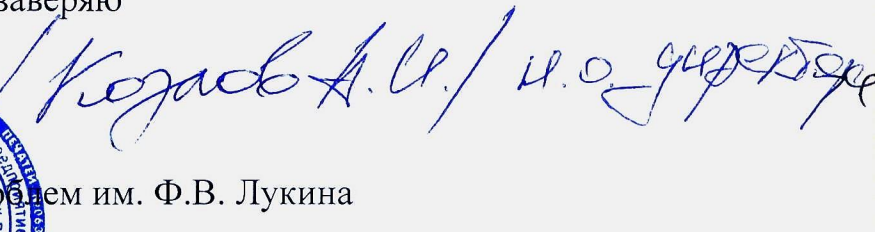
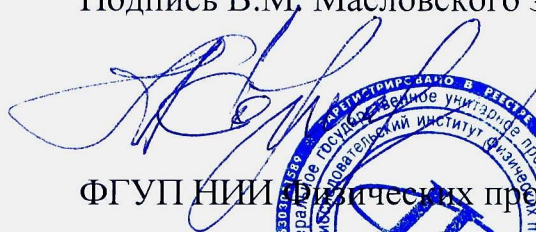
Официальный оппонент



В.М. Масловский,

д.ф.-м.н, профессор кафедры микро-и  
наноэлектроника МФТИ

Подпись В.М. Масловского заверяю



ФГУП НИИ физических проблем им. Ф.В. Лукина

