

ИССЛЕДОВАНИЕ СТРУКТУРЫ ПОВЕРХНОСТИ ОКСИДА АЛЮМИНИЯ ПОСЛЕ ОБРАБОТКИ В ПЛАЗМЕ

В.С. Мальцев, С.В. Сидорова

АННОТАЦИЯ

В данной работе приведены результаты по исследованию влияния плазменной обработки на структуру оксида алюминия. Приведены рентгенограммы, подтверждающие изменение структуры оксида под действием ионов кислорода. Объяснено влияние добавления кислорода в газовую смесь на шероховатость поверхности оксида при плазменной обработке Al_2O_3 .

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА

ПЛАЗМА, ОКСИД АЛЮМИНИЯ, РЕНТГЕНОГРАММА, АРГОН, КИСЛОРОД, ШЕРОХОВАТОСТЬ

INVESTIGATION OF ALUMINUM OXIDE SURFACE STRUCTURE AFTER PLASMA TREATMENT

V.S. Maltsev, S.V. Sidorova

ABSTRACT

This paper presents the results of studying the effect of plasma treatment on the structure of aluminum oxide. X-ray diffraction patterns confirming the change in the structure of the oxide under the action of oxygen ions are presented. The effect of adding oxygen to the gas mixture on the surface roughness of the oxide during the plasma treatment of Al_2O_3 is explained.

KEYWORDS

PLASMA, ALUMINUM OXIDE, X-RAY, ARGON, OXYGEN, ROUGHNESS

ВВЕДЕНИЕ

Известно, что состояние поверхности подложки может существенно влиять на структуру наносимых пленок и свойства пленочных элементов. При создании устройств микроэлектроники к структурным слоям должны применяться повышенные требования к морфологии поверхности для обеспечения требуемых параметров при нанесении функциональных слоев слоёв.

Большая шероховатость поверхности подложки, наличие микронеровностей уменьшают толщину пленок, вызывают локальное изменение электрофизических свойств пленок и тем самым снижают воспроизводимость параметров пленочных элементов и их надежность.

Во многих изделиях микроэлектроники в качестве диэлектрического слоя используется оксид алюминия. Например, в качестве диэлектрического слоя СВЧ-модулятора [2]. Таким образом, появляется необходимость в управлении шероховатостью поверхности не только подложек, но и функциональных слоёв изделия. Одним из используемых методов модификации поверхности является обработка в плазме [3].

Результаты, полученные в ранее проводимых авторами исследованиях, показали, что зависимость шероховатости поверхности оксида алюминия от состава газовой смеси при обработке в аргоне шероховатость увеличивается (рис. 1, а), а при добавлении кислорода – уменьшается (рис. 1, б) [4].

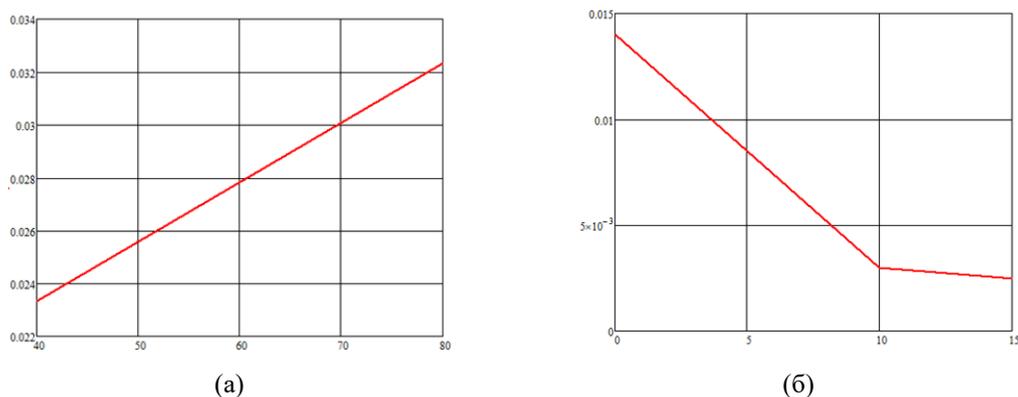


Рис.1. Зависимость шероховатости поверхности ситалла от времени обработки в плазме Ar (а) и в плазме аргона с 30% кислорода

