

## ПРИМЕНЕНИЕ АСМ ДЛЯ АНАЛИЗА МОРФОЛОГИИ ПОВЕРХНОСТИ УЛЬТРАТОНКИХ МЕТАЛЛИЧЕСКИХ ПЛЕНОК

А.И. Стогний\*, Н.Н. Новицкий\*\*

\*УП “Завод Транзистор” НПО “Интеграл”, г. Минск, Беларусь,  
e-mail: stognij@ifftp.bas-net.by

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

Пленки ряда металлов толщиной порядка десятков нанометров способны без значительного поглощения пропускать и отражать в примерно равных количествах излучение видимой области спектра. Данное свойство полупрозрачности представляет практический интерес для изготовления оптических деталей, например светоделителей, с использованием тонких пленок серебра [1]. Такие детали в виде плоскопараллельных пластин с рабочим углом  $45^\circ$ , или в виде светоделительных кубиков, склеенных из двух призм, широко применяются в оптических схемах микроскопов визуального наблюдения и контроля. Тонкие пленки золота используются как буферные и защитные слои [2]. Они также как и пленки серебра обладают способностью пропускать свет, имеют при этом достаточно низкое сопротивление, химически инертны и используются как верхний металл прозрачного омического контакта к p-GaN в светоизлучающих структурах ультрафиолетового диапазона длин волн [3]. Чтобы обладать отмеченными свойствами, пленки должны иметь гладкие поверхность и границу раздела пленка-подложка, быть однородными и сплошными.

В настоящей работе для осаждения пленок серебра и золота применялся метод ионно-лучевого распыления. В качестве подложек использовались пластинки из оптического стекла К-8. Морфология поверхности подложек и пленок анализировалась методом атомно-силовой микроскопии (АСМ) при помощи атомно-силового 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, Эстония). Поверхностное сопротивление пленок  $\rho$  (Ом/□) определялось четырехзондовым методом на приборе ИУС-3. Спектры пропускания пленок в интервале длин волн 400–700 нм измерялись на спектрофотометре "НИТАСН-340" с погрешностью не более 0,3%. Призма Глан-Тейлора служила в качестве поляризатора. Измерение коэффициентов поглощения и рассеяния производилось на стенде, включающем He-Ne лазер ( $\lambda=632,8$  нм), поворотный стол с исследуемыми образцами и систему фотометрического контроля.

На рис. 1 показано АСМ-изображение поверхности подложки из оптического стекла К-8 после финишного полирования методом двойного ионно-лучевого осаждения–распыления [4]. Поверхность подложки является гладкой, причем размах высот на характерном рельефе поверхности длиной до 4 мкм не превышает 1 нм, а среднеквадратическая шероховатость составляет менее 1 нм. На рис. 2 показано АСМ-изображение пленки золота, расчетная толщина которой составляет около 3 нм. Поверхность пленки шероховатая, размах высот на характерном рельефе более 10 нм, а среднеквадратическая шероховатость превышает 3 нм. Электрической проводимостью такая пленка не обладает. Результаты АСМ и измерения электропроводности свидетельствуют, что пленка не является сплошной. Золото "скатывается" на поверхности в гранулы с средним диаметром 50 нм и высотой несколько нанометров. На рис. 3 показано АСМ-изображение поверхности серебряной пленки толщиной около 10 нм и сечения рельефа поверхности вдоль линий. Пленка характеризуется

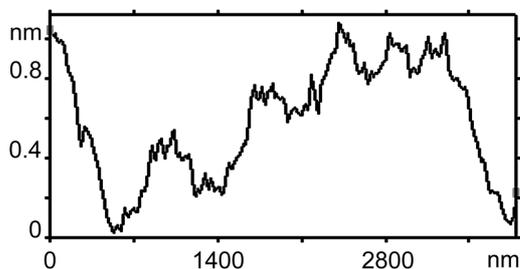
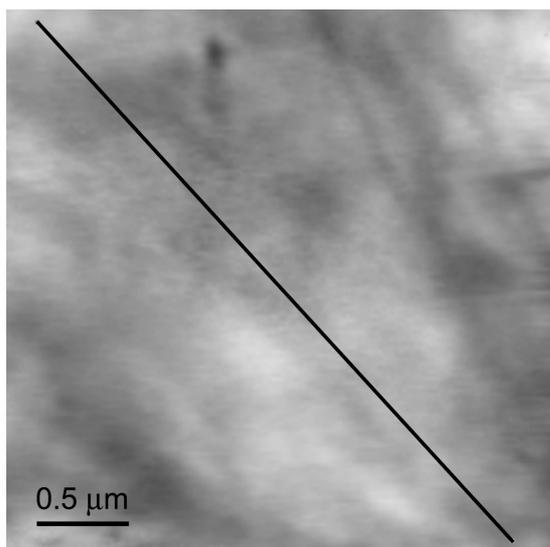


