

ИССЛЕДОВАНИЕ НАНОСТРУКТУРИРОВАННЫХ МЕТАЛЛИЧЕСКИХ ПЛЕНОК МЕТОДОМ СКАНИРУЮЩЕЙ БЛИЖНЕПОЛЕВОЙ ОПТИЧЕСКОЙ МИКРОСКОПИИ

В. М. Ясинский, Н. С. Бобкова

Институт физики НАН Б, Минск, Беларусь. E-mail: yasin@dragon.bas-net.by

Сканирующая ближнеполевая оптическая микроскопия (СБОМ) позволяет преодолеть дифракционный предел по разрешению, свойственный классической оптической микроскопии, и достичь более чем на порядок лучшего латерального разрешения [1]. Это открывает большие перспективы как для исследований в области физики твердого тела, биологии, медицины, спектроскопии одиночных молекул, так и для нанотехнологии в области нанолитографии, лазерной нанохимии и т.д.

В настоящем сообщении приводятся результаты исследования оптических и топографических свойств гранулированных металлических пленок методом СБОМ.

Использовался СБОМ, разработанный и изготовленный в Институте спектроскопии РАН. Микроскоп состоит из универсального X-Y-Z-сканера, датчика контакта зонда с поверхностью на основе кварцевого камертона, электронного блока и компьютера. Универсальный сканер позволяет осуществлять как точные перемещения, так и длинные перемещения по трем координатам на основе инерциального принципа с шагом порядка 1 мкм. Диапазон точного перемещения составляет 5 мкм по Z координате и 30x30 мкм по координатам X, Y. Сканер позволяет осуществлять различные варианты относительного расположения зонда и образца. В конструкции датчика контакта использован оригинальный способ крепления волоконно оптического зонда с кварцевым камертоном, что позволяет реализовать высокую добротность датчика и, следовательно, высокую чувствительность [2]. Для обеспечения постоянного расстояния между зондом и поверхностью образца (порядка нескольких нанометров) во время сканирования использовался метод регистрации боковых сил (shear force), возникающих между зондом и образцом при возбуждении колебаний зонда. Это позволяет одновременно регистрировать как топографическое, так и оптическое изображение. На основе этого микроскопа была реализована схема так называемого туннельного СБОМ, представленная на рис. 1.

Перед тем как исследовать металлические пленки для калибровки сканера и проверки работоспособности системы, – был проведен тестовый эксперимент по наблюдению изображения стоячей затухающей интерференционной волны [3].

Для этого на грань призмы с помощью иммерсионной жидкости было укреплено плоское зеркало, которое возвращало излучение в обратном направлении. В результате на гипотенузной грани призмы формировалась интерференционная картина с периодом $\Lambda = \lambda / 2n \cos \theta$, где λ – длина волны света, n – коэффициент преломления материала призмы, θ – угол падения излучения на гипотенузную

поверхность призмы относительно нормали к этой поверхности. Для того чтобы излучение не попадало обратно в лазер, а интерференционная картина сохранялась, отраженное зеркалом в обратном направлении, не влияло на работу лазера, осуществлялась небольшая разъюстировка. Призма освещается излучением He-Ne лазера в режиме полного внутреннего отражения.

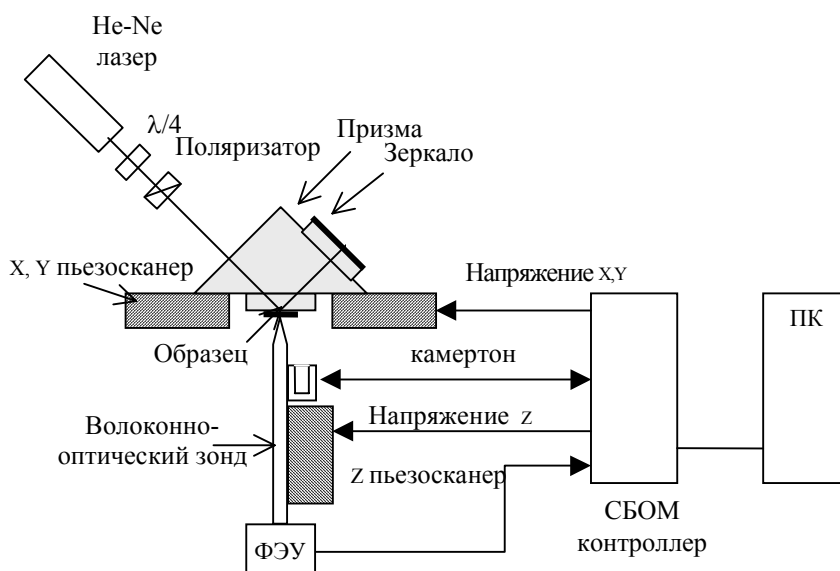


Рис. 1. Схема туннельного сканирующего ближнеполевого оптического микроскопа (ТСБОМ).

