

ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ КОМПОНЕНТОВ ГАЗОВОЙ СМЕСИ ПРИ ОБРАБОТКЕ ПОВЕРХНОСТЕЙ В ПЛАЗМЕ

EVALUATION OF GAS MIXTURE EFFECT COMPONENTS DURING SURFACE TREATMENT IN PLASMA

В.С.Мальцев, /vladislav.99@gmail.com"com , С.В.Сидорова, /sidorova_bmstu@mail.ru

V.S.Maltsev, S.V.Sidorova,

МГТУ им. Н.Э. Баумана, г.Москва

В работе представлены результаты исследования по обработке поверхностей Al_2O_3 в плазме при различном содержании компонентов газовой смеси. Выявлены зависимости шероховатости поверхностей ситалла и поликора от состава рабочего газа и времени обработки. Выделены особенности плазменной обработки при использовании кислорода. Данная статья описывает влияние добавления O_2 в плазму Ar на шероховатость поверхности оксида алюминия.

Ключевые слова: обработка поверхностей Al_2O_3 , плазма, шероховатость поверхностей ситалла и поликора.

The studies were carried out on the processing of the content of Al_2O_3 in plasma at various contents of the components of the gas mixture. The dependences of the roughness of the glass-ceramic and polycor texture on the composition of the working gas and the processing time are revealed. Peculiarities of plasma treatment during oxygen assembly are highlighted. This article showed the effect of adding O_2 to Ar plasma on the Al_2O_3 surface roughness.

Keywords: processing of the content of Al_2O_3 , plasma, roughness of the glass-ceramic and polycor texture.

ВВЕДЕНИЕ

Известно, что состояние поверхности подложки оказывает существенное влияние на структуру наносимых пленок и параметры пленочных элементов [1]. При проектировании устройств микроэлектроники к структурным слоям применяются повышенные требования по качеству и структуре поверхности для обеспечения требуемых свойств при нанесении последующих слоёв.

Большая шероховатость поверхности подложки, наличие на ней микронеровностей уменьшают толщину пленок, вызывают локальное изменение электрофизических свойств пленок и тем самым снижают воспроизводимость параметров пленочных элементов и их надежность. Поэтому подложки для тонкопленочных интегральных микросхем должны иметь минимальную шероховатость.

При нанесении тонких пленок толщиной до 100 нм допустимая высота микронеровностей не должна превышать 25 нм. Однако, в случае формирования элементов микросхем в десятки нанометров, требуемые параметры шероховатости уже находятся в диапазоне единиц нанометров.

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].

Данный процесс характеризуется снятием слоя материала с поверхности с использованием плазменных процессов. В качестве технологического газа используется инертный газ или смесь газов, зачастую используется аргон. А шероховатость подложки зависит от материала и метода обработки.

ПОСТАНОВКА ЭКСПЕРИМЕНТА

Плазменная обработка заключается в выбивании атомов или молекул с поверхности материала подложки под действием кинетической энергии электронов, ускоренных в электрическом поле.

Эксперимент по плазменной обработке проводился на установке TRION SIRUS T2 на базе МГТУ им. Н. Э. Баумана, которая предназначена для очистки и травления в вакууме [4]. 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. Данная установка позволяет контролировать такие параметры как: давление, мощность, температура, концентрация газа и время процесса.

