

Изменение температуры образца со временем:

● — в процессе облучения; ○ — после прекращения облучения

педуры минимизации (5), что объясняется зависимостью мощности дозы от обоих параметров.

Предлагаемая методика оценки мощности дозы была опробована в серии экспериментов. Алюминиевый образец с размерами $10 \times 15 \times 30$ мм облучался электронами с энергией 8,5 МэВ со стороны широкой грани в условиях естественного конвективного теплообмена. Для измерения температуры в процессе облучения применялись платиновый термометр сопротивления, приклеенный к одной из граней образца, и цифровой вольтметр. Погрешность определения температуры не превосходила $0,3^\circ\text{C}$. Плотность тока электронов определялась цилиндром Фарадея с относительной погрешностью 3–7%. Стабильность тока пучка контролировалась индукционным датчиком.

На рисунке представлены типичные кривые нагрева и охлаждения исследуемого образца, соответствующие плотности тока $0,1 \text{ мкА/см}^2$. Расчетная кривая нагрева (сплошная линия) согласуется с экспериментальными значениями температуры с погрешностью $< 4\%$; при охлаждении расчетные значения практически совпадают с экспериментальными (на рисунке опущены).

Некоторые результаты анализа температурных кривых при различной плотности тока представлены в таблице. Экспериментально найдено, что при выборе показателя степени $n = 1,085$ расчетные кривые охлаждения согласуются с измеренными с погрешностью не более 4%.

Выбор постоянного значения n обеспечивает относительно слабый разброс параметра k , зависящего от

Результаты анализа радиационного нагрева образца при облучении электронами с энергией 8,5 МэВ

j , мкА/см ²	$k \times 10^4$, эрг/(с·°C)	$D_1 \times 10^4$, рад/с	$D_2 \times 10^4$, рад/с
0,033	1,92	0,64	0,68
0,067	1,75	1,42	1,43
0,083	1,99	1,67	1,90
0,100	1,72	1,68	1,96
0,117	1,51	2,52	2,42
0,130	1,91	2,23	2,57
0,133	1,30	2,75	2,65

коэффициента теплообмена. Значения мощности дозы D_1 получены из начального участка кривых нагрева в соответствии с формулой (2), значения D_2 — из анализа всей совокупности экспериментальных точек по предлагаемой методике. Зависимость D_2 от плотности тока электронов характеризуется небольшими отклонениями от линейности (максимальное отклонение $< 12\%$), тогда как аналогичная зависимость $D_1(j)$ отличается сравнительно большим разбросом значений, особенно при высоких плотностях тока.

Предлагаемый метод дозиметрии, основанный на анализе радиационного нагрева тел в процессе облучения, позволяет получить независимую оценку мощности дозы излучения, поглощенной непосредственно в изучаемом объекте. Он может быть использован при исследованиях в области радиационной физики и материаловедения. Для известной мощности дозы полученные результаты позволяют предсказать кинетику изменения температуры объекта в процессе облучения. Необходимые для этого параметры теплообмена можно заранее определить из тепловых экспериментов. Следует отметить, что возможность применения изложенного метода ограничена условиями малости потерь тепла на излучение. Если лучистый теплообмен преобладает, то можно воспользоваться результатами работы [4], в которой исследованы закономерности радиационного разогрева твердых тел в вакууме.

Поступило в Редакцию 18/VII 1975 г.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Карслоу Г., Егер Д. Теплопроводность твердых тел. М., «Наука», 1964.
- Ананьев В. Д., Матора И. М. «Атомная энергия», 1970, т. 29, вып. 4, с. 285.
- Уайлд Д. Дж. Методы поиска экстремума. М., «Наука», 1967.
- Ибрагимов Ш. Ш., Реутов В. Ф., Абрашитов П. Ю. «Изв. АН КазССР. Сер. физ. мат.», 1974, № 6, с. 84.

УДК 548.73

Кристаллическая структура соединений Pu_5Rh_4 и Pu_5Ir_4

БЕЗНОСИКОВА А. В., ЧЕБОТАРЕВ Н. Т., ЛУКЪЯНОВ А. С., ШАПОВАЛОВ М. П., ТИМОФЕЕВА Л. Ф.

Исследовались монокристаллы соединений Pu_5Rh_4 и Pu_5Ir_4 методом Лауэ, колебания и фотографирования обратной решетки (излучение молибденовое). Интенсив-

ности отражений оценивались визуально по маркам почернения с учетом факторов Лоренца и поляризованного. Для соединений Pu_5Rh_4 и Pu_5Ir_4 было использовано

но 354 и 173 отражения соответственно. Размеры элементарной ячейки определялись по рентенограммам колебания и уточнялись по порошковым рентенограммам. Расчеты по определению структуры проведены на ЭВМ «Минск-32» по программе, разработанной авторами.