Оптический зонд в виде остро заточенного оптического волокна с металлизированным острием крепится к Z-кадетке. При приближении зонда к поверхности на расстояние порядка нескольких нанометров происходит нарушение полного внутреннего отражения, в результате чего в зонд поступает часть излучения пропорциональная интенсивности затухающей волны в данной точке. При сканировании зонда относительно поверхности строится оптическое изображение.

На рис.2, b,c представлены оптическое изображение затухающей стоячей интерференционной волны и соответствующее сечение. Согласно этому изображению период решетки составляет примерно 360 нм, а в соответствии с вышеприведенной формулой период должен составлять 307 нм. На основании этих данных была осуществлена калибровка сканера. Этот тестовый эксперимент также полезен тем, что в данном случае поверхность призмы очень хорошо обработана (см. рис. 2, a) и поэтому топография поверхности не влияет на оптическое изображение.

Аналогичная схема СБОМ использовалась для исследования ряда образцов. Отличие состояло в том, что зеркало отсутствовало, а исследуемый образец крепился с помощью иммерсионной жидкости к гипотенузной грани призмы. Кроме того, угол падения излучения на призму составлял не 45, а 60 град. (по отношению к нормали к гипотенузной грани призмы). Следует отметить, что такая схема представляет особый интерес при исследовании оптически возбуждаемых поверхностных плазмонов в металлических пленках [4,5]. На рис. 3 представлены топографическое и оптическое изображения пленки серебра, полученной методом химического осаждения.

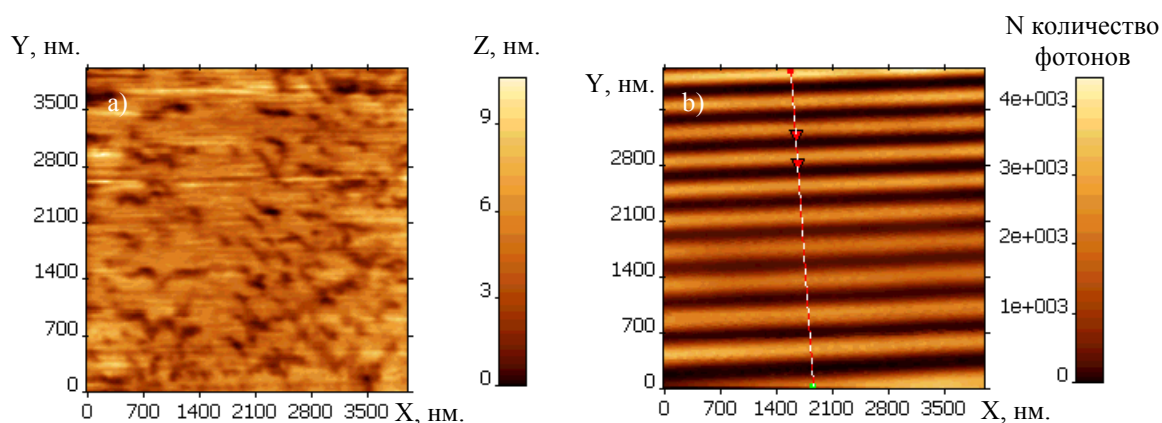


Рис. 2. Топографическое (а) и оптическое (б) изображения, (с) – сечение оптического изображения.

