

УДК 539.12.04:621.039.616

Влияние дозы ионного облучения и предварительной обработки поверхности на эрозию молибдена

КАЛИН Б. А., СКОРОВ Д. М., ЯКУШИН В. Л.

Обнаруженный [1, 2] блистеринг поверхности при ионной бомбардировке определенное время считался наиболее важным процессом радиационной эрозии материалов первой стенки термоядерного реактора (ТЯР) [3, 4]. Однако дальнейшие исследования показали, что блистеринг уменьшается с ростом дозы облучения [5, 6].

При облучении ниобия ионами гелия энергией 15 кэВ и плотностью тока 2 мА/см² вздутия исчезали при дозах (6,25 ÷ 18,75) · 10¹⁸ ион/см² [5]. Было предположено, что исчезновение вздутий вызвано изменением распределения внедренного газа при отслаивании крышек блистеров и катодном распылении поверхностного слоя материала [5, 6]. Конечная топография поверхности сильно зависит от условий облучения и температуры мишени. В свете этого

нительно полировались электролитически. Степень создаваемой предварительной обработки поверхности контролировалась на профилографе-профилометре модели 201 ПС.

Образцы бомбардировались ионами гелия энергией 20 кэВ при плотности тока пучка 660 мкА/см². Молибден марки МЧВП был облучен при температуре 650 °С в интервале доз (5 ÷ 500) · 10¹⁷ ион/см², а сплав ЦМ10ВД при 700 °С и дозах (4,8 ÷ 20) · 10¹⁷ ион/см². Более детально условия ионного облучения описаны в работе [7]. Исследование топографии поверхности проведено на электронном микроскопе ЭМВ-100Л при помощи угольных реплик, отнесенных хромом, и на сканирующем микроскопе Kwikscan-50. Коэффициент эрозии находили по электронно-микроскопическим снимкам путем определения геометрических размеров отщепленных крышек блистеров и расчета числа атомов в них.

Экспериментальная зависимость коэффициента радиационной эрозии сплава ЦМ10ВД от дозы облучения представлена на рис. 1. Видно, что с увеличением дозы коэффициент эрозии сплава возрастает до максимума в интервале доз от 1,4 · 10¹⁸ до 2 · 10¹⁸ ион/см², а затем уменьшается. На рис. 2, а приведен типичный электронно-микроскопический снимок поверхности сплава ЦМ10ВД, облученного дозой 1 · 10¹⁸ ион/см². Как видно из рисунка, поверхность подвержена значительной эрозии; большинство блистеров разрушено, причем многие крышки отлетели от поверхности материала.

Исследование зависимости эрозии молибдена от вида предварительной обработки поверхности показало, что механическая полировка значительно снижает склонность материала к образованию и разрушению блистеров по сравнению с электрополированным материалом во всем исследованном интервале доз облучения от 5 · 10¹⁷ до 5 · 10¹⁹ ион/см². Так, на механически полированной поверхности молибдена не обнаружено разрушенных блистеров, тогда как электрополированные образцы при аналогичных условиях бомбардировки подвержены сильной эрозии вследствие разрушения блистеров (см. рис. 2, а). Подавление образования блистеров, по-видимому, связано с созданием микронеровностей высотой 0,04—0,18 мкм на поверхности материала при механической полировке. Эти микронеровности нарушают компланарность залегания внедренного газа и тем самым затрудняют объединение гелиевых пузырьков в газовые полости, являющиеся первой стадией

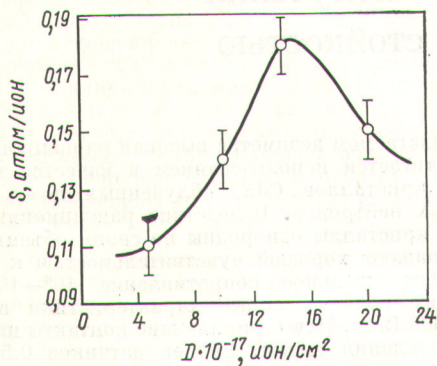


Рис. 1. Зависимость коэффициента эрозии сплава ЦМ10ВД от дозы облучения

представляло интерес исследовать влияние дозы облучения и предварительной обработки поверхности на радиационную эрозию молибдена — одного из перспективных конструкционных материалов узлов разрядной камеры ТЯР.

Образцы молибдена вакуумной плавки марки МЧВП и сплава ЦМ10ВД перед облучением механически полировались с окончательной обработкой алмазной пастой типа АСМ 1/0. Некоторые образцы сплава ЦМ10ВД допол-

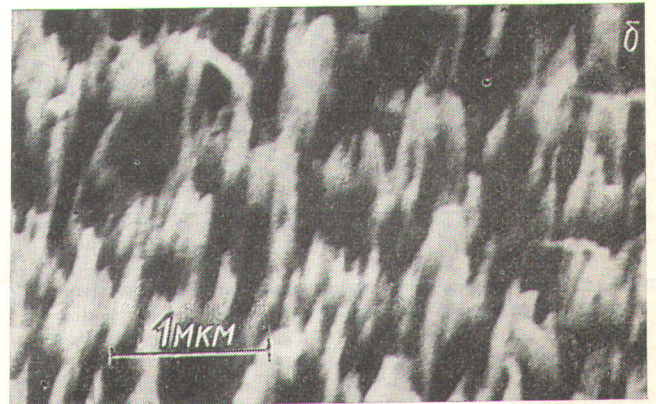


Рис. 2. Поверхность образцов сплава ЦМ10ВД, облученного дозой 1 · 10¹⁸ ион/см² (а) и вакуумно-плавленного молибдена марки МЧВП, облученного дозой 5 · 10¹⁹ ион/см² (б)

образования блистеров. Кроме того известно, что при электрополировке происходит наводороживание и охрупчивание приповерхностных слоев молибдена, что, по-видимому, способствует эрозии поверхности во время облучения.

