

Министерство образования Республики Беларусь
Учреждение образования
Белорусский государственный университет
информатики и радиоэлектроники

УДК 621.3.049.77:621.793

Литвин
ЭдвардЕвгеньевич

**ИССЛЕДОВАНИЕ ЭЛЕКТРОФИЗИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ПЛЕНОК
ОКСИДА ТАНТАЛА, ФОРМИРУЕМЫХ МЕТОДОМ МАГНЕТРОННОГО
РАСПЫЛЕНИЯ**

АВТОРЕФЕРАТ

на соискание степени магистратехнических наук
по специальности 1-41 80 02 – Технология и оборудование для производства
полупроводников, материалов и приборов электронной техники

Научный руководитель
канд.техн.наук, доцент
Завадский Сергей Михайлович

Минск 2020

ВВЕДЕНИЕ

В последние годы большое внимание уделяется исследованию пленок оксидов переходных металлов с целью поиска новых функциональных материалов для приборов электроники, микроэлектроники, машиностроения и медицины. Среди оксидов переходных металлов особый интерес представляет оксид тантала (Ta_2O_5). Благодаря высокому показателю преломления ($n \approx 2.2$) и низкому оптическому поглощению оксид тантала используется в многослойных интерференционных фильтрах, антиотражающих покрытиях для солнечных элементов и в оптических волноводах. Высокая химическая стойкость, биоинертность и возможность создания электретного заряда позволяет использовать пленки оксида тантала в медицине. В частности, весьма эффективно использование оксида тантала в качестве покрытий имплантатов. Оксид тантала обладает сравнительно высокой диэлектрической проницаемостью ($\epsilon \approx 25$), большой шириной запрещенной зоны ($E_g \approx 4.2 - 4.5$ эВ) и низкими токами утечки. Поэтому в микроэлектронике оксид тантала считается одной из лучших альтернатив оксиду кремния в приборах металл – оксид – полупроводник (МОП), конденсаторах динамических оперативных запоминающих устройств и радиочастотных идентификационных меток.

Для получения пленок оксида тантала применялся ряд методов осаждения, однако наибольшее распространение получил метод реактивного магнетронного распыления. Метод позволяет без нагрева подложек наносить аморфные и однородные пленки со стабильными электрофизическими свойствами.

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы исследования

Анализ научных публикаций свидетельствует о большом интересе к пленкам оксида тантала (Ta_2O_5) и технологии их осаждения. Авторы изучают свойства и возможность практического применения этих пленок, причем значительное число работ посвящено методу реактивного магнетронного распыления. Однако, необходимо отметить, что систематизация полученных данных и их использование на практике сильно осложнены многообразием используемых разновидностей технологии реактивного распыления и применяемого технологического оборудования, и соответственно существенными различиями в параметрах технологического цикла и свойствах получаемых пленок, что является прямым следствием отсутствия в настоящее время обобщенной научно обоснованной методики разработки технологии осаждения пленок методом реактивного магнетронного распыления.

В настоящее время оксид тантала представляет большой интерес в области микроэлектроники и нанoeлектроники, устройств медицинского назначения, энергетики, воздушно-космической отрасли, так как пленки обладают высокой стабильностью свойств, обусловленной наиболее высокой химической стойкостью среди оксидов других переходных металлов. Электрофизические свойства пленок оксида тантала ($\epsilon \approx 25-30$, низкие токи утечки и пр.) позволяют считать этот материал перспективным для применения в современной высокочастотной (сверхвысокочастотной) электронике.

Цель и задачи исследования

Целью диссертации является исследование и разработка технологии нанесения пленок оксида тантала методом реактивного магнетронного распыления.

Для выполнения поставленной цели в работе были сформулированы следующие задачи:

- разработать и изготовить комплекс экспериментального оборудования для нанесения и исследования тонких пленок оксида тантала;
- экспериментально исследовать физические процессы и явления, происходящие при осаждении пленки;
- исследовать влияние процесса нанесения на электрофизические характеристики пленок оксида тантала;
- сформировать методику осаждения пленок оксида тантала методом реактивного магнетронного распыления.

Объектом исследования являются тонкие пленки оксида тантала, формируемые методом реактивного магнетронного распыления.

Предметом работы являются процессы реактивного магнетронного распыления и нанесения тонких пленок.

Научная новизна диссертационной работы заключается в разработке технологии осаждения аморфных пленок Ta_2O_{5-x} методом реактивного магнетронного распыления.

Основные положения, выносимые на защиту

1. Результаты исследований зависимостей электрофизических свойств пленок оксида тантала, полученных методом реактивного магнетронного распыления от параметров процесса.

