

Формирование наноточек и нанопроволок серебра на поверхности Si(557)

Р. А. Жачук, С. А. Тийс, Б. З. Ольшанецкий¹⁾

Институт физики полупроводников Сибирского отделения РАН, 630090 Новосибирск, Россия

Поступила в редакцию 16 марта 2004 г.

Методами сканирующей туннельной микроскопии и электронной оже-спектроскопии исследовано формирование наноструктур серебра при комнатной температуре на поверхности Si(557), содержащей регулярные атомные ступени высотой в три межплоскостных расстояния. Установлено, что на форму образующихся островков серебра влияет кислород, адсорбируемый поверхностью кремния из остаточной атмосферы в вакуумной камере. В зависимости от количества адсорбированного кислорода на поверхности можно сформировать наноструктуры серебра типа нанопроволок, вытянутых вдоль краев ступеней, или наноточек, упорядоченных в линии, параллельные краям ступеней.

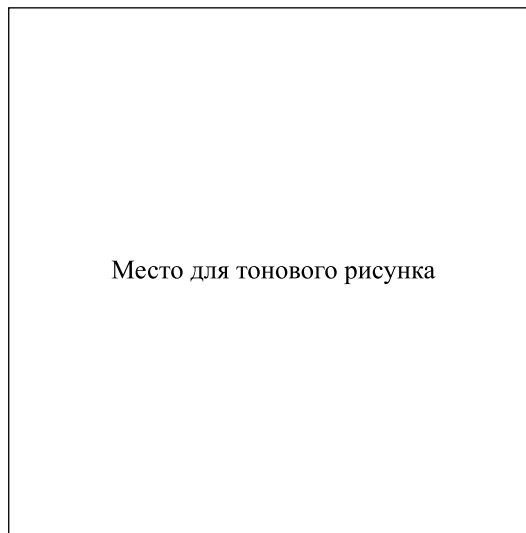
PACS: 68.37.Ef, 68.47.Fg, 68.65.Hb, 68.65.La

В последнее время большой интерес вызывает создание на поверхностях кремния низкоразмерных структур, могущих обладать свойствами квантово-размерных систем типа квантовых точек и квантовых проволок. Несмотря на значительный интерес к этим объектам, число систем, в которых наблюдалось формирование наноструктур со свойствами, необходимыми для проявления ими квантово-размерных эффектов, ограничено [1–5]. Использование высокоиндексных поверхностей в качестве подложек может способствовать упорядочению формируемых структур.

В данной работе сообщается о формировании наноточек и нанопроволок серебра на поверхности Si(557). Эта вицинальная поверхность отклонена от плоскости (111) на угол 9.45° в направлении $[\bar{1}\bar{1}2]$. На поверхностях, отклоненных в этом направлении, при температурах ниже 870°C формируются ступени высотой в одно и три межплоскостных расстояния d_{111} [6–8]. С ростом угла наклона доля ступеней высотой в $3d_{111}$ возрастает, а доля ступеней высотой в $1d_{111}$ падает [8]. Поверхность Si(557) содержит только ступени высотой в $3d_{111}$ [9].

Установлено, что на форму растущих островков серебра влияет величина предварительной экспозиции чистой поверхности кремния в вакууме.

На рис.1 показано изображение поверхности Si(557), полученное с помощью сканирующего туннельного микроскопа (СТМ) после напыления 4 МС (МС – монослой) серебра на образец при комнатной температуре сразу после очистки поверхности. Видны редко расположенные островки, перекрывающие



Место для тонового рисунка

Рис.1. Полученное с помощью СТМ изображение поверхности Si(557), содержащей 4 МС серебра

несколько террас Si(111). Островки серебра имеют большой разброс по размерам и расположены на поверхности хаотично. На рис.2 показано изображение поверхности Si(557) после напыления 4 МС серебра на образец при комнатной температуре, предварительно выдержанный в вакууме при давлении $5.0 \cdot 10^{-10}$ мм рт.ст. в течение 15 мин. На поверхности имеется массив нанопроволок серебра. Но видны и редко расположенные островки серебра, расположенные на двух и более террасах Si(111). При покрытии в 6 МС серебра получали нанопроволоки длиной до 150 нм при ширине около 5 нм. На рис.3 показано полученное с помощью СТМ изображение

¹⁾e-mail: olshan@isp.nsc.ru

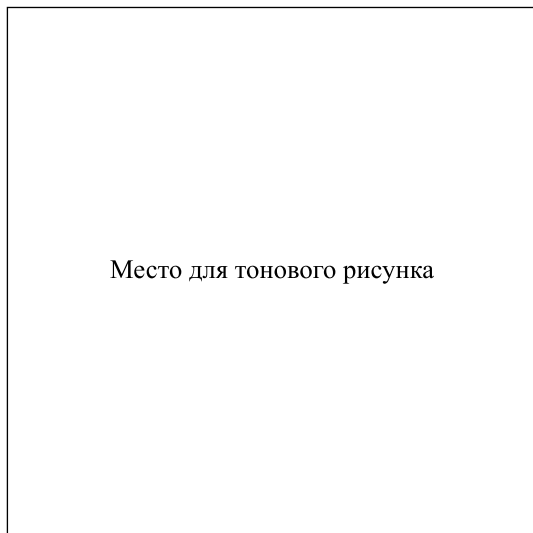


Рис.2. Нанопроволоки серебра на поверхности Si(557), полученные после адсорбции 0.003 МС кислорода и напыления 4 МС серебра

