

Исследование электромиграции в тонкопленочных проводниках алюминия и меди, нанесенных на поликоровые подложки

Автор Рыцев К.М.

Южно-Уральский государственный университет
(национальный исследовательский университет)

Челябинск, 2021

Цель, объект, решаемые задачи

Цель исследования – получение практических сведений о электромиграционных процессах и зависимостях в осажденных пленках меди и алюминия.

Объект исследования - пленки алюминия и меди, полученные в процессе термического вакуумного напыления.

Решаемые задачи

1. Исследование пленок различных материалов с помощью аппаратуры сканирующей зондовой микроскопии. Проверка возможности применения данного исследования в процессе производства микросхем.
2. Обобщение результатов исследования пленок путем сравнения сканов их поверхности между собой.

Теория

Электродиффузия – это перенос массы вещества в металлических проводниках под действием постоянного тока повышенной плотности ($J \geq 5 \cdot 10^5 \text{ / } ^2$)

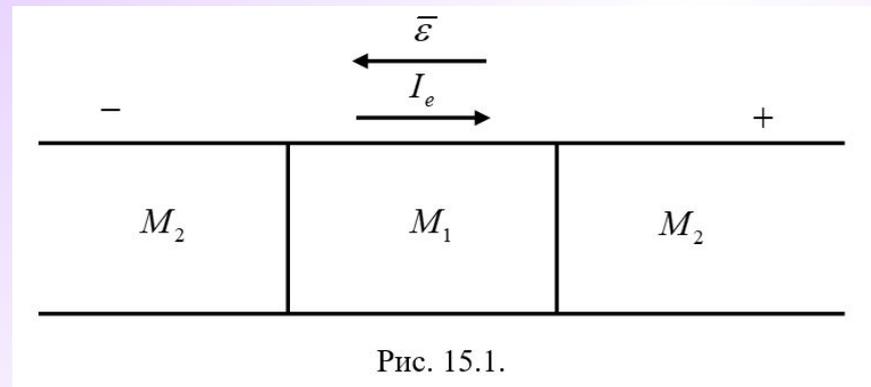


Рис. 15.1.

Для снижения деградационных процессов, вызванных электродиффузией в металлизации, необходимо принять меры по уменьшению плотности тока, протекающего в межэлементных соединениях. Это может быть достигнуто как за счет увеличения поперечного сечения проводника (увеличение ширины дорожек), так и за счет оптимизации режимов работы активных элементов в ИМС. Положительный эффект также дают защитные покрытия на проводящих дорожках в виде различных стекол, что способствует снижению вероятности образования бугорков и “усов”.

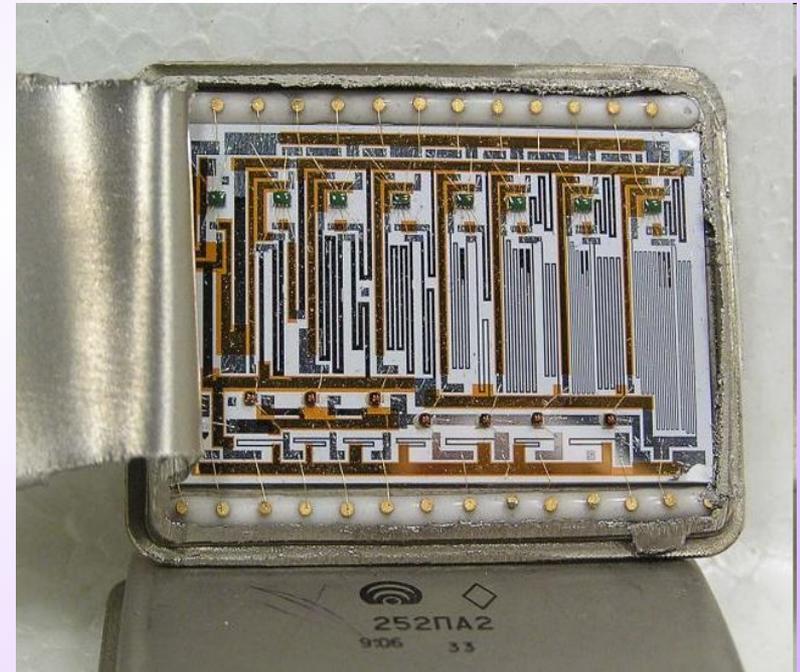
Особенности электродиффузии в тонких металлических пленках.

