

ОТЗЫВ

официального оппонента д.ф.-м.н., профессора А.А. Ежевского
на диссертационную работу
Ширяева Алексея Александровича
«Прогнозирование дозовой радиационной стойкости КМОП-микросхем на
основе анализа вольт-амперных характеристик слоев диоксида кремния»,
представленную на соискание ученой степени
кандидата технических наук по специальности
2.2.8 – «Методы и приборы контроля и диагностики материалов, изделий,
веществ и природной среды»

Актуальность темы исследования

В настоящее время в атомной энергетике и некоторых других областях промышленности предъявляются все более высокие требования к электронной компонентной базе в части радиационной стойкости. Для подтверждения заявленного уровня стойкости микросхем к накопленной дозе необходим монтаж микросхемы в корпус и ее облучение до определенной накопленной дозы, что требует значительных временных и материальных затрат. В связи с этим задача экспрессного прогнозирования радиационной стойкости КМОП-микросхем без применения облучения по-прежнему остается актуальной.

Другой важной проблемой в современной микроэлектронике является обеспечение надежности КМОП-микросхем и, в частности, оценка целостности и времени наработки на отказ подзатворного диэлектрика МОП-транзисторов. Метод, предлагаемый в диссертации Ширяева А.А., направлен как на диагностику качества слоев диоксида кремния в целом, так и на прогнозирование его радиационной чувствительности и уровня радиационной стойкости микросхем на его основе.

Степень обоснованности научных положений, выводов и рекомендаций, сформулированных в диссертации

Структура и логика изложения соответствует поставленным в диссертации задачам исследования. Для решения поставленных задач и

проверки выдвинутых гипотез автор опирается как на глубокий литературный обзор, так и на результаты разностороннего экспериментального исследования методами спектральной эллипсометрии, электронного парамагнитного резонанса (ЭПР), вторично-ионной масс-спектрометрии (ВИМС).

Диссертация состоит из введения, четырех глав, заключения, списка литературы и одного приложения. Основной текст диссертации изложен на 131 странице печатного текста.

Во введении обоснована актуальность темы исследования, охарактеризована степень научной проработанности проблемы, сформулированы цель и задачи исследования, приведены наиболее существенные результаты работы, выносимые на защиту и обладающие научной новизной.

В первой главе диссертации автор подробно рассматривает дефекты в слоях диоксида кремния, влияющие на радиационную стойкость микросхем, и методы их диагностики. Описана природа и свойства собственных дефектов (трехкоординированные атомы кремния, вакансии кислорода и другие), примесных дефектов и дефектов, обусловленных релаксацией механических напряжений структуры. Проанализированы преимущества и недостатки существующих методов диагностики радиационной чувствительности слоев диоксида кремния. Автором сделан вывод о необходимости разработки новых методов, которые сочетали бы в себе простоту реализации и экспрессность.

Во второй главе описана разработка предложенного метода диагностики на основе анализа вольт-амперных характеристик (ВАХ). Описана процедура определения параметров дефектов путем анализа различных участков ВАХ тестовых МОП-конденсаторов, содержащих исследуемый диэлектрический слой. Предложен коэффициент дефектности на основе этих параметров. Для подтверждения адекватности оценки дефектности предложенным методом проведена его апробация на слоях

диоксида кремния, полученных по разным технологиям, с привлечением методов спектральной эллипсометрии и электронного парамагнитного резонанса.

В третьей главе автор приводит результаты разработки модели, описывающей деградацию порогового напряжения МОП-транзистора в результате облучения на основе результатов контроля тока утечки подзатворного оксида до облучения. Автором выведена формула зависимости радиационно-индуцированного сдвига порогового напряжения от плотности тока утечки подзатворного оксида до облучения. Модель показала хорошую сходимость с результатами эксперимента.

В четвертой главе представлен алгоритм прогнозирования дозовой радиационной стойкости КМОП-микросхем, включающий контроль дефектности слоя диоксида кремния и оптимизацию технологии его получения на этапе отработки технологии, а также отбраковку потенциально не стойких микросхем по значению плотности тока утечки слоев диоксида кремния. Представлены результаты применения данного алгоритма на практике в процессе производства, способствующие повышению выхода годных радиационно-стойких микросхем и снижению затрат на испытания.

В заключении диссертационной работы представлены основные выводы по диссертации.

Таким образом, на основе анализа предметной области, адекватной постановки научной проблемы и частных задач исследования, корректного применения наукоемких методов исследования получены вполне достоверные и обоснованные результаты.