ПОСТАНОВКА ЭКСПЕРИМЕНТА

Эксперимент по плазменной обработке проводился на установке TRION SIRUS T2 (рис. 2) на базе МГТУ им. Н.Э. Баумана, которая предназначена для очистки и травления в вакууме. Trion – установка плазмохимического травления для лабораторий. Установка может использоваться для любых процессов плазмохимического травления с использованием различных газов, таких как аргон или кислород. Установка позволяет производить травление в среде из 3 газов, которые можно использовать по отдельности или в смеси с контролируемой концентрацией. В процессе плазменной обработки можно контролировать такие параметры как: давление, мощность, температура, концентрация газа и время процесса.

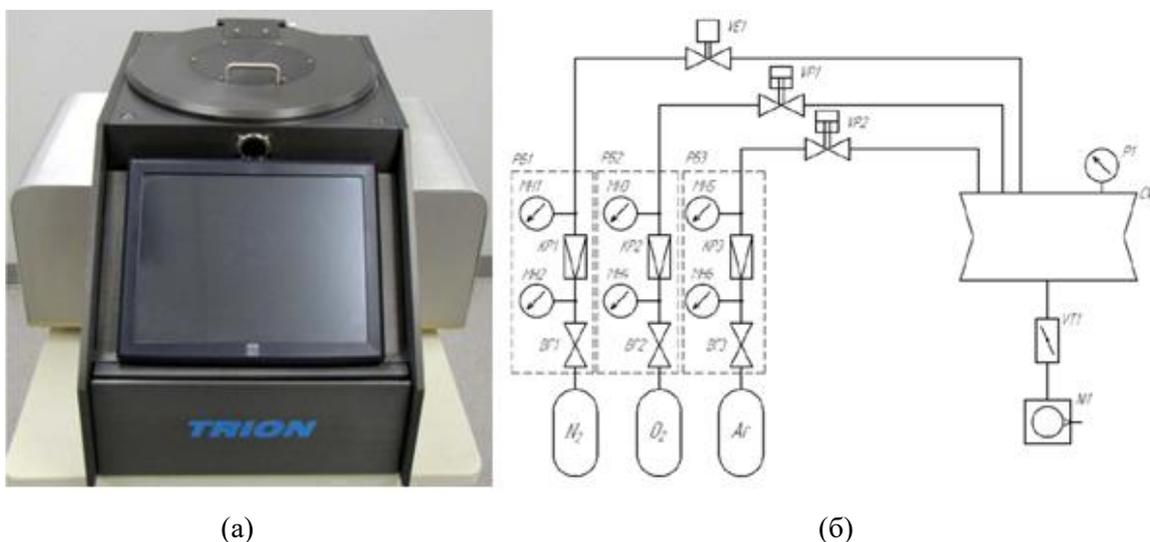
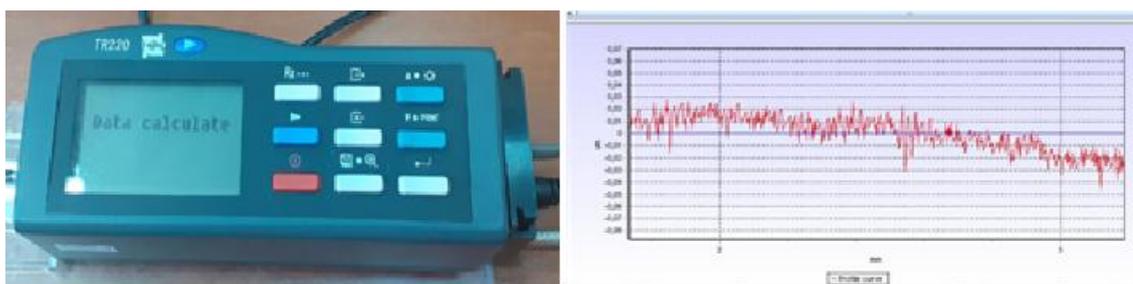