Установлено, что соединения Pu_5Rh_4 и Pu_5Ir_4 изоструктурны, относятся к ромбической системе, пространственная группа $R\bar{3}m$, $Z = 4$.

На первом этапе определения структуры координаты атомов находились путем минимизации R -фактора как функции координат. Для поиска экстремума использовался комплекс-метод Бокса. При достижении значения R порядка 0,25—0,30 находили распределение электронной плотности в ячейке. Максимумы электронной плотности сравнивали с ориентировочными значениями координат атомов. После достаточно хорошего совпадения окончательные значения координат находили методом наименьших квадратов с использованием процедуры линеаризации, что позволило оценить дисперсию координат.

Для уменьшения влияния факторов, зависящих от отношения синуса угла отражения к длине волны излучения, теоретические и экспериментальные значения интенсивностей приводились к одному масштабу по группам с близкими значениями этого отношения. В каждой группе было от 12 до 22 отражений. Окончательные значения R -фактора для соединений Pu_5Rh_4 и Pu_5Ir_4 составляли 0,17 и 0,18 соответственно.

В табл. 1 приведены размеры элементарной ячейки, положение атомов, атомные параметры, теоретическая плотность соединений.

В табл. 2 приводятся межатомные расстояния и координация атомов. Максимальная ошибка определения межатомных расстояний $\pm 0,03$ Å.

На рис. 1 представлена проекция структуры соединения Pu_5Rh_4 на плоскость (001). Структура состоит из чередования плоских слоев типа A_1B_1 и A_2B_2 , проходящих перпендикулярно к оси b на расстояниях $a/2$ друг от друга. Между этими слоями располагаются два зигзагообразных слоя типа C_1D_1 и C_2D_2 . На рис. 2 показано расположение атомов в слоях типа AB . Каждый атом плутония окружен четырехугольником из атомов родия. Расстояния $Pu - Rh = 2,75; 2,78; 2,85$ и $3,18$ Å. Четырехугольники сочленяются между собой посредством общего атома родия и короткой связи $Rh - Rh = 2,71$ Å. На рис. 3 приведено расположение атомов в зигзагообразном слое типа CD . Здесь, наоборот, каждый атом родия окружен четырехугольником из атомов плутония. Расстояния $Pu - Rh = 2,73; 2,91; 2,98; 3,20$ Å. Четырехугольники сочленяются посредством общего атома плутония и связи $Pu - Pu = 3,59$ Å. Между соседними слоями типа CD связи осуществляются за счет коротких расстояний $Pu - Rh = 2,77$ Å. Между слоями типа AB и CD имеются короткие связи $Pu - Rh = 2,89; 2,92$ и $2,95$ Å. Таким образом, связи внутри слоев типа AB и CD , а также между слоями образуются в основном за счет коротких расстояний между атомами плутония и родия. Структура соединений Pu_5Rh_4 и Pu_5Ir_4 близка к структурам соединений Sm_5Ge_4 [1] и Gd_5Si_4 [2], имеющих очень много общего, хотя их относят к различным структурным типам [2].

Одно из различий этих структур заключается в том, что в соединении Gd_5Si_4 имеется дополнительная связь между атомами Gd_I и Gd_{II} , которой нет в соединении

