

## КРАТКИЕ СООБЩЕНИЯ

УДК 539.21.93

Т. Н. РОНАМИ, В. И. ГРЫЗУНОВ

### ВЗАИМНАЯ ДИФФУЗИЯ В СИСТЕМЕ Nb—Zr

Изучению взаимодействия ниобия с цирконием в последнее время посвящено большое количество работ. Но до настоящего времени не существует единого мнения относительно положения купола распада  $\beta$ -твердого раствора и положения кривых  $\alpha/\beta$  превращения.

В работе [1] рентгенографическими исследованиями показано, что состав эвтектоидной точки лежит близко к 12 ат. % Nb, а предел растворимости ниобия в цирконии при 600°С менее 0,5 ат. %.

В работе [2] при изучении диаграммы состояния Nb—Zr использовались рентгенографический и дилатометрический анализы, методы определения электросопротивления и микротвердости. Было установлено, что эвтектоидный распад происходит при 615°С, причем эвтектоидная точка соответствует 17,5 ат. % Nb. Растворимость ниобия в  $\alpha$ -цирконии при эвтектоидной температуре равна 6 ат.%, а минимальная растворимость циркония в ниобии составляет 10 ат. %.

В другой работе [3] предполагается вариант диаграммы состояния системы Nb—Zr без распада твердого раствора и монотектоидного превращения, т. е. принципиально отличающийся от диаграмм состояния, предложенных другими авторами.

Таким образом, противоречивые данные по исследованию взаимной диффузии в системе Nb—Zr указывают на необходимость дальнейшего изучения этой системы.

В настоящее время методом локального рентгеноспектрального анализа диффузионных слоев, полученных при отжиге в интервале температур 400—1700°С (см. табл.) с последующей закалкой их, во-первых, уточнена диаграмма состояния системы Nb—Zr, во-вторых, по данным распределения элементов Nb и Zr рассчитаны некоторые диффузионные параметры.

Исследование концентрационной зависимости элементов в диффузионной зоне проводилось на микроанализаторе MS-46 по  $L_{\alpha}$ -линиям анализируемых элементов при напряжении 10—20 кв. Скорость передвижения образца относительно электронного зонда варьировали от 7,8 до 127  $\mu$  в мин в зависимости от ширины диффузионной зоны. Для нахождения содержания элемента в образце использовали отношение интенсивностей от образца к интенсивности эталона:

$$k = \frac{(I_{\text{л}} - I_{\text{ф}})_{\text{обр}}}{(I_{\text{л}} - I_{\text{ф}})_{\text{эт}}}$$

где  $I_{\text{л}}$  — интенсивность характеристического излучения,  $I_{\text{ф}}$  — интенсивность фона.

При взаимной диффузии двух элементов в диффузионной зоне образуются, как известно, гомогенные фазы. Если эта зона отвечает образованию неограниченных

Изучаемая система	Температура отжига, °С	Время отжига, час
Nb—Zr	700	1346, 2611
	800	500
	900	360
	1000	123, 390, 483.
	1100	95, 235
	1200	150
	1300	91, 148
	1400	24
	1600	45, 170
	1700	4

твердых растворов, то изменение состава в ней от одного элемента к другому в зависимости от расстояния описывается непрерывной кривой. В случае двухфазной области межфазовый переход на концентрационной кривой выражается скачком. Его начало и конец соответствуют пределам растворимости элементов в каждой из фаз при данной температуре. Иначе скачок, выражающий перепад концентрации, отвечает на диаграмме состояния ширине двухфазной области.

Анализ распределения элементов в зоне диффузии при температурах 1200—1700°С показал непрерывный ряд твердых растворов. На концентрационных кривых, полученных при исследовании диффузионных образцов, отожженных при температурах 900—1100°С, отчетливо наблюдается скачок концентраций, соответствующий двухфазной области  $\beta_{Nb} + \beta_{Zr}$ , причем ширина скачка тем больше, чем ниже температура отжига. Два скачка концентрации наблюдаются на концентрационных кривых, снятых при исследовании диффузионных слоев, отжиг которых проводился при 700 и 800°С (рис. 1).

На рис. 2 приведена диаграмма состояния системы Nb—Zr, построенная методом локального рентгеноспектрального анализа диффузионных слоев. По-



Рис. 1. Концентрационная кривая, полученная при исследовании диффузионного поля Nb—Zr, отожженного при температуре 700°С в течение 2611 час

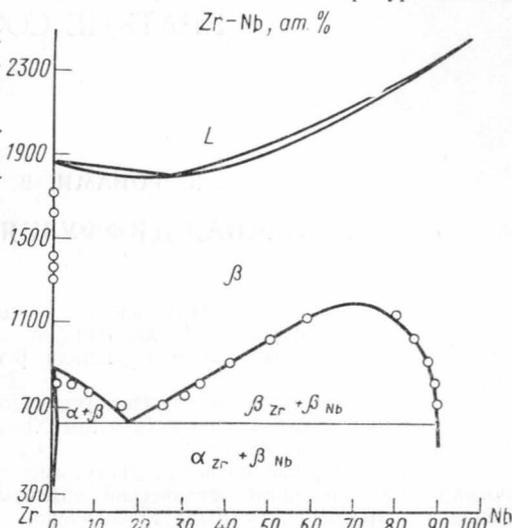


Рис. 2. Диаграмма состояния системы Nb—Zr, построенная методом диффузионных слоев

ложение кривых ликвидуса, солидуса и линии эвтектидного распада взято из ранее опубликованной нами работы [2].

