

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

**ЛИНЕЙНАЯ ДИФФУЗИЯ В ПРОЦЕССЕ КОАЛЕСЦЕНЦИИ  
В ОСТРОВКОВОЙ ПЛЕНКЕ НА ШЕРОХОВОЙ  
ПОВЕРХНОСТИ КРИСТАЛЛА**

*(Представлено академиком И. М. Лифшицем 16 VI 1975)*

1. Из общих соображений ясно, что кинетика процесса диффузионной коалесценции в островковой пленке должна быть чувствительной к реальной структуре макроскопического рельефа поверхности, на которой пленка расположена. Можно также предполагать, что в тех случаях, когда участок шероховатой поверхности состоит из совокупности ориентированных ступеней шероховатости, диффузионные потоки, приводящие к коалесценции, окажутся анизотропными. Высказанные предположения основаны на представлении о возможном вкладе потоков линейной диффузии вдоль элементов шероховатости (ступеней, ламелей и др.) в интегральный диффузионный поток, приводящий к собственно коалесценции.

В данной статье мы излагаем результаты опытов, предпринятых для обнаружения вклада линейной диффузии в процессе коалесценции в островковой пленке.

2. Проводившиеся опыты были дифференциальными и заключались в одновременном наблюдении в пределах одного образца за коалесценцией в островковой пленке золота, располагающейся на шероховатых и гладких участках поверхности монокристаллов LiF.

Участки, покрытые ступенями естественной шероховатости, создавали двумя различными способами. Первый способ заключался в том, что на поверхность кристалла LiF алмазным индентором наносилось семейство царапин. В процессе последующего высокотемпературного отжига в атмосфере насыщенного пара LiF на берегах царапин, формировались ступени высотой  $\approx 20 \text{ \AA}$ , на расстоянии  $\approx 100 \text{ \AA}$  одна от другой <sup>(1)</sup>. Другой способ заключался в одновременном отжиге двух образцов, сложенных поверхностями  $(1\ 0\ 0)$ , между которыми искусственно создавался небольшой зазор. Отжиг проводили в условиях температурного градиента так, что на поверхности одного из образцов возникали очаги испарения, а на поверхности другого — очаги конденсации. Они представляли собой соответственно впадины или выпуклости с пологими берегами, на которых имелись ступени шероховатости.

На поверхности таких образцов наносились островки золота с исходным размером  $\approx 100 \text{ \AA}$ . Островки получались в результате конденсации паров золота на поверхности LiF с образованием сплошной золотой пленки толщиной  $\approx 30 \text{ \AA}$  и последующего отжига образца при температуре  $T = 300^\circ \text{C}$  в течение  $t = 30$  мин., при котором происходил самопроизвольный разрыв пленки с образованием островков золота. Последующие отжики, предназначенные для осуществления процесса коалесценции, производили при температуре более низкой, чем температура формирования ступеней. В этих условиях ступени оставались неподвижными и экспериментально наблюдаемое укрупнение островков золота могло быть следствием лишь поатомного переноса их вещества. Неподвижность ступеней экспериментально проверялась в специально поставленных опытах, и поэтому коалесценцию в режиме столкновений <sup>(2, 3)</sup> следует считать исключенной.

Изучение кинетики процесса коалесценции производилось электронно-микроскопически с помощью техники углеродных реплик, оттененных золотом под углом  $15^\circ$ .

Коалесценцию островков золота исследовали в условиях изотермических отжига в интервале температур  $300\text{--}400^\circ$ .

