

МИНОБРНАУКИ РОССИИ  
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования  
«САРАТОВСКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ  
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ ИМЕНИ Н.Г. ЧЕРНЫШЕВСКОГО»

Кафедра материаловедения, технологии  
и управления качеством

**ИЗУЧЕНИЕ МОРФОЛОГИИ ПОВЕРХНОСТИ И  
ЭЛЕКТРОФИЗИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ТОНКИХ ПЛЕНОК  
СПЛАВОВ Cu-Mo**

**АВТОРЕФЕРАТ БАКАЛАВРСКОЙ РАБОТЫ**

студентки 4 курса 4091 группы  
направления 22.03.01 «Материаловедения и технологии материалов»,  
профиль «Нанотехнологии, диагностика и синтез современных материалов»  
института физики

Солодовниковой Светланы Олеговны

Научный руководитель,  
доцент, к.ф.-м.н., доцент  
\_\_\_\_\_

должность, уч. степень, уч. звание

\_\_\_\_\_

подпись, дата

А.А. Сердобинцев  
\_\_\_\_\_

инициалы, фамилия

Зав. кафедрой,  
д.ф.-м.н., профессор  
\_\_\_\_\_

должность, уч. степень, уч. звание

\_\_\_\_\_

подпись, дата

С.Б. Вениг  
\_\_\_\_\_

инициалы, фамилия

**Введение.** В современных технологиях часто используют большое давление, температуру и агрессивное действие химических веществ. Чтобы выдерживать такие нагрузки, необходимо создание новых материалов с новыми особыми свойствами.

Для того чтобы эффективно использовать материалы в проектируемых изделиях, необходимо учитывать не только условия эксплуатации, но и поведение различных материалов в процессе изготовления деталей машин и приборов. Технически чистые металлы, как правило, характеризуются низкими прочностными свойствами, поэтому в машиностроении в основном применяют материалы, получаемые сплавлением двух и более элементов.

**Целью** выпускной квалификационной работы является теоретическое и практическое ознакомление с процессом формирования и исследования пленок сплавов Cu-Mo различного состава, полученных методом магнетронного распыления.

На основе поставленной цели необходимо решить следующие задачи:

- Ознакомление с процессом магнетронного распыления в вакууме;
- Теоретическое и практическое ознакомление с работой АСМ;
- Изучение морфологии поверхности плёнок сплавов Cu-Mo;
- Обработка и анализ полученных изображений с помощью программы Gwyddion;
- Измерение поверхностного сопротивления плёнок сплавов Cu-Mo;
- Комплексный анализ экспериментальных данных.

Дипломная работа занимает 41 страницу, имеет 32 рисунка и 6 таблиц.

Обзор составлен по 16 информационным источникам.

Во введении рассматривается актуальность работы, устанавливается цель и выдвигаются задачи для достижения поставленной цели.

Первый раздел представляет собой теоретический обзор используемых в работе методов получения пленок сплавов Cu-Mo и исследования морфологии поверхности и электрофизических свойств пленок.

Во втором разделе работы описана работа с установкой для магнетронного распыления Angstrom Nexdep и сканирующим зондовым микроскопом (СЗМ) SOLVER Nano. Описан процесс получения значений шероховатости и поверхностного сопротивления. Изучена зависимость шероховатости и поверхностного сопротивления от соотношения мощностей и температуры напыления.

### **Основное содержание работы**

В работе изучается влияние температуры напыления и соотношения компонентов на свойства пленок сплавов Cu-Mo.

Получение пленок сплавов Cu-Mo происходит методом магнетронного распыления с использованием двух магнетронов, оснащённых дисковыми мишенями чистых металлов Cu и Mo соответственно. Принцип магнетронного распыления основан на образовании кольцевой плазмы над поверхностью катода в результате столкновения электронов с молекулами газа. Мишень магнетронного распылительного устройства является источником распыленного материала. Образовавшиеся в разряде положительные ионы ускоряются в направлении катода-мишени, они бомбардируют его поверхность, выбивая из него частицы материала, которые осаждаются на поверхности подложки, образуя на ее поверхности пленку, а также частично рассеиваются на молекулах остаточных газов или оседают на стенках рабочей вакуумной камеры [1].