Изучение влияния дозы ионного облучения на эрозию молибдена марки МЧВП показало, что при дозах от $5 \cdot 10^{17}$ до $2 \cdot 10^{18}$ ион/см² происходит образование блистеров. Повышение дозы до $5 \cdot 10^{18}$ ион/см² приводит к исчезновению блистеров, поверхность материала растравливается и при дальнейшем увеличении дозы облучения образуются конусы высотой $\sim 0,7$ мкм (см. рис. 2, б). Таким образом, проведенные исследования показывают, что блистеринг является переходным явлением.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Primak W., Dayal Y., Edwards E. «J. Appl. Phys.», 1963, v. 34, N 4, p. 827.
2. Primak W., Luthraf J. Ibid., 1966, v. 37, N 6, p. 2287.
3. Behrlich R. «Nucl. Fusion», 1972, v. 12, N 2, p. 695.
4. Kemp E. Ibid., 1974, v. 14, N 2, p. 277.
5. Martel J., Jacques S. In: Proc. Conf. Surface Effects in Contr. Thermonuclear Fusion Devices and Reactors Argonne, 10—15 Jan. 1974.
6. Roth J., Behrlich R. «J. Nucl. Mater.», 1975, v. 57, N 3, p. 365.
7. Скоров Д. М. и др. В кн.: Докл. Всесоюз. конф. по инженерным проблемам термоядерных реакторов. Л., изд. НИИЭФА, 1977, т. 3, с. 226.

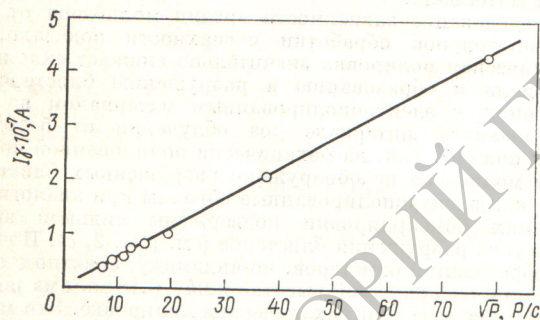
Поступило в Редакцию 03.08.78
В окончательной редакции 28.12.78

УДК 53.07/08+53.001.89

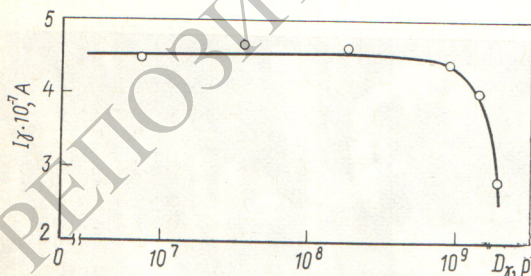
Сульфидкадмиевый дозиметр γ -излучения с высокой радиационной стойкостью

ДУБОВОЙ В. К.

Существенным недостатком полупроводниковых дозиметров γ -излучения является невысокая радиационная стойкость. Это затрудняет их применение в мощных облучательных установках, где мощность экспозиционных доз составляет тысячи рад в секунду.



Р и с. 1. Зависимость I_γ от мощности экспозиционной дозы γ -излучения ^{60}Co при $U = 5$ В и $T = 30$ °C



Р и с. 2. Зависимость I_γ от экспозиционной дозы излучения ^{60}Co при $U = 5$ В, $T = 30$ °C и $P_\gamma = 6000$ P/c

В предлагаемом дозиметре высокая радиационная стойкость достигается использованием в качестве материала датчиков кристаллов CdS, облученных дозой быстрых реакторных нейтронов. Вследствие радиационных дефектов такие кристаллы однородны по своим объемным свойствам, обладают хорошей чувствительностью к γ -излучению, имеют удельное сопротивление 10^8 — 10^7 Ом·см и линейные вольт-амперные характеристики в области полей до 300 В/см. Невыпрямляющие контакты наносились путем выплавки индия. Размер датчиков $0,5 \times 0,1 \times 1$ см, поэтому поле γ -излучения в точке измерения искажается незначительно. Действие дозиметра основано на измерении тока датчика I_γ , к которому приложено постоянное напряжение. Для устранения шунтирующего действия ионизированного воздуха датчики герметизированы и снабжены специальными микроразъемами, исключающими утечки тока. На рис. 1 представлена дозиметрическая характеристика, из которой видно, что I_γ пропорционален квадратному корню из значения мощности экспозиционной дозы γ -излучения. С повышением температуры I_γ (а следовательно, чувствительность дозиметра к γ -излучению) возрастает. Измерения тока при одинаковой мощности экспозиционной дозы 50 P/c и различной энергии фотонов E_γ показали, что дозиметры на основе CdS имеют незначительный ход с жесткостью γ -излучения. В этих измерениях были использованы источники ^{60}Co ($E_\gamma = 1,17$ и $1,33$ МэВ) и ^{137}Cs (0,66 МэВ) и γ -излучение реактора, наиболее интенсивное при $E_\gamma = 0,3$ МэВ*. Радиационная стойкость дозиметра к γ -излучению, определяемая по измерениям зависимости I_γ от экспозиционной дозы γ -излучения ^{60}Co при мощности дозы 6000 P/c, составляет $\sim 10^9$ (рис. 2).

Поступило в Редакцию 30.08.78

* Коляда В. М., Карасев В. С. «Атомная энергия», 1965, т. 19, вып. 6, с. 532.