Структура соединений Pu_5Rh_4 и Pu_5Ir_4 *

Таблица 1

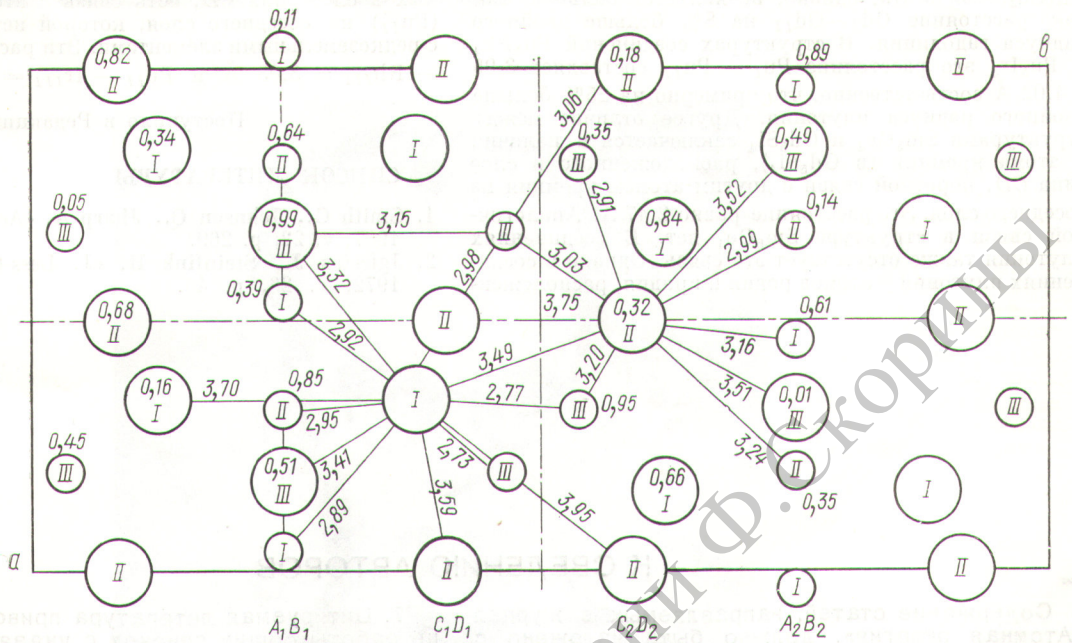
Соединение, период решетки, Å	Положение атомов	Атомный параметр		
		Pu_5Rh_4	Pu_5Ir_4	
Pu_5Rh_4 $a = 7,263$ $b = 14,48$ $c = 7,464$	$Pu_I - 8(d)$	x	$0,158 \pm 1$	$0,155 \pm 1$
		y	$0,122 \pm 1$	$0,123 \pm 1$
	$Pu_{II} - 8(d)$	z	$0,338 \pm 1$	$0,338 \pm 1$
		x	$0,001 \pm 1$	$-0,002 \pm 1$
		y	$0,090 \pm 1$	$0,091 \pm 1$
		z	$-0,180 \pm 1$	$-0,183 \pm 1$
Pu_5Ir_4 $a = 7,245$ $b = 14,60$ $c = 7,455$	$Pu_{III} - 4(c)$	x	$0,322 \pm 1$	$0,319 \pm 2$
		z	$-0,011 \pm 1$	$-0,007 \pm 1$
	$X_I - 4(c)$	x	$-0,041 \pm 2$	$-0,047 \pm 2$
		z	$0,107 \pm 2$	$0,114 \pm 2$
	$X_{II} - 4(c)$	x	$0,190 \pm 2$	$0,193 \pm 2$
		z	$-0,356 \pm 2$	$-0,368 \pm 1$
$X_{III} - 8(d)$	x	$0,194 \pm 2$	$0,183 \pm 1$	
	y	$-0,034 \pm 1$	$-0,035 \pm 2$	
		z	$-0,451 \pm 1$	$-0,460 \pm 1$

* Плотность 13,59 и 16,54 г/см³ соответственно.

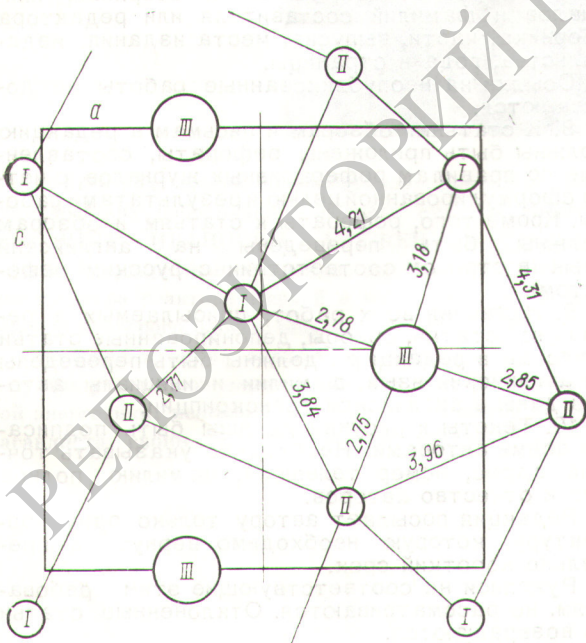
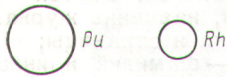
Межатомные расстояния и координация атомов в соединениях Pu_5Rh_4 и Pu_5Ir_4

