

УТВЕРЖДАЮ:

Директор Научно-исследовательского института ядерной физики
имени Д.В. Скобельцына федерального государственного
бюджетного образовательного учреждения высшего образования
“Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова”
Профессор, д.ф.-м.н., Панасюк Михаил Игоревич



«10» июня

2015 г.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Научно-исследовательского института ядерной физики имени Д.В. Скобельцына федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования “Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова”.

Диссертация «Модификация пористых материалов с низкой диэлектрической проницаемостью под действием ультрафиолетового излучения. Контроль уровня ультрафиолетового излучения плазмы» выполнена в отделе микроэлектроники НИИ ядерной физики МГУ имени М.В. Ломоносова.

В период подготовки диссертации Курчиков Константин Алексеевич окончил аспирантуру (2011-2014) на кафедре атомной физики, физики плазмы и микроэлектроники физического факультета МГУ имени М.В. Ломоносова. С 2014 года Курчиков Константин Алексеевич работал в отделе микроэлектроники НИИ ядерной физики МГУ имени М.В. Ломоносова в должности младшего научного сотрудника.

В 2011 г. с отличием окончил Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова по специальности Физика.

Удостоверение о сдаче кандидатских экзаменов выдано в 2015 г. федеральным государственным бюджетным образовательным учреждением высшего образования “Московский государственный университет имени М. В. Ломоносова”.

Научный руководитель - Ковалев Александр Сергеевич, д.ф.-м.н., главный научный сотрудник отдела микроэлектроники НИИ ядерной физики МГУ имени М.В. Ломоносова

По итогам обсуждения принято следующее заключение.

Целью диссертационной работы ставилось исследование модификации новых, перспективных в технологии микроэлектроники материалов с ультранизкой диэлектрической проницаемостью (low-k материалов) под действием ультрафиолетового (УФ) излучения в широком диапазоне длин волн. Также ставилась задача проанализировать влияние отдельных свойств данных материалов на механизмы и степень взаимодействия с УФ излучением. Для исследования возможности минимизации степени

воздействия УФ излучения на low-k материалы ставилась задача разработать метод контроля уровня интенсивности УФ излучения.

В диссертационной работе Курчиков Константин Алексеевич получил следующие новые научные результаты:

1. Впервые исследованы механизмы модификации передовых пористых low-k материалов под воздействием УФ излучения, соответствующего 5 длинам волн: $\lambda = 13.5$ нм (излучение плазмы паров олова), $\lambda = 58$ нм (излучение гелиевой плазмы), $\lambda = 106$ нм (излучение плазмы аргона), $\lambda = 147$ нм (излучение плазмы ксенона) и $\lambda = 193$ нм (излучение ArF лазера). Показано, что наибольшая деградация исследуемых low-k материалов происходит при их взаимодействии с УФ излучением плазмы ксенона, $\lambda = 147$ нм.

2. Впервые предложена теоретическая модель, позволяющая описать изменение концентрации Si-CH₃ связей в low-k пленке под воздействием УФ излучения. В модели использованы понятия сечения фотопоглощения $\sigma_{\text{РА}}$ и квантового выхода диссоциации ϕ , которые были получены для каждой пленки при взаимодействии с УФ излучением пяти различных длин волн. Показана возможность использования данных параметров для оценки глубины проникновения УФ излучения в пленки, а также степени воздействия излучения на образец.

3. Проведено исследование влияния пористости на степень деградации low-k материалов под действием УФ излучения. В рамках данного исследования использовались три различные low-k пленки с разными значениями пористости, но со схожим химическим составом и одинаковой технологией производства (пленки SBA). Продемонстрировано, что увеличение пористости приводит к существенному увеличению степени деградации low-k материалов.

4. Разработаны два независимых оптических метода диагностики концентраций первых четырех возбужденных состояний в высокочастотном емкостном разряде аргона. Концентрации измерялись методом самопоглощения линий излучения возбужденных атомов и методом, основанном на измерении отношений интенсивностей линий излучения. Продемонстрировано преимущество первого метода. Показана возможность использования разработанных методов для диагностики интенсивности УФ излучения.