Рис. 1

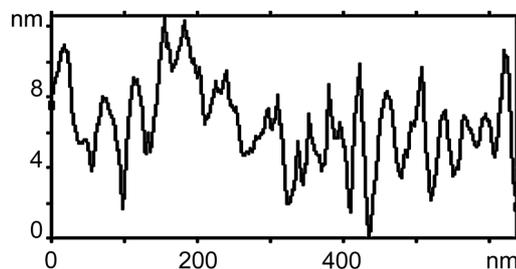
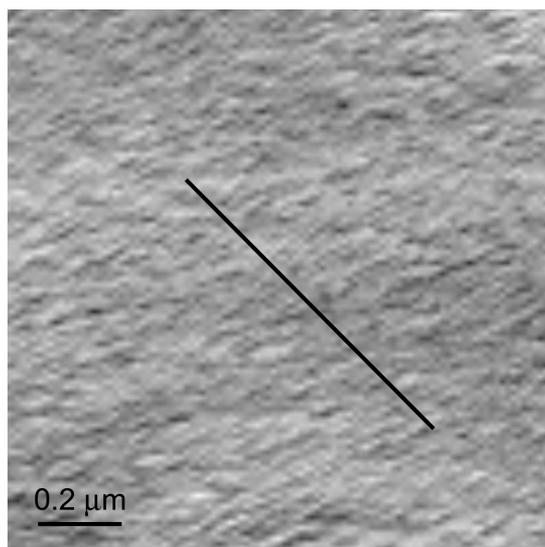


Рис. 2.

наличием определенного числа глубоких проколов, показанных на рис. 3 стрелками, поперечные размеры которых увеличиваются со временем.

Суммируя данные АСМ по шероховатостям подложек и пленок, было предложено эмпирическое условие, ограничивающее толщину пленки золота снизу в рассматриваемых экспериментальных условиях. Пусть  $a_s$  и  $a_f$  – максимальный размах высот на характерном сечении рельефа поверхности подложки и поверхности пленки, соответственно, а  $h$  – средняя толщина пленки. Тогда, если

$$(a_s + a_f) \leq h/3, \quad (1)$$

то пленка золота является сплошной, однородной и не содержит проколов. Для серебряной пленки необходимо учитывать наличие на поверхности слоя окисла толщиной  $\sim 2 \dots 4$  нм [5]. В этом случае формула (1) примет вид

$$(a_s + a_f + d) \leq h/3, \quad (2)$$

где  $d \approx 2$  нм – постоянная величина, определяемая толщиной слоя окисла.

В докладе предложен и обсуждается экспресс-метод определения при помощи АСМ наноразмерной толщины ультратонких пленок, осажденных на пористую, с гладкими участками между порами стеклянную подложку при угле падения потока напыляемого материала в  $20^\circ \dots 30^\circ$  относительно нормали к поверхности подложки. На АСМ-изображениях поверхности таких пленок отчетливо фиксируется положение границы кромка поры – пленка, что даёт возможность оценить толщину пленки по высоте ступеньки между кромкой поры и поверхностью пленки на поперечном сечении рельефа поверхности. Рассматривается ряд конкретных примеров использования данного метода для определения толщины ультратонких пленок и бислойных пленочных структур (рис. 4). На рис. 4 показано АСМ-изображение бислойной структуры Au/NiOx и сечения пор вдоль соответствующих линий. На сечениях пор вдоль прямых 1–3 на рис. 4 присутствуют две ступеньки общей высотой до 21 нм.

