

**АСМ-АНАЛИЗ ПРОЦЕССА СГЛАЖИВАНИЯ ИНТЕРФЕЙСНЫХ ГРАНИЦ  
НАНОРАЗМЕРНЫХ МНОГОСЛОЙНЫХ СТРУКТУР Co/Cu**

Н.Н. Новицкий

*Институт физики твердого тела и полупроводников НАН Беларуси,  
г. Минск, Беларусь. e-mail: novitski@ifftp.bas-net.by*

Существенные проблемы, возникающие при исследовании магнитных свойств мультислойных структур в целом, и на основе кобальта в частности, состоят в: 1) сложностях с определением степени шероховатостей интерфейсов слоев; 2) в нелинейном характере зависимости скорости роста пленок на шероховатой поверхности. В идеальном случае поверхности подложек и границы слоев должны быть атомногладкими, а степень их шероховатости определяться амплитудой тепловых колебаний в слоях и особенностями структурного упорядочения. Однако в реальной ситуации гладкость подложек зависит от особенностей технологии их изготовления и полирования. Степень шероховатости границ интерфейсов, в свою очередь, зависит как от свойств поверхности подложек, так и от особенностей метода получения мультислойной структуры. Нелинейный характер зависимости скорости роста от времени для пленок наноразмерной толщины заключается, прежде всего, в неравномерном заполнении впадин и выступов рельефа исходной поверхности и более сильном взаимодействии осаждаемого материала с поверхностью на начальной стадии осаждения, чем на последующих стадиях. Таким образом, из вышесказанного вытекает актуальность задачи по получению и исследованию свойств уединенных границ интерфейса различных по свойствам материалов на атомногладких подложках. Известно, что атомногладкую поверхность имеют сколы монокристаллов, полученные в высоком вакууме [1], но их использование в качестве подложек для пленок не получило распространения. В [2] было показано, что на подложках кварца, стекла К-8, ситалла, после механохимической полировки последующего тонкого полирования методом последовательного ионно-лучевого распыления-осаждения слоев наноразмерной толщины достигается субнаноразмерный уровень шероховатостей поверхности. Использование поверхностей такого качества позволяет в первом приближении исключить влияние подложек на степень шероховатости границ мультислойных структур.

В настоящем докладе представлены результаты исследований структур Au/Co/Cu/Au и Au/Cu/Co/Au на отмеченных подложках. Кроме того, осуществлялось модифицирование состояния интерфейсов Co/Cu и Cu/Co облучением пучком ионов аргона или смесью ионов гелия и аргона гелия с энергиями около 30 эВ, т.е. ниже пороговой энергии для распыления. Проективная длина пробега ионов аргона в мишени по оценкам, выполненным при помощи программы SRIM2000 ([www.srim.org](http://www.srim.org)), не превышала размеров атомов, а ионов гелия – была достаточна для прохождения слоя толщиной более 1 нм.

Получение структур производилось на установке ионно-лучевого распыления, описанной в [2] при предельном вакууме лучше  $10^{-3}$  Па и рабочем – не хуже  $3 \times 10^{-2}$  Па. Морфология поверхности подложек и пленок анализировалась методом атомно-силовой микроскопии (АСМ) при помощи микроскопа Фемтоскан-001 (центр перспективных технологий, МГУ, Москва) с полем сканирования  $5 \times 5$  мкм<sup>2</sup>, работающего в контактном режиме, с использованием кремниевых кантилеверов (MicroMash, [www.spmtips.com](http://www.spmtips.com), Эстония).