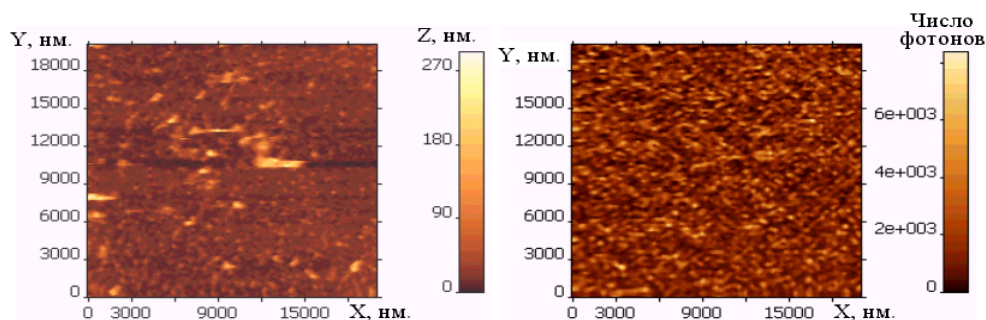


Рис. 3. Топографическое (слева) и оптическое (справа) изображения пленки серебра

Согласно литературным данным, такой метод изготовления пленки серебра приводит к образованию на поверхности коллоидов серебра размерами 100–200 нм, которые весьма эффективны при исследовании усиленного поверхностью Рамановского рассеяния. Как следует из полученных изображений, средний размер коллоидов составляет примерно 200 нм в горизонтальной плоскости и 50 нм в вертикальной плоскости, что согласуется с литературными данными.

Второй образец представлял собой пленку меди на кварцевой подложке. Пленка была изготовлена методом лазерной электродисперсии [6]. Время напыления составляло 2,15 мин. Такая пленка состоит в основном из наноразмерных частиц меди в аморфном состоянии с характерным размером частиц 5–10 нм, хотя могут встречаться и более крупные частицы [6]. Со временем эти частицы покрываются оболочкой из закиси меди. На рис. 4 представлены топографическое (а) и оптические (б) изображения такой пленки. Следует отметить, что ни топографическое, ни оптическое изображения не позволяют выявить частицы с размерами 5–10 нм. Согласно полученным изображениям, латеральное разрешение по топографическому и опти-

ческому каналам составляет примерно 50 нм.

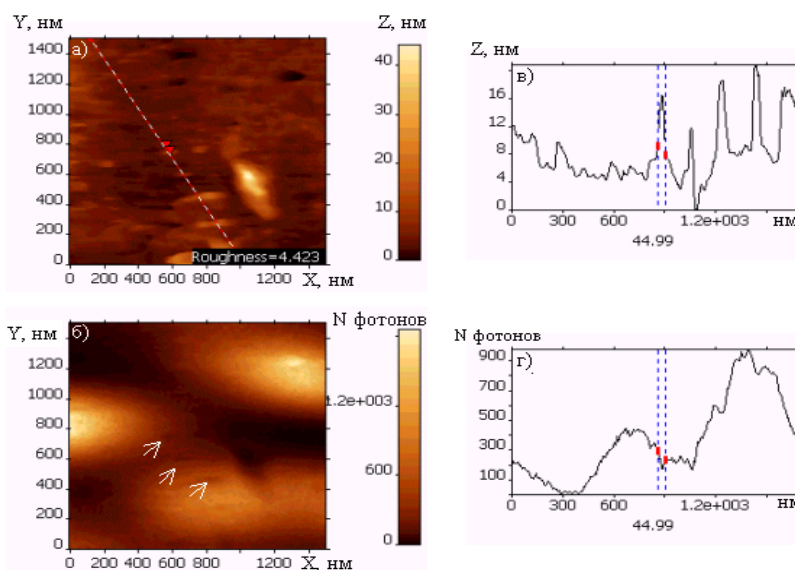


Рис. 4. Топографическое (а) и оптическое (б) изображения пленки меди и соответствующие сечения.