В отличие от массивных материалов, электродиффузия в тонких пленках имеет ряд особенностей. Это связано с изменением свойств вещества, находящегося в тонкопленочном состоянии, которые обусловлены двумя основными причинами:

- 1) структурной неравновесностью тонких пленок;
- 2) зависимостью некоторых свойств пленок от их толщины, так называемым размерным эффектом.

Практическое применение

Нанесение проводящих пленок на подложку является частью технологического процесса создания микросхем.

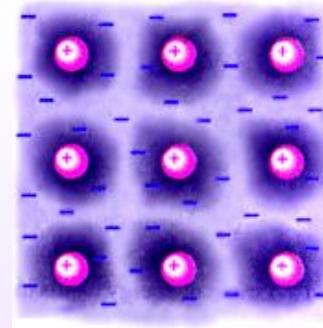
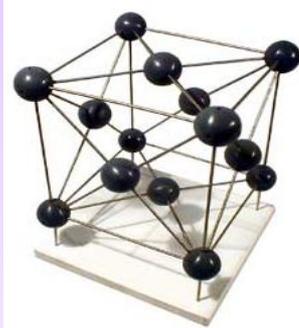


Готовая микросхема

Сведения об исследуемых материалах

Медь - пластичный, немагнитный металл золотисто-розового цвета с невысокой прочностью. Удельный вес - $8,93 \text{ г/см}^3$. Температура плавления – 1083°C . Структура кристаллической решетки – кубическая гранецентрированная.

Алюминий - лёгкий, немагнитный металл серебристо-белого цвета, имеющий низкое удельное сопротивление и легко поддающийся механической обработке. Удельный вес – $2,7 \text{ г/см}^3$. Температура плавления – 660°C . Структура кристаллической решетки – кубическая гранецентрированная.



Кристаллическая решетка меди и алюминия

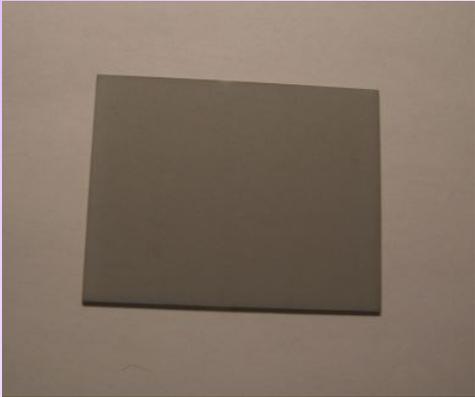
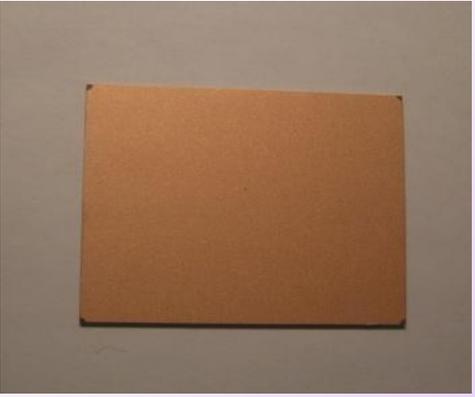
Ионы металла удерживаются в положении равновесия из-за взаимодействия с «газом свободных электронов»

Поликор - разновидность керамики, основным компонентом которой является оксид алюминия (Al_2O_3).

| | |
|-----------------------------------|-----------------------|
| Процентное содержание Al_2O_3 | 99,8 |
| Пористость в процентном отношении | 0,0 – 0,5 |
| Внешний вид | Белый, полупрозрачный |