Рис.2. Общий вид установки TRION SIRUS T2 (а) и её принципиальная схема (б)

В качестве материалов для образцов был выбран ситалл, как часто применяемый материал для изделий микроэлектроники. Образцы подвергали воздействию плазмы смеси газов Ar/O₂ со следующими параметрами процесса: давление – 100 Па; мощность – 400 Вт; суммарный поток газа – 30 ссст, процентное содержание O₂ в газовой смеси - 30%, время 20 минут.

Контроль шероховатости образцов до и после плазменной обработки производили на профилометре TR200 (рис. 3).



(а) (б)

Рис.3. Профилометр TR200 (а) и профилограмма одного из полученных образцов (б)

Исследование структуры поверхности оксида алюминия проводили на рентгеновском дифрактометре общего назначения ДРОН-4 (рис. 4).

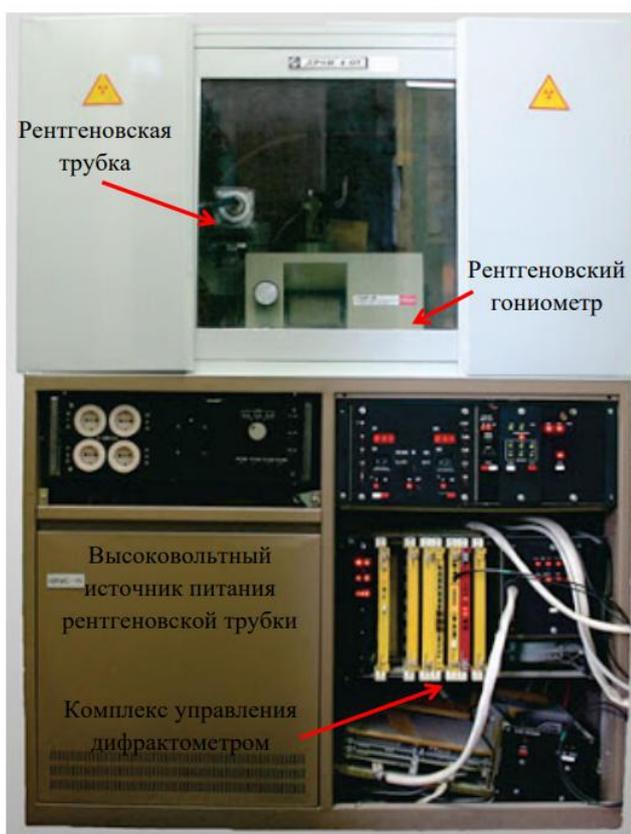
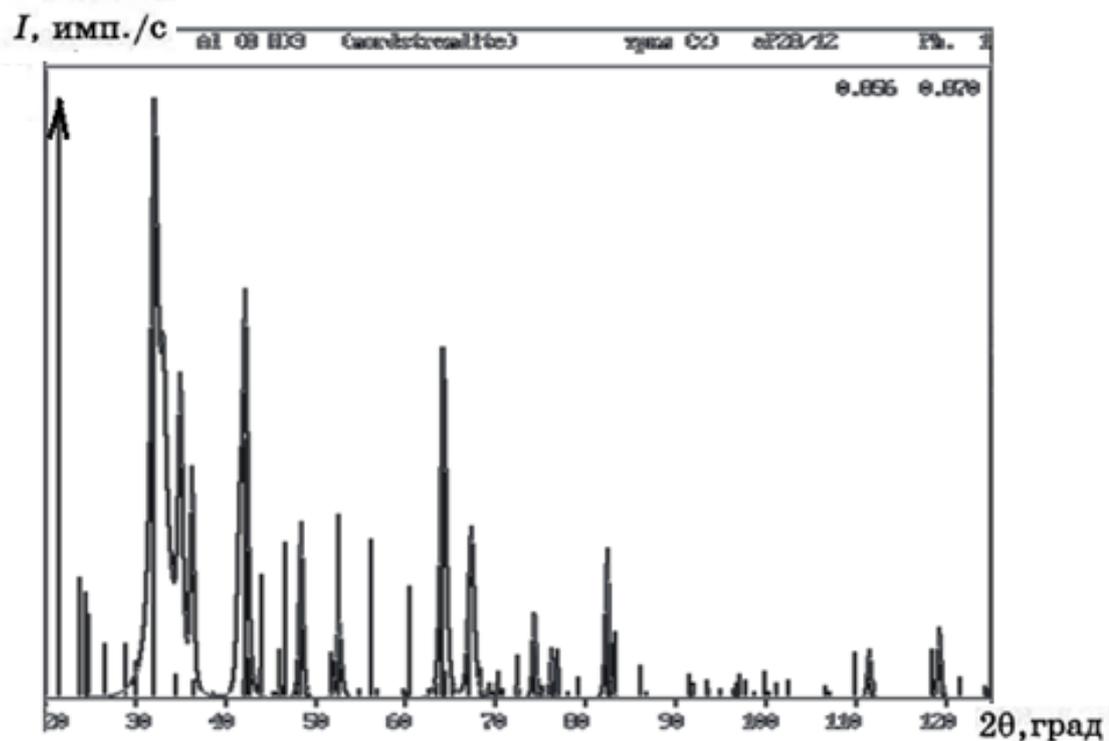