Были получены две серии образцов: образцы с разным соотношением мощностей медного и молибденового магнетронов, но с одинаковой температурой напыления, равной 25 °С; образцы с одинаковым соотношением мощностей медного и молибденового магнетронов, но с разной температурой напыления.

Исследование образцов было выполнено с помощью атомно-силового микроскопа (АСМ). Принцип работы атомно-силового микроскопа основан на регистрации силового взаимодействия между поверхностью исследуемого образца и зондом. В качестве зонда используется наноразмерное остриё,

располагающееся на конце упругой консоли, называемой кантилевером. Сила, действующая на зонд со стороны поверхности, приводит к изгибу консоли. Появление возвышенностей или впадин под остриём приводит к изменению силы, действующей на зонд, а значит, и к изменению величины изгиба кантилевера. Таким образом, регистрируя величину изгиба, можно получить изображение рельефа поверхности [2].

С помощью модульной программы анализа данных СЗМ – Gwyddion, были обработаны изображения, полученные с помощью АСМ, а также получены значения шероховатости [3].

На рисунке 1 представлен график зависимости шероховатости от соотношения мощностей медного и молибденового магнетронов.

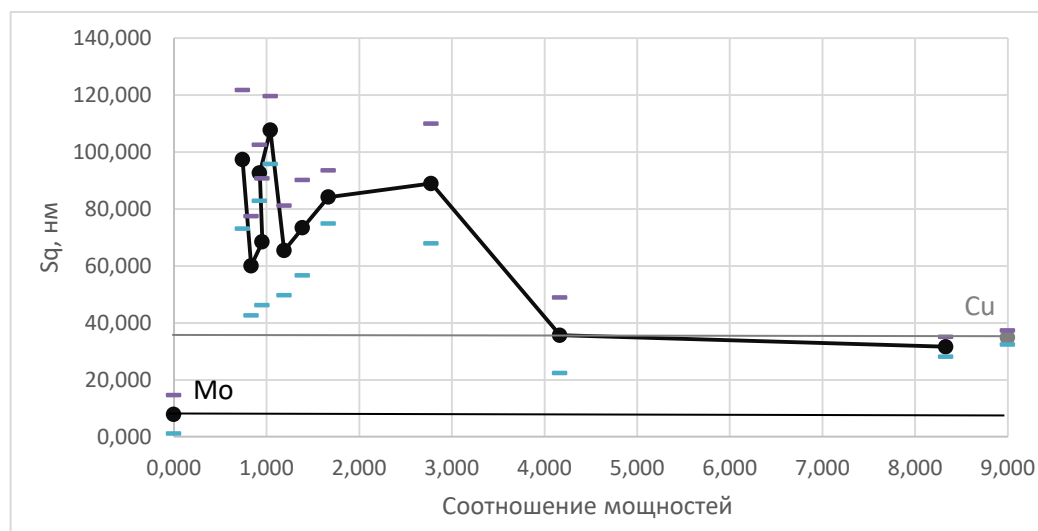


Рисунок 1 – График зависимости шероховатости от соотношения мощностей

Из графика видно, что малое добавление Мо практически не влияет на шероховатость, но при большем его содержании шероховатость возрастает в 2-3 раза. Вероятнее всего, при добавлении Мо смешивания не происходит, т.е. элементы Cu и Мо не объединяются в единое целое. Возникают отдельные агрегаты атомов меди и молибдена, что приводит к росту шероховатости.

На рисунке 2 представлен график зависимости шероховатости от температуры напыления.