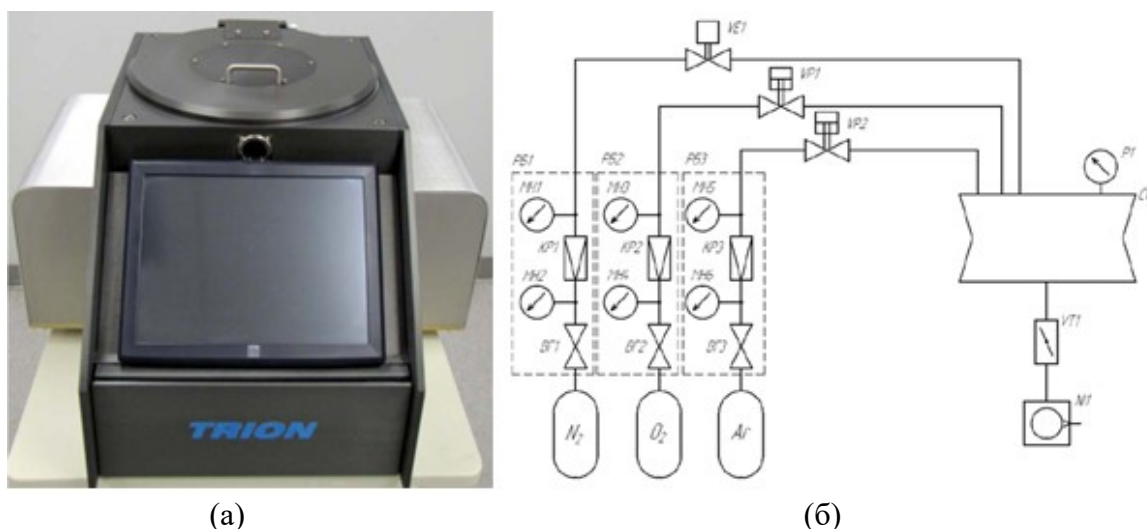


Рис.1. Общий вид установки TRION SIRUS T2 (а) и её принципиальная схема (б).

В качестве материалов для образцов выбран поликор и ситалл. Образцы подвергали воздействию плазмы смеси газов Ar/O₂ со следующими параметрами процесса: давление – 100 Па; мощность – 400 Вт; суммарный поток газа – 200 ссст. Процентное содержание O₂ в газовой смеси изменялось с 0% до 30%, время варьировалось до 40 до 80 минут.

Контроль шероховатости образцов до и после плазменной обработки производили на профилемере TR200.

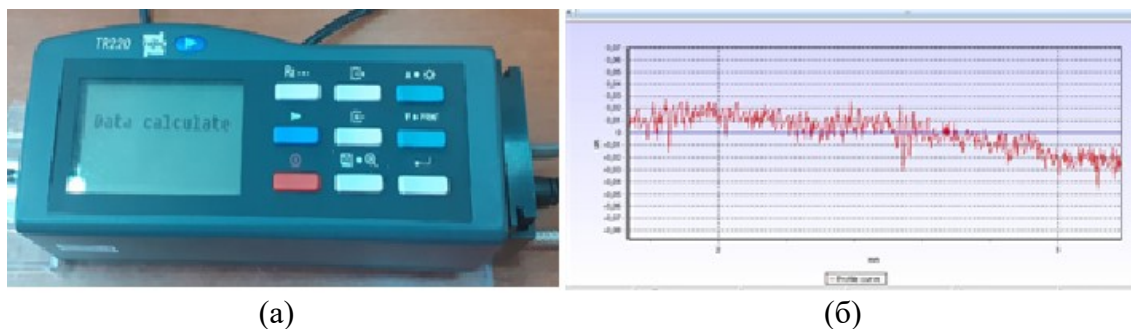


Рис.2. Профилометр TR200 (а) и профилограмма одного из полученных образцов (б).

ОБРАБОТКА РЕЗУЛЬТАТОВ ЭКСПЕРИМЕНТА

В результате обработки в плазме подложек ситалла и поликора была получена серия образцов. Экспериментальные образцы были исследованы на профилометре, оценена шероховатость образцов до и после обработки.

До плазменной обработки шероховатость поликора составляла 13 нм.

Результаты экспериментов по обработке поликора в плазме приведены в таблице

1.

Таблица 1.

Результаты обработки поликора в плазме

№	Режим	Y_1	Y_2	Y_3	\bar{Y}_i
1	30% O ₂ ; t = 80 мин	0,003	0,003	0,002	0,002667
2	30% O ₂ ; t = 40 мин	0,006	0,004	0,005	0,005
3	10% O ₂ ; t = 80 мин	0,004	0,004	0,003	0,003667
4	10% O ₂ ; t = 40 мин	0,005	0,007	0,006	0,006
5	0% O ₂ ; t = 80 мин	0,013	0,016	0,021	0,016667
6	0% O ₂ ; t = 40 мин	0,014	0,014	0,016	0,014667

Следует отметить, что при обработке поликора в плазме аргона (рис.3), наблюдается увеличение шероховатости при обработке от 40 до 80 минут. Было принято решение обрабатывать образцы в плазме аргона с добавлением кислорода.