Таблица 2

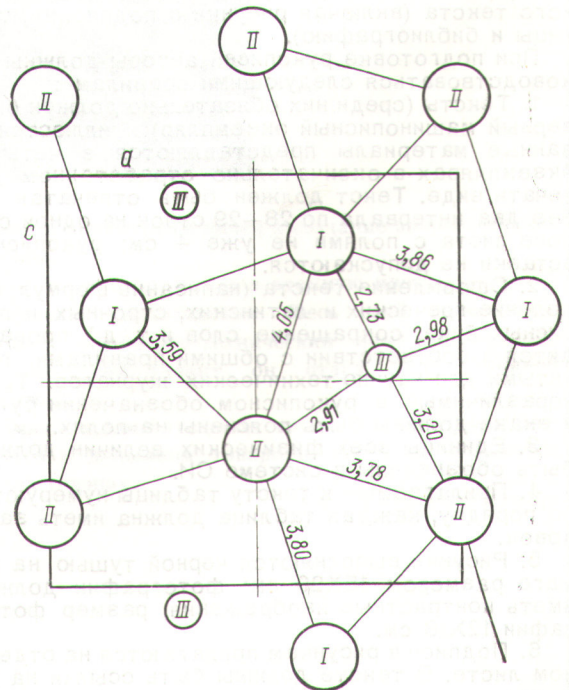
Расстояние	Pu_5Rh_4	Pu_5Ir_4	Расстояние	Pu_5Rh_4	Pu_5Ir_4
	$X-Rh$	$X-Ir$		$X-Rh$	$X-Ir$
$Pu_I - Pu_I$	3,70 Å	3,71 Å	$Pu_{II} - X_{II}$	3,24 Å	3,22 Å
$-2Pu_I$	3,85	3,86	$-X_{III}$	2,91	2,97
$-Pu_{II}$	3,49	3,51	$-X_{III}$	3,03	3,12
$-Pu_{II}$	3,59	3,60	$-X_{III}$	3,06	3,08
$-Pu_{II}$	3,80	3,78	$-X_{III}$	3,20	3,05
$-Pu_{III}$	3,32	3,31	$Pu_{III} - 2Pu_I$	3,32	3,31
$-Pu_{III}$	3,41	3,39	$-2Pu_I$	3,41	3,39
$-X_I$	2,89	2,87	$-2Pu_{II}$	3,51	3,52
$-X_I$	2,92	2,89	$-2Pu_{II}$	3,52	3,54
$-X_{II}$	2,95	2,88	$-X_I$	2,78	2,80
$-X_{III}$	2,73	2,82	$-X_I$	3,18	3,08
$-X_{III}$	2,77	2,75	$-X_{II}$	2,75	2,84
$-X_{III}$	2,98	2,90	$-X_{II}$	2,85	2,87
$Pu_{II} - Pu_I$	3,49	3,51	$-2X_{II}$	3,15	3,15
$-Pu_I$	3,59	3,60	$X_I - 2Pu_I$	2,89	2,87
$-Pu_I$	3,80	3,78	$-2Pu_I$	2,92	2,89
$-Pu_{II}$	3,75	3,81	$-2Pu_{II}$	3,16	3,22
$-2Pu_{II}$	3,78	3,76	$-Pu_{III}$	2,78	2,80
$-Pu_{III}$	3,51	3,52	$-Pu_{III}$	3,18	3,08
$-Pu_{III}$	3,52	3,54	$-X_{II}$	2,71	2,63
$-X_I$	3,16	3,22	$X_{II} - 2Pu_I$	2,95	2,88
X_{II}	2,99	3,05	$-2Pu_{II}$	2,99	3,05
$X_{II} - 2Pu_{III}$	3,24	3,22	$X_{III} - Pu_I$	2,98	2,90
$-Pu_{III}$	2,75	2,84	$-Pu_{II}$	2,91	2,97
$-Pu_{III}$	2,85	2,87	$-Pu_{II}$	3,03	3,12
$-X_I$	2,71	2,63	$-Pu_{II}$	3,06	3,08
$X_{III} - Pu_I$	2,73	2,82	$-Pu_{II}$	3,20	3,05
Pu_I	2,77	2,75	$-Pu_{III}$	3,15	3,15



Р и с. 1. Проекция структуры соединений Ru, Rh_4 на плоскость (001)