5. Изучена возможность снижения уровня интенсивности УФ излучения в высокочастотном емкостном разряде плазмы аргона, которая основана на добавлении примесей молекулярных газов (кислород, водород и азот) в основной газ аргон. Показано, что добавление примесей молекулярных газов приводит к существенному уменьшению интенсивности УФ излучения.

6. Построена столкновительно-радиационная модель, на основе которой интерпретированы полученные результаты. Показано, что различное поведение метастабильных и резонансных уровней связано с различными преобладающими каналами их дезактивации. Основной канал опустошения резонансных уровней - радиационный распад, в то время как метастабильные уровни рассеиваются в основном благодаря девозбуждению электронным ударом. На основе построенной модели, совместно с использованием зондовых измерений, получена возможность анализа функции распределения электронов по энергиям, существенно отличающейся от Максвелловской.

Личный вклад:

Курчиковым Константином Алексеевичем проведены эксперименты по взаимодействию новых low-k материалов с УФ излучением в плазмах гелия, аргона,

ксенона, а также в плазме парах олова и с УФ излучением ArF лазера. Курчиковым проведены диагностики обработанных в плазме материалов методом Фурье ИК-спектроскопии (FTIR - Fourier Transform Infrared Spectroscopy), на основе результатов которых сделаны выводы о характере и степени деградации low-k пленок. Курчиковым разработаны два независимых оптических метода диагностики концентрации возбужденных состояний в плазме аргона. На основе данных методов диагностики, автором исследован эффективный механизм снижения уровня интенсивности УФ излучения в плазме аргона путем добавления примесей молекулярных газов. Курчиковым построена столкновительно-радиационная модель, позволяющая интерпретировать полученные в работе зависимости концентраций возбужденных состояний в аргоне от различных параметров плазмы.

Достоверность результатов:

Достоверность полученных результатов обусловлена согласием полученных в рамках разработанных в работе моделей расчетов с экспериментальными измерениями.

Практическая значимость и ценность работ соискателя:

Практическая значимость полученных результатов заключается в том, что на основе результатов, полученных при исследовании взаимодействия новых low-k материалов с УФ излучением, можно делать выводы о возможности внедрения данных материалов в существующее технологическое производство микрочипов. Полученные в рамках теоретической модели взаимодействия образцов с УФ излучением, значения сечения фотопоглощения $\sigma_{\text{РА}}$ и квантового выхода диссоциации ϕ , позволяют в дальнейшем оценивать глубину проникновения излучения в образец, а также степень воздействия УФ излучения.

Предложенные методы диагностик концентраций возбужденных уровней в плазме аргона могут быть использованы для диагностики интенсивности УФ излучения. Данная диагностика является невозмущающей, что открывает возможность для ее внедрения в технологическую обработку low-k материалов. Контроль уровня УФ излучения позволяет подбирать режимы горения разряда, при которых происходит минимальная деградации обрабатываемых материалов. В работе исследован эффективный механизм снижения интенсивности УФ излучения в плазме аргона путем добавления примесей молекулярных газов. Данный метод может быть распространен и на разряды в других газах.

Разработанная в рамках работы столкновительно-радиационная модель может быть использована для объяснения зависимостей концентраций возбужденных уровней аргона от различных параметров плазмы.

Основное содержание диссертации отражено в 5 публикациях в реферируемых журналах и представлено на 4 международных конференциях.

Публикации в журналах:

1. T.V. Rakhimova, A.T. Rakhimov, Y.A. Mankelevich, D.V. Lopaev, A.S. Kovalev, A.N. Vasilieva, O.V. Proshina, O.V. Braginsky, S.M. Zyryanov, K. Kurchikov, N.N. Novikova and M.R. Baklanov. "Modification of organosilicate glasses low-k films under extreme and vacuum ultraviolet radiation" // Appl. Phys. Lett. V. 102, P. 111902. 2013.