Рис.4. Внешний вид рентгеновского дифрактометра общего назначения ДРОН – 4

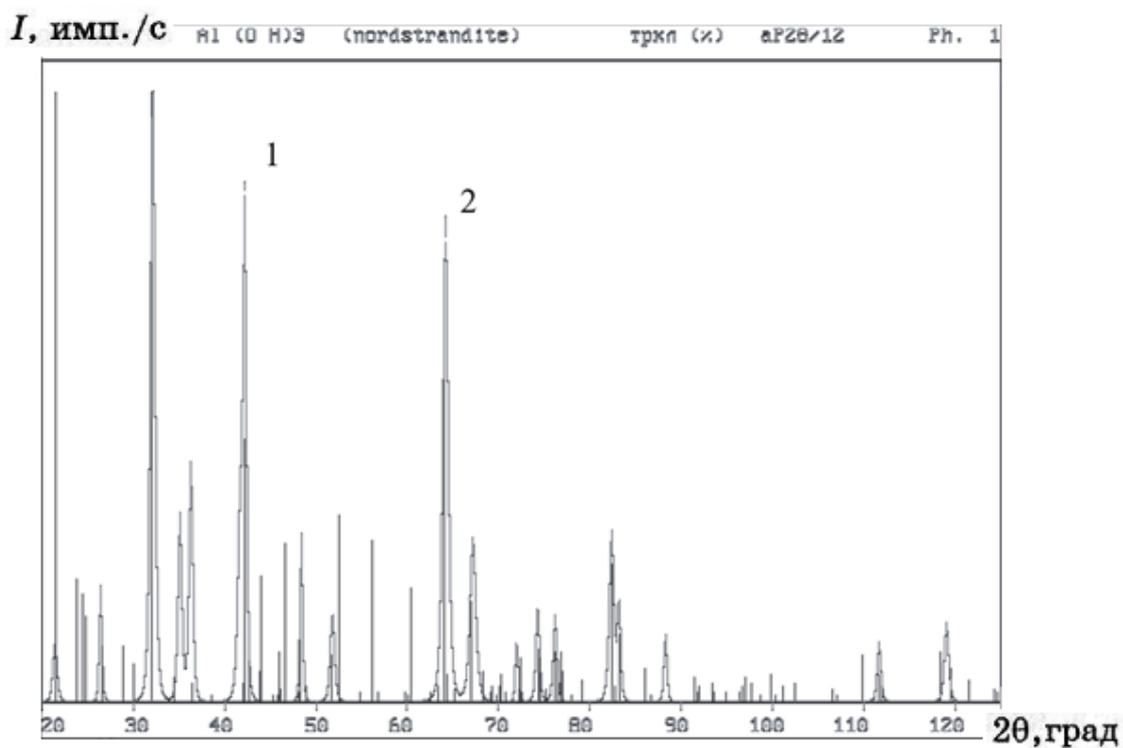
ОБРАБОТКА РЕЗУЛЬТАТОВ ЭКСПЕРИМЕНТА

В результате обработки в плазме подложек ситалла были получены образцы для рентгеновской спектроскопии. Шероховатость образцов до обработки в плазме составляла 14 нм. После обработки шероховатость снизилась до единиц нанометров.

В результате дифрактометрии были получены рентгенограммы образцов ситалла до (Рис. 5, а) и после обработки в плазме (Рис. 5, б)



а)



б)

Рис.5. Рентгенограмма ситалла до (а) и после (б) плазменной обработки

ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ И ВЫВОДЫ

Рентгенограммы показывают, что изначальная структура образца была частично аморфной и имела структуру $Al(OH)_3$ (нордстрандит). В полученной после обработки структуре уменьшилось количество молекул воды и, как следствие, структура стала более кристаллической. Увеличилось количество атомов кислорода, что говорит об изменении структуры поверхностного слоя.

Результаты проведенных исследований показывают изменение структуры поверхности ситалла (оксид алюминия) после плазменной обработки. Изменение происходит в результате образования молекул воды при взаимодействии ОН-групп с ионами кислорода и их дальнейшего улетучивания из-за слабых водородных связей, недостаточных для удержания H_2O в структуре оксида. Данное изменение может служить причиной уменьшения шероховатости образцов при добавлении кислорода в газовую смесь.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

