

УТВЕРЖДАЮ

Врио директора  
ФТИАН РАН  
чл. корр. РАН



В.Ф. Лукичев

«23» ноября 2015 г.

## ОТЗЫВ ВЕДУЩЕЙ ОРГАНИЗАЦИИ

Физико-технологического института Российской академии наук (ФТИАН РАН)  
на диссертационную работу Курчикова Константина Алексеевича  
«Модификация пористых материалов с низкой диэлектрической проницаемостью  
под действием ультрафиолетового излучения. Контроль уровня ультрафиолетового  
излучения плазмы», представленную на соискание ученой степени кандидата  
физико-математических наук по специальности 01.04.08 – "Физика плазмы".

Пористые диэлектрики с низкой диэлектрической проницаемостью активно изучаются в связи с необходимостью их применения в качестве межслойной изоляции межсоединений в УБИС, что позволяет получить необходимое для дальнейшего масштабирования уменьшение времени RC-задержки и потребляемой мощности. С уменьшением проектных норм происходит увеличение пористости таких материалов и характерного размера пор. Тем не менее, применение таких материалов существенно ограничено из-за их неизбежной деградации во время обработки в плазме.

Под действием различных составляющих плазмы (ионов, радикалов и фотонов) химические связи в low-k диэлектрике могут быть частично разорваны, и диэлектрическая константа такого материала может существенно возрасти. Как

следствие, low-k материалы могут потерять свое основное преимущество. В связи с этим, исследования, посвященные модификации материалов с низкой диэлектрической проницаемостью под действием плазмы, представляют собой актуальную задачу. В частности, приоритетную задачу представляет собой исследование воздействия ультрафиолетового (УФ) излучения на передовые low-k материалы. Эти исследования могут быть полезны при оценке возможности внедрения того или иного low-k материала в уже существующую технологическую цепочку.

Одно из важнейших направлений - поиск возможного пути для минимизации степени деградации low-k материала, который сводится к поиску оптимального режима горения разряда. Поэтому еще одной проблемой при внедрении новейших материалов в производство становится контроль плазменных параметров реакторов, используемых в технологических процессах. В частности, контроль спектрального состава и интенсивности УФ излучения. Одной из актуальных задач служит поиск способов контроля УФ излучения в плазме, содержащей аргон, который широко используется как буферный газ в газовых смесях, применяемых в технологии микроэлектроники.

Первая часть диссертационной работы состоит из двух глав и посвящена исследованию взаимодействия ряда современных low-k материалов с УФ излучением в широком диапазоне длин волн (13,5-193 нм). В первой главе представлен обзор литературы по предмету исследования - рассмотрены свойства различных материалов с низкой диэлектрической константой, способы их создания и диагностики, основные механизмы взаимодействия с плазмой. Дано краткое описание свойств материалов, исследуемых в работе.

Вторая глава посвящена экспериментальному исследованию механизмов воздействия УФ излучения на применяемые в современных УБИС low-k материалы. Во второй главе представлены исследования модификации пористых диэлектрических пленок под действием излучения со следующими длинами волн: 13,5 нм (плазма паров олова), 58 нм (плазма гелия), 106 нм (плазма аргона), 147 нм (плазма ксенона) и 193 нм (излучение аргон-фторового лазера). Описана

теоретическая модель, позволяющая интерпретировать полученные экспериментальные результаты. Также во второй главе представлено исследование влияния пористости на механизмы воздействия УФ излучения на low-k материалы.

В третьей главе проведен литературный обзор существующих оптических эмиссионных методов диагностики возбужденных атомных состояний, а также диагностики других плазменных параметров, в частности, концентрации электронов и функции распределения электронов по энергиям (ФРЭЭ).

В четвертой главе описаны два оптических эмиссионных метода, используемых для диагностики концентраций первых четырех возбужденных атомных состояний в высокочастотном емкостном разряде плазмы аргона. Представлены экспериментальные установки и полученные результаты. Обсуждается возможность получения интенсивности УФ излучения из известных значений концентраций резонансных состояний. Также в главе 4 предложены механизмы снижения интенсивности УФ излучения путем добавления примесей молекулярных газов, что дает возможность применения результатов диссертации для оптимизации плазменных процессов обработки диэлектриков с низкой диэлектрической проницаемостью.