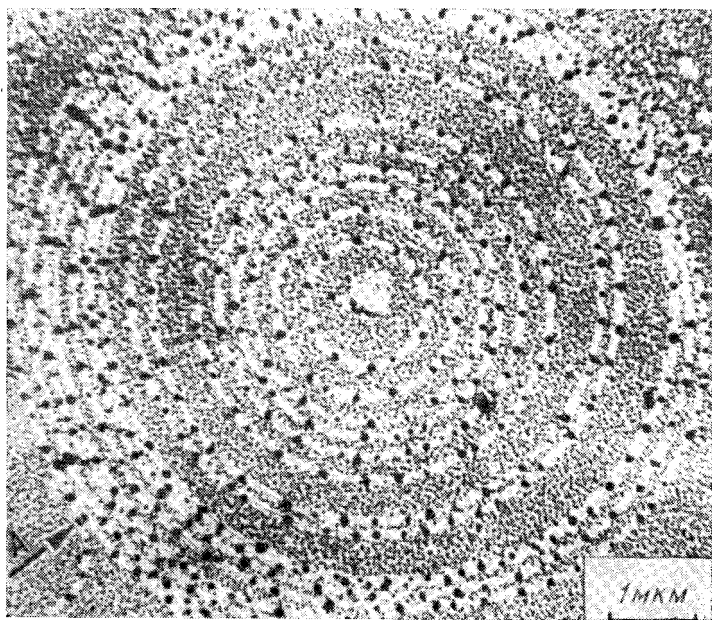


Рис. 1. Распределение островков золота на различных участках поверхности холмика роста монокристалла LiF после отжига при  $T=380^\circ\text{C}$  в течение 12 час.

На рис. 1 приведена типичная фотография, иллюстрирующая распределение островков золота на различных участках поверхности холмика роста, образованного круговыми концентрическими слоями, имеющими приблизительно одинаковую высоту. Островки золота, расположенные вдоль ступеней, ограничивающих слой, после отжига образца оказываются значительно большими по размерам, чем те, которые располагаются на гладких террасах между ступенями. В исходном состоянии (непосредственно после распада пленки) островки на гладких и ступенчатых участках поверхности имели почти одинаковые размеры. Стрелкой *A* указано направление оттенения, при котором вдоль шероховатых участков сформировались цепочки дисперсных крупинок отепляющего слоя. Так как эти цепочки не прогнуты, ясно, что ступени в процессе отжига практически не перемещались (\*).

Типичная последовательность электронно-микроскопических фотографий, иллюстрирующая процесс коалесценции островков на гладкой поверхности и поверхности, представляющей собой семейство параллельно идущих ступеней, составляющих берег царпины, приведены на рис. 2. Видно, что скорость коалесценции на ступенчатом участке поверхности заметно выше, чем на гладком.

3. Обсудим возможные причины ускорения коалесценции островков, расположенных на линейных неоднородностях поверхности типа ступеней. Кажется маловероятным, что ускорение коалесценции на ступенчатой поверхности связано с более высоким значением коэффициента диффузии  $D_l$  атомов вещества островков, адсорбированных у ступеней, по сравнению с коэффициентом  $D_a$  диффузии атомов на гладких участках поверхности, так как энергия связи адатома у ступени выше, чем на плоскости. Более веро-

ятной причиной ускорения коалесценции представляется следующая. В условиях равновесия газа адатомов со ступенями концентрация атомов, адсорбированных у ступеней, должна быть повышенной по сравнению с концентрацией на гладкой поверхности в связи с эффектом адсорбции. Это обстоятельство может явиться причиной увеличения коэффициента линей-

