

ОТЗЫВ

официального оппонента Коханенко Андрея Павловича
на диссертацию МАКСИМЕНКО ЮРИЯ НИКОЛАЕВИЧА «Мощные
полупроводниковые приборы со статической индукцией»,
представленной к защите на соискание ученой степени доктора
технических наук по специальности 2.2.2 - «Электронная компонентная
база микро- и наноэлектроники, квантовых устройств»

Сегодня силовая электроника играет огромную роль в преобразовании электрической энергии и ее эффективность и надежность определяется мощными высоковольтными ключами. Идет постоянный рост требований к их основным параметрам: низкое потребление мощности во включенном и выключенном состояниях, а также низкое потребление мощности на высоких частотах. Применяемые сегодня в качестве ключей мощные полупроводниковые приборы, такие как БТ, МОП, IGBT и пр. не всегда удовлетворяют современным требованиям.

В этой связи, работа Максименко Ю. Н., посвященная созданию мощных полупроводниковых приборов со статической индукцией, обладающих уникальными ключевыми характеристиками, безусловно, является актуальной и имеет большое практическое значение для отечественной электронной отрасли.

К основным научным результатам следует отнести:

1. разработаны физико-математические модели для анализа структуры приборов со статической индукцией с использованием Sentaurus TCAD для расчета статических и динамических ВАХ;

2. с помощью проведенных теоретических исследований, разработаны конструкции:

- транзистор со статической индукцией (СИТ), у которого исключена паразитная область затвора, что позволило увеличить рабочую частоту более чем на порядок;

- СИТ с быстродействующим диодом;
- составной СИТ-СИТ;
- СИТ защитными стабилитронами на входе и на выходе;

- прибор с N-образной характеристикой для защиты РЭУ от перегрузок по току;

3. предложена новая технологическая схема формирования структуры кристалла приборов со статической индукцией, обеспечивающая процент выхода годных по кристаллу в 3-4 раза выше технологической схемы, которая применялась ранее при выпуске серийных приборов на всех предприятиях, выпускающих приборы данного класса;

4. разработана новая конструкция приборов со статической индукцией, у которой n^+ область истока заменена на гетеропереход, что приводит к существенному снижению сопротивления канала в открытом состоянии и повышению максимальной рабочей частоты;

5. предложены новые конструкции тиристоров со статической индукцией с планарным катодом на Si и GaAs, которые существенно превосходят известные тиристоры по основным электрическим параметрам;

6. разработаны схемы управления приборами со статической индукцией с нормально открытым каналом для УМ и ВИЭП, которые не требуют дополнительный источник, запирающий силовой прибор перед запуском основной схемы РЭУ.

Научные результаты получены на основе:

- фундаментальных положений теории физических механизмов работы полевых транзисторов с управляющим p-n переходом;
- физико-химических основ полупроводниковой технологии;
- теории и методов измерений электрофизических и электрических параметров полупроводниковых структур и приборов.

На этом основании считаю научные результаты и выводы диссертации обоснованными.

Достоверность полученных соискателем результатов подтверждается тем, что на основе этих результатов разработаны конструкции и технологии СИТ и тиристоров, которые позволили наладить промышленное массовое производство приборов со статической индукцией на полупроводниковых заводах г. г. Новосибирска, Александрова, Брянска, Махачкалы, Винницы. Эффективность разработанных технологий изготовления приборов подтверждается результатами

измерений их параметров и характеристик. Важно, что новизна и приоритет предложенных автором конструктивно-технологических решений защищены 14 авторскими свидетельствами и патентами на изобретения СССР и РФ.

В диссертационной работе впервые получены следующие результаты:

1. Разработаны физико-математические модели для приборов со статической индукцией, работающих в биполярном и полевом режимах, позволяющие проводить быстрый инженерный расчет основных электрических параметров приборов с планарным затвором для статического и динамического режимов работы, а также оптимизировать конструкцию кристалла.

2. Исследованы конструкции СИТ и ТЭУ и разработаны новые с более высокими электрическими характеристиками: повышено быстродействие более чем на порядок, увеличен коэффициент усиления по току в 2-3 раза.

3. Разработаны конструкции новых приборов: прибор с N-образной характеристикой, СИТ с антипараллельным быстродействующим диодом на одном кристалле, конструкция составного СИТ, конструкция СИТ и ТЭУ с гетероистокком и гетерокатодом, конструкция и технология ТЭУ с полевым управлением.

