

ТРАНСФОРМАЦИЯ МЕХАНИЧЕСКИ НАГРУЖЕННОЙ ПОВЕРХНОСТИ Ge(111)

*С.Н.Журков, В.Е.Корсуков, А.С.Лукьяненко,
Б.А.Обидов, В.Н.Светлов, А.П.Смирнов*

Методом сканирующей туннельной микроскопии (СТМ) наблюдалось явление возрастающей со временем деградации поверхности Ge(111) в поле механических сил. Эта деградация обратима при снятии нагрузки.

СТМ позволяет по профилю образованных в результате разрушения поверхностей судить о характере и физических механизмах процесса разрушения на нанометровом уровне ¹. Более информативным нам представляется прямое наблюдение процессов на свободной поверхности нагруженного образца. Особенности атомной динамики поверхности ² и прямые экспериментальные свидетельства интенсивного разрушения деформированной поверхности Ge(111) ³ свидетельствуют о том, что поверхность является местом зарождения разрушения всего образца.

Образцы германия вырезались из монокристаллической заготовки (99,99%) в виде круглых пластинок диаметром 25 мм и толщиной 0,2 мм. Их поверхность полировалась механически, затем химически. Ориентация контролировалась методом рентгеновской дифракции – отклонение не превышало 1°. Химический состав контролировался электронной оже-спектроскопией. Послойный анализ после проведения эксперимента дал для толщины окисного слоя величину не более 15 Å. Эксперименты проводили на воздухе с использованием растрового туннельного профилометра, который описан в ⁴. Схема опыта приведена на рис. 1. Для создания изотропного плоско-напряженного состояния поверхности образец помещается на кольцевидную опору диаметром 20 мм, сверху на него давит плунжер с кольцевым профилем контакта диаметром 10 мм и весом 67 г. На плунжер выставляется заданный груз P . При такой схеме нагружения "кольцо в кольцо" тонкой пластины (мембранный случай) в ее середине образуется область изотропного растяжения, величина которого может быть рассчитана ⁵.

К области максимального растяжения подводится игла для создания туннельного контакта (рис. 1). Для контроля состояния иглы на разных стадиях эксперимента записывался профиль дифракционной решетки с известным периодом. Вся установка надежно экранирована и демпфирована.

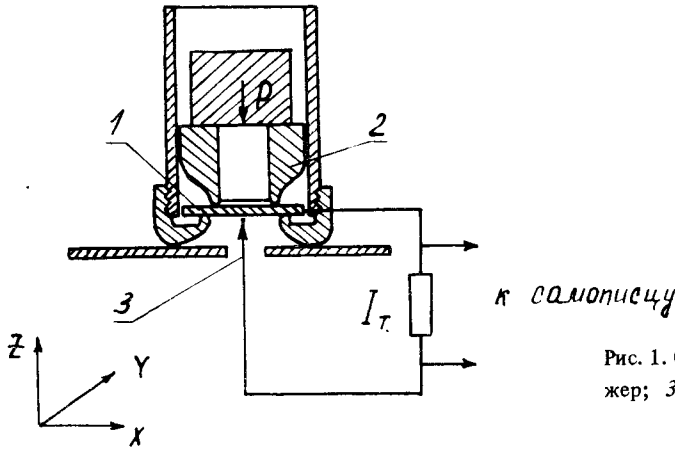


Рис. 1. Схема опыта: 1 – образец; 2 – плунжер; 3 – игла с цепью туннельного тока I_T

Рис. 2. Топограммы нагруженной поверхности Ge(111) на разных стадиях: а – исходная поверхность образца, прижатого весом плунжера ($\sigma = 0,6 \text{ кг/мм}^2$); б – поверхность через час после приложения нагрузки $\sigma = 4 \text{ кг/мм}^2$, в – поверхность через два часа после приложения нагрузки $\sigma = 4 \text{ кг/мм}^2$