Образцы исследуемых пленок

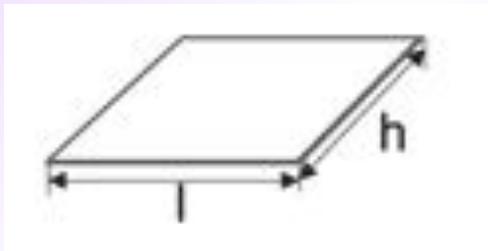
Объектом исследования являлись пленки алюминия и меди, осажденные на поверхность поликоровых подложек.

| Фотографии образцов | |
|---|---|
|  |  |
| Пленка алюминия | Пленка меди |

Конструкционные сведения о поликоровой подложке

Для экспериментов были выбраны поликоровые подложки.

Основные параметры поликоровой подложки приведены в таблице .



| Материал | Размер, мм | | толщина а мм |
|----------|-------------|------------|--------------|
| | ширина h | длина l | |
| поликор | 48 | 60 | 1 |

Технология формирования пленок

Алюминий и медь планируется осаждать на подложку методом термического вакуумного напыления.

Технологический маршрут

1. Очистка поверхности подложек в растворе серной кислоты (H_2SO_4) и дихромата калия ($K_2Cr_2O_7$). Промывка подложек в деионизованной воде .
2. Установка подложек на приемную поверхность рабочей камеры установки термического вакуумного напыления.
3. Загрузка гранул напыляемого вещества (в данном случае меди или алюминия) в испарители.