4. Разработаны оригинальные схемы управления приборов со статической индукцией с нормально открытым каналом для усилителей мощности звуковых частот и вторичных источников электропитания.

Практическое внедрение результатов смотрится в использование разработанных физико-математических моделей при проектирование новых конструкций приборов со статической индукцией. Это существенно сократит сроки ОКР. Освоение в серийном производстве разработанных новых приборов со статической индукцией внесет значительный вклад для выхода отечественной силовой электроники на новый уровень.

Диссертация состоит из введения, шести глав, заключения, списка сокращений и условных обозначений, списка литературы, включающего 124 наименований, и трех приложений, в т.ч. двух актов внедрения результатов диссертации в серийное производство ХК ПАО «НЭВЗ-Союз» (г. Новосибирск), ООО «Эльдаг» (г. Махачкала). Общий объем работы составляет 210 страниц, включая 105 рисунка и 8 таблиц. Результаты диссертационного исследования опубликованы в 25 научных работах (двух сборниках научных конференций в 2023

г.), защищены 14-тью авторскими свидетельствами и патентами на изобретения СССР и РФ.

В целом диссертационная работа представляет результаты авторского выполнения исчерпывающего объема исследований и разработок, включающего постановку задач, разработку промышленных технологий и внедрение в серийное производство разработанных на основе этих технологий серию полупроводниковых приборов со статической индукцией.

Содержание автореферата соответствует основным идеям и выводам диссертации.

В качестве замечаний по работе можно отметить следующее:

1. На странице 92 представлен рисунок 2.16. Рисунок прекрасно поясняет суть проблемы, однако было бы значительно убедительнее, если бы он был бы также выполнен в виде фотографии сечения с электронного микроскопа. И тем более – такая иллюстрация была бы подтверждением в виде сравнительных фото по «старой» и «новой» технологиям изготовления.

2. Автор рассматривает модели транзисторов, приводит графики расчетов. Однако ни на одном графике нет подтверждения (или не подтверждения) расчетов экспериментальными данными, как например выполнено на рис.5.4.

3. В главе 1.6 (физико-математические модели СИТ для полевого режима работы) в уравнение 1.22 не совпадает размерность входящих в него величин, а на рис. 1.24 не указана точка согласования, на которую автор ссылается на стр. 45.

4. В технологических схемах формирования структуры кристалла, рассмотренных в главе 2, глубина n^+ истока рассматривается в пределах 0,2 мкм, а в главе 5 при разработке модели для расчета статических ВАХ СИТ для биполярного режима работы в параметрах моделируемой структуры (стр. 139) глубина n^+ истока взята 1,1 мкм и расчеты проводятся для глубин 0,5; 1,1; 1,7; 2,5 мкм (стр. 145).

Представленные замечания не снижают высокий уровень представленной работы.

Диссертационная работа Максименко Юрия Николаевича на соискание ученой степени доктора технических наук представляет собой цельную, завершенную во всех аспектах научно-исследовательскую работу, содержащую

решение актуальной проблемы по созданию мощных полупроводниковых приборов со статической индукции, превосходящих по основным параметрам известные на настоящий момент времени силовые полупроводниковые приборы. Это дает основу новому направлению развитие техники и технологий создания и промышленного внедрения современных отечественных силовых полупроводниковых приборов и вносит значительный вклад для выхода отечественной силовой электроники на новый уровень.

Диссертация полностью соответствует всем требованиям к докторским диссертациям указанным в п. 9-14 Положения о присуждении ученых степеней, утвержденным постановлением правительства РФ от 24.09.2013 г. № 842, а ее автор Максименко Юрий Николаевич заслуживает присуждения ученой степени доктора технических наук по специальности 2.2.2 – «Электронная компонентная база микро- и нанoeлектроники, квантовых устройств».

Отзыв составил **Коханенко Андрей Павлович**, доктор физико-математических наук, старший научный сотрудник, Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Национальный исследовательский Томский государственный университет» (г. Томск), кафедра квантовой электроники и фооники, профессор кафедры.

Адрес: 634050, г. Томск, проспект Ленина, д. 36, тел. +7-960-974-56-23, e-mail: kokh@mail.tsu.ru

Официальный оппонент

А. П. Коханенко

«01» апреля 2025 г.

Поступил в адм 15.04.2025
Ознакомлен 5 15.04.2025