

К ВОПРОСУ О МЕХАНИЗМЕ ВОССТАНОВЛЕНИЯ КВАЗИРАВНОВЕСНОЙ КОНЦЕНТРАЦИИ ВАКАНСИЙ В МНОГОКОМПОНЕНТНЫХ ДИФФУЗИОННЫХ ЗОНАХ

В. С. Солдатов, Е. М. Слюсаренко, С. Ф. Дунаев

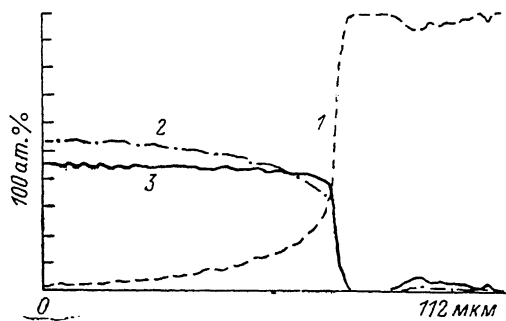
При исследовании процессов взаимной диффузии в системе Mo—Nb—V в диффузионных парах типа Mo+сплав (Nb, V) было обнаружено накопление ниобия и ванадия в молибдене на некотором расстоянии (~10—15 мкм) от сформировавшейся диффузионной зоны. Данная область представляет собой слой шириной около 10 мкм с максимальным содержанием ванадия до 10 ат.%, а ниобия — до нескольких процентов (см. рисунок). Хотя в исходном сплаве концентрация ванадия может быть меньше, чем ниобия, в области накопления его содержание всегда выше.

Наблюдаемое распределение концентраций, полученное на рентгеновском микроанализаторе, многократно воспроизводилось на образцах, полученных в различных режимах и с различными временами отжига, с различным соотношением концентраций ниобия и ванадия в сплаве, неомогенность которого не превышала 0.2 ат.%, причем этот эффект не является следствием каких-либо поверхностных явлений, так как он воспроизводился и после многократных срезов с образцов слоев толщиной до 1 мм.

Подобное «туннелирование» атомов ванадия и ниобия через прослойку молибдена с образованием обогащенной ими области вне диффузионной зоны не может быть объяснено общезвестными механизмами, управляющими перераспределением концентраций компонентов в диффузионных зонах. Эффект Френкеля (порообразование) наблюдается в диффузионных зонах только со стороны, содержащей быстродиффундирующий компонент, т. е. со стороны ниобий-ванадиевого сплава. Эффект Киркендалла, наблюдающийся во всей диффузионной зоне, также не дает оснований предполагать возникновение подобных флуктуаций. Тем не менее наличие между диффузионной зоной и концентрационной флуктуацией прослойки молибдена, практически не содержащей ванадий и ниобий, указывает на то, что и «туннелирование» атомов ванадия и ниобия через эту прослойку осуществляется на уровне концентраций вакансий.

Авторы полагают, что наблюдаемый эффект связан с проявлением еще одного общего механизма восстановления квазиравновесной концентрации вакансий в диффузионных зонах — механизма генерации и рекомбинации вакансий путем изменения объема микрообластей диффузионной зоны. Причиной возникновения такого механизма являются неравенство скоростей осаждения различных атомов на дефектах решетки и неравные скорости доставки атомов к дефекту, работающему в качестве источника вакансий. В результате состав системы в области источника вакансий может существенно отличаться от состава окружающей матрицы, при этом накапливаются более подвижные атомы, занимающие меньший объем, чем атомы матрицы.

В наблюдаемом нами случае наиболее подвижные атомы ванадия и ниобия глубоко проникают в молибден по вакансионной подсистеме. В результате в диффузионной паре со стороны молибдена число вакансий уменьшается, тогда в этой области инициируются процессы, приводящие к генерации вакансий. Как правило, генерация вакансий осуществляется путем осаждения части атомов на дефектах решетки (дислокациях, границах зерен и т. д.) или, если учесть предложенный механизм, образованием кластеров, обогащенных атомами с меньшим атомным объемом. Мольный объем для молибдена составляет 9.39, для ниобия 10.84 и для ванадия 8.56 см³/моль. Для того чтобы объем кластера, содержащего ванадий и ниобий в молибденовой матрице, был меньше объема, занимаемого тем же числом атомов [молибдена, содержание ванадия в кластере должно превосходить содержание ниобия, так как атомный



Концентрационные распределения в диффузионной паре состава Mo+сплав (55 % Nb+45 % V).