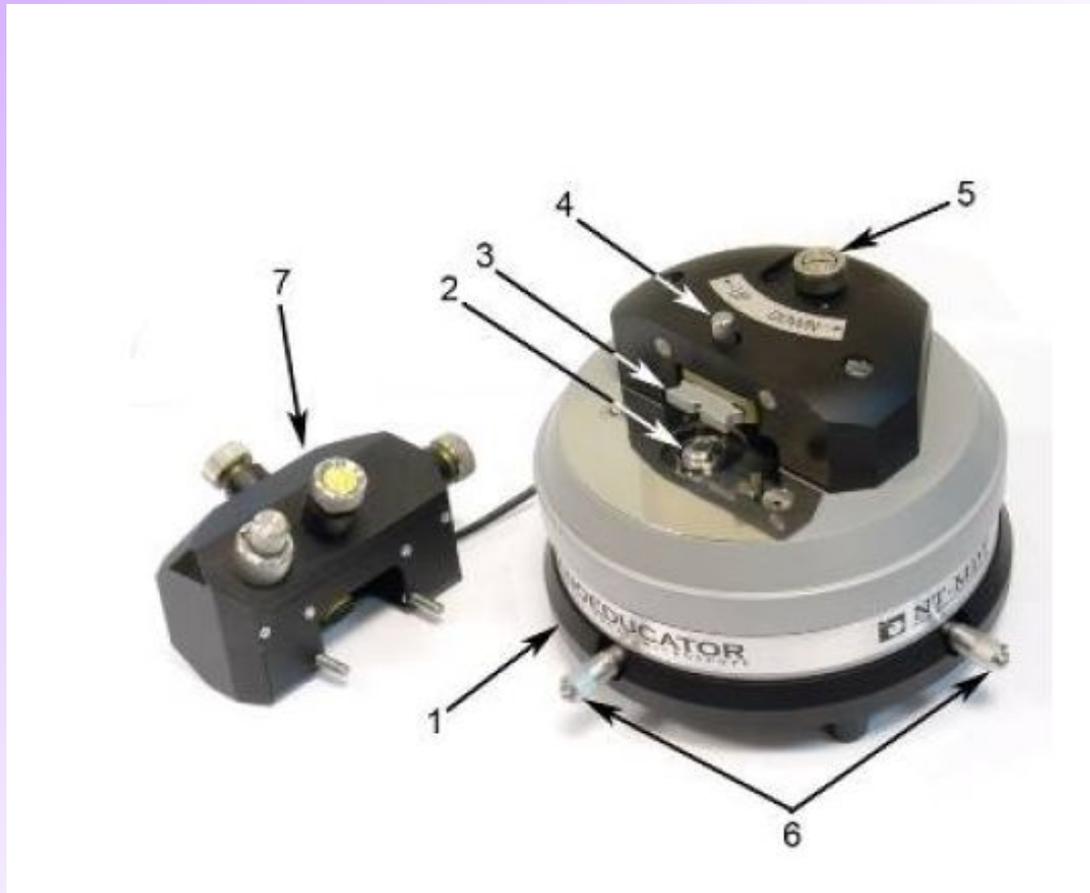
Гранулы меди



Гранулы алюминия

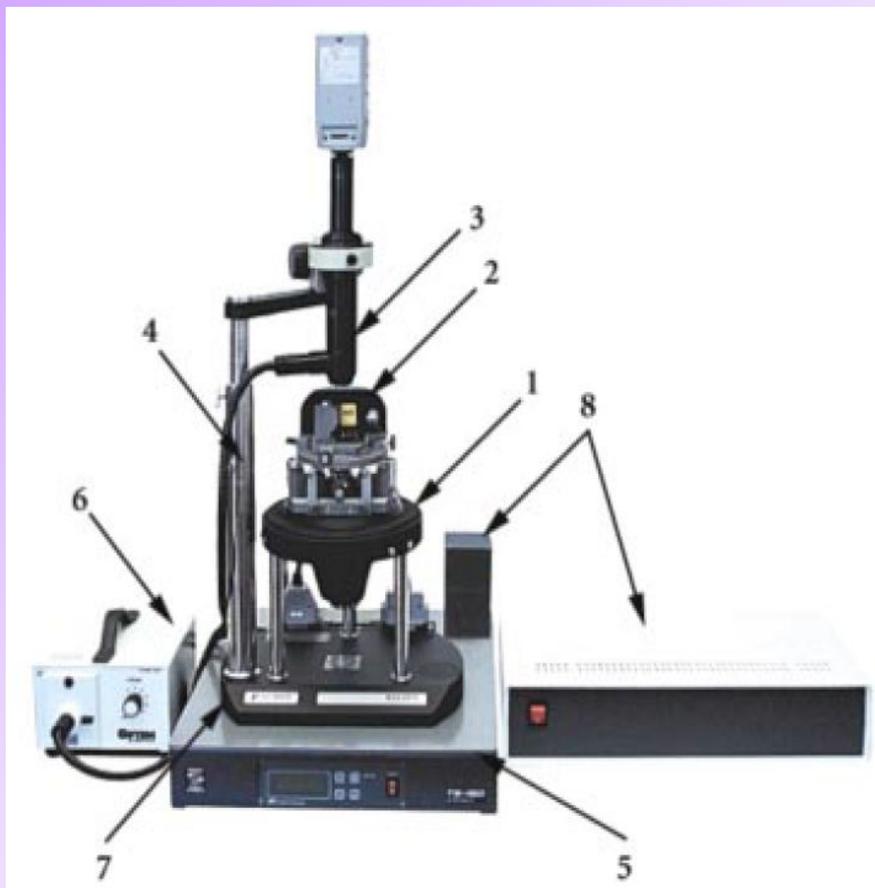
1. Откачка воздуха из объема рабочей камеры (создание вакуума) - в течение дальнейших операций процесса).
2. Прогрев подложек лампами накаливания до температуры 200-300°C.
3. Подача напряжения на испарители.
4. Плавление и испарение из испарителей гранул напыляемого вещества.
5. Осаждение на подложку слоя напыляемого вещества.
6. Отключение напряжения на испарителях.
7. Прекращение откачки воздуха. Постепенное охлаждение закрытой камеры.
8. Извлечение подложек из камеры (через шесть часов).

