

МЕХАНИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ТОНКОПЛЕНОЧНЫХ ПОКРЫТИЙ НА ОСНОВЕ МЕДИ

Гутенко Н.Д.

Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники,
г. Минск, Республика Беларусь

Научный руководитель: Телиш Е.В. – старший преподаватель

Аннотация. Проведено исследование влияния режимов синтеза на механические характеристики тонкопленочных покрытий на основе меди. Установлено, что покрытия имели высокую адгезию к кремнию. Коэффициент трения снижался при увеличении потенциала диафрагмы, давления парциального давления кислорода и температуры подложки.

Ключевые слова: прямое осаждение из ионного пучка, медные тонкие пленки, адгезия, коэффициент трения

Введение. Тонкопленочные покрытия из меди в настоящее время применяются в качестве металлизации СБИС, для полупрозрачных электродов в гибких ЖК дисплеях [1], органических светодиодах, сенсорных экранах. Актуальным является также замена серебряных низкоэмиссионных слоев на медные в архитектурных стеклах. Такие покрытия должны иметь высокую адгезию к используемым подложкам, приемлемую износостойкость. Для управления механическими свойствами формируемых пленок необходимо изменять энергию, величину, состав потока осаждаемых частиц. Такими возможностями обладает осаждение тонких пленок непосредственно из пучков ионов. Возможность управления энергией осаждаемых ионов позволяет изменять адгезию пленок к подложке, их микроструктуру и трибологические характеристики.

Автором ранее был применен новый метод для нанесения наноразмерных медных пленок, исследовано влияние параметров ионного пучка на электрофизические характеристики пленок [2]. Задачей настоящей работы являлось исследование влияния энергии ионов меди, парциального давления кислорода и температуры подложки на механические характеристики (коэффициент трения и величина адгезии) наноразмерных пленок на основе меди.

Основная часть. Исследования осуществляли с использованием ускорителя с анодным слоем, работающего в режиме ионно-пучкового фокуса. Покрытия наносили на подложки из кремния. Трибологические характеристики измерялись с использованием микротвердомера МТ-4. Нагрузка в условиях сухого трения составляла 50 – 70 мН. Типичная трибограмма медного покрытия приведена на рисунке 1. Методы поперечных насечек и отрыва липкой ленты применялись для оценки адгезии пленок на основе меди к кремнию.

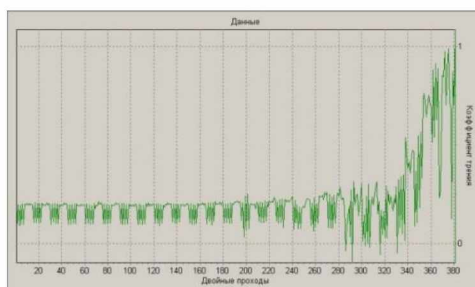


Рисунок 1 – Типичная трибограмма медного покрытия

Проведено исследование влияния параметров вторичных ионных пучков на механические характеристики тонкопленочных покрытий на основе меди. Варьировались величины ускоряющего напряжения на аноде ускорителя U_a и плотность тока ионов вторичного ионного пучка J_z в области подложки. От анодного напряжения зависела энергия ионов, конденсирующихся на подложке. Результаты исследований приведены в таблице 1.

Таблица 1 – Результаты измерений коэффициента трения и адгезии

№ обр.	U_a , кВ	I_z , мкА	J_z , мкА/см ²	k	Адгезия
1	2,5	25	0,9	0,20	4В
2	2,5	100	3,6	0,22	5В
3	2,5	150	5,3	0,18	5В
4	2,5	210	7,5	0,19	5В
5	1,8	100	3,6	0,22	5В
6	3,0	100	3,6	0,26	5В

Установлено, что коэффициент трения k изменялся в пределах 0,18 – 0,26 и практически не зависел от плотности тока и энергии ионов. Все образцы успешно прошли тест на адгезию с использованием липкой ленты (скотча). Адгезия, измеренная с использованием метода насечек, составила 4В – 5В, что свидетельствует о формировании прочных адгезионных связях. При наличии положительного потенциала на диафрагме 0...115 В энергия ионов увеличивалась с 40 до 160 эВ. Это привело к снижению k с 0,8 до 0,22, т.е. повышению износостойкости покрытий (рисунок 2).

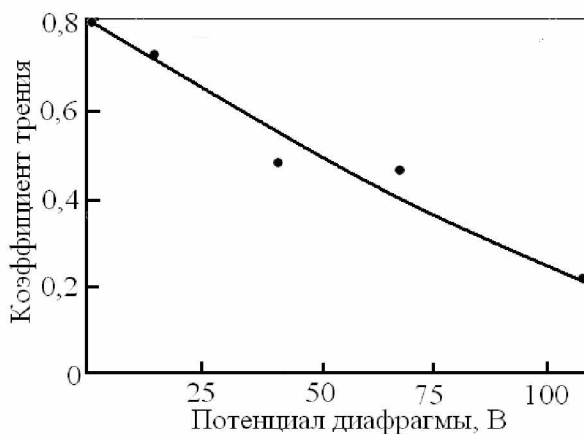


Рисунок 2 – Зависимость коэффициента трения от потенциала диафрагмы

Это можно объяснить уплотнением структуры покрытия, благодаря более высокой энергии конденсирующихся на подложке частиц. Покрытия, полученные при наличии положительного потенциала на диафрагме, также успешно прошли тесты на адгезию.

