

05;11;12

©1995

ИЗМЕНЕНИЕ МОРФОЛОГИИ ПОВЕРХНОСТИ ОКСИДА ОЛОВА ПРИ ПОВЫШЕННОЙ ТЕМПЕРАТУРЕ В СКАНИРУЮЩЕМ ТУННЕЛЬНОМ МИКРОСКОПЕ

Г.Г.Владимиров, А.Л.Грязев, А.В.Ляпунов

В настоящее время интенсивно исследуются процессы, происходящие на поверхности, с помощью сканирующего туннельного микроскопа (СТМ). Большим преимуществом этого прибора наряду с высокой разрешающей способностью является возможность проведения экспериментов на воздухе при атмосферном давлении и даже в жидкости. Это открывает широкие перспективы для изучения сложных органических и даже биологических систем [1]. Важную роль в таких исследованиях играет подложка, которая должна не только обладать достаточной проводимостью, но и иметь протяженные гладкие участки поверхности, а также быть химически инертной. К сожалению, круг материалов, обладающих нужными свойствами, крайне ограничен. В основном используются золото и пиролитический графит.

В связи с этим в настоящей работе ставилась задача исследовать возможность использования для указанных целей оксида олова, а также стабильность его поверхности при повышенных температурах. Этот материал имеет ряд привлекательных свойств. Наряду с достаточной проводимостью он обладает хорошей прозрачностью, а также химически устойчив по отношению к агрессивным средам.

В работе использовался СТМ обычной конструкции, аналогичный описанному в [2]. Точный двигатель представлял собой пьезокерамический трипод, который позволял исследовать участок поверхности размерами 12×12 мкм и обеспечивал смещение на 1.2 мкм по нормали к ней. Острие изготавливалось из вольфрама методом электрохимического травления.

Было опробовано несколько методов приготовления образцов. Один из них заключался в нанесении пленок SnO_2 при помощи хорошо известной технологии реакции гидролиза паров SnCl_4 [3]. Изучение морфологии поверхности таких пленок показало, что поверхность шероховата, она представляет собой чередование холмов с латеральными размерами около 300 нм и высотой до 30 нм. Следует

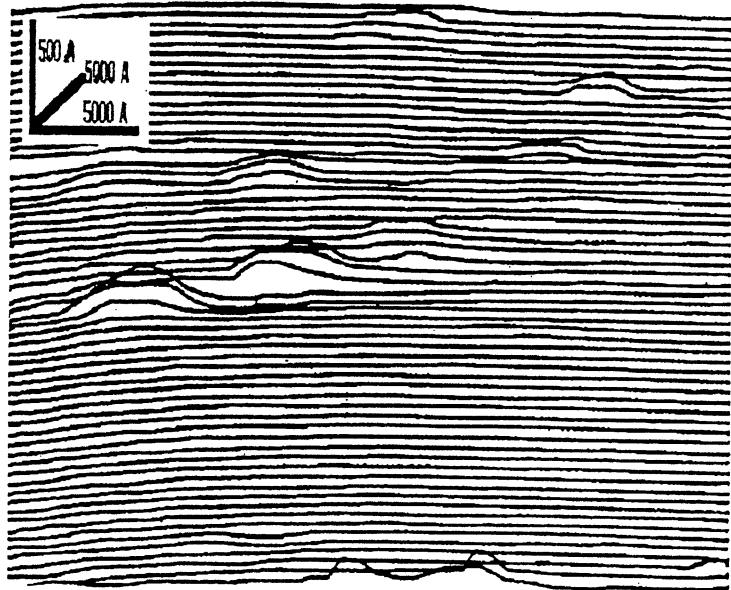
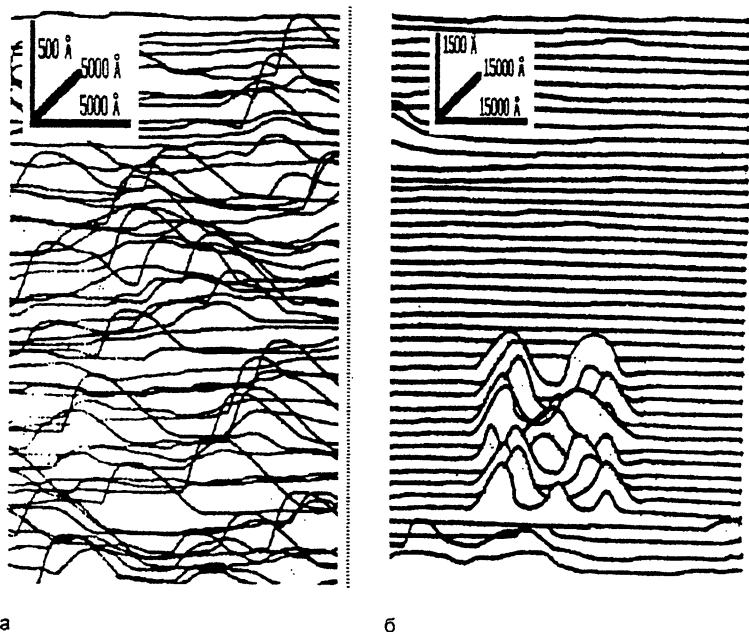


Рис. 1. Поверхность образца из олова, покрытая пленкой естественного окисла. Изображение получено при $U = 1$ В, $I = 1$ нА.