Возможные исследования с помощью сканирующей зондовой микроскопии



- 1 - Основание
- 2 - Держатель образца
- 3 - Датчик взаимодействия
- 4 - Винт фиксации датчика
- 5 - Винт ручной подвода
- 6 - Винт перемещения датчика с образцом
- 7 - Защитная крышка с видеокамерой

Сканирующий зондовый микроскоп “*NanoEducator*”.

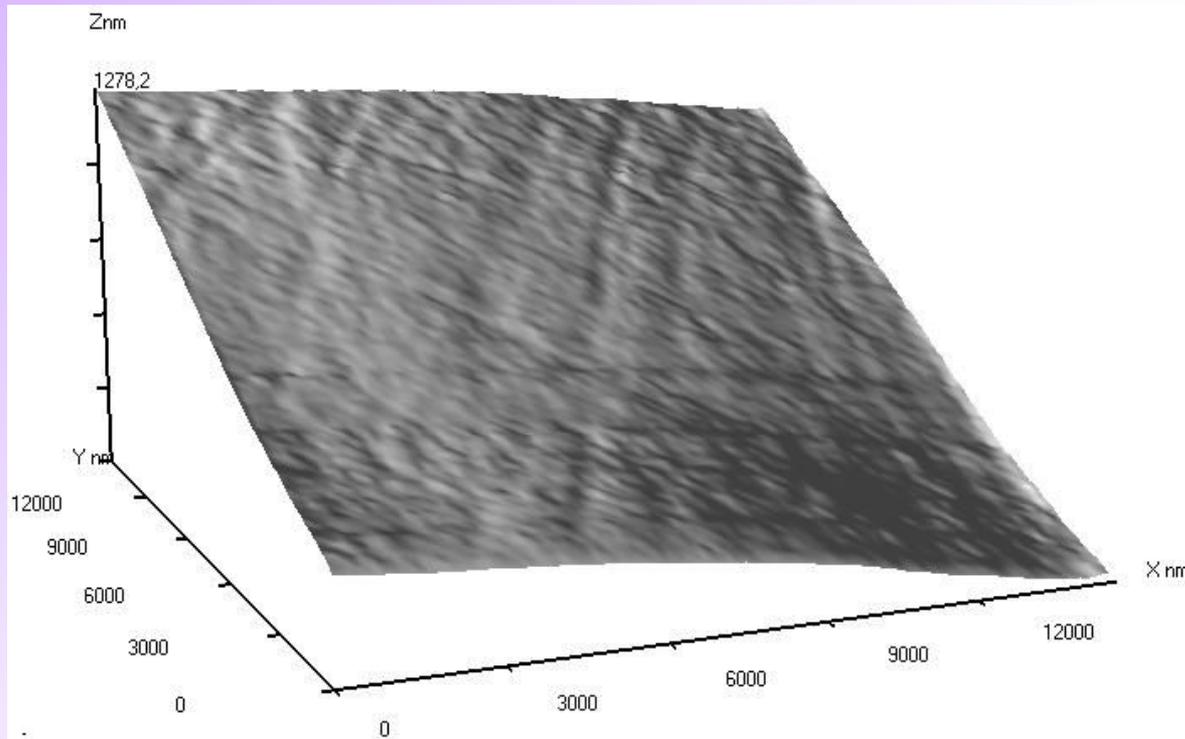


- 1 - Блок подвода и сканирования
- 2 - Измерительная головка
- 3 – Объектив с видеокамерой
- 4 - Штатив
- 5 – Блок динамической виброизоляции
- 6 – Осветитель со световодом
- 7 – Платформа с блоком и опорным стойками
- 8 – CLE-система

Сканирующий зондовый микроскоп
“SOLVER PRO”

