

Влияние лазерной стимуляции на структуру гальванического покрытия серебра

В.М. Полевиков

Гомельский государственный университет им. Ф.Скорины
Советская 104, 246019, Гомель, Беларусь

Наиболее распространенным подходом при создании рабочих поверхностей контактов в электронике и электротехнике является формирование покрытий на основе металлов электролитическими методами [1]. При этом важной проблемой в гальванотехнике является увеличение скорости осаждения металла. Стремление повысить скорость и однородность гальванического осаждения привело к поиску дополнительных источников энергетического воздействия на процесс. Одним из многообещающих направлений исследований является металлизация, стимулированная лазерным излучением. Данный способ металлизации важен, главным образом, для электротехнической и электронной промышленности, поскольку позволяет существенно повысить скорость металлизации на автоматических линиях.

Воздействие лазерного излучения обеспечивает наряду с ускорением процесса осаждения стимуляцию различных стадий формирования кристаллической структуры получаемых покрытий.

Целью работы являлось изучение структурных характеристик локальных осадков серебра, сформированных на непроводящих подложках из ситалла и поликора с использованием проводящих подслоев из меди, хрома, титана и ванадия. При этом использовался метод атомно-силовой микроскопии (АСМ), являющийся мощным инструментом для исследования поверхностей твердых тел и покрытий.

Исследуемые образцы представляли собой сплошные покрытия серебра, нанесенные в процессе электрохимического осаждения, на фоне которых под действием лазерного излучения более интенсивно формировались локальные осадки серебра. Образцы были получены с использованием лазерной технологической установки "Квант-12" (длина волны излучения $\lambda = 1.06$ мкм, плотность мощности $P = 1 \cdot 10^6$ Вт/см²).

Исследования топографии и структуры поверхности покрытия проводились с помощью экспериментально-вычислительного комплекса НАНОТОП-203, разработанного в ИММС НАНБ. Сканирование участков исследуемой поверхности серебра выполнялось в динамическом режиме при осцилляции вольфрамового зонда жесткостью 300 – 500 Н/м с частотой 40 – 60 КГц и с "легким" обстукиванием материала. В результате АСМ измерений формировались изображение высоты поверхности (топографии) и изображение фазового контраста. Изображения фазового контраста представляют собой значения сдвига фазы колебаний микронзонда в каждой точке сканирования. Сдвиг фазы тем больше, чем больше жесткость материала в точке обстукивания поверхности [2]. Поэтому более мягкие межкристаллические границы покрытия хорошо проявляются на изображениях фазового контраста.

Полученные массивы данных визуализировались и анализировались с помощью программы Surface Soft. При анализе трехмерных изображений топографии рассматривались типичные профильные сечения шероховатости образца, гистограммы распределения углов наклона и диаграммы ориентации элементов топографии и структуры для каждой исследуемой поверхности.

Исследования показали, что структура покрытия серебра в зоне локального осадка существенно отличается от структуры фона покрытия независимо от природы материала подложки и подслоя. В качестве иллюстрации на рисунках 1 и 2 приведены трёхмерное изображение поверхности, гистограммы углов наклона рельефа в точках поверхности и ориентация кристаллитов поверхности для фона (рис.1) и локального осадка (рис.2) покрытия серебра, полученного на ситалле с подслоем из ванадия. Анализ структурных особенностей покрытий серебра на ситалле с подслоем из ванадия показал, что средний размер зерен (R_{cp} в зоне локального осадка составляет ≈ 600 нм, в зоне фона ≈ 350 нм; глубина межзеренных провалов (Z_{cp}) составляет соответственно ≈ 30 нм и ≈ 60 нм. Фон покрытия состоит из слабо ориентированных кристаллов, а поверхность кристаллитов локального осадка имеет достаточно четкую ориентацию вдоль одного направления. Эти факты свидетельствуют о том, что воздействие лазерного излучения стимулирует процессы рекристаллизации серебра при формировании покрытия, в результате чего в зоне локального осадка формируется более совершенная и регулярная кристаллическая структура.