По итогам проведенной работы было выявлено изменение структуры поверхности ситалла (оксид алюминия) после плазменной обработки. Объяснено уменьшение шероховатости поверхности образцов оксида алюминия после плазменной обработки при добавлении кислорода в газовую смесь. Высказаны предположения о природе взаимодействия ОН-групп ситалла с ионами кислорода в плазме

В дальнейшей работе планируется проведение экспериментальных исследований обработки в плазме слоев оксида алюминия и количественная оценка компонентов структуры поверхностного слоя до и после плазменной обработки.

Авторы выражают благодарность за помощь в выполнении рентгенограмм старшему преподавателю кафедры МТ-8 МГТУ им. Н.Э. Баумана Роману Михайловичу Назаркину.

ЛИТЕРАТУРА

1. Технология тонких пленок и покрытий: учеб. пособие / Л. Н. Маскаева, Е. А. Федорова, В. Ф. Марков. М-во науки и высш. образования Рос. Федерации, Урал. федер. ун-т. – Екатеринбург: Изд-во Урал. ун-та, 2019. 236 с.
2. Петров В. М., Шамрай А. В. СВЧ интегрально-оптические модуляторы. Теория и практика: учебное пособие. - Санкт-Петербург: Университет ИТМО, 2021. - 225 с.
3. Ветошкин В. М. Экспериментальная установка для исследования вакуумно-плазменных процессов обработки кварца: автореф... дис. кан. тех. наук. – Ижевск: 2009. – 138 с.
4. Мальцев В. С., Сидорова С. В. Оценка влияния компонентов газовой смеси при обработке поверхностей в плазме //16-я международная научно-техническая конференция «Вакуумная техника, материалы и технология». – 2022. – С. 125-130.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

Мальцев Владислав Сергеевич – студент 1 курса магистратуры. МГТУ им. Н.Э. Баумана, e-mail: malzev.vladislav.99@gmail.com

Сидорова Светлана Владимировна – кандидат технических наук, доцент кафедры (ORCID: 0000-0002-3002-1246). МГТУ им. Н.Э. Баумана, e-mail: sidorova_bmstu@mail.ru