

УТВЕРЖДАЮ



Зам. генерального директора АО «НИИМЭ»,
доктор технических наук, профессор

Н.А. Шелепин

25 января 2017 г.

ОТЗЫВ ВЕДУЩЕЙ ОРГАНИЗАЦИИ

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 наноэлектроника, приборы на квантовых эффектах

Диссертационная работа Малых А.А. посвящена технически актуальной задаче построения датчиков с цифровым выходом, в том числе датчиков на основе эффекта Холла. В работе проведены исследования по двум направлениям. Первое направление - исследования электрических характеристик первичного преобразователя, в качестве которого выбран известный из литературы двухзатворный магниточувствительный полевой транзистор на КНИ структуре. Второе - связано со схемотехническими решениями, позволяющими преобразовать исходно аналоговый сигнал со структуры Холла в периодический, например меандр, на выходе датчика. В составе задач приборного направления до сих пор много не до конца изученных вопросов, связанных, например, с поперечным распределением и подвижностью носителей заряда в тонком полупроводниковом канале между двумя диэлектрическими слоями. Поиск вариантов оптимальных схемотехнических решений «электронной обвязки» применительно к конкретному типу и конструкции сенсора – важнейшая прикладная задача. В связи с этим актуальность темы диссертационной работы сомнений не вызывает.

В части исследования двухзатворной структуры Холла, выполненной на основе КНИ с легированным рабочим слоем кремния, следует отметить большое количество оригинальных экспериментальных данных, которые автор подвергает

всестороннему анализу с позиций, как электрофизических явлений, так и материаловедческих подходов. Среди них следует отметить поиск оптимального соотношения потенциалов на верхнем и нижнем – лежащим со стороны подложки КНИ структуры – полевых затворах. Анализ ведется с точки зрения получения максимального продольного тока в канале и холловского напряжения при заданной напряженности поперечного магнитного поля и напряжением между истоком и стоком с целью добиться наибольшей крутизны преобразования сенсора датчика. В итоге, оптимальными оказываются равные значения положительных потенциалов на верхнем и нижнем затворах, обеспечивающие более чем 2-х кратное увеличение тока в канале холловской структуры. Автор дает свою версию объяснения этого факта на основе предположения об образовании двух одинаковых по толщине обогащенных электронами слоев с увеличенной подвижностью носителей заряда в них. Такое поперечное расщепление в распределении носителей заряда возникает вблизи границ раздела рабочего слоя кремния с верхним и встроенным в КНИ слоем SiO_2 . Вторая интересная задача в этой части работы – анализ температурной зависимости продольной проводимости в поперечно расщепленном электрическими полями двух затворов канале. Диссертант такие зависимости объясняет с позиции тепловой генерации электронно-дырочных пар по механизму зона-зона генерация в среднем слое канала, обедненном электронами под действием разнонаправленных полей затворов.

Автор диссертации предлагает использовать исследуемую структуру Холла при различных схемах ее включения не только для контроля величины магнитной индукции, но также для измерения температуры и ионизирующей радиации. В работе показано, что чувствительные элементы типа полевых датчиков Холла (ПДХ) могут обладать широким диапазоном рабочих температур, верхнее значение которого превышает на сотни градусов температурный предел функционирования традиционных КНИ МОП транзисторов с индуцированным каналом. Физически это обусловлено тем, что ПДХ является МДПДМ транзистором со встроенным каналом, функционирующим в режиме обогащения канала электронами. Дополнительно порог температуры датчика повышается за счет цифрового выхода информационного сигнала.

При разработке конструкций датчиков с частотным выходом автор изучил три различные возможности их создания, а именно: на основе собственных осцилляций тока ПДХ в режиме лавинного умножения носителей заряда в канале, на основе использования ПДХ как нелинейного элемента автогенератора и на основе использования ПДХ в качестве элемента, управляющего режимами работы бистабильного мультивибратора. В соответствующих разделах диссертации автор представил варианты схем включения ПДХ, в которых он способен обеспечить независимое преобразование в изменение частоты выходного сигнала уровня температуры или ионизирующего излучения.

Показано, что использование ПДХ позволило существенно расширить возможности и улучшить характеристики мультивибраторного датчика магнитного поля с частотным выходом за счет управления рабочей частотой мультивибратора и улучшения линейности преобразования. На основе этих решений удалось экспериментально реализовать на основе ПДХ измеритель магнитного поля и температуры с абсолютной чувствительностью к магнитному полю порядка 2.2 кГц/мТл, к температуре порядка 1.4 кГц/°С. При этом крутизна управления рабочей частотой датчика с помощью потенциала на затворах ПДХ составила порядка 40 кГц/В.

Диссертационная работа написана лаконично и ясно. Научные положения и выводы работы обладают научной новизной, бесспорной практической полезностью, являются обоснованными и достоверными. Автореферат адекватно отражает содержание диссертации, которое достаточно полно изложено в научных публикациях и докладах на российских и международных конференциях.

Научная значимость работы Малых А.А. определяется полученной совокупностью дополнительных экспериментальных данных, указывающих на феномен повышения подвижности носителей заряда во встроенном канале КНИ структуры при формировании в нем определенной конфигурации поперечного распределения носителей заряда, а также развиваемыми моделями повышения предельных рабочих температур таких структур.

Область применения результатов диссертационной работы лежит в плоскости разработки высокотемпературных полупроводниковых датчиков различных физических величин, способных работать в условиях повышенных

температур и радиации, например в условиях космоса и первой зоны ядерных реакторов. В качестве организации, заинтересованной в результатах диссертационной работы можно назвать, например АО «ПКК Миландр».

В части модельных представлений об электрофизических явлениях во встроенном канале полевой структуры с двумя встречными затворами, выполненной на основе КНИ структуры, следует сделать следующие замечания:

1. Автор утверждает, что в режиме расщепления поперечной проводимости канала ПДХ при подаче одинаковых напряжений на оба затвора подвижность носителей заряда возрастает. В тоже время в работе приведен характер поперечного распределения носителей заряда (рис.41 на стр.67), который никак не указывает на возможность появления этого эффекта. Для обоснованных суждений на эту тему в работе явно недостает решения уравнения Пуассона или компьютерного моделирования для теоретической оценки поперечного распределения носителей заряда в канале.

2. Температурная зависимость проводимости канала определяется не только тепловой генерацией носителей заряда в нем, но также изменением емкостей затворов, например за счет температурного дрейфа диэлектрической проницаемости подзатворных диэлектриков и параметров границ раздела с ними. Желательно было бы сравнить вклад этих двух механизмов.

Указанные замечания следует рассматривать как пожелания на дальнейшее развитие работы и не влияют на общую положительную оценку диссертации. Работа Малых А.А. представляет собой законченный научный квалификационный труд, соответствует требованиям ВАК к диссертациям на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.27.01 – твердотельная электроника, радиоэлектронные компоненты, микро- и нанoeлектроника, приборы на квантовых эффектах, а ее автор, А.А. Малых, заслуживает присуждения искомой ученой степени.

Отзыв обсужден на заседании семинара отдела Функциональной электроники (отдел №24) 24 января 2017 года. Протокол № 03/17.

Начальник отдела №24, д.ф.-м.н.



А.Г. Итальянцев

Ученый секретарь семинара, к.ф.-м.н.



И.В. Матюшкин

Акционерное общество «Научно-исследовательский институт молекулярной
электроники (АО «НИИМЭ»)

Почтовый адрес: 124460, г. Москва, Зеленоград, 1-й Западный проезд, д.12, стр.1

Телефон: (495) 229-74-75, факс (495) 229-77-02