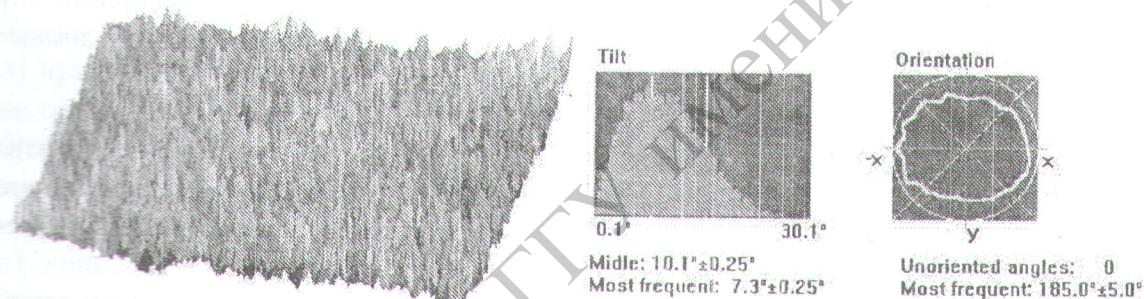


Рис. 1. Характеристики топографии поверхности серебра вне локального осадка (фон), осаждённого на ванадиевый подслоя ситалловой подложки (площадь сканируемого участка поверхности $8,5 \times 8,5$ мкм, максимальная высота 320 нм): слева трёхмерное изображение; справа гистограмма углов наклона и ориентация структурных топографических элементов поверхности

Анализ топографии поверхности серебра, нанесенного на ситалл с подслоем титана, показал, что структура поверхности в зоне локального осадка также более совершенна, чем в области фона. Структурные фрагменты поверхности локального осадка серебра, линейный размер которых ≈ 800 нм, плотно упакованы, глубина провалов между ними составляет ≈ 20 нм. Степень ориентации зерен значительно ниже, чем в предыдущем случае.

Использование хрома в качестве материала подслоя обуславливает более мелкозернистую структуру серебра с линейными размерами зерен ≈ 400 нм и глубиной провалов ≈ 20 нм. Характерной особенностью этих образцов является высокая степень ориентированности кристаллов серебра в зоне локального осадка.

Локальные осадки серебра, полученные на ситалле с подслоем меди, отличаются достаточно высокой степенью ориентированности зерен. Их линейный размер составляет ≈ 300 нм, а глубина межзеренных провалов ≈ 25 нм.

Анализ топографии поверхности серебра, осажденного на подложки из поликора различными проводящими подслоями, позволил выявить следующие закономерности

сти. Использование различных материалов в качестве подслоя обуславливает, как и на ситалле, различную степень зернистости и ориентированности кристаллитов. Общей отличительной чертой локальных осадков серебра, полученных на поликоре, является более высокая зернистость.

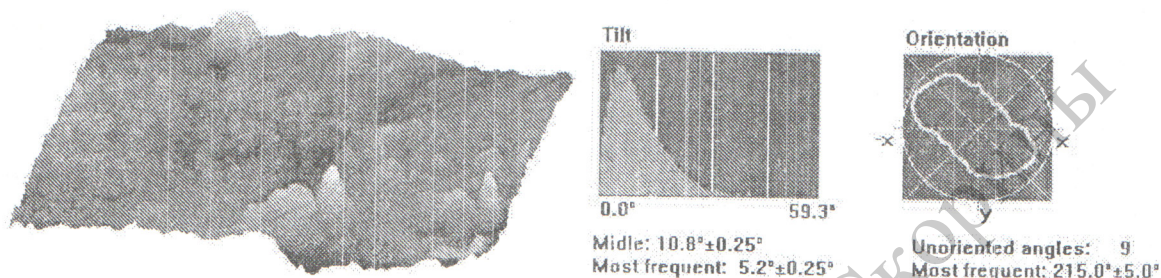


Рис. 2. Характеристики топологии поверхности серебра в зоне локального осадка, осаждённого на ванадиевый подслоя ситалловой подложки (площадь сканируемой поверхности $8,5 \times 8,5$ мкм, максимальная высота 250 нм): слева трехмерное изображение; справа гистограмма углов наклона и ориентация структурных топографических элементов поверхности.

