

В диссертационный совет
Д.212.268.04 при ФГБОУ ВО
«Томский государственный
университет систем управления
и радиоэлектроники»

ОТЗЫВ

на автореферат докторской диссертации Сахарова Ю. В. «Структура и свойства пористых оксидных пленок, модифицированных углеродом», представленной на соискание ученой степени доктора технических наук по специальности 01.04.04 – физическая электроника

Уменьшение топологических размеров ИС сопровождается поиском новых конструктивных и технологических решений в процессах создания систем многоуровневой разводки ИС. Общая длина межсоединений в современной ИС приближается к 10 км на кристалл, при этом для обеспечения коммутации всех элементов необходимо создание до 10 уровней системы металлизации. Ограничения на пути дальнейшего увеличения степени интеграции обусловлены значительным увеличением времени задержки распространения сигнала и мощности, выделяемой в системе межсоединений. Для обеспечения перехода на меньшие проектные технологические нормы в микроэлектронной индустрии разрабатывают новые технологии формирования систем металлизации с использованием медных проводников и изолирующих/диэлектрических слоев с низкой ($k < 3,8$) и ультранизкой ($k < 2,2$) диэлектрической проницаемостью. Снижение величины k обеспечивается созданием пористых структур с размером пор в единицы нанометров и объемной пористостью 20–50%.

Все существующие способы изготовления нанопористых материалов имеют сложности при встраивании их в стандартные технологические процессы, ограничения в гибкости процесса и обеспечении заданных параметров пористости. Хорошо известны и иные применения пористых пленок: в качестве просветляющих и антиотражающих покрытий, волноводов и интерференционных фильтров, активных слоев газочувствительных датчиков, датчиков влажности, наномембран и фильтров.

Сказанное позволяет утверждать, что диссертационная работа Сахарова Ю.В. «Структура и свойства пористых оксидных пленок, модифицированных углеродом», посвященная разработке физико-химических основ синтеза пористых оксидных пленок путем их модификации углеродом в плазме тлеющего разряда является **актуальной**.

К достоинствам метода, предложенного автором, можно отнести возможность работы в условиях вакуума, универсальность, а также гибкость в управлении пористостью, структурой и размерами пор, а соответственно

электрическими, оптическими и механическими свойствами пленок оксидных диэлектриков.

Научная новизна заключается в полученных экспериментальных результатах по влиянию углерода в плазме тлеющего разряда на структуру, состав, параметры пористости, электрическую формовку, электрические, оптические и механические свойства тонких оксидных пленок.

Практическая значимость заключается в возможности получения в условиях вакуума пленок оксидных диэлектриков толщиной от 40 до 400 нм с заданными параметрами пористости, то есть с заданными электрическими, оптическими и механическими свойствами.

Научные положения, выносимые на защиту, полностью отражают научную новизну и практическую значимость работы, достоверны и имеют некоторую доказательную базу.

Анализ автореферата показывает, что диссертантом проведена большая экспериментальная работа с использованием современных методов анализа: электронная микроскопия, Оже-спектроскопия, ИК-спектроскопия, эллипсометрия и др. В тексте автореферата приведены результаты, последовательно раскрывающие содержание научных положений, вынесенных на защиту. Выводы полностью соответствуют поставленным в работе целям и задачам. Выводы и рекомендации, изложенные в автореферате, представляются достаточно обоснованными и не противоречат существующим научным представлениям. Текст автореферата логично структурирован, написан технически грамотным и понятным языком, имеет пояснения, рисунки, графики, примеры. Оформление автореферата соответствует требованиям ГОСТ Р 7.0.11 – 2011.

Главным результатом работы можно считать предложенный и реализованный автором новый метод формирования пористой структуры тонких оксидных пленок в условиях вакуума путем их модификации углеродом в плазме тлеющего разряда. К достоинствам данного метода можно отнести универсальность, гибкость в управлении пористостью, структурой и размерами пор, а соответственно электрическими, оптическими и механическими свойствами пленок диэлектриков.

Замечания по тексту автореферата.

1. В автореферате нет достаточных сведений о структуре и механизмах модификации пленок углеродом (приведены только данные РЭМ): в каком виде и количестве углерод (наблюдаемый на ИК спектрах) остается в сформированных пленках (образует химические связи, остается на стенках и пр.), наблюдается ли дефицит кислорода, каков разброс размеров «стержней» матричного материала (из приведенного рис.2 видно, что он очень велик) и какова дисперсия пор, наблюдается ли пространственное упорядочение? Изучались ли способы гидрофобизации пленок в связи с большим количеством в них остаточных гидроксидов?

2. Одним из важнейших применений пористых пленок оксида кремния автор считает их использование в качестве изолирующего диэлектрика в системах многоуровневой металлизации. Материал для таких применений должен обладать не только низкой диэлектрической проницаемостью (менее 2,5), но и комплексом физических параметров для его интеграции в полупроводниковые технологии: размер пор менее 1 – 1.5 нм, модуль Юнга более 5 ГПа, стойкость к воздействию плазмы, адгезия к барьерам и металлам, малые утечки, высокие напряжения пробоя и др. В автореферате нет сведений об исследовании подобных параметров полученных материалов.
3. Электрические измерения были выполнены в вакуумной камере, видимо, из-за высокой гигроскопичности пористого материала. Остается неясным, как стабилизировать параметры материала в условиях реальных устройств.

Указанные замечания не снижают общую положительную оценку диссертационной работы.

Можно отметить, что диссертационная работа «Структура и свойства пористых оксидных пленок, модифицированных углеродом» соответствует всем требованиям «Положения о порядке присуждения ученых степеней», утвержденного Постановлением правительства РФ № 842 от 24 сентября 2013 г., а ее автор, Сахаров Юрий Владимирович, заслуживает присуждения ученой степени доктора технических наук по специальности 01.04.04 – физическая электроника.

Президент МИРЭА - Российского
технологического университета
доктор физико-математических наук,
профессор, академик РАН



А.С. Сигов

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «МИРЭА - Российский технологический университет», (РТУ МИРЭА)

119454, г. Москва, Проспект Вернадского, д. 78, Россия
Телефоны: +7 495 434-74-74, +7 499 215-65-65 доб. 5050
E-mail sigov@mirea.ru