

## ОТЗЫВ

на автореферат диссертации

Сиделева Алексея Владимировича «Разработка детекторов поглощенной дозы ионизирующего излучения с чувствительными элементами на основе р-канальных МНОП-транзисторов» на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.2.2. Электронная компонентная база микро- и нанoeлектроники, квантовых устройств

Тема диссертации Сиделева А.В. является актуальной, поскольку данная работа посвящена решению важной научно-технической задачи разработки в рамках единой конструктивно-технологической концепции детекторов поглощенной дозы ионизирующего излучения (ИИ) с чувствительными элементами на основе МДП-транзисторов для широкого спектра условий применения. Детекторы на основе приборных МДП-структур и, в частности, р-канальных транзисторов со структурой «металл – нитрид кремния – оксид кремния – полупроводник» (МНОП-транзисторов) обладают целым рядом преимуществ перед другими детекторами поглощенной дозы. К основным таким преимуществам несомненно относится возможность дозиметрии в режиме on-line, что важно для задач in vivo дозиметрии в ядерной медицине, а также возможность измерения дозовых нагрузок в полупроводниковых кристаллах изделий электронной техники в условиях смешанного состава ионизирующего излучения, что, в частности, характерно для космического применения.

Исследования в рамках диссертации Сиделева А.В. были нацелены на обоснование конструкции затворных систем и электрических режимов работы детекторов поглощенной дозы ионизирующего излучения на основе р-канальных МНОП-транзисторов для различных условий применения (космическая аппаратура, in vivo дозиметрия, дозиметрическое сопровождение радиационных испытаний, применение в условиях объектов использования атомной энергии), поскольку именно эти характеристики имеют решающее значения с точки зрения влияния на радиационную чувствительность и диапазон измерения поглощенной дозы излучения. Автор диссертации последовательно выстроена методология проводимого исследования, в ходе которого сначала был проведен анализ имеющихся решений, затем выбрана конструкция р-канального МНОП-транзистора, использующегося в качестве чувствительного элемента детектора, разработана физическая модель прогнозирования изменения информативных параметров в зависимости от поглощенной дозы ИИ, разработана топология и технология изготовления транзистора, изготовлены и исследованы образцы детекторов. При этом были получены результаты, характеризующиеся научной новизной. К основным таким результатам относятся следующие.

1. Предложенная автором физическая модель для прогнозирования радиационной чувствительности и диапазона измеряемых доз детекторов поглощенной дозы ИИ на основе р-канальных МНОП-транзисторов. В данной модели, в отличие от ранее существующих моделей, учитывается влияние накопленного заряда на границе раздела  $\text{Si}_3\text{N}_4 / \text{SiO}_2$  на напряженность электрического поля в слоях диэлектрика и на выход заряда в  $\text{SiO}_2$ . Модель применима, в том числе, при слабых электрических полях в  $\text{SiO}_2$  с напряженностью менее  $10^3$  В/см.

2. Установленные на основании проведенных исследований особенности и закономерности изменения информативных параметров детекторов на основе р-канальных МНОП-транзисторов, а именно:

- нелинейный характер дозовой зависимости информативного параметра;
- немонотонный характер зависимости радиационной чувствительности от приложенного к затвору отрицательного напряжения;
- близкие значения радиационной чувствительности при изменении полярности приложенного к затвору напряжения.

Автором предложены физические механизмы, объясняющие возникновение данных эффектов.

Практическая значимость результатов диссертации в первую очередь определяется тем, что автором были разработаны, изготовлены и апробированы дозиметры на основе



исследованных детекторов поглощенной дозы, кроме того, тем, что была разработана технология изготовления детекторов, готовая к внедрению в серийное производство. Практическая значимость подтверждена имеющимися актами внедрения результатов диссертации.

Результаты диссертации в достаточном объеме опубликованы в научных изданиях. Автором опубликовано 9 научных работ, из которых 7 работ опубликовано в изданиях, рекомендованных ВАК, и 2 работы – в изданиях, индексируемых в базах цитирования Scopus и Web of Science. Кроме того, опубликовано 20 работ в сборниках трудов российских и международных конференций.

По автореферату имеются следующие замечания.

1. На рисунке 1 не продемонстрирован положительный заряд, захватываемый на дырочные ловушки в  $\text{SiO}_2$ , кроме того было бы целесообразно представить два рисунка для случаев положительного и отрицательного напряжения на затворе.

2. В автореферате не указано, есть ли физический смысл у коэффициента  $M$  в формуле (1), и если есть – то в чем он заключается.

3. В автореферате не указано, проводились ли эксперименты по исследованию зависимости изменения напряжения между затвором и истоком МНОП-транзистора и уровнем поглощенной дозы (формула (1)) от температуры (например, из-за возможного смещения "рабочей точки" с увеличением температуры).

Указанные замечания не влияют на общую положительную оценку диссертации.

Диссертация Сиделева А.В. является законченным научным исследованием, которое обладает актуальностью, новизной и практической значимостью. Диссертация полностью соответствует всем требованиям Положения «О присуждении ученых степеней», утвержденным постановлением Правительства РФ от 24.09.2013 № 842 в его действующей редакции, предъявляемым к кандидатским диссертациям, а её автор, Сиделев Алексей Владимирович, заслуживает присуждения учёной степени кандидата технических наук по специальности 2.2.2. Электронная компонентная база микро- и нанoeлектроники, квантовых устройств.

Отзыв подготовил

Ведущий научный сотрудник отдела 01203,  
кандидат технических наук



Протопопов Григорий Александрович

"02" 12 2025 года

Сведения:

Ученая степень: кандидат технических наук по специальности 05.27.01. Твёрдотельная электроника, радиоэлектронные компоненты, микро- и нанoeлектроника, приборы на квантовых эффектах.

Должность: ведущий научный сотрудник

Организация: Акционерное общество "Центральный научно-исследовательский институт машиностроения"

Адрес организации: 141070, Московская область, г. Королёв,  
ул. Пионерская, д. 4

Телефон: +7 (495) 513-45-67

Адрес электронной почты: ProtopopovGA@tsniimash.ru

Сайт организации: <https://tsniimash.ru/>

**Подпись Протопопова Григория Александровича заверяю:**

Главный ученый секретарь АО "ЦНИИмаш",

Доктор технических наук, старший научн

"02" 12 2025 г.



королёв



/ В.Ю. Ключников