Анализ исследования поверхности поликоровой подложки

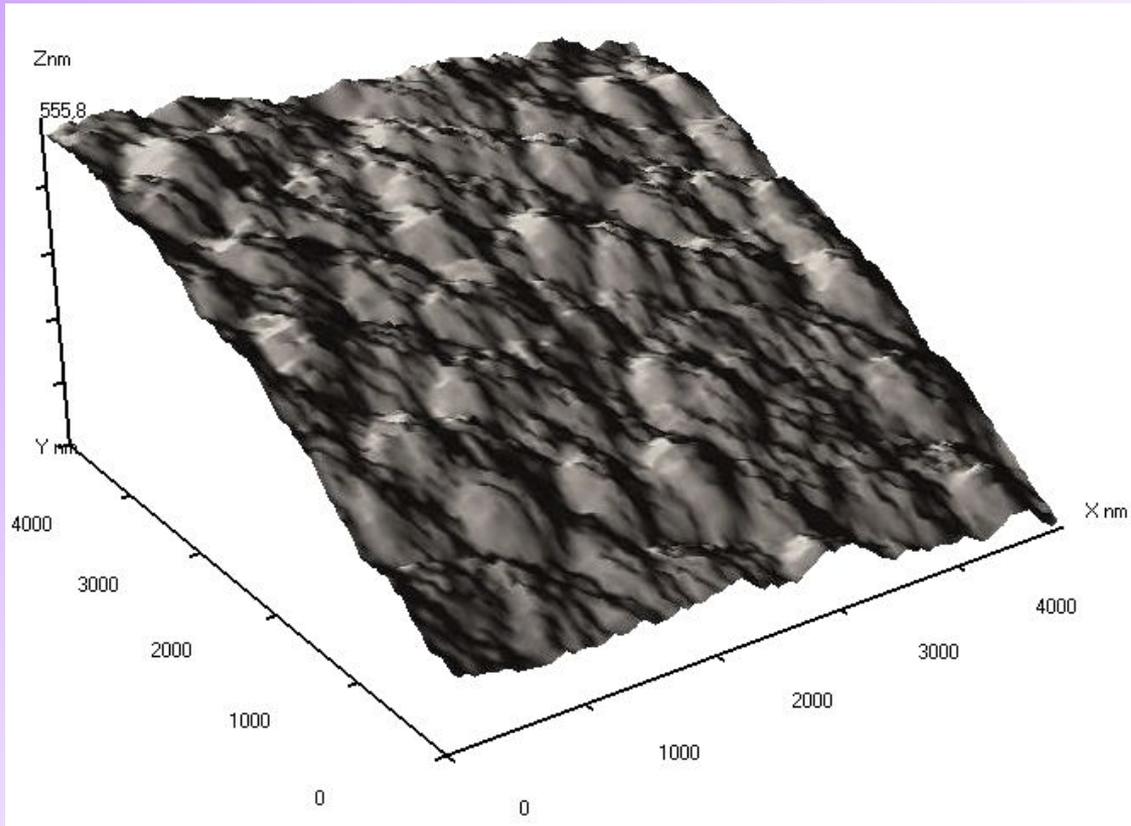
При сканировании поверхности поликоровой подложки на наноуровне было установлено, что ее структурные образования расположены равномерно по всей площади поверхности и имеют размеры значительно меньшие нанотехнологической границы (100 нм). Поэтому объект можно считать наноструктурным образованием.



Поле сканирования - $15 \times 15 \text{ мкм}$.

Была выдвинута гипотеза, что эти поверхностные структурные образования вызваны микронеровностями керамики. Микронеровности поверхности керамики очень велики (из-за способа ее получения). Они могут быть значительно снижены путем полировки. На скане представлена поверхность поликоровой подложки после полирования.

