

УДК 621.039.548.53

## Взаимодействие $U_3Si$ с цирконием

ГОРОХОВ С. Н., СОЛОВЬЕВ Г. И.

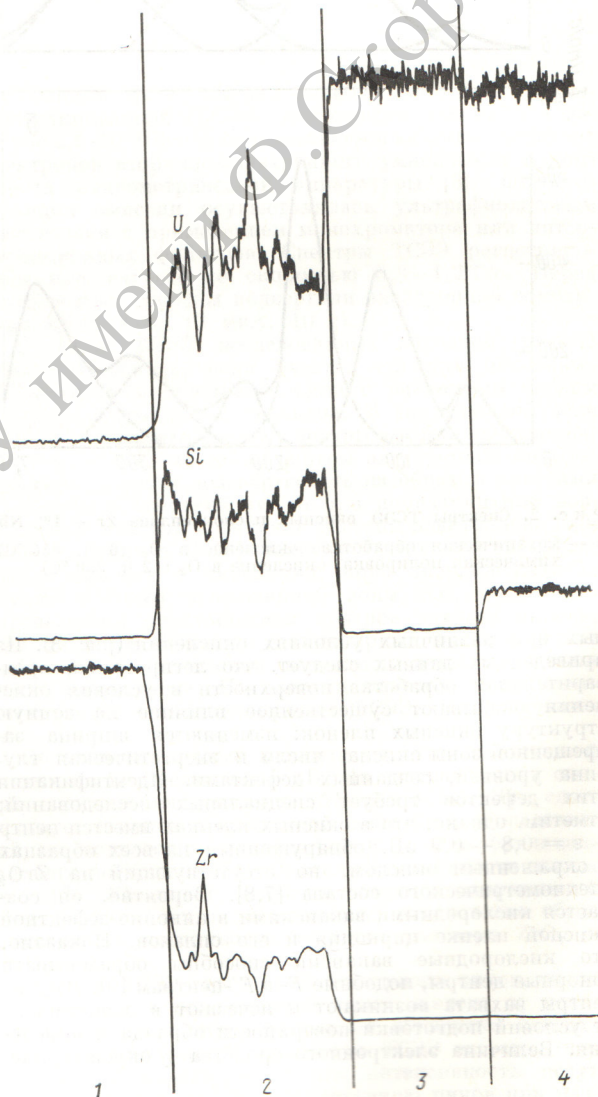
Исследование взаимодействия силицида урана  $U_3Si$  с иодидным цирконием чистотой 99,998 мас. % проводилось при 700, 800 и 870 °С. Силицид урана  $U_3Si$  готовили плавкой в дуговой печи металлического урана чистотой 99,86 мас. % с кремнием полупроводниковой чистоты с последующим гомогенизирующим отжигом в вакууме (не ниже  $5 \cdot 10^{-4}$  мм рт. ст.) при 800 °С в течение 36 ч. Содержание кремния в образцах полученного  $U_3Si$  составляло 2,79 мас. % (в стехиометрическом  $U_3Si$  оно равно 3,78 мас. %). В образцах  $U_3Si$  свободный уран отсутствовал, но обнаружено незначительное количество  $U_3Si_2$ . Изотермические отжижки диффузионных образцов  $U_3Si$  с иодидным цирконием проводились в вакууме (не ниже  $5 \cdot 10^{-4}$  мм рт. ст.) в течение 250, 500 и 1000 ч при 700 и 800 °С и в течение 250 ч при 870 °С. Для исследования взаимодействия использовался металлографический и рентгеноспектральный локальный анализ при помощи микроанализатора

MS-46 фирмы «Камека». При расчете концентраций на ЭВМ по относительным интенсивностям вводились следующие поправки: на атомный номер — по методу Данкамба — Рида [1]; на поглощение — по методу Филибера [2] с модифицированной постоянной Ленарда по Данкамбу — Шилде — Хейнриху [3]; на флюоресценцию от характеристического излучения —



Р и с. 1. Микроструктура зоны взаимодействия силицида урана с цирконием при 870 °С после 250 ч ( $\times 400$ ):

1 — цирконий; 2 —  $(Zr, U)_3Si_3 + \alpha$ -уран; 3 —  $\alpha$ -уран; 4 — силицид урана  $U_3Si$



Р и с. 2. Кривые распределения  $U - L_{\alpha}$ ,  $Si - K_{\alpha}$ ,  $Zr - L_{\alpha}$  в области контакта  $U_3Si$  с  $Zr$  при 870 °С после 250 ч (ускоряющее напряжение 25 кВ):

1 — цирконий; 2 —  $(Zr, U)_3Si_3 + \alpha$ -уран; 3 —  $\alpha$ -уран; 4 — силицид урана  $U_3Si$

по Риду [4] и поправка на химический сдвиг [5]. Относительная погрешность при определении концентраций U, Zr и Si составила не более 1,5%.

При 870 °C за 250 ч в области контакта  $U_3Si$  с цирконием образуются два слоя толщиной 60 и 80—85 мкм, разделенные порами (рис. 1). Распределение элементов в зоне взаимодействия показано на рис. 2.