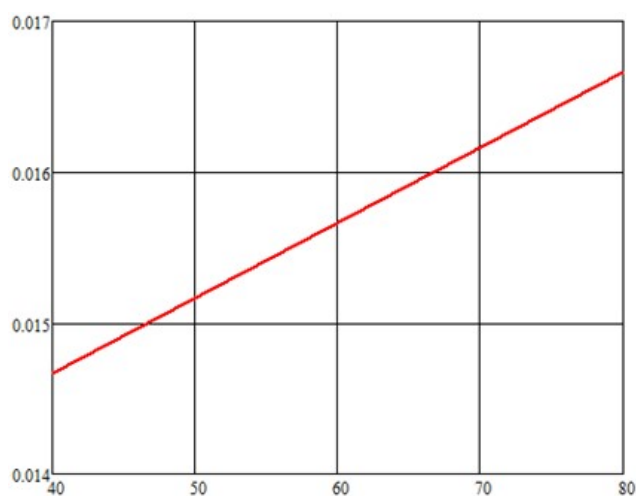


Рис.3. График зависимости шероховатости поверхности поликора от времени обработки в плазме Ar.

Обработка в плазме аргона с добавлением кислорода (рис.4) показала уменьшение шероховатости поверхности поликора до единиц нанометров.

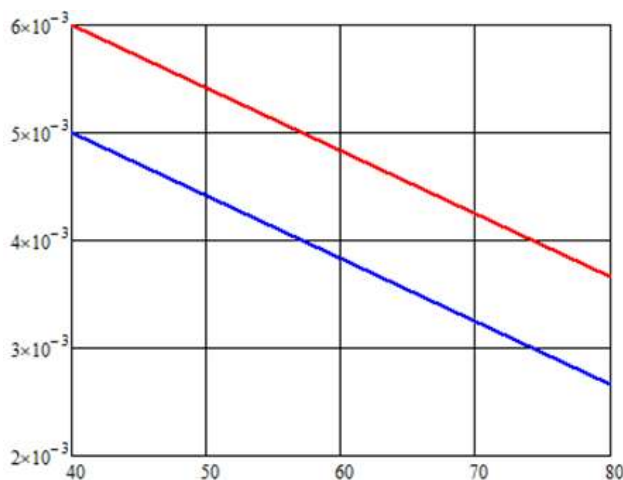


Рис.4. График зависимости шероховатости поверхности поликора от времени обработки в плазме с 10% кислорода (красный) и с 30% (синий).

По результатам проведенных экспериментов были построены уравнения регрессии, описывающие зависимость шероховатости поверхности поликора для случая, когда кислород в системе присутствует (1), и когда травление происходит исключительно в плазме аргона (2):

$$Ra = 8,833 - 0,00097t, \quad (1)$$

$$Ra = 12,67 + 0,00083t, \quad (2)$$

где Ra – шероховатость поверхности, нм;

t – время, с.

До плазменной обработки шероховатость ситалла составляла 14 нм.

Результаты экспериментов по обработке ситалла в плазме приведены в таблице 2.

Таблица 2.

Результаты обработки ситалла в плазме

№	Режим	Y ₁	Y ₂	Y ₃	\bar{Y}_i
1	30% O ₂ ; t = 80 мин	0,001	0,001	0,001	0,001
2	30% O ₂ ; t = 40 мин	0,001	0,001	0,001	0,001
3	10% O ₂ ; t = 80 мин	0,002	0,001	0,001	0,00133
4	10% O ₂ ; t = 40 мин	0,001	0,001	0,001	0,001
5	0% O ₂ ; t = 80 мин	0,036	0,028	0,033	0,03233
6	0% O ₂ ; t = 40 мин	0,021	0,023	0,026	0,02333

Отметим, что при обработке ситалла в плазме аргона также наблюдается увеличение шероховатости поверхности (рис.5).



Рис.5. График зависимости шероховатости поверхности ситалла от времени обработки в плазме Ar.