Проведено исследование влияния давления кислорода на механические характеристики покрытий. На рисунке 3, а приведена зависимость коэффициента от парциального давления кислорода в рабочем газе. Установлено, что коэффициент трения снижался с ростом парциального давления кислорода, что может быть связано с формированием более износостойкой, по сравнению с медью, фазы из CuO_x . Все образцы, как на кремнии, так и на стекле успешно прошли тест на адгезию с использованием липкой ленты (скотча). Адгезия, измеренная с использованием метода насечек, составила 5В, что свидетельствует о формировании прочных адгезионных связей. При использовании метода нормального отрыва адгезия превысила значение 2,7 МПа.

Проведено исследование влияния температуры подложки $T_{\text{п}}$ на износостойкость медных пленок, нанесенных на подложку из кремния при $U_a = 2,5$ кВ, токе разряда – 45 мА и потенциале диафрагмы – 0 (рисунок 3, б).

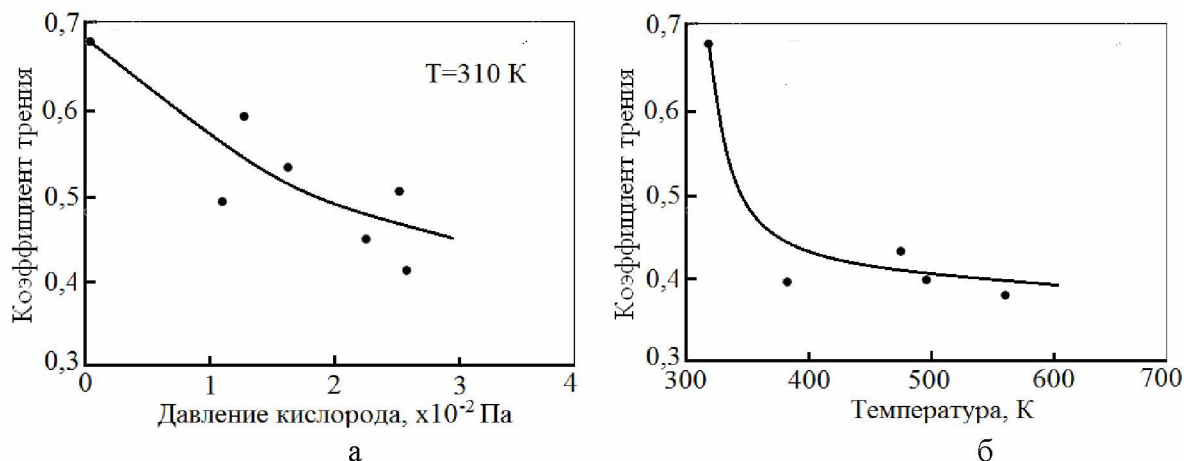


Рисунок 3 – Зависимость коэффициента трения от парциального давления кислорода (а) и температуры подложки (б)

Установлено, что коэффициент трения снизился в 1,8 раза при $T_{\text{п}}=573$ К. Это можно объяснить формированием упорядоченной структуры покрытия, благодаря более высокой подвижности конденсирующихся на подложке частиц. Покрытия, синтезированные на нагретой подложке, также успешно прошли тесты на адгезию с использованием отрыва скотча. Оценка адгезии с применением метода насечек составила 5В.

Заключение. Проведенные исследования показали, что покрытия обладали отличной адгезией к кремниевой подложке. Изменяя величину положительного потенциала на диафрагме, состав рабочего газа и температуру подложки, можно управлять трибологическими характеристиками покрытий на основе меди.

Список литературы

- 1 Kang, M.-G. Semitransparent Cu electrode on a flexible substrate and its application in organic light emitting diodes / M.-G. Kang, L.G. Guo // *J. of Vac. Sci. and Technol. B.* – 2007. – V.25. – No 6. – P. 2637 – 2641.
2. Телеш, Е.В. Ионно-лучевой синтез прозрачных медных электродов / Е.В. Телеш, Н.Д. Гутенко, С.В. Данилович // *Приборостроение – 2023: материалы 16-й Междуна. научно-технической конференции (Минск, 15-17 ноября 2023 г.) / Белорус. нац. техн. ун-т. – Минск, 2023. – С. 278–279.*

UDC 621.793.184

MECHANICAL CHARACTERISTICS OF THIN FILM COATINGS BASED ON COPPER

Gutenko N.D.

Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics, Minsk, Republic of Belarus

Telesh E.V. – Senior Lecturer at the Department of ETT

Annotation. A study was carried out of the influence of synthesis modes on the mechanical characteristics of copper-based thin-film coatings. It was found that the coatings had high adhesion to silicon. The friction coefficient decreased with increasing diaphragm potential, oxygen partial pressure, and substrate temperature.

Keywords. Direct ion beam deposition, copper thin films, adhesion, coefficient of friction