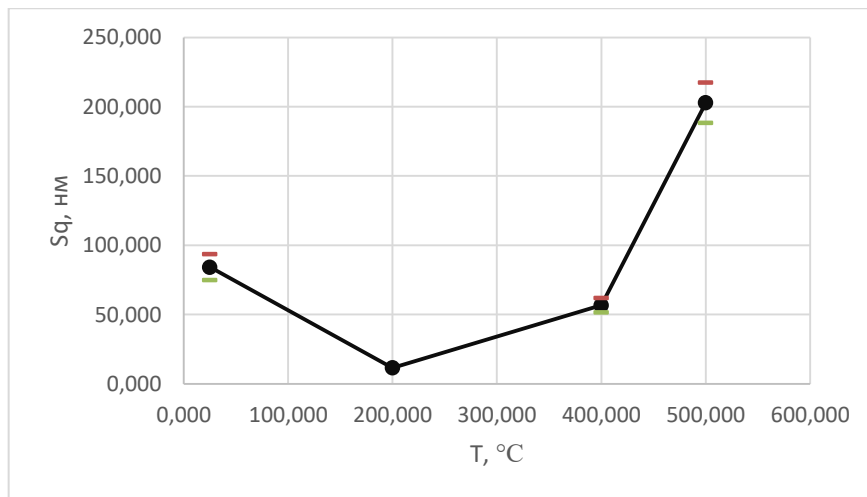


Рисунок 2 – График зависимости шероховатости от температуры

Измерение значений поверхностного сопротивления было проведено с помощью четырехзондового метода. Для определения поверхностного сопротивления используются четыре контакта, расположенные в одной линии на одинаковом расстоянии. Через внешние контакты пропускают электрический ток  $I$ , на внутренних контактах измеряют разность потенциалов  $U$  [4]. Подставив значения в формулу 1, были найдены средние значения удельного поверхностного сопротивления:

$$R = \frac{\pi U}{\ln 2I}. \quad (1)$$

На рисунке 3 представлен график зависимости  $\rho_{\text{ср}}$  от соотношения мощностей.

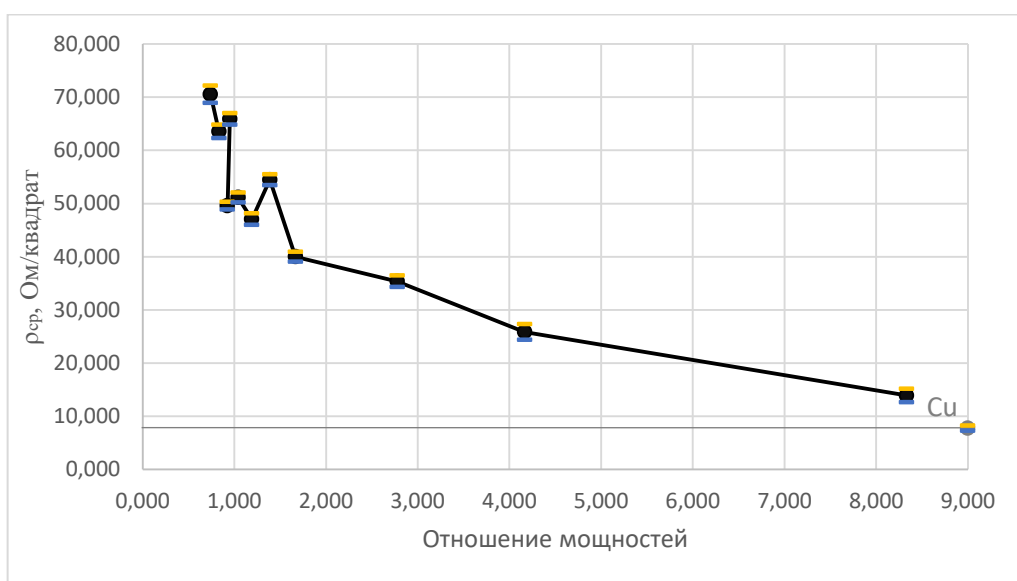


Рисунок 3 – График зависимости  $\rho_{\text{ср}}$  от соотношения мощностей

Добавление Мо ведет к увеличению значения удельного поверхностного сопротивления. Данный результат закономерен, так как молибден имеет намного большее значение удельного сопротивления.