По результатам экспериментальных исследований стало очевидно, что выбранное время проведения эксперимента при добавлении кислорода слишком велико. Был проведен дополнительный эксперимент по обработке ситалла в плазме аргона и кислорода, по результатам которого было выявлено, что за 10 минут шероховатость поверхности уменьшается вплоть до 3 нм (рис.6).

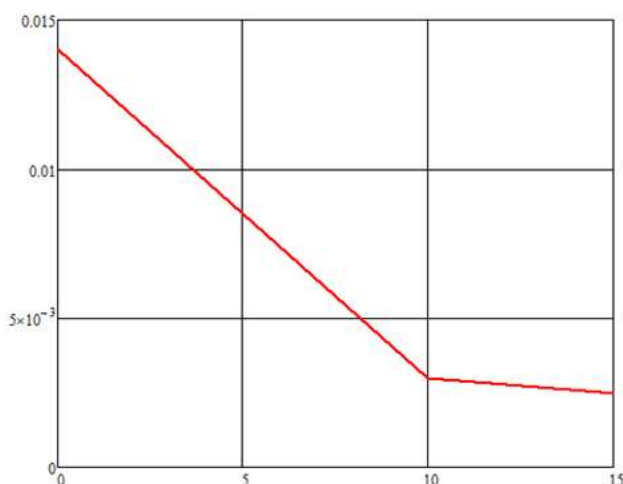


Рис.6. график зависимости шероховатости поверхности ситалла от времени обработки в плазме с 30% кислорода в течение 10 минут.

По результатам проведенных экспериментов было получено уравнение регрессии, описывающее зависимость шероховатости поверхности ситалла для случая, когда травление происходит исключительно в плазме аргона (3):

$$Ra = 14,33 + 0,00375t, \quad (3)$$

где Ra – шероховатость поверхности, нм;

t – время, с.

Также по результатам дополнительных экспериментов было получено уравнение регрессии, описывающее зависимость шероховатости поверхности ситалла в плазме аргона и кислорода в течение первых 10 минут обработки (4):

$$Ra = 14 - 0,0183t, \quad (4)$$

где Ra – шероховатость поверхности, нм;

t – время, с.

ОБСУЖДЕНИЕ

При травлении Al_2O_3 в плазме аргона шероховатость поверхности увеличивается со временем. Оценено влияние на шероховатость добавления в газовую смесь кислорода. Результат получился противоположный: при добавлении кислорода шероховатость стала уменьшаться. Возможно применение состава газа (70+30)% (Ar+O₂) для более точного контроля шероховатости поверхности при создании изделий микроэлектроники. Анализ полученных уравнений регрессии показывает, что увеличение процентного содержания кислорода в системе не является значимым фактором. Однако, наличие кислорода повышает скорость травления поверхности и приводит к уменьшению шероховатости. Важно отметить, что изменение шероховатости поверхностей ситалла происходит намного быстрее чем у поликора, что может быть связано с различным химическим и фазовым составом образцов.

ВЫВОДЫ

1. Для уменьшения шероховатости поверхности поликора следует обрабатывать образцы в плазме аргон+кислород в течение 80 минут. В этом случае возможно достижение шероховатости в единицы нанометров. Следует отметить, что процентное содержание газа кислорода в смеси не оказывает существенного влияния на шероховатость.
2. Для уменьшения шероховатости поверхности ситалла достаточно обрабатывать образцы в плазме аргона и кислорода в течение 10 минут. В этом случае возможно достижение шероховатости в единицы нанометров. Следует отметить, что добавление в смесь газов кислорода не целесообразно.
3. По результатам экспериментов построены уравнения регрессии, которые показывают значимость лишь временного фактора. Выявлено, что процентное содержание кислорода не влияет на скорость изменения шероховатости.
4. При обработке поликора в плазме аргона наблюдается увеличение шероховатости от 12 нм до 17 нм.

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. Севрюгина Е. А., Семочкин А. И., Мальцев В. С. Исследование влияния плазменной и ионно-лучевой обработки на эпоксидную смолу //Вакуумная, компрессорная техника и пневмоагрегаты-2021. – 2021. – С. 83-89.