2. Разработана методика исследования процесса осаждения тонких пленок оксида тантала методом реактивного магнетронного распыления и контроль их электрофизических свойств.

3. Результаты экспериментальных исследований параметров разряда магнетрона при распылении танталовой мишени в реактивной среде, на основе чего разработаны методы повышения устойчивости процесса.

Теоретическая значимость диссертации заключается в том, что в ней предложен подход к анализу основных технических факторов на условие формирования пленок Ta_2O_5 магнетронным распылением.

Практическая значимость диссертации состоит в том, что на основе анализа электрофизических свойств пленок оксида тантала существует возможность определения допустимых границ основных технологических параметров и разработки методов повышения устойчивости осаждения пленок.

Структура и объем работы. Структура диссертационной работы обусловлена целью, задачами и логикой исследования. Работа состоит из введения, четырех глав, заключения и библиографического списка. Общий объем диссертации – 58 страниц. Работа содержит 2 таблицы, 51 рисунок. Библиографический список включает 34 наименования.

КРАТКОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во **введении** рассмотрены преимущества применения пленок оксида тантала, а также дается обоснование актуальности темы диссертационной работы.

В **первой главе** дается краткий обзор существующих технологий осаждения пленок Ta_2O_5 , их физико-химических свойств и возможностей практического применения. Отдельное внимание уделено изучению физических процессов и явлений, происходящих при осаждении пленки методом реактивного магнетронного распыления и существующим физико-химическим моделям процесса осаждения пленок.

Во **второй главе** показан комплекс технологического и измерительного оборудования, позволяющего осаждать пленки Ta_2O_5 с заданными свойствами и проводить их исследование

В **третьей главе** приведены результаты экспериментального исследования физических процессов и явлений при реактивном магнетронном распылении. В главе подробно рассмотрены особенности изменения спектра испускания плазмы разряда при распылении танталовой мишени, изучение которых, позволило предложить основные положения методики разработки технологии осаждения пленки оксида металла и алгоритм вывода мишени в рабочий режим.

В **четвертой главе** представлены результаты исследования технологии осаждения пленок оксида тантала методом реактивного магнетронного распыления. Приведены данные по влиянию основных и вспомогательных технологических параметров на химический состав, кристаллическую структуру и физические свойства пленок.

Выводах кратко изложены основные результаты магистерской диссертации.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате анализа научной и патентной литературной работы были проведены исследования диэлектрических свойств пленок оксида тантала, нанесенных методом реактивного магнетронного распыления. Установлено, что в отличие от ряда переходных металлов при реактивном распылении тантала образование диэлектрических пленок происходит при сравнительно больших содержаниях кислорода в Ar/O_2 смеси газов (более 40 %). При концентрации кислорода 50 – 100 % получены пленки с диэлектрической проницаемостью 12 – 30 единиц, тангенсом угла диэлектрических потерь 0.01, плотностью токов утечки при напряженности электрического поля 2.0×10^6 В/см менее 0.1 А/см² и шириной запрещенной зоны 4.5 – 4.85 эВ. Полученные характеристики позволяют использовать пленки оксида тантала, нанесенные методом реактивного магнетронного распыления, в качестве диэлектрика МОП структур.

СПИСОК ОПУБЛИКОВАННЫХ РАБОТ

1. Литвин Э.Е. Нанесение пленок оксида тантала методом реактивного магнетронного распыления / Э. Е. Литвин // Электронные системы и технологии : 55-я Юбилейная Конференция Аспирантов, Магистрантов и Студентов, Минск, 22-26 апреля 2019 г. : сборник тезисов докладов / Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники. – Минск : БГУИР, 2019. – С. 277.

2. Формирование пленок оксида тантала на подложках диаметром 200 миллиметров / Н. Вилья, Д. А. Голосов, С. Н. Мельников, Т. Д. Нгуен, А. Д. Голосов, Э. Е. Литвин, Н. Н. Лам // Проблемы физики, математики и техники. – 2020. – № 1. – С. 12–17.

3. Литвин Э.Е. Влияние толщины на диэлектрические характеристики пленок оксида тантала в структурах металл-оксид-полупроводник / Э. Е. Литвин // 56-я Научная Конференция Аспирантов, Магистрантов и Студентов БГУИР – Минск. – 2020. – С. 135.

4. Литвин Э.Е. Исследование электрофизических свойств пленок оксида тантала, формируемых методом реактивного магнетронного распыления / Э. Е. Литвин // 15-я Международная молодёжная научно-техническая конференция «Современные проблемы радиоэлектроники и телекоммуникаций РТ-2019» – Севастополь. – 2019. – С.107.