Исследование поверхностных структур пленки алюминия



Поле сканирования - 5×5 мкм

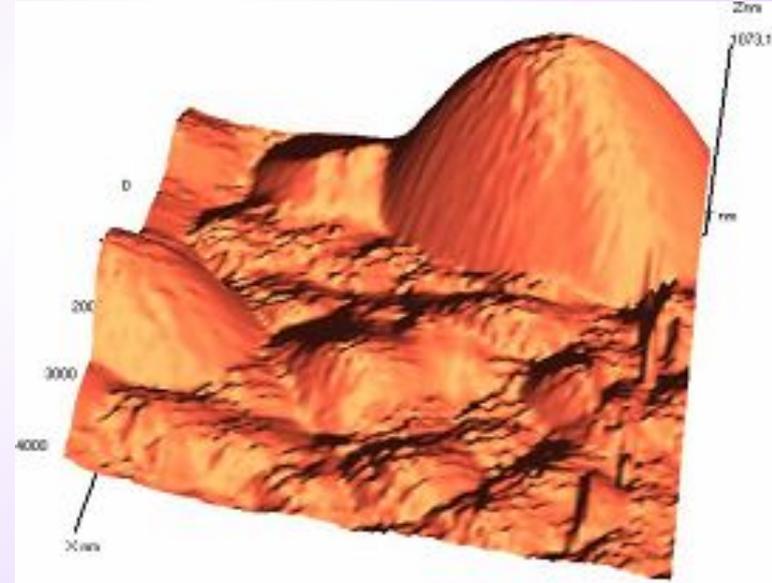
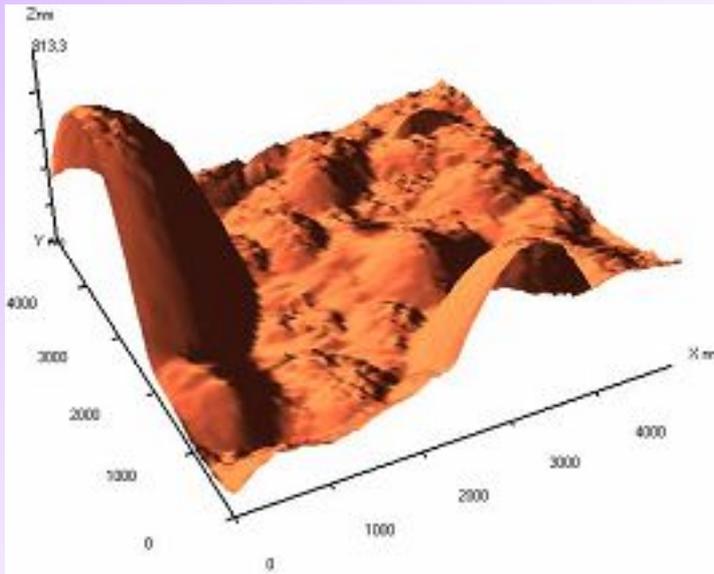
Напыленный на подложку тонкий слой алюминия представляет собой поверхность с характерным металлическим блеском. Проанализировав результаты, полученные при сканировании, можно видеть, что поверхность пленки неоднородна. На поверхности пленки видны образования тесно расположенные друг от друга очень похожие на «чешуйки». Практически достоверно можно утверждать, что эти «чешуйки» расположены равномерно по всей поверхности.

Можно сделать предположение, что эти образования сформировались вследствие неравномерного осаждения атомов алюминия на поверхность подложки в процессе термического вакуумного напыления.

Исследование поверхностных структур пленки меди

Напыленная на подложку медь представляет собой пленку с характерным золотисто-розовым оттенком. Просмотрев результаты сканирования, можно заметить, что поверхность пленки очень неоднородна.

На поверхности имеются структуры, различные по размерам. Однако можно точно сказать, что размеры этих структур превышают нанотехнологическую границу. Видно, что эти образования располагаются неравномерно по поверхности пленки.



Поле сканирования - 5×5 мкм

Можно сделать предположение, что эти образования сформировались вследствие неравномерного распределения достаточно крупных частиц меди по поверхности подложки при напылении.

Применение полученных результатов

Проведенное исследование электромиграции покажет зависимость интенсивность отказов тонких пленок от электродиффузионного переноса массы вследствие протекания тока высокой плотности. Оно может сыграть большую роль при:

1. Совершенствовании технологии производства гибридно-пленочных интегральных микросхем.
2. Выборе наиболее подходящего материала для проводящих пленок.
3. Анализе и выявлении дефектов напыления и последующего их устранения.