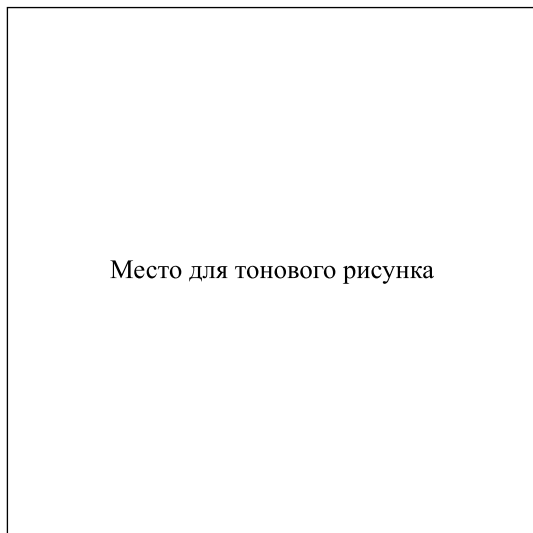


Рис.3. Наноточки серебра на поверхности Si(557), полученные после адсорбции 0.025 МС кислорода и напыления 2 МС серебра

поверхности Si(557) после ее выдержки в вакууме при давлении $5.0 \cdot 10^{-10}$ мм рт.ст. в течение двух часов и напыления 2 МС серебра. Эта поверхность содержит массив островков типа наноточек. Сформированные наноточки упорядочены в линии, параллельные краям тройных ступеней, поскольку они расположены на террасах Si(111). Латеральный размер наноточек ограничен шириной террас Si(111), поэтому они имеют сравнительно небольшой разброс в размерах.

Очевидной причиной влияния предварительной выдержки в вакууме на форму островков серебра является адсорбция на поверхности подложки примесей из остаточных газов в вакуумной камере. По данным электронной оже-спектроскопии после выдержки чистой поверхности кремния при давлении остаточных газов $1.6 \cdot 10^{-10}$ мм рт.ст. в течение суток в спектрах от поверхности Si(111) наблюдалось появление только примеси кислорода, соответствующее покрытию в 0.06 МС. На поверхности Si(557) ее величина была больше и равнялась 0.095 МС, что связано, по-видимому, с тем, что вероятность прилипания кислорода на краях тройных ступеней выше, чем на Si(111).

Величина концентрации адсорбированного на поверхности кислорода пропорциональна экспозиции $p \times t$, где p – давление остаточных газов в вакуумной камере, а t – время выдержки, при условии, что эта концентрация является малой. Поэтому можно оценить концентрации атомов кислорода на поверхности Si(557), необходимые для формирования массивов нанопроволок и наноточек серебра. Для массива нанопроволок (рис.2) концентрация атомов кислорода была равна 0.003 МС, а для массива наноточек (рис.3) она составляла 0.025 МС.

Адсорбированный на поверхности кислород выступает при росте серебра в качестве сурфактанта [10], влияющего на форму растущих островков. Возможный механизм этого воздействия состоит в следующем. Адсорбирующиеся на поверхности атомы кислорода замыкают оборванные связи кремния и, таким образом, приводят к изменению свободной энергии поверхности. В результате части поверхности кремния, покрытые кислородом, перестают смачиваться серебром. Кислород создает на поверхности кремния маску для адсорбирующихся атомов серебра. Из-за того, что при небольших экспозициях кислород преимущественно встраивается в края тройных ступеней на поверхности Si(557), на террасах Si(111) серебро формирует нанопроволоки. При больших экспозициях кислород адсорбируется также и на террасах Si(111), в результате чего образуются наноточки серебра.

Таким образом, используя в качестве подложки поверхность Si(557), можно получать упорядоченные массивы наноструктур серебра типа нанопроволок или наноточек в зависимости от количества адсорбированного кислорода.

Работа выполнена при поддержке Российского фонда фундаментальных исследований и Министерства науки, промышленности и технологии Российской Федерации.

-
1. O. G. Schmidt, S. Kiravittaya, Y. Nakamura et al., *Surf. Sci.* **514**, 10 (2002).
 2. O. P. Pchelyakov, Yu. B. Bolkhovityanov, A. V. Dvurechenskii et al., *Thin Solid Films* **367**, 75 (2000).
 3. H. Omi and T. Ogino, *Phys. Rev.* **B59**, 7521 (1999).
 4. M. Jalochoowski and E. Bauer, *Surf. Sci.* **480**, 109 (2001).
 5. I. K. Robinson, P. A. Bennett, and F. J. Himpsel, *Phys. Rev. Lett.* **88**, 096104 (2002).
 6. В. И. Машанов, Б. З. Ольшанецкий, *Письма в ЖЭТФ* **36**, 290 (1982).
 7. B. Z. Olshanetsky and S. A. Teys, *Surf. Sci.* **230**, 184 (1990).
 8. Jian Wei, X.-S. Wang, J. L. Goldberg et al., *Phys. Rev. Lett.* **68**, 3885 (1992).
 9. A. Kirakosian, R. Bennewitz, J. N. Crain et al., *Appl. Phys. Lett.* **79**, 1608 (2001).
 10. C. Y. Fong, M. D. Watson, L. H. Yang, and S. Ciraci, *Modelling Simul. Mater. Sci. Eng.* **10**, R61 (2002).