На рисунке 4 представлен график зависимости  $\rho_{\text{ср}}$  от температуры подложки во время напыления плёнок сплава Cu-Mo

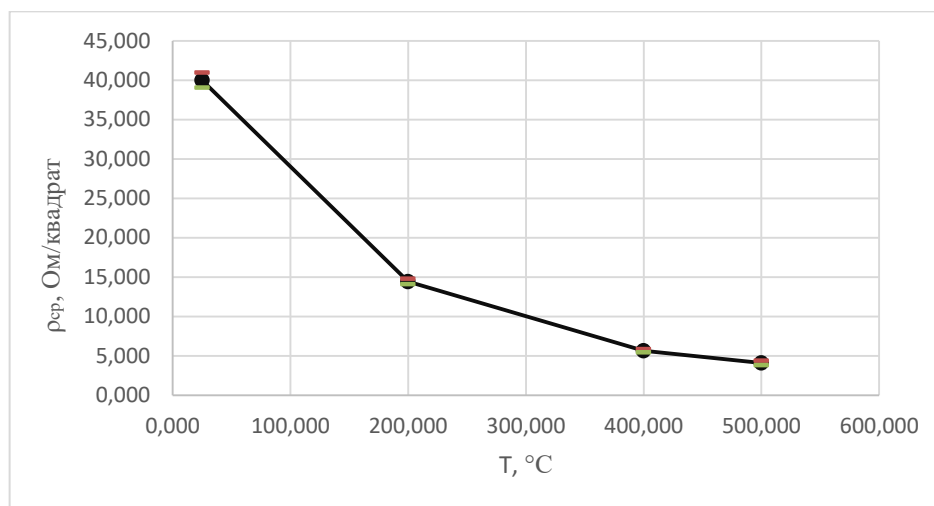


Рисунок 4 – График зависимости  $\rho_{\text{ср}}$  от температуры

Из графика видно, что при повышении температуры среднее значение удельного поверхностного сопротивления  $\rho_{\text{ср}}$  понижается. Следовательно, при повышении температуры подложки повышается электрическая проводимость сплава. Т.е. при повышении температуры, кристаллиты меди увеличиваются в размерах, снижая количество межкристаллитных границ, являющихся препятствиями для движущихся электронов. В результате рассеяние электронов в образце уменьшается и его сопротивление падает. Наличие молибдена в плёнках при этом практически не влияет на токоперенос из-за малых размеров агрегатов и небольшого их количества.

**Заключение.** На основании проделанной работы можно сделать вывод, что с увеличением содержания молибдена увеличивается и сопротивление, и шероховатость. Так как молибден для меди чужеродный элемент из-за очень различных свойств, то наличие молибдена нарушает структуру меди.

При повышении температуры молибден растворяется в меди, а кристаллиты меди увеличиваются в размерах, что приводит к повышению электрической проводимости и шероховатости пленок сплава Cu-Mo.

В ходе выполнения практики были выполнены следующие задачи:

- Ознакомление с процессом магнетронного распыления в вакууме;
- Теоретическое и практическое ознакомление с работой АСМ;
- Изучение морфологии поверхности плёнок сплавов Cu-Mo;
- Обработка и анализ полученных изображений с помощью программы

Gwyddion;

- Измерение поверхностного сопротивления плёнок сплавов Cu-Mo;
- Комплексный анализ экспериментальных данных.

#### **Список использованных источников**

1 Данилин, Б. С. Магнетронные распылительные системы / Б. С. Данилин, В. К. Сырчин. – М. : Радио и связь, 1982. – 215 с.

2 Миронов, В. Л. Основы сканирующей зондовой микроскопии : учебное пособие / В. Л. Миронов. – Н. Новгород : ИФМ РАН, 2004. – 110 с.

3 Руководство пользователя Gwyddion [Электронный ресурс] // gwyddion [Электронный ресурс] : [сайт]. – URL: <http://gwyddion.net/documentation/user-guide-ru/index.html> (дата обращения 17.04.2022). – Загл. с экрана. – Яз. рус.

4 Батавин, В. В. Измерение параметров полупроводниковых материалов и структур / В. В. Батавин, Ю. А. Концевой, Ю. В. Федорович. – М. : Радио и связь, 1985. – 264 с.