В целом на структурные особенности локальных покрытий серебра (следовательно, и на их физические свойства) существенное влияние оказывает в первую очередь природа материала проводящего подслоя; влияние природы материала подложки менее существенно.

Анализ полученных результатов выявил, что структура локальных осадков серебра становится более совершенной в следующем ряду используемых подслоев: медь, хром, ванадий, титан. (см. таблицу).

Таблица.

Основные характеристики топологии поверхности серебра в зоне локального осадка

	Ti	V	Cr	Cu
$R_{\text{ср}}$, нм	800	600	400	300
$Z_{\text{ср}}$, нм	20	30	20	25

Анализ структуры поверхностных слоев серебра на тонком субмикронном уровне показал, что при электрохимическом осаждении металла формируются плотно уложенные зеренные фрагменты покрытия размером 100-200 нм (рис. 3а). В условиях нанесения покрытия при одновременном воздействии лазерным излучением структура покрытия существенно изменяется: размер зерен увеличивается до 700-900 нм, характер их расположения становится более упорядоченным и сплошность покрытия возрастает. Данный эффект можно объяснить более интенсивными процессами кристаллизации, связанными с локальным подводом дополнительной тепловой энергии в зону формирования покрытия. Более высокая степень кристаллизации обеспечивает лучшие эксплуатационные характеристики рабочих поверхностей в электрических контактах: увеличение удельного электрического сопротивления, прочность и сплошность металлической пленки.

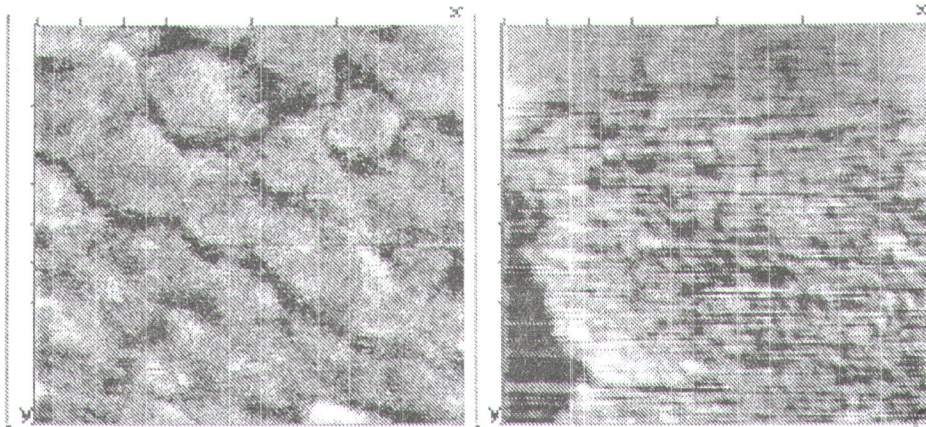


Рис. 3. АСМ – изображение фазового контраста серебра на кремнии (подслой хром). Поле сканирования $3,3 \times 3,3$ мкм. Электрохимическое осаждение без (слева), с воздействием лазерным излучением (справа).

Таким образом, показано:

- а) кристаллическая структура металлического покрытия в зоне локального осадка более совершенна по сравнению с электрохимическим фоном;
- б) с ростом плотности мощности лазерного излучения средний линейный размер кристаллов металлов в зоне локального осадка увеличивается, структура становится более плотно упакованной;
- в) кристаллическая структура в зоне локального осадка существенно зависит от природы используемого проводящего подслоя. Имеет место устойчивая закономерность увеличения среднего линейного размера кристаллов серебра при уменьшении коэффициента теплопроводности материала проводящего подслоя.

Литература

- [1] В.Г.Анисимович, А.А.Хмыль, *Стимулирование гальванических процессов оптическим излучением*, Мн. (1991).
- [2] С.А.Чижик, А.М.Дубравин, Х.-С.Ан, *Анализ поверхностей твердых материалов с помощью изображений фазового контраста*, Российское совещание “Сканирующая зондовая микроскопия 2000”, Нижний Новгород, 2000. С.91-96.

Гомельский госуниверситет
им. Франциска Скорины
246699 Гомель, Беларусь

Поступило 15.06.2001