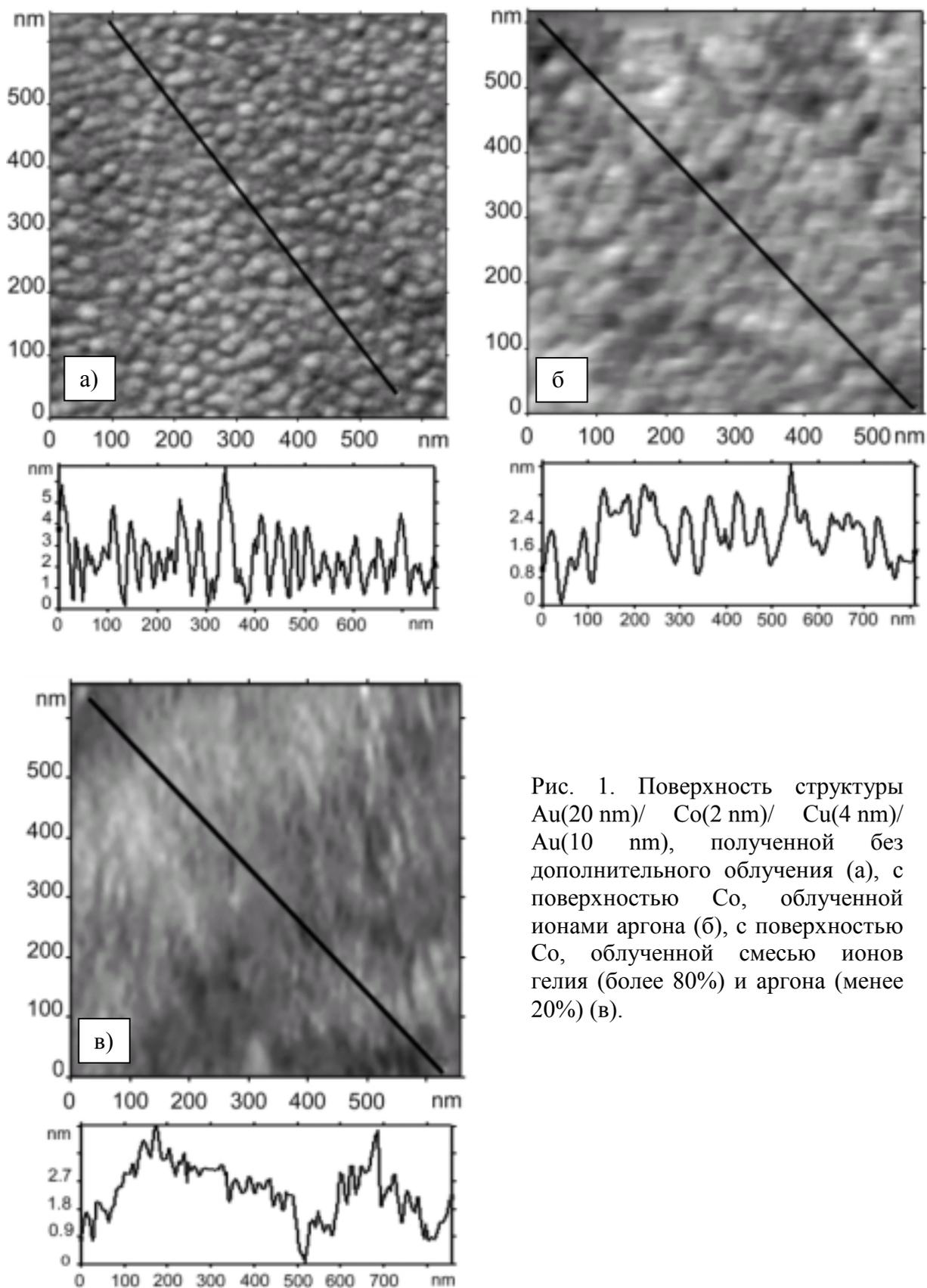


Рис. 1. Поверхность структуры Au(20 nm)/ Co(2 nm)/ Cu(4 nm)/ Au(10 nm), полученной без дополнительного облучения (а), с поверхностью Co, облученной ионами аргона (б), с поверхностью Co, облученной смесью ионов гелия (более 80%) и аргона (менее 20%) (в).

На подложки наносился буферный слой золота толщиной до 5 нм, который обеспечивал химическую инертность поверхности подложки наряду с высокой степенью ее гладкости. В едином вакуумном цикле с золотом далее осаждались слои Со и Си толщиной от 2 до 5 нм в прямой и обратной последовательности. Полученная структура защищалась слоем золота толщиной менее 3 нм. Интерфейс Со/Си или Си/Со облучался потоком ионов аргона или гелия с расчетной дозой менее 0,1 от расчетного числа атомов облучаемого слоя. Температура при осаждении не превышала 100°C.

На рис. 1 показано АСМ-изображение структуры Au(5нм)/Со(4нм)/Си(2нм)/Au(2нм) на стекле К-8. Видно, что поверхность является плотной и однородной, размах впадина-высота не превышает 2 нм на произвольном пути по разным участкам поверхности. Облучение поверхности кобальта ионами аргона со средней энергией 30 эВ приводит к сглаживанию поверхности структуры в целом (рис.2) и уменьшению ее поверхностного сопротивления на несколько процентов. Поверхность пленочной структуры, полученной с облучением ионами аргона, имеет наиболее гладкий вид. Морфология поверхности структуры, полученной с облучением интерфейса кобальт-медь ионами гелия и аргона (рис. 3) имеет промежуточный вид. Поверхностное сопротивление у такой структуры выше, чем при использовании ионов аргона. Неоднородности на поверхности характеризуются более плавными формами и размытыми границами по сравнению с неоднородностями на рис. 2. Однако условия осаждения представленных структур отличаются только условиями формирования интерфейса кобальт-медь, следовательно, особенности морфологии поверхности полученных структур отражают особенности состояния интерфейса кобальт-медь.

Таким образом, полученные результаты позволяют сделать вывод о том, что дополнительное облучение потоком медленных ионов верхних слоев атомов нижележащего слоя перед осаждением вышележащего слоя непосредственно в процессе формирования многослойной пленочной металлической структуры является перспективным методом для получения структур с атомногладкими интерфейсами.

### Литература

1. L.C. Feldman, J.W. Mayer / Fundamentals of surface and thin films analysis – Elsevier Science Publishing 1986.
2. А.И. Стогний, Н.Н. Новицкий, О.М. Стукалов// Письма в ЖТФ, 2002, т.28, В.1, с. 39-48.