В пятой главе представлена построенная в рамках диссертационной работы столкновительно-радиационная модель, позволяющая интерпретировать полученные в четвертой главе результаты.

Практическая значимость работы заключается в том, что на основе полученных результатов могут быть сделаны выводы о возможности внедрения новых диэлектрических материалов в существующее технологическое производство. Кроме того, разработанные методы диагностики концентрации возбужденных уровней в плазме аргона могут быть использованы для определения интенсивности УФ излучения. Контроль УФ излучения плазмы позволяет, оптимизировав параметры разряда, снизить деградацию материалов.

Полученные автором результаты могут быть использованы при разработке плазмохимических процессов травления пористых диэлектриков с низкой

диэлектрической проницаемостью в следующих организациях: ИФП СО РАН, ФТИ им. А.Ф. Иоффе, ФТИАН РАН, ОАО «НИИМЭ и Микрон».

Диссертационной работе присущи некоторые недостатки:

1. В абзаце 3 на странице 19 дано неверное описание идеи методов эллипсометрической порометрии и спектральной эллипсометрии. Это связано с тем, что описания двух методов случайно перепутаны автором.
2. Недостатком работы является отсутствие подробной информации о методах изготовления пленок, использованных в работе. Нет описания методов, примененных для измерения параметров пленок представленных в таблице 1.
3. В работе не приведены и не обсуждаются УФ спектры рассмотренных плазменных источников плазмы паров олова (13,5 нм), плазмы гелия (58 нм), плазмы аргона (106 нм) и плазмы ксенона (147 нм), эти спектры полагаются монохроматическими.
4. Неудачный термин «оловянная плазма» встречается наряду с термином «плазма паров олова».

Несмотря на отмеченные недостатки, диссертационная работа Курчикова К.А. является законченной научной работой и расширяет подходы разработке и оптимизации процессов плазменной обработки пористых диэлектриков с низкой диэлектрической проницаемостью. Тема работы полностью соответствует научной специальности, а ее результаты имеют важное научно-практическое значение. Считаем, что работа выполнена на высоком научно-техническом уровне, отвечает современным требованиям, предъявляемым ВАК к кандидатской диссертации на соискание ученых степеней согласно п.9 «Положения о присуждении ученых степеней», утвержденного постановлением Правительства РФ (№ 842, от 24 сентября 2013 г.). Автореферат достаточно полно и ясно отражает содержание диссертационной работы, а основные публикации по теме диссертации в полной мере раскрывают ее суть. Стоит отметить способности автора, как к проведению эксперимента, так и к выполнению теоретических расчетов, а также ясный стиль

изложения результатов. Результаты диссертационной работы были рассмотрены на научном семинаре ФТИАН «Перспективные технологии и устройства микро- и нанoeлектроники» 27 октября 2015 г., а настоящий отзыв был одобрен на заседании Ученого совета ФТИАН 27 октября 2015г., протокол № 5-15.

Выводы и положения, вынесенные на защиту, полностью соответствуют поставленной задаче диссертационной работы, обоснованно следуют из результатов проведенной автором работы. Считаем, что Курчиков Константин Алексеевич, безусловно, заслуживает присвоения ему степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.08 – Физика плазмы.

Отзыв составил:

К.ф.-м.н., с. н. с. Мяконьких А.В.



Сведения о лице, утвердившем отзыв: Лукичев Владимир Федорович, Чл. корр. РАН, д.ф.-м.н, Врио директора ФТИАН РАН, адрес 117218, Россия, г. Москва, Нахимовский просп., 34, Тел.: +7 (499) 129-54-92, e-mail: [lukichev@ftian.ru](mailto:lukichev@ftian.ru)

Сведения о составителе отзыва: Мяконьких Андрей Валерьевич, к.ф.-м.н., старший научный сотрудник лаб. Микроструктурирования и субмикронных приборов, адрес 117218, Россия, г. Москва, Нахимовский просп., 34, Тел.: +7 (499) 129-56-08, e-mail: [miakonkikh@ftian.ru](mailto:miakonkikh@ftian.ru)