В предыдущих наших исследованиях [4] методом Матано [5] в интервале температур 900—1700°С были определены коэффициенты взаимной диффузии в зависимости от концентрации (5—95 ат. % Nb). По полученным значениям коэффициентов взаимной диффузии для температур 1200—1700°С методом наименьших квадратов были вычислены энергия активации и частотный множитель  $\tilde{D}_0$  в зависимости от концентрации. Из рисунков 3 и 4 видно, что вблизи Zr энергия активации и частотный фактор имеют аномально низкие значения и составляют  $\sim 40$  ккал/моль и  $\sim 10^{-5}$  см<sup>2</sup>/сек соответственно.

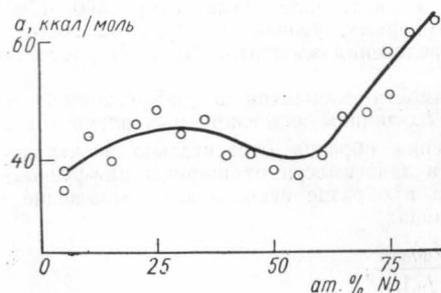


Рис. 3. Значения энергии активации в зависимости от концентрации ниобия

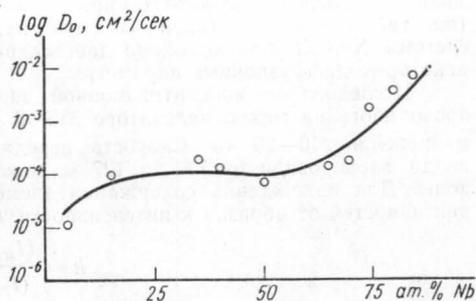


Рис. 4. Значения  $\log \tilde{D}_0$  в зависимости от концентрации ниобия

Одной из причин аномального протекания диффузии, по-видимому, является резкое отличие по характеру диффузионного поведения Nb и Zr, т. е. слишком низкое значение предэкспоненциального множителя ( $\sim 10^{-4}$ — $10^{-5}$  см<sup>2</sup>/сек) для самодиффузии Zr. Поэтому вполне естественно ожидать, что аномальный характер диффузии в цирконии скажется на процессе взаимодиффузии между ниобием и цирконием, что и наблюдается на опыте. С увеличением концентрации ниобия энергия активации и частотный фактор увеличиваются, достигая  $\sim 70$  ккал/моль и  $10^{-2}$  см<sup>2</sup>/сек соответственно при 85 ат. % Nb.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Бычков Ю. Ф., Розанов А. Н., Скоров Д. М. Сб. «Металлургия и металловедение чистых металлов», т. 1, 1959, стр. 179.
2. Раевская М. В., Соколова Н. Г. и др. «Вестн. Моск. ун-та», химия, № 1, 64, 1968.
3. Berghaut. «Phys. Lett.», 1, 292, 1962.
4. Ронами Г. Н., Грызунов В. И. и др. «Вестн. Моск. ун-та», физ., астроном., 11, № 3, 251, 1970.
5. Matano С. «J Japan. Phys.», 8, 109, 1933.

Поступила в редакцию  
24.11 1970 г.  
После переработки  
21.1 1971 г.

Кафедра  
низких температур

УДК 535+621.378

А. В. КОЛПАКОВ, Б. Ш. ГАЛЯМОВ, Р. Н. КУЗЬМИН

### ГЕТЕРОДИНИРОВАНИЕ ИЗЛУЧЕНИЯ РЕНТГЕНОВСКОГО ДИАПАЗОНА ДЛИН ВОЛН

К настоящему времени выполнено большое число экспериментальных и теоретических работ, посвященных фотосмещению пучков света с различными когерентными свойствами в оптическом диапазоне длин волн [1—4].

Ниже обсуждается вопрос о возможности фотосмещения излучения рентгеновского диапазона длин волн ( $\lambda \sim 10^{-2} - 1 \text{ \AA}$ ).

Пусть на нелинейный фотодетектор падают два пучка излучения рентгеновского диапазона длин волн. Предположим, что спектр каждого из них имеет лоренцовский вид с центрами в  $\omega_1$  и  $\omega_2$  соответственно. Будем считать, что линии имеют равную ширину  $\gamma$  и интенсивности и одинаково поляризованы. Для того чтобы биения были хорошо выражены, следует, чтобы  $\delta\omega = \omega_1 - \omega_2 \gg \gamma$ .

Фотоэлектрон, выбитый при одновременном воздействии обоих пучков излучения, будет находиться в смешанном состоянии, волновая функция которого имеет следующий вид:

$$|p\rangle = |p_1\rangle + |p_2\rangle. \quad (1)$$

Плотность электронного тока, соответствующая состоянию (1), равна

$$j = j_0(1 + \mu \cos(\delta\omega t)), \quad (2)$$

где  $j_0$  — плотность тока, создаваемая одним каким-либо пучком излучения,  $\mu$  — коэффициент глубины модуляции.

Таким образом, фототок обнаруживает биения с разностной частотой  $\delta\omega$ . Оценим отношение сигнала к шуму, которое согласно [5] может быть записано так:

$$\frac{S}{N} = \frac{\eta}{\Delta f} \frac{n_1 n_2}{n_1 + n_2} \frac{\sigma_c}{A}, \quad (3)$$

где  $\eta$  — квантовая эффективность фотодетектора,  $n_i$  — число квантов в 1 сек в  $i$ -том пучке,  $\sigma_c$  — площадь области когерентности,  $A$  — освещаемая площадь фотокатода,  $\Delta f$  — полоса пропускания входа радиотракта.