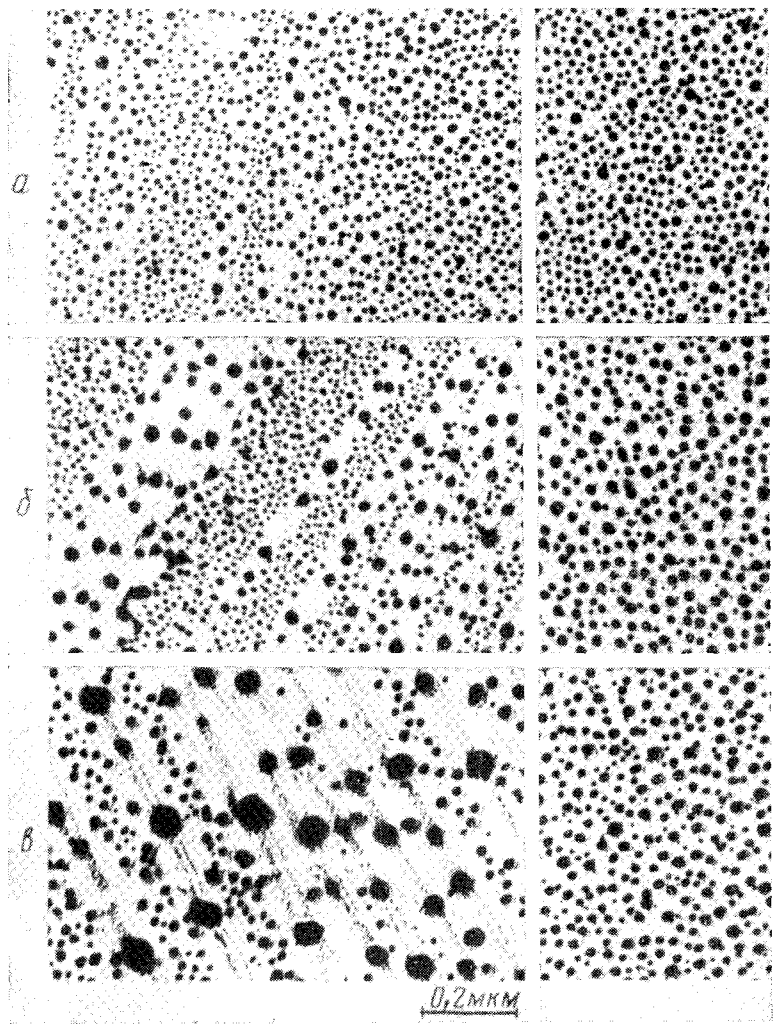


Рис. 2. Последовательные стадии коалесценции островков золота на гладких и ступенчатых (слева) участках поверхности.  $T=380^{\circ}$ . Время отжига:  $a - 0$ ,  $б - 6$  час.,  $в - 20$  час.

ной диффузии, который должен быть определен соотношением  $D_{is}=D_i\xi_i$ , где  $\xi_i=k\xi_a$  — концентрация адатомов, адсорбированных у ступени,  $\xi_a$  — концентрация адатомов на гладкой поверхности,  $k$  — коэффициент адсорбции, который может быть гораздо больше единицы.

Диффузионная информация друг о друге островков, расположенных вдоль ступени, осуществляется в пределах некоторой полосы, где средняя концентрация адатомов определяется распределением по размерам островков в линейном ансамбле. Ширина этой полосы должна быть порядка расстояния между островками, а сохранение ее со временем связано с тем, что островки линейного ансамбля окружены подобными островками на гладкой

поверхности, которые создают поле пересыщения адатомов, препятствующее двумерному испарению островков липейного ансамбля.

Вообще говоря, скорость процесса коалесценции как линейной, так и двумерной, может ограничиваться не собственно скоростью диффузии адатомов, а скоростью отрыва атомов от растворяющихся островков и присоединения к растущим островкам, т. е. граничной кинетикой. В этом случае скорость линейной коалесценции также должна быть повышена по сравнению с двумерной в связи с эффектом адсорбции атомов у ступеней.

Харьковский государственный университет  
им. А. М. Горького

Поступило  
16 VI 1975

#### ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

- <sup>1</sup> Я. Е. Гегузин, Ю. С. Кагановский, В. В. Калинин, ДАН, т. 213, № 2, 303 (1973).  
<sup>2</sup> Я. Е. Гегузин, В. В. Калинин, Ю. С. Кагановский, ДАН, т. 207, № 5, 1092 (1972).  
<sup>3</sup> Я. Е. Гегузин, В. В. Калинин, Н. А. Макаровский, ДАН, т. 218, № 6, 1319 (1974).  
<sup>4</sup> Я. Е. Гегузин, Ю. С. Кагановский, В. В. Калинин, IV Всесоюзн. совещ. по росту кристаллов, Докл., т. 2, Ереван, 1972.