2. T.V. Rakhimova, A.T. Rakhimov, Y.A. Mankelevich, D.V. Lopaev, A.S. Kovalev, A.N. Vasilieva, S.M. Zyryanov, K. Kurchikov, O.V. Proshina, D.G. Voloshin, N.N. Novikova, M.B. Krishtab and M.R. Baklanov. "Low-k films modification under EUV and VUV radiation" // J. Phys. D: Appl. Phys. V. 47, P. 025102. 2014.
3. А.Н. Васильева, Д.Г. Волошин, А.С. Ковалев, К.А. Курчиков. "Измерение населенностей метастабильных и резонансных уровней в плазме высокочастотного емкостного разряда в аргоне" // Физика плазмы. Т. 41, №5, С. 1-8. 2015.
4. T.V. Rakhimova, D.V. Lopaev, Y.A. Mankelevich, A.T. Rakhimov, S.M. Zyryanov, K.A. Kurchikov, N.N. Novikova and M.R. Baklanov. "Interaction of F atoms with SiOCH ultra-low-k films: I. Fluorination and damage" // J. Phys. D: Appl. Phys. V. 48, P. 175203. 2015.
5. T.V. Rakhimova, D.V. Lopaev, Y.A. Mankelevich, K.A. Kurchikov, S.M. Zyryanov, A.P. Palov, O.V. Proshina, K.I. Maslakov and M.R. Baklanov. "Interaction of F atoms with SiOCH ultra-low-k films. Part II: etching" // J. Phys. D: Appl. Phys. V. 48, P. 175204. 2015.

Материалы диссертации докладывались на конференциях:

1. K. Kurchikov, A. Kovalev, A. Vasilieva, O. Braginsky. "Spectroscopic determination of excited atomic states populations in CCP Ar discharge" // Bulletin of the 66th Annual Gaseous Electronics Conference. 2013. Princeton, USA.
2. K.A. Kurchikov, A.S. Kovalev, A.N. Vasilieva. "Determination of the metastable and resonance excited atomic states populations in CCP Ar discharge using OES techniques" // Joint ICTP-IAEA Advanced School and Workshop on Modern Methods in Plasma Spectroscopy. 2015. ICTP-Miramare, Trieste, Italy.
3. D.V. Lopaev, T.V. Rakhimova, Y.A. Mankelevich, K.A. Kurchikov, S.M. Zyryanov, A.I. Zotovich, M.R. Baklanov. "Effect of VUV photons on low-k OSG damage and etching by F atoms at the lowered temperature" // Plasma Etch and Strip in Microtechnology. 2015. Leuven, Belgium.
4. S.M. Zyryanov, K.A. Kurchikov, D.V. Lopaev, Y.A. Mankelevich, A.P. Palov, T.V. Rakhimova, E.N. Voronina, N.N. Novikova and M.R. Baklanov. "Low-k OSG damage and etching by F atoms at lowered temperatures" // ISPC 22nd International Symposium on Plasma Chemistry. 2015. Antwerp, Belgium.

На конференциях 1 и 2 результаты докладывались лично автором.

Диссертация

«Модификация пористых материалов с низкой диэлектрической проницаемостью под действием ультрафиолетового излучения. Контроль уровня ультрафиолетового излучения плазмы»,

Курчикова Константина Алексеевича,

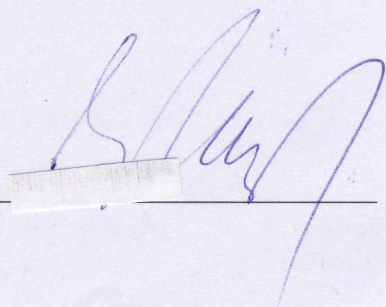
Рекомендуется к защите на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.08 - Физика плазмы.

Заключение принято на заседании Совета ОМЭ НИИЯФ МГУ

Присутствовало на заседании 12 чел.

Результаты голосования: «за» - 12 чел, «против» - 0 чел. «воздержалось» - 0 чел.

Протокол № 05-15-05 от «25» мая 2015 г.



Рахимов Александр Турсунович,
д.ф.-м.н., профессор,
заведующий ОМЭ НИИЯФ МГУ