По данным микрорентгеноспектрального анализа, слой  $U_3Si$  представляет собой твердый раствор кремния (0,1 мас.%) в  $\alpha$ -уране. В двухфазном слое, прилегающем к цирконию, содержится 21,3 мас.% Zr, 74,3 мас.% U и 4,4 мас.% Si. Тонкодисперсная фаза в этом слое является твердым раствором циркония и кремния в  $\alpha$ -уране, а вторая фаза, согласно расчетам, имеет состав (в ат.%):  $(54,2 \pm 0,5)$  Zr,  $(8,1 \pm 0,1)$  U и  $(37,7 \pm 0,8)$  Si, что соответствует  $Zr_5Si_3$ .

Рентгеновский фазовый анализ области контакта  $U_3Si$  с Zr при помощи дифрактометра «Дрон-0,5» показал наличие четырех фаз:  $\alpha$  — Zr,  $U_3Si$ ,  $\alpha$  — U и  $Zr_5Si_3$ . Незначительное увеличение межплоскостных расстояний в  $Zr_5Si_3$  по сравнению с эталонными [6] объясняется замещением части атомов циркония атомами урана.

Электронно-зондовый микроанализ помимо образования  $Zr_5Si_3$  показал также диффузионное проникновение кремния в цирконий на  $172 \pm 8$  мкм до максимальной концентрации 0,2 мас.%. Растворения циркония в  $U_3Si$  не обнаружено.

Отжижки при 800 °C длительностью 250, 500 и 1000 ч сопровождались диффузией урана из  $U_3Si$  в цирконий на глубину до  $1560 \pm 12$  мкм (за 1000 ч) и образованием в  $U_3Si$  слоя  $U_3Si_2$ .

По кривым распределения урана в цирконии за 250, 500 и 1000 ч (рис. 3) был определен коэффициент объемной диффузии  $D_{об} = 4,8 \cdot 10^{-13}$  см<sup>2</sup>/с и рассчитан по методу Фишера [7] коэффициент граничной диффузии  $D_{гг} \delta = 8,4 \cdot 10^{-13}$  см<sup>2</sup>/с, где  $\delta$  — ширина границы зерна.

После отжига при 700 °C в течение 1000 ч взаимодействия  $U_3Si$  с Zr не обнаружено (диаметр зонда не превышал 1 мкм).

Поступило в Редакцию 13.VI.77

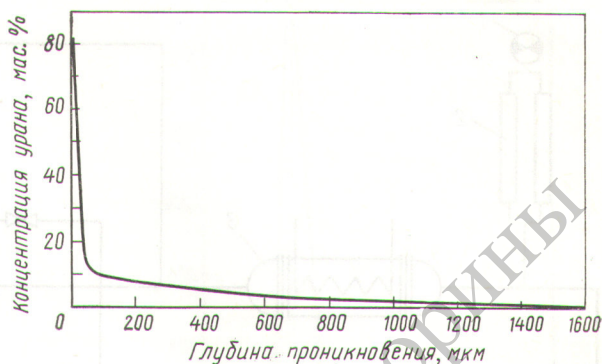


Рис. 3. Концентрационная кривая распределения урана в цирконии при 800 °C после 1000 ч

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Duncumb R., Reed S. U.S. National Bureau of Standards Special Publication. 1968, N 298, p. 133.
2. Philibert J. X-ray optics and X-ray microanalysis. N.Y., Acad. Press Inc., 1962, p. 379.
3. Heinrich R. Advances in X-ray Analysis, v. 11. N.Y., Acad. Press Inc., 1966, p. 296.
4. Reed S. «Brit. J. Appl. Phys.», 1965, v. 16, p. 296.
5. Андрущенко Н. С., Костиков Ю. П. В кн.: Тезисы докладов 7-й Междунар. конф. по оптике рентгеновских лучей и микроанализу. М., «Наука», 1974, с. 38.
6. Миркин Л. И. Справочник по рентгеноструктурному анализу поликристаллов. Под ред. проф. Уманского Я. С. М., Физматгиз, 1961.
7. Fisher J. «J. Appl. Phys. », 1951, v. 22, p. 74.

УДК 621.039.572

## Определение параметров сорбции носителя запаздывающих нейтронов <sup>87</sup>Bг

САМСОНОВ Б. В., ФРЕЙ А. К., АКСЕНОВ Н. А.

Для контроля герметичности оболочек (КГО) твэлов широко используются системы КГО по запаздывающим нейтронам; они с хорошей точностью определяют момент разгерметизации и следят за относительным уменьшением выхода продуктов деления (ПД) из твэла [1].

Определение абсолютных значений выходов (а значит, и абсолютных значений дефектов в некоторых типах твэлов) с помощью таких систем зависит от многих факторов и, в частности, от того, какое количество носителей запаздывающих нейтронов (н. з. н.) теряется при доставке от негерметичного твэла до датчика системы КГО.

Основные процессы, которые обуславливают эти потери, — это радиоактивный распад и сорбция н. з. н.

на поверхности контура. Постоянные распада основных групп н. з. н. известны [1], а то время как данные по их сорбции носят лишь оценочный характер [1]. В настоящей работе приведены результаты исследований сорбции <sup>87</sup>Bг.

**Постановка эксперимента.** Сорбцию <sup>87</sup>Bг изучали в водяной петле ВП-2 реактора СМ-2. На рис. 1 показаны два петлевых канала, работающие параллельно, на выходе из которых часть теплоносителя отбирается и направляется в накопительные емкости системы КГО, где установлены датчики нейтронов СНМ-11. Накопительные емкости конструктивно расположены на близком расстоянии друг от друга. Поэтому наличие н. з. н. в одной емкости фиксируется датчиком не только в этой емкости, но и датчиком, расположенным в соседней,