

## ИЗМЕНЕНИЯ СТРУКТУРЫ ПОВЕРХНОСТИ ГАЛЬВАНИЧЕСКОГО ПОКРЫТИЯ СЕРЕБРА ПРИ ТЕМПЕРАТУРНЫХ И ФРИКЦИОННЫХ ВОЗДЕЙСТВИЯХ

В.М. Полевиков

Гомельский государственный университет им. Ф. Скорины

### Введение

В связи с тенденциями миниатюризации в электронике внимание исследователей направлено на изучение тонкого строения материалов и покрытий электротехнического назначения. В том случае, когда характерный размер контактных площадок является миниатюрным, элементы структуры металлов могут являться определяющими для электроконтактного сопротивления сопряжений. Поэтому направленное формирование структуры является одним из подходов оптимизации функционального качества миниатюрных электрических контактных площадок.

В работе проведены АСМ исследования особенностей формирования структуры покрытия серебра, как металла наиболее распространенного в электротехнике при формировании контактных соединений. Показаны возможности построения изображений фазового контраста для выявления зеренной структуры приповерхностных слоев материала.

### Объект и метод исследования

В качестве объекта исследования были выбраны металлические пленки серебра субмикронной толщины, полученные методом электрохимического осаждения. Малый размер формируемых площадок (характерный диаметр менее 1 мкм) позволяет использовать локальную стимуляцию гальванического осаждения. В качестве энергетического стимулирования было выбрано лазерное воздействие на приповерхностную зону осаждения, что позволяет управлять структурой покрытия, ускоряет технологический процесс, уменьшает расход серебра. Регулирование радиального распределения температуры по поверхности катода в процессе электролиза на металлические и полупроводниковые подложки проводилось с помощью созданного макета экспериментальной лазерной установки.

Для исследования тонкой структуры покрытия и топографии поверхности использовался атомно-силовой микроскоп НАНОТОП–203 в полуконтактном динамическом режиме сканирования с измерительной системой реализованной на базе лазерного интерферометра. Наряду с построением пространственных изображений топографии производилась регистрация дополнительных изображений фазы. В качестве информационного сигнала в последнем случае записывался сдвиг фазы осцилляций консоли при «обстукивании» поверхности образца острием зонда (*tapping mode* [3]). Рабочие параметры сканирования выбирались таким образом, чтобы обеспечить преобладание упругой составляющей взаимодействия зонд-поверхность над адгезионной [2]. В этом случае контраст на изображении фазы соответствует локальной жесткости материала образца в точках сканирования. Поскольку жесткость межзеренных границ в металлах меньше жесткости материала самих зерен, то межзеренные границы на изображениях контраста соответствовали меньшим сдвигам фазы [3,4].

Исследования показали, что зеренная структура поверхностного слоя более отчетливо проявлялась именно на изображениях фазового контраста, отдельные ее элементы не фиксировались на изображениях топографии, т.е. в общем случае изображения топографии и фазы не коррелировали. Поэтому изображения фазового контраста исследуемых поверхностей нами были выбраны для характеристики структуры материала в поверхностных слоях.

### **Влияние лазерной стимуляции**

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. 1а). 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 (рис. 1б). Данный эффект можно объяснить более интенсивными процессами кристаллизации, связанными с локальным подводом дополнительной тепловой энергии в зону формирования покрытия. Более высокая степень кристаллизации обеспечивает эксплуатационные характеристики рабочих поверхностей в электрических контактах: уменьшение удельного электрического сопротивления, увеличение прочности и сплошность металлической пленки.

### **Изменения структуры покрытия серебра при трении**

Важно оценить изменения структуры покрытий в результате эксплуатационных воздействий на рабочую поверхность. Наиболее сильными являются воздействия трением. При анализе фрикционных свойств покрытия осуществлялось трение

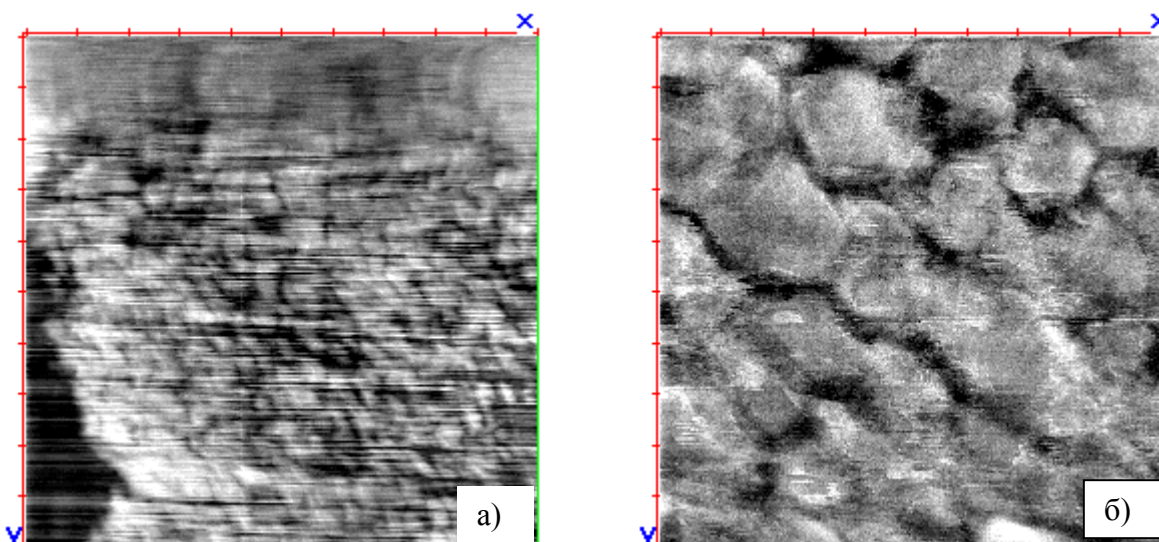


Рис.1. АСМ– изображение фазового контраста серебра на кремнии (подслой хром). Поле сканирования  $3,3 \times 3,3$  мкм. Электрохимическое осаждение без (а), с воздействием лазерным излучением (б).

