Физика твердого тела, 2000, том 42, вып. 2

Ширина ступеней на шероховатой поверхности

© А.А. Берзин, А.И. Морозов

Московский государственный институт радиотехники, электроники и автоматики (технический университет), 117454 Москва, Россия
E-mail: morosov@eot-qw.eot.mirea.ac.ru

(Поступила в Редакцию 18 мая 1999 г.)

Путем моделирования найдена связь между степенью шероховатости межслойных границ и корреляционной длиной, определяемыми экспериментально, и характерной шириной атомных ступеней на поверхностях раздела слоев в многослойных структурах.

1. В настоящее время большое внимание уделяют исследованиям магнитных и полупроводниковых многослойных структур. Качество границы раздела между слоями может существенно сказываться на характеристиках таких сэндвичей. В частности, в случае магнитных многослойных структур, состоящих из чередующихся ферромагнитных и немагнитных металлических слоев, наличие шероховатости, т. е. атомных ступеней на границах раздела может при определенных условиях привести к разбиению магнитных слоев на домены [1]. При этом определяющим параметром является характерная ширина таких ступеней, т.е. характерное расстояние между двумя ступенями, изменяющими толщину данного слоя на один моноатомный слой,

Выделяют скоррелированную и нескоррелированную шероховатости. В случае скоррелированной шароховатости ступени возникают на противоположных границах слоя таким образом, что его толщина остается неизменной (рис. 1, a). В случае нескоррелированной шероховатости ступени на границах слоя возникают независимо (рис. 1, b).

Как показано в работах [2,3], методами дифракции рентгеновских лучей можно разделить эти вклады в шероховатость и определить независимо величину шероховатости σ, характеризующую среднеквадратичное отклонение границы раздела от идеальной плоскости, а также длины корреляции ξ_c и ξ_u для скоррелированной и нескоррелированной шероховатостей соответственно. Корреляционная длина для толщины слоя, естественно, совпадает с ξ_u.

Однако длина корреляции не совпадает со средним значением ширины ступеней. Цель данной работы — нахождение связи между этими двумя величинами при произвольном значении σ.

2. Для этого было проведено моделирование шероховатой поверхности. Мы ограничились случаем, когда края ступеней параллельны (одномерный случай).

Задавалась случайная реализация ступеней, причем вероятность возникновения ступеней длиной L описывалась формулой [4]

$$P(L) = A \exp\left(-\frac{2L}{\langle L\rangle}\right) L, \tag{1}$$

где $\langle L\rangle$ — средняя длина ступени, а константа A находится из условия нормировки. Высота ступеней равнялась одному атомному слою, а вероятность каждого из двух направлений скачка (вверх или вниз) $w_{+(-)}$ —

$$w_{\pm} = A' \exp[-(h \pm 1)^2/s^2], \tag{2}$$

где h — высота предшествующей ступени, а константа s характеризует степень шероховатости поверхности. Значение σ однозначно определяется величиной s, соответствующая зависимость изображена на рис. 2. При малых значениях s отклонения от уровня $h = 0$ происходят на один слой вверх или вниз ($h = \pm 1$), причем ступени, соответствующие $h = 0$, встречаются вдвое чаще, чем с $h = \pm 1$. Поэтому значение σ равно $(2)^{-1/2}$. При $s > 1$ имеем

$$\sigma = 0.254 + 0.427s, \tag{3}$$

т.е. σ линейно растет с увеличением s.

Затем находилась корреляционная функция $K(x) = \langle h(0)h(x)\rangle$. С хорошей точностью она аппроксимировалась экспоненциальной зависимостью с корреляционной длиной ξ. Для интересующего нас случая $\sigma \sim 1$, $\langle L\rangle \gg 1$ отношение $\xi/\langle L\rangle$ является

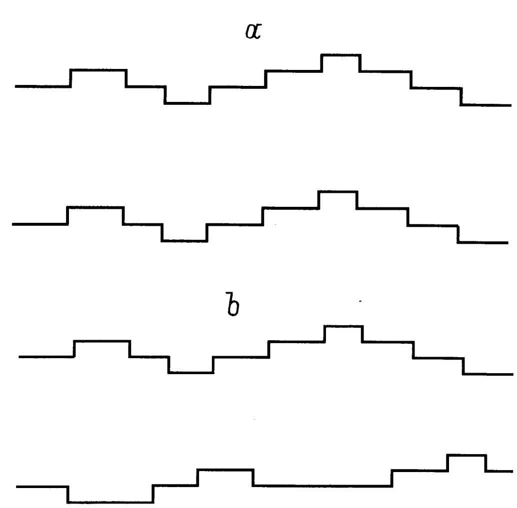

Рис. 1. Скоррелированная (a) и нескоррелированная (b) шероховатости на границах слоя.

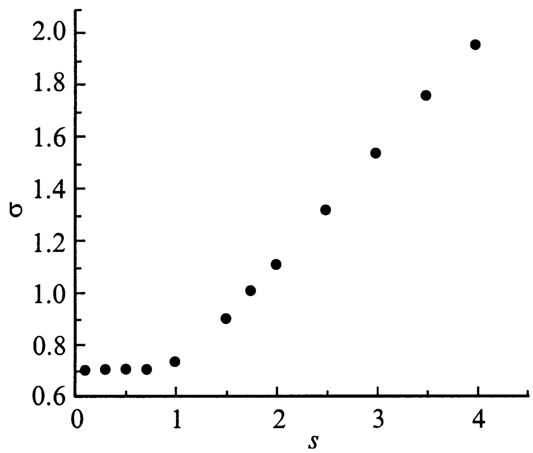

Рис. 2. Зависимость среднеквадратичного отклонения поверхности от идеальной плоскости от параметра s.

универсальной функцией σ, которая имеет вид

$$\xi/\langle L\rangle = (1.71 \pm 0.03)\sigma^{(2.38\pm0.03)}.$$

Полученная зависимость слабо зависит от характера распределения $P(L)$. Например, для ступеней фиксированной длины имеем

$$\xi/\langle L\rangle = (1.52 \pm 0.06)\sigma^{(2.47\pm0.03)}.$$

Таким образом, результаты нашего моделирования позволяют определить по экспериментально полученным величинам ξ и σ характерную ширину ступеней.

Список литературы

[1] А.И. Морозов, А.С. Сигов. ФТТ **39**, *7*, 1244 (1997).
[2] D.E. Savage, J. Kleiner, B.N. Schimke, Y.-H. Phang, T. Jankowski, J. Jakobs. J. Appl. Phys. **69**, *3* 1411 (1991).
[3] A. Schreyer, J.F. Ankner, Th. Zeidler, H. Zabel, M. Schafer, J.A. Wolf, P. Grunberg, C.F. Majkrzak. Phys. Rev. **B52**, *22*, 16 066 (1995).
[4] P.R. Pukite, C.S. Lent, P.I. Cohen. Surface Science **161**, *1*, 39 (1985).