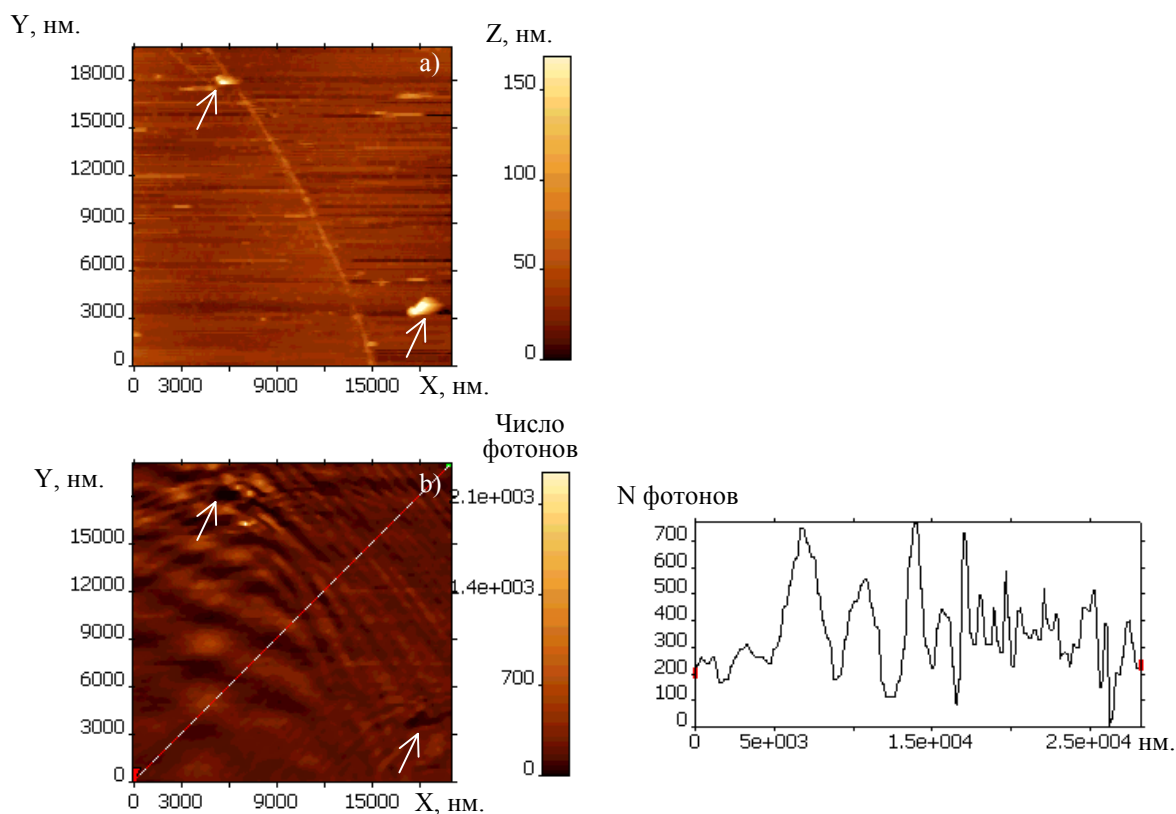


Рис 5. Топографическое (а) и оптическое (б) изображения пленки меди.

На рис. 5 представлены топографическое (а) и оптическое изображения (б) того же образца, полученные в большем диапазоне сканирования. Характерной

особенностью оптических изображений является наличие светлых и темных полос, как бы исходящих из одной точки.

Эти оптические изображения очень похожи на оптические изображения, приведенные в работах [4, 5] и полученные при возбуждении оптических плазмонов. Это дает основание предположить, что в нашем случае также происходит возбуждение оптических плазмонов на более крупной частице, изображение которой видно на топографическом изображении. Для выяснения причин полученных особенностей оптического изображения необходимы дальнейшие исследования.

Работа поддержана грантом МНТЦ № В-678.

Литература

1. Paesler M.A., Moyer P.J. Near-field optics: theory, instrumentation, and application, 1996.
2. Serebryakov D.V., Cherkun A.P., Loginov B.A., Letokhov V.S. // Rev. Sci. Instrum. 2002. № 73. P. 1795.
3. Meixner A.J., Bopp M.A., Tarrach G. // Appl. Opt. 1994. № 33. P. 7995-8000.
4. Zayats A.V., Smolyaninov I.I. // J. Opt. A: Pure Appl. Opt. 2003. № 5. P. 16-50,
5. Krenn J.R., Salerno M., Felidj N., Lamprecht B., Schider G., Leitner A., Aussenegg F.R. // Weeber J.C., Dereux A., Goudonnet J.P. // Journal of Microscopy. 2001. № 202. P. 122.
6. Kozhevin V.M., Yavsin D.A., Kouznetsov V.M.etc. // J.Vac.Sci.Technol. B. 2000. № 18. P. 1402.