**Научная новизна положений, выводов и рекомендаций,
сформулированных в диссертации**

К наиболее важным научным результатам исследования, характеризующим его новизну, могут быть отнесены:

1) анализ вольт-амперных характеристик слоев диоксида кремния с точки зрения их связи с технологией получения слоя и его радиационной чувствительностью;

2) метод диагностики слоев диоксида кремния на основе анализа ВАХ и коэффициент, характеризующий дефектность и радиационную чувствительность слоя;

3) модель радиационно-индуцированной деградации порогового напряжения МОП-транзистора на основе контроля тока утечки подзатворного оксида до облучения;

4) алгоритм, позволяющий прогнозировать дозовую радиационную стойкость КМОП-микросхем путем контроля дефектности слоев диоксида кремния на этапе отработки технологии и тока утечки подзатворного оксида на этапе рабочих партий.

Значимость для науки и практики выводов и рекомендаций, полученных в диссертации

Теоретическая значимость исследования состоит в выявлении новых связей технологии получения полупроводниковых структур, их дефектности и радиационной чувствительности и, в конечном итоге, радиационной стойкости микросхем. Практическая значимость исследования состоит в разработке нового метода диагностики слоев диоксида кремния, методики его применения, внедрения разработанных метода и модели в производство радиационно-стойких микросхем.

Замечания по содержанию и оформлению диссертации

1. Начну с постановки цели и задач работы. На мой взгляд, разработанный метод (ВАХ) не является методом, дающим информацию о структуре диэлектрика. Здесь можно говорить лишь об установлении связи между наблюдаемыми особенностями ВАХ с дефектностью в структуре диэлектрика.

2. Основные положения, выносимые на защиту. Метод.... Модель.... Алгоритм.... не являются положениями. Положения – это утверждения, сформулированные на основе проведенных исследований.

3. В тексте диссертации сказано, что концентрацию центров определяют по сравнению добротности системы, содержащей исследуемый образец, с добротностью системы, содержащей калибровочный образец. В действительности, концентрация определяется с учетом изменения добротности, но не определяется ей. К сожалению, не приведена формула, по которой определялась концентрация парамагнитных центров, не указан тип калибровочного образца. Существенны также температура измерений и основные параметры спектрометра, при которых производились измерения. Эти параметры не приведены в диссертации. Это относится и к определению концентрации ЭПР-активных центров в захороненном оксиде на странице 76.

4. «... различные дефекты взаимодействуют между собой, что известно под термином геттерирование». Не обязательно. При взаимодействии чаще происходит образование комплексов, как новых дефектов, но о геттерировании речь может не идти.

5. Наблюдается несоответствие размерностей в формуле (1.4) и количества атомов кислорода в левой и правой частях формулы (1.20). Отсутствует формула 2.13, на которую есть ссылки в тексте. Не хватает пояснений к рисункам, например, 1.3, 1.5, 2.18. Также отсутствуют ссылки на работы, из которой взяты рисунки 1.10 и 1.11. В целом работа ясно отражает суть исследований, легко читается, несмотря на имеющиеся опечатки и неудачные выражения.

Представленные выше замечания не снижают ценности и обоснованности содержания диссертации. Работа в целом является логически законченным научным исследованием, выполненным на высоком уровне, и заслуживает положительной оценки.

Заключение о соответствии диссертации установленным требованиям

Диссертационное исследование Ширяева А.А. выполнено на актуальную тему, представляет собой законченную работу, имеет теоретическую и практическую значимость.

Основные результаты изложены в 15 научных трудах (6 работ опубликованы в изданиях, рекомендованных ВАК РФ), апробированы и получили положительную оценку.

Автореферат и публикации соискателя отражают основное содержание диссертации и соответствуют специальности 2.2.8 – «Методы и приборы контроля и диагностики материалов, изделий, веществ и природной среды».

Таким образом, диссертация Ширяева Алексея Александровича является самостоятельной законченной научно-квалификационной работой, соответствует требованиям ВАК, предъявляемым к кандидатским диссертациям, а ее автор – Ширяев Алексей Александрович заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.2.8 – «Методы и приборы контроля и диагностики материалов, изделий, веществ и природной среды».

Официальный оппонент
доктор физико-математических наук,
профессор,
профессор кафедры Физики
полупроводников, электроники и
наноэлектроники
ННГУ им. Н.И. Лобачевского



Ежевский Александр Александрович

Тел.: +7 910 791 3006
E-mail: ezhevski@phys.unn.ru