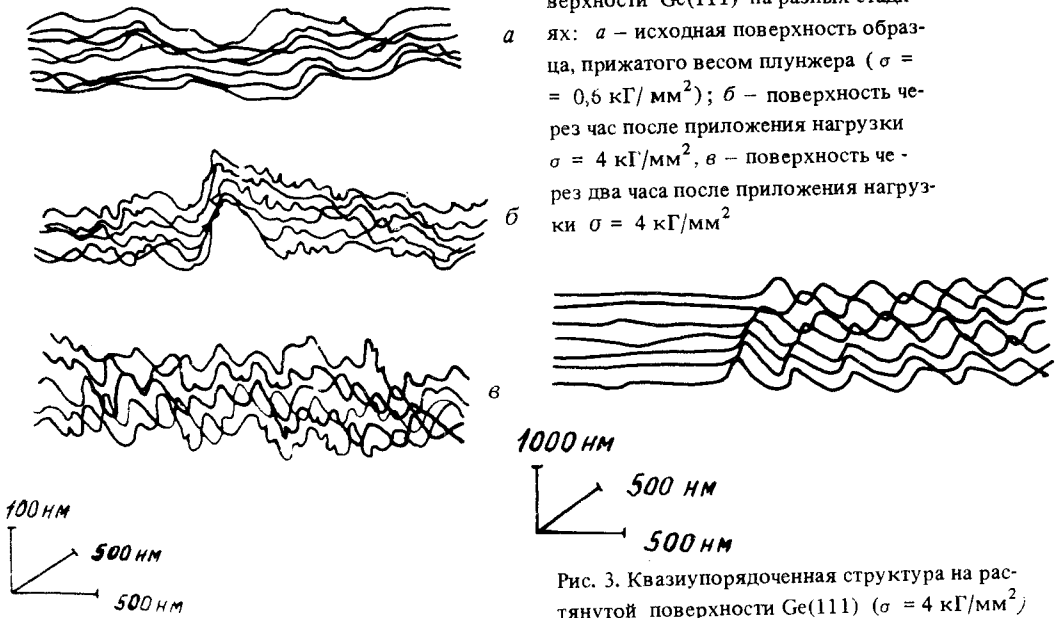


Рис. 3. Квазиупорядоченная структура на растянутой поверхности Ge(111) ($\sigma = 4 \text{ кг/мм}^2$)

Результаты одной экспериментальной серии приведены на рис. 2. Топограммы расположены в порядке возрастания нагрузки. Приведены типичные площадки размером $2 \times 1 \text{ мкм}$, сканирование велось по большей площади. Топограмма рис. 2а отвечает исходной поверхности образца, прижатого весом плунжера ($\sigma = 0,6 \text{ кг/мм}^2$). Наблюдение исходной поверхности велось в течение часа, практически никаких ее изменений не наблюдалось. Это, в частности, свидетельствует о том, что большое электрическое поле в туннельном промежутке и текущие окислительные процессы в данном случае незначительны. Характерный масштаб неоднородностей на рис. 2а: вертикальный – 50 нм, горизонтальный – 500 нм. Повышение нагрузки до $\sigma = 3,6 \text{ кг/мм}^2$ приводит к сглаживанию крупномасштабной структуры и появлению хаотической "ряби" с масштабами: вертикальный – от 1 до 10, горизонтальный – 20 нм. Эта нагрузка оказывается критической в следующем смысле: ее увеличение всего лишь на

$0,4 \text{ кг/мм}^2$ приводит к возникновению уединенных крупномасштабных структур — на рис. 2б волна высотой порядка 100 нм. В дальнейшем подобные уединенные структуры наблюдались при той же нагрузке неоднократно. Время их жизни от единиц до десятков минут. Далее с течением времени наблюдается постепенное нарастание амплитуды ряби до величины порядка 100 нм по всей сканируемой поверхности и степени ее хаотичности (рис. 2в). Ее структура по характеру является фрактальной: определенный при данном разрешении профиль при повышении разрешения оказывается столь же изрезанным. При дальнейшем наблюдении в течение часа картина не менялась.

В ряде случаев наблюдалось возникновение квазиупорядоченных структур (рис. 3), они, однако, за время порядка нескольких минут хаотизируются. При снятии нагрузки хаотическая рябь за время порядка нескольких минут полностью исчезает и возникает вновь при нагружении. Это квазиупругое поведение ряби, ее гомогенный характер свидетельствуют о том, что мы наблюдаем особую форму отклика поверхности Ge(111) на растягивающее напряжение, связанного с ее пониженной термодинамической устойчивостью. При последующем наращивании нагрузки наблюдается образование сбросов, трещин и ступенек. Разгрузка образца также приводит к повреждению поверхности, однако за время порядка десяти часов происходит ее полное залечивание с возникновением исходной топографии (рис. 2а).

Авторам приятно поблагодарить В.К.Адамчук за участие в обсуждении работы.

Литература

1. Langford S.C. et al. WA 99164-2814, 1989, Wash. St. Univ., USA.
2. Нестеренко Б.А., Снитко О.Б. Физические свойства атомарночистой поверхности полупроводников. Киев: Наук. думка, 1983, с. 263.
3. Корсуков В.Е. и др. Поверхность, 1988, 2, 69.
4. Адамчук В.К. и др. ПТЭ, 1989, 5, 182.
5. Витман Ф.Ф. и др. Прикл. мех., 1970, 6, 122.