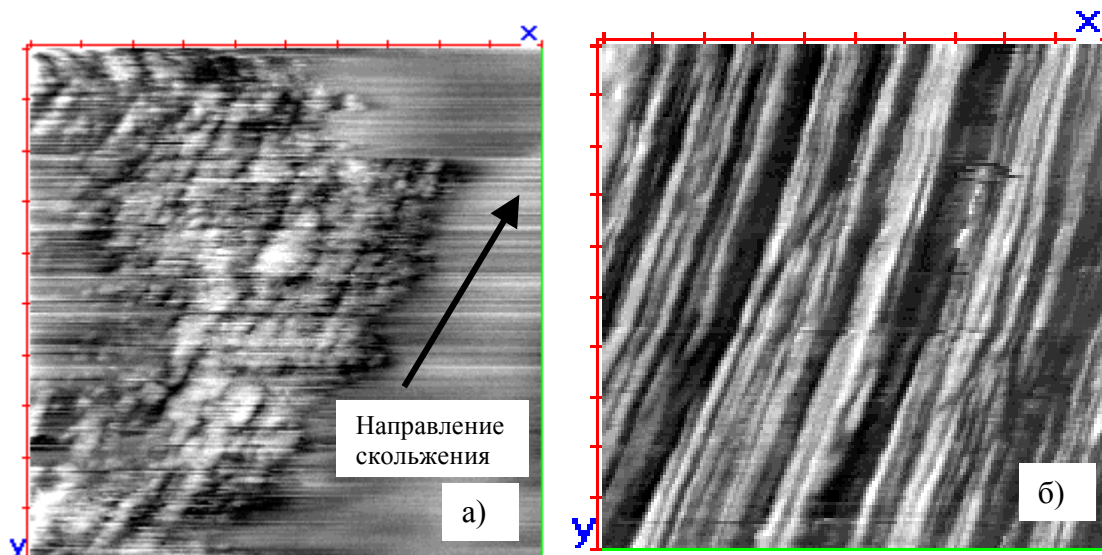


Рис.2. Изменения структуры покрытия серебра при трении. АСМ-изображения фазового контраста. Размер участка сканирования 3,5х3,5 мкм. а) один цикл; б) десять циклов.

сферического стального индентора по поверхности гальванического покрытия серебра. При этом контурное контактное давление составляло 300 МПа. Данные условия нагружения являются тяжелыми для покрытий серебра и характеризуют критические условия работы электрических контактов. Коэффициент трения по исходной поверхности составлял 0,23-0,25, после 3-5 циклов уменьшался до 0,16-0,17 и после разрушения покрытия до 0,14. Уже на начальных стадиях трения отмечается некоторое изменение исходной структуры. Исходные случайным образом расположенные зерна ориентируются вдоль дорожки трения (в направлении скольжения) (рис. 2а). Последующие интенсивные фрикционные взаимодействия приводят к полному изменению текстуры поверхности: полностью теряется зеренная структура. При АСМ сканировании отображаются следы пластического течения металла, образующиеся при трении (рис. 2б).

Такая трансформация для металлов известна как явление формирования “слоя Бельби”, заключающееся в переходе кристаллической структуры металла в мелко кристаллическую, близкую к анизотропной в результате воздействия высоких сдвиговых напряжений.

Снижение коэффициента трения с увеличением количества циклов скольжения можно объяснить разупрочнением материала и переориентацией неровностей в направлении скольжения, что в совокупности снижает деформационную составляющую силы трения.

### Заключение

В результате АСМ исследований показана эффективность использования изображений фазового контраста, полученных в полуконтактном режиме с преобладанием отталкивающих взаимодействий в системе острие образец, для характеристики структуры поверхностных слоев металлов. Продемонстрирована возможность управления структурой гальванических покрытий серебра с помощью

стимуляции процесса осаждения лазерным излучением. Можно сделать вывод, что поверхностная структура металла имеет значение только при реализации легкого нормального и фрикционного нагружения контактных площадок и разрушается при интенсивном фрикционном нагружении.

### **Литература**

1. Zhong Q., Inniss D., Kjoller K. and Elings V.B., Fractured polymer/silica fiber surface studied by tapping mode atomic force microscopy, *Surf. Sci. Lett.* 290 (1993) L688-92.
2. Chizhik S.A., Ahn H.-S., Suslov A.A., Kovalev A.V., Kim C.-H. Mechanisms of formation of phase contrast in Tapping Mode Atomic Force Microscopy // *Physics of Low-Dimensional Structures*, No. 3/4, 2001, pp. 39–46.
3. Magonov S.N., Elings V. and Whangbo M.-H., Phase imaging and stiffness in tapping-mode atomic force microscopy, *Surf. Sci. Lett.* 375 (1997) L385.
4. Chizhik S. A. Deformation effects in hard tapping mode AFM and artifacts in height measurement of heterogeneous materials // *Proc. Int. Workshop ‘Scanning Probe Microscopy – 2002’*, Nizhny Novgorod, March 3–6, 2002, P. 40–42.