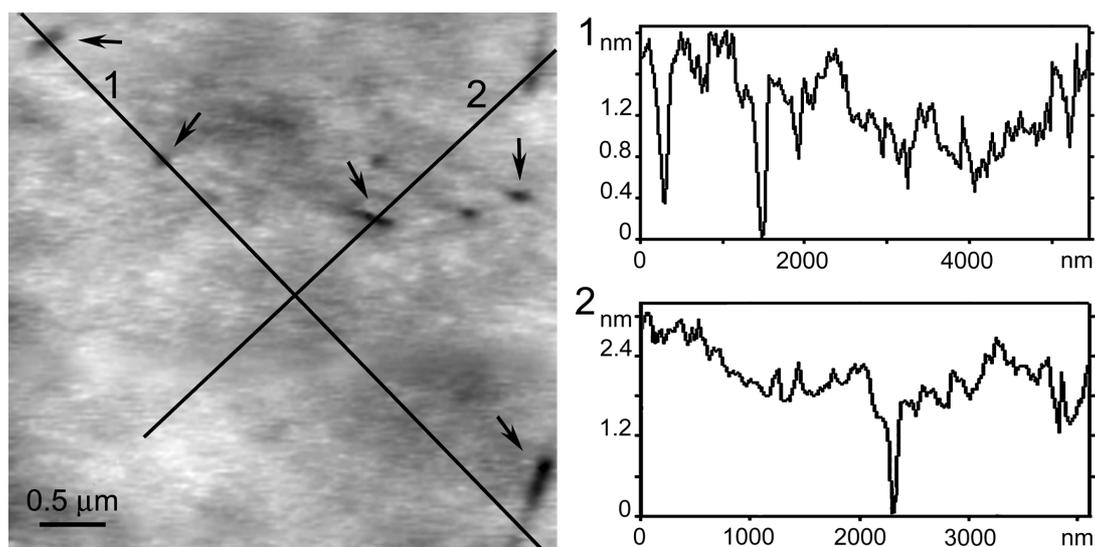


Рис. 3

Верхняя ступенька имеет максимальную высоту 15,1 нм вдоль линии 4 и минимальную высоту 12,2 нм, вдоль линии 2. Высота нижней ступеньки составляет от 6,4 до 7,1 нм. Сечение более мелкой поры вдоль линии 4 имеет только одну ступеньку предположительно из-за частичного заполнения мелких пор в процессе осаждения более толстых пленок. Анализ АСМ-изображения на рис. 4 позволяет сделать оценку толщины бислойной структуры. Суммарная толщина бислойной структуры не превышает 22 нм, толщина верхней пленки золота составляет от 12 до 14 нм, нижний слой никеля имеет толщину от 5 до 7 нм.

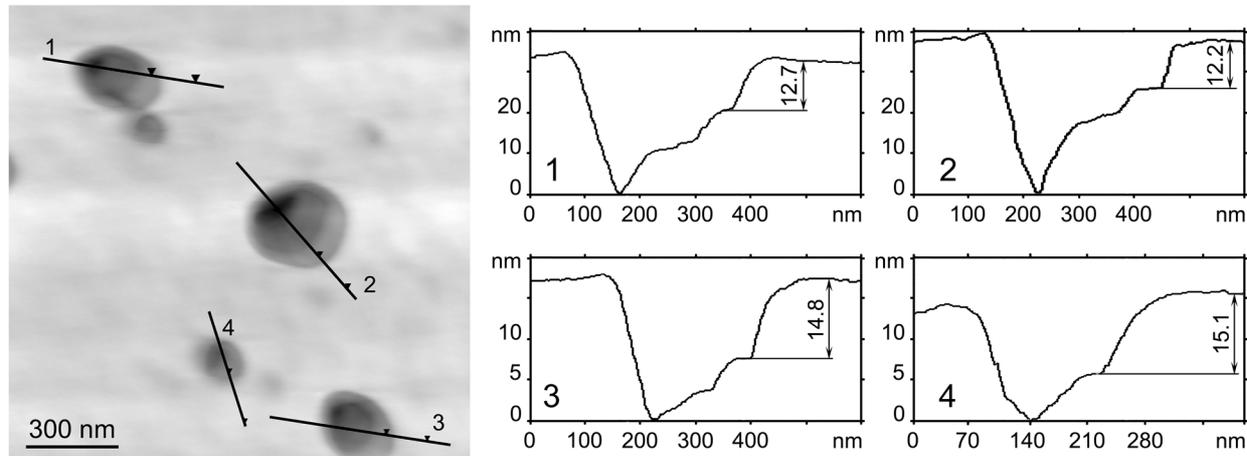


Рис. 4

### Литература

1. Ландсберг Г.С. Оптика. М.: Наука. 1976. 928 с.
2. Стогний А.И., Новицкий Н.Н., Стукалов О.М. // Новые магнитные материалы микроэлектроники Сб. трудов XVIII межд. школы-семинара 24-28 июня 2002 г. Москва. с. 303.
3. Jin-Kuo Ho, Chang-Shyang Jong, Chien C. Chiu et al. / Appl. Phys. Lett. 1999. Vol. 74. №9. p. 1275.
4. Стогний А.И., Новицкий Н.Н., Стукалов О.М. // Письма в ЖТФ. 2002. т. 28. вып. 1. с. 39.
5. Thin films – interdiffusion and reactions / Ed. by Poate J.M., Tu K.N., Mayer J.V. – A Wiley-Interscience Publication John Wiley and Sons Inc. 1978.