

Разработка методических указаний для выполнения творческого проекта по теме «Осаждение барьерных слоев на основе нитрида титана с помощью дуальной магнетронной распылительной системы»

ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время барьерные слои (или диффузионные барьеры) являются неотъемлемой частью металлизационной системы интегральных схем (ИС). Основными материалами для диффузионных барьеров являются тугоплавкие металлы и твердые растворы на их основе, такие как Та и W (твердые растворы - нитриды, борид карбиды или силициды). Однако эти материалы имеют существенные недостатки: высокая температура плавления и твердость, но низкая упругость, высокая стоимость материалов.

Одним из основных наиболее перспективных материалов, подходящих для формирования диффузионных барьеров, является нитрид титана. Он обладает уникальным сочетанием свойств: высоких показателей твердости и упругости, температуростойкости и химической инертности, высокой электро- и теплопроводности.

Барьерные слои на основе нитрида титана можно получить различными распылительными PVD (Physical Vapour Deposition) методами: испарением с использованием резистивного нагрева, вакуумно-дуговым испарением, магнетронным распылением. Однако эти способы получения имеют ряд недостатков при использовании их в микроэлектронике. Наиболее перспективным способом для получения пленок нитрида титана может стать использование дуальной магнетронной распылительной системы (дуальной MPC). Она позволяет получать покрытия без капельной фракции, с высокими функциональными характеристиками при скоростях осаждения, сравнимых с методом дугового испарения.

Целью данной работы является формирование литературного обзора по заданной тематике, а также получение пленок нитрида титана при помощи дуальной MPC при различных режимах работы.

Для достижения заданных целей необходимо проделать следующее:

1. сформировать литературный обзор на тему материалов, использующихся в качестве барьерных слоев. Рассмотреть физические распылительные способы получения диффузионных барьеров на

основе нитрида титана: электронно-лучевое испарение, вакуумно-дуговое испарение и магнетронное распыление. Рассмотреть способ получения пленок нитрида титана при помощи дуальной магнетронной распылительной системы.

2. Ознакомиться с устройством установки ионно-плазменного осаждения покрытий «Яшма-5 ». Рассмотреть процесс получения вакуума и работу плазменных устройств дуальной МРС и ионного источника.
3. Получить образцы пленок нитрида титана при заданных режимах работы дуальной МРС: потока реактивного газа – азота $Q(N_2)$, расстояния между мишенью и подложкой d_{s-t} .
4. Исследование зависимости скорости осаждения от скорости потока азота в рабочую камеру и расстояния между мишенью и подложкой. Дать оценку влиянию режимов осаждения на скорость осаждения пленок TiN.

Задача №1.

Сформировать литературный обзор на тему материалов, использующихся в качестве барьерных слоев. Рассмотреть физические распылительные способы получения диффузионных барьеров на основе нитрида титана: электронно-лучевое испарение, вакуумно-дуговое испарение и магнетронное распыление. Рассмотреть способ получения пленок нитрида титана при помощи дуальной магнетронной распылительной системы.

Рекомендуемая литература:

1. S.-Diamand Y. Barrier layers for Cu ULSI metallization // J. Electron. Mater. – 2001, v.30, №4, p.336- 344.
2. Zeng Y. et al. Thin film interaction between low-k dielectric hydrogen silsesquioxane (HSQ) and Ti barrier layer. // Thin solid films. – 2000, v.360, №1-2, p.283 - 292.
3. Iacopi F. et al. Factors affecting an efficient sealing of porous low-k dielectrics by physical vapor deposition TaN thin films // J. Appl. Phys. – 2002, v.92, №3, p.1548 - 1554.
4. Meng Li-Jian, dos Santos M.P. Characterization of Titanium Nitride Films Prepared by D.C. Reactive Magnetron Sputtering at Different Nitrogen Pressures // Surface and Coatings Technology. 1997. v. 90. p. 64-70.
5. Чапланов А.М., Щербакова Е.Н. Структурные и фазовые превращения в тонких пленках титана при облучении азот-водородной плазмой // Журнал технической физики. 1999. т. 69. № 10. с. 102-108.
6. Берлин Е.В., Сейдман Л.Н. Ионно - плазменные процессы в тонкопленочной технологии. - М.: Техносфера, 2010. 528 с.
7. Musil J., Baroch P. Discharge in Dual Magnetron Sputtering System // IEEE Transactions on Plasma Science. 2005. v. 33. № 2. p. 338-339.

Задача №2.

Ознакомиться с устройством установки ионно-плазменного осаждения покрытий «Яшма-5». Рассмотреть процесс получения вакуума и работу плазменных устройств дуальной МРС и ионного источника.

Здесь необходимо представить порядок работы на установке:

- схему установки и порядок получения вакуума;
- дать пошаговую инструкцию, поясняющую как правильно включать устройства (подача воды и газа, подача напряжения и т.д)

Задача №3.

Получить образцы пленок нитрида титана при заданных режимах работы дуальной МРС: потока реактивного газа – азота $Q(N_2)$, расстояния между мишенью и подложкой d_{s-l} .