Р и с. 2. Слой типа АВ в структуре соединения Ru, Rh_4



Р и с. 3. Слой типа CD в структуре соединения Ru, Rh_4

Sm_5Ge_4 . Связь эта, однако, не является сильной, так как расстояние $\text{Gd}_I - \text{Gd}_{II}$ на 8% больше двойного радиуса гадолиния. В структурах соединений Pu_5Rh_4 и Pu_5Ir_4 это расстояние $\text{Pu}_I - \text{Pu}_{II}$ составляет 3,95 и 4,02 Å соответственно, что примерно на 25% больше двойного радиуса плутония. Другое отличие между структурами Sm_5Ge_4 и Gd_5Si_4 заключается в наличии у атома кремния (в Gd_5Si_4), расположенного в слое типа CD , короткой связи с другим атомом кремния из соседнего слоя. Это расстояние равно 2,47 Å. Аналогичной связи в структуре Sm_5Ge_4 нет. В соединениях плутония также отсутствует эта связь. Однако в соединениях плутония у атомов родия и иридия, расположен-

ных в слое типа CD , есть связь с атомами плутония (Pu_{II}) из соседнего слоя, которой нет в соединениях с редкоземельными элементами. Эти расстояния $\text{Pu}_{II} - \text{Rh}_{III} = 3,03$ Å и $\text{Pu}_{II} - \text{Ir}_{III} = 3,12$ Å.

Поступило в Редакцию 23/IX 1975 г.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Smith G., Johnson Q., Jharp A. «Acta Crystallogr.», 1967, v. 22, p. 269.
2. Jglesias J., Steinfink H. «J. Less-Common. Met.», 1972, v. 26, p. 45.

К СВЕДЕНИЮ АВТОРОВ

Содержание статей, направляемых в журнал «Атомная энергия», должно быть изложено с предельной ясностью и краткостью. Следует избегать повторения данных таблиц и графиков, а также представления численных результатов в виде таблиц и графиков одновременно.

Объем обзоров, как правило, не должен превышать 20—22 стр., оригинальных статей — 10—12 стр., аннотаций депонированных статей — 2 стр., писем в редакцию — 5 стр. машинописного текста (включая рисунки с подписями, таблицы и библиографию).

При подготовке рукописей авторы должны руководствоваться следующими правилами:

1. Тексты (среди них обязательно должен быть первый машинописный экземпляр) и иллюстрированные материалы представляются в четырех экземплярах в окончательном отработанном для печати виде. Текст должен быть отпечатан через два интервала по 28—29 строк на одной стороне листа с полями не уже 4 см; рукописные вставки не допускаются.

2. Оформление текста (написание формул, выделение греческих и латинских, строчных и прописных букв, сокращение слов и т. д.) производится в соответствии с общими правилами, принятыми для научно-технических журналов. Трудноразличимые в рукописном обозначении буквы и знаки должны быть пояснены на полях.

3. Единицы всех физических величин должны быть обозначены в системе СИ.

4. Прилагаемые к тексту таблицы нумеруются по порядку, каждая таблица должна иметь заголовок.

5. Рисунки выполняются черной тушью на бумаге размером 15X20 см; фотографии должны иметь контрастные изображения, размер фотографии 12X18 см.

6. Подписи к рисункам прилагаются на отдельном листе. В тексте должны быть ссылки на рисунки.

7. Цитируемая литература приводится в конце работы общим списком с указанием:

а) для журнальных статей — фамилий и инициалов авторов, название журнала, года, номера тома, выпуска и страницы;

б) для книг — фамилий и инициалов авторов, полного названия книги, места издания, издательства и года издания; для иностранных книг указываются также данные русского перевода.

в) для статей в сборнике — фамилий и инициалов авторов статьи, названия сборника, инициалов и фамилий составителя или редактора сборника, части, выпуска, места издания, издательства, года и страницы.

Ссылки на неопубликованные работы не допускаются.

8. К статьям, обзорам и письмам в редакцию должны быть приложены рефераты, составленные по правилам реферативных журналов, с четко сформулированной целью и результатами работы. Кроме того, рефераты к статьям и обзорам должны быть переведены на английский язык (в строгом соответствии с русским рефератом).

9. Названия всех работ, присылаемых в редакцию (статьи, обзоры, депонированные статьи и письма в редакцию), должны быть переведены на английский язык, фамилии и инициалы авторов даны в английской транскрипции.

10. Тексты и рисунки должны быть подписаны всеми авторами. Необходимо указывать точный адрес, номер телефона, фамилию, полное имя и отчество авторов.

Редакция посылает автору только одну корректуру, которую необходимо вернуть в предельно короткий срок.

Рукописи не соответствующие этим требованиям, не рассматриваются. Отклоненные статьи не возвращаются.