

Я. Е. ГЕГУЗИЦ, В. В. КАЛИНИН, Ю. С. КАГАНОВСКИЙ

**ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ ДВИЖУЩИХСЯ СТУПЕНЕЙ
НА ПОВЕРХНОСТИ КРИСТАЛЛА С ДИСПЕРСНЫМИ ЧАСТИЦАМИ
ПОСТОРОННЕЙ ФАЗЫ**

(Представлено академиком П. А. Ребиндером 13 IV 1972)

1. Направленное перемещение деталей микроскопического рельефа кристалла — ступеней и изломов на них — всегда сопутствует процессам переноса массы, т. е. испарению, конденсации или самопроизвольной нивелировке макроскопически искривленных участков поверхности. Очевидно, характер этого движения может существенно измениться вследствие взаимодействия движущихся ступеней с крупинками посторонней фазы, расположенных на поверхности. Эти крупинки могут играть роль центров временного закрепления движущихся ступеней (¹). Они могут также, перемещаясь как целое совместно со ступенями, существенно затормозить их движение.

Ситуация на поверхности в существенных чертах подобна той, которая возникает в объеме дисперсионно-упрочненных деформируемых кристаллов, содержащих дислокации с расположенными на них выделениями упрочняющей дисперсной фазы. Как известно, скорость деформирования в определенных условиях ограничивается скоростью движения дислокаций, которая, в свою очередь, может зависеть от подвижности крупинок упрочняющей фазы (²). В указанной аналогии поверхностные ступени — аналог дислокаций, а преднамеренно расположенные на поверхности крупинки посторонней фазы — аналог дисперсных выделений, располагающихся вдоль дислокаций в объеме кристалла.

Здесь излагаются некоторые экспериментальные данные, иллюстрирующие указанное взаимодействие, полученные в опытах с макроскопически гладкими и макроскопически изогнутыми поверхностями.

2. Проводившиеся эксперименты заключались в следующем. На поверхность естественного скола монокристаллов LiF (макроскопически гладкая поверхность) или на участок поверхности, содержащей царапины (макроскопически изогнутая поверхность), испарением в вакууме $\approx 1 \cdot 10^{-5}$ тор наносили слой золота, который в процессе последующего отжига распадался на отдельные крупинки, располагавшиеся как на гладких участках поверхности, так и на входящих углах ступеней, присутствующих на поверхности скола (ступени скола или ступени, возникающие на берегах царапины). Приготовленные таким образом образцы подвергались высокотемпературному отжигу в вакууме $\approx 10^{-2}$ тор в условиях, когда был возможен унос массы с поверхности кристалла вследствие его испарения. Испарение приводило к направленному перемещению имеющихся на поверхности ступеней, которые в процессе движения взаимодействовали с крупинками золота. Через определенные интервалы времени отжига при $T = 600^\circ\text{C}$ кристалл охлаждался и его поверхность исследовалась электронномикроскопически с использованием техники углеродных реплик, окрашенных золотом под углом $\approx 15^\circ$. Такая техника давала возможность наблюдать на поверхности ступени, близкие по высоте к монокристаллическим, а также следить за формой крупинок.

3. Основные наблюдения состоят в следующем. Крупинки золота являются стопорами для движущихся ступеней, о чем отчетливо свидетельствует «провисание» движущихся ступеней вследствие их торможения крупинками. Отчетливо это наблюдается на участках поверхности, где активно происходило испарение (рис. 1). Изогнувшиеся ступени в процессе движения способны увлекать за собой расположенные на них крупинки. Движущиеся крупинки могут сталкиваться и укрупняться, при этом за движущейся ступенью остается зона, свободная от крупинки (рис. 2) (рис. 1—4 см. вкл. к стр. 1081).

Очевидно, совместно движение ансамбля ступень — крупинки может происходить лишь при условии, если разница химических потенциалов $\Delta\mu$ атомов на торце и вдали от него (в частности, в газовой фазе) не превосходит величины $2\gamma\omega/l_n$, где γ — поверхностное натяжение кристалла, ω — атомный объем, $l_n = 1/n_n$ — расстояние между крупинками, которые предполагаются равномерно распределенными вдоль ступени. При обратном неравенстве ступень может продавливаться сквозь стопоры, образуя за ними, вследствие соприкосновения соседних участков изогнувшейся ступени, ступень, освободившуюся от стопоров. В этом случае под крупинками образуются подставки, высота которых равна сумме высот всех продавившихся ступеней. Отчетливо этот эффект наблюдается по форме тени за крупинкой (рис. 3). Заметим, что формирование подставки под крупинкой — эффект, подобный образованию дислокационных петель вокруг инородных включений вследствие обхода их дислокациями.

На макроскопически изогнутой поверхности в связи с тем, что скорость движения ступеней оказывается функцией локальной кривизны поверхности, наблюдается эффект «сгребания» крупинки ступенями к тем участкам поверхности, где локальная кривизна максимальна (рис. 4).

Описанные особенности взаимодействия движущихся ступеней с крупинками могут оказаться весьма существенными при изучении закономерностей многих поверхностных явлений. Заметим, что в реальной ситуации роль крупинки золота, которые мы нанесли преднамеренно, могут играть различные загрязнения поверхности.

Харьковский государственный университет
им. А. М. Горького

Поступило
12 IV 1972

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

- ¹ Я. Е. Гегузин, Ю. С. Кагановский, Колл. журн., 30, № 5, 681 (1968).
² Я. Е. Гегузин, М. А. Кривоглаз, Движение макроскопических включений в твердых телах, М., 1971.