отметить, что изображение получалось при любой полярности, хотя и требовалось несколько большее напряжение (несколько десятых вольта), чем в случае металлических образцов.

Значительно более гладкая поверхность получалась следующим способом. Кусочек олова помещался на свежерасслоенной пластинке слюды и нагревался до температуры плавления. При этом олово обдувалось струей азота, что уменьшало скорость его окисления. Готовая реплика имела зеркальную поверхность, покрытую тонкой пленкой естественного оксида. На рис. 1 приведено изображение поверхности образца, полученного таким способом.

Видно, что поверхность достаточно гладкая, имеется лишь небольшое количество дефектов разного сорта. Размер ровных площадок доходит до нескольких микрометров. Изображение было получено при напряжении на образце $U = 1$ В и токе стабилизации промежутка острие—подложка 1 нА. Оно очень устойчиво. Даже спустя неделю не видно существенных изменений в морфологии поверхности. При меньшем напряжении, а также другой полярности происходит механический контакт острия с поверхностью, о чем свидетельствует отсутствие повторяемости изображения. Этот результат можно рассматривать как свидетельство неметаллического характера образующейся на поверхности оксидной пленки. Как известно, SnO_2 имеет большую запре-



а

б

Рис. 2. Часть изображения поверхности при $T = 90^\circ\text{C}$ (а), а также после охлаждения в более мелком масштабе (б). В последнем случае внизу располагается участок, по которому проводилось сканирование при высокой температуре.

ценную зону (3.5 эВ [3]). Возможность получения стабильного изображения при $U \geq 1 \text{ В}$ означает, что уровень Ферми находится ближе к зоне проводимости, т.е. слой оксида имеет примесную проводимость n -типа. Она, однако, значительно меньше, чем в случае пленок, изготовленных методом гидролиза.

Было также исследовано влияние температуры T на получаемое изображение поверхности. Для измерения T в олово предварительно вплавлялась термопара. Нагрев образца до 90°C не приводил к сколько-нибудь заметным изменениям поверхности. Об этом свидетельствует неизменность размеров и формы метки, которая создавалась на поверхности преднамеренным вдавливанием острия. При $T = 90^\circ\text{C}$ на поверхности появляются новообразования, которые при $T = 120^\circ\text{C}$ превращаются в хаотические нагромождения (рис. 2, а). Особо следует отметить тот факт, что нагромождения появляются лишь на том участке поверхности, где проводилось сканирование острия вдоль поверхности при повышенных температурах. На рис. 2, б приведено изображение поверхности после охлаждения образца в более мелком масштабе, включающее в себя и область, изо-

бражение которой приведено на рис. 2, а. Видно, что изменения произошли именно там, где имело место сканирование поверхности острием при высокой T . Это однозначно свидетельствует, что возникновение нагромождений является результатом взаимодействия острия с нагретой поверхностью. Вследствие неметаллического характера поверхностного слоя увеличение T должно приводить к повышению его проводимости, что проявится в увеличении расстояния между острием и подложкой. Поэтому чисто механическое воздействие острия на поверхность становится менее вероятным, чем при комнатной температуре.

Проявляющиеся при таком взаимодействии силы могут быть двоякого рода. Это может быть либо результат Ван-дер-Ваальсового взаимодействия, либо следствие наличия достаточно высокого электрического поля. Если предположить, что все падение потенциала происходит на промежуток острие-поверхность, то ввиду малости промежутка напряженность электрического поля может достигать 1 В/нм. Это может привести к изменению строения поверхности вследствие поляризуемости и наличия дипольного момента у частиц, находящихся на поверхности, в условиях повышенной их подвижности при высоких температурах. Полученные результаты качественно согласуются с моделью взаимодействия острия с поверхностью образца, рассмотренной Томагнини и др. [4]. Авторы, используя метод молекулярной динамики, показали, что при высоких T взаимодействие проявляется при больших расстояниях, чем при низких T .

Следует особо подчеркнуть, что этот эффект проявляется при T , которые значительно ниже не только температуры плавления окислов (700°C для SnO и 1127°C для SnO_2), но и чистого олова (231°C). Видимо, близкое расположение острия способно существенным образом повлиять на скорость поверхностных процессов.

Таким образом, полученные результаты показывают, что изготовление образцов из олова методом реплики со слюды позволяет получать поверхность достаточно хорошего качества и устойчивую по отношению к нагреванию до 90°C .

Список литературы

- [1] Guntherodt H.-J., Wiesendange R. // Springer series in surface sciences 20. Berlin, 1992. 320 p.
- [2] Адамчук В.К., Ермаков А.В. и др. // ПТЭ. 1990. № 1. С. 230–231.
- [3] Jarzebski Z.M., Marton J.P. // Journ. of the electronical soc. 1976. V. 123. P. 199C, 299C, 333C.
- [3] Tomagnini O., Ercolessi F., Tosatti E. // Surface Sci. 1993. V. 287/288. Pt. B. P. 1041.