Параметры и режимы осаждения:

Для осаждения пленок TiN необходимо использовать две титановые мишени дуального магнетрона марки BT1-0. Работу источника питания необходимо установить в режиме ограничения мощности 3 кВт. В качестве материала подложки использовать полированные пластины монокристаллического кремния. Расстояние между плоскостью мишени и подложкой (d_{s-l}) установить 50 и 100 мм. Давление остаточных газов в рабочей камере не менее $5 \cdot 10^{-3}$ Па. Осаждение производить в среде аргона и

азота при постоянном значении потока аргона ($31 \text{ см}^3/\text{мин}$). Поток азота изменять в диапазоне от 15 до $52 \text{ см}^3/\text{мин}$. Для правильной интерпретации и сравнения результатов эксперимента на всех образцах необходимо поддерживать постоянной толщину покрытия ($0,4 \text{ мкм}$).

В таблице 1 представлено соответствие номера образца режиму осаждения.

Таблица 1 – Режимы осаждения пленок TiN

Группа	1						2					
Номер образца	1	2	3	4	5	6	1	2	3	4	5	6
d_{s-t} , мм	100						50					
$Q(\text{N}_2)$, $\text{см}^3/\text{мин}$	15	23	26	33	40	52	15	23	26	33	40	52
$Q(\text{Ar})$, $\text{см}^3/\text{мин}$	31					0	31					0

Методика получения и измерения скорости осаждения покрытий

1. Для определения скорости осаждения пленки, необходимо измерить начальную частоту колебаний кристаллов кварца (F_2 – частота до напыления) датчика «Микрона-5». Для этого следует, поместить датчик в рабочую камеру. Произвести откачку камеры до остаточного давления не менее $1 \cdot 10^{-2}$ Па. Подать в камеру реактивный газ – азот (N_2) до рабочих давлений в зависимости от режима работы (см. таблицу 1) магнетрона. Поскольку дуальная МРС имеет небольшую площадь, а источник питания не подает поджигающие импульсы, то разряд требуется зажечь с помощью ионного источника. Датчик, находящийся на передвижном столике, следует переместить под магнетрон и находится под ним в течение 1 минуты.

Далее в рабочую камеру требуется напустить воздух и извлечь датчик наружу. Затем необходимо произвести замер частоты колебаний кристаллов кварца датчика «Микрона-5». За счет напыления материала на поверхность

кристалла, масса кристалла увеличивается и, как следствие, происходит изменение частоты колебания. Дальнейшие измерения полагается провести по формуле

$$D = \frac{\Delta F \cdot N \cdot \rho_q}{K_g \cdot F_2^2 \cdot \rho},$$

где $\Delta F = F_2 - F_1$, F_1 – частота после напыления, F_2 – частота до напыления, K_g – геометрический фактор, ρ – плотность материала. Параметрами материала являются плотность и геометрический фактор. Плотности некоторых наиболее часто используемых материалов можно найти в справочной литературе. Значение K_g определяется по формуле: $K_g = D/100$, где D – толщина плёнки (А).

2. Для получения экспериментального образца необходимо подложку поместить в рабочую камеру. Камеру откачать до остаточного давления $1 \cdot 10^{-2}$ Па.

3. На следующем этапе требуется произвести ионную чистку образца, для чего в камеру нужно подать рабочий газ аргон (Ar), на ионном источнике зажечь разряд. Режим работы ионного источника: $U = 2500$ В, $I = 0,25$ А.

4. На последнем этапе следует нанести покрытие нитрида титана при помощи дуальной магнетронной распылительной системы, для чего в камеру необходимо напустить газ аргон (Ar) и поддерживать расход постоянным ($15 \text{ см}^3/\text{мин}$), а расход реактивного газа – азота (N_2) изменять в зависимости от выбранного режима работы (см. таблицу 1). Далее образец требуется переместить под магнетрон. Для изучения влияния магнетронной плазмы на осаждение пленок TiN, расстояние между плоскостью мишени и подложкой следует (d_{s-t}) изменять (50 и 100 мм). Затем производить нанесение покрытия нитрида титана толщиной 0,4 мкм.

Рекомендуемая литература:

1. Федотко А., Кварцевый измеритель толщины пленок «Микрон-5», Руководство по эксплуатации. / IzoVac

Задача №4

Исследование зависимости скорости осаждения от скорости потока азота в рабочую камеру и расстояния между мишенью и подложкой. Дать оценку влиянию режимов осаждения на скорость осаждения пленок TiN.

- 1) Построить график зависимости скорости осаждения от потока азота в камеру и расстояния между мишенью и подложкой.
- 2) Сделать выводы о влиянии расстояния и потока реактивного газа в камере на скорость осаждения пленок TiN.

Рекомендуемая литература:

1. Михневич К. С. , Юрьев Ю. Н. , Тупикова О. С. Исследование свойств пленок TiN, полученных с помощью дуальной MPC при различных парциальных давлениях азота и конфигурациях магнитного поля // Известия вузов. Физика. 2014 т. 57. № 3/3. с. 207-210.
2. Yurjev Y.N., Sidelev D.V. Technological Peculiarities of Deposition Anti-Reflective Layers in Low-E Coatings // Journal of Physics: Conference Series. 2013. v. 479. № 1. Article Number - 012018. p. 1-4.

Задача №5

Сформулировать требования к отчету студента (что именно и в каком виде должен содержать их отчет)