1 — молибден, 2 — ниобий, 3 — ванадий.

объем нпобия больше, чем молибдена, а атомный объем ванадия меньше. Предполагая аддитивность атомных объемов при расчете объема области, получаем, что должно быть $C(\text{Nb})/C(\text{V}) < 0.36$. Расчеты по экспериментальным данным в области концентрационной флуктуации для диффузионной пары состава $\text{Mo} + (55\% \text{ Nb} + 45\% \text{ V})$ дают значение $C(\text{Nb})/C(\text{V}) = 0.32 \pm 0.05$, т. е. наблюдается удовлетворительное согласование.

Таким образом, обнаруженный эффект представляет собой проявление общего механизма восстановления квазиравновесной концентрации вакансий в диффузионных зонах путем образования кластеров меньшего объема.

Московский государственный университет им. М. В. Ломоносова

Поступило в Редакцию
21 апреля 1988 г.

ОСОБЕННОСТИ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ СПЕКТРОВ ИОНОВ, БОМБАРДИРУЮЩИХ КАТОД ПРИ ИОННО-ПЛАЗМЕННОМ РАСПЫЛЕНИИ

В. А. Вольпяс, Е. К. Гольман, А. Г. Зайцев, А. Б. Козырев, Д. Чэкай

Теоретические модели расчета энергетических спектров частиц, распыляющих катодной распылительной системы $[1-3]$, требуют определения функции распределения электрического потенциала $U(x)$ в темном катодном пространстве (ТКП). Квадратичная и линейная аппроксимации зависимости $U(x)$, используемые в $[1-3]$, являются заведомо предельными случаями.

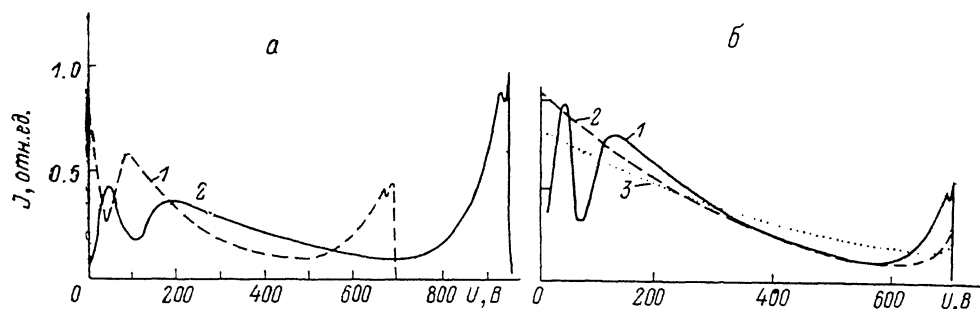


Рис. 1. Энергетические спектры ионов, бомбардирующих катод.

1 — экспериментальные результаты, 2 — первое слагаемое (1) с учетом зависимости $\lambda(U)$, 3 — то же при $L/\lambda=3$. Доля второго слагаемого (1) составляет 5% от общего потока ионов. $U_0, \text{В}$: а — 700 (1), 950 (2), б — 700; $j_0, \text{А/м}^2$: а — 1.3 (1), 4.4 (2); б — 4.2; $P, \text{Па}$: а — 11 (1, 2), б — 20; $L, \text{м}$: а — $1.2 \cdot 10^{-2}$ (1), $8 \cdot 10^{-3}$ (2), б — $6 \cdot 10^{-2}$.

Цель настоящей работы — определение энергетического распределения ионов на катоде планарной катодной распылительной системы с учетом более корректной зависимости $U(x)$ и сравнение рассчитанных энергетических распределений ионов с экспериментально измеренными.

Энергия ионов измерялась как методом задерживающего потенциала, так и при помощи плоского электростатического зеркала. Разрешающая способность энергоанализаторов составляла 5 и 0.7% соответственно. Анализируемый поток ионов выводился через отверстие в медном водоохлаждаемом катоде планарной катодной распылительной системы. Давление в аналитической камере не превышало 5×10^{-3} Па. Более подробное описание методики эксперимента приведено в работе [4].

Исследования проводились в режиме аномального тлеющего разряда: напряжение разряда $U_0 = 70 \dots 1500$ В, плотность тока разряда $j_0 = 0.4 \dots 6.0$ А/м², давление аргона $P = 5 \dots 20$ Па. Длина ТКП измерялась визуально.