Таким образом, в работе установлена возможность формирования дефектов в GaP посредством прямого электронного возбуждения локальных атомных конфигураций. Независимость процесса от типа примесей в кристалле (см. рис. 3) позволяет предположить, что роль затравочного играет собственный дефект решетки GaP, не являющийся в исходном состоянии эффективным рекомбинационным центром. Процесс перестройки атомной конфигурации при ИЛО происходит атермическим путем.

Как известно [3], в определенных условиях величина гашения ФЛ при ИЛО оказывается пропорциональной концентрации возникающих дефектов. Предполагая такую пропорциональность и в нашем случае, представленную на рис. 2 нелинейную, близкую к квадратичной, зависимость величины $|\Delta I_m|/I_{m0}$ от W можно интерпретировать как проявление двухфотонного характера элементарного акта образования центра. В частности, можно предположить, что перестройка локальной конфигурации происходит при ионизации одновременно двух входящих в нее атомов за счет электростатического отталкивания возникших кулоновских центров [9].

ЛИТЕРАТУРА

[1] Кашкаров П. К., Киселев В. Ф.//Изв. АН СССР, сер. физ. 1986. **50**, № 3. С. 435. [2] Бегичев И. С., Кашкаров П. К., Тимошенко В. Ю.// Вестн. Моск. ун-та. Физ. Астрон. 1989. **30**, № 6. С. 77. [3] Ефимова А. И., Кашкаров П. К., Петров В. И., Тимошенко В. Ю.//Поверхность. Физика, химия, механика. 1990. № 8. С. 94. [4] Кашкаров П. К., Петров В. И., Тимошенко Ю. Ю.//Изв. АН СССР, сер. физ. 1991. **55**, № 8. С. 1655. [5] Dittrich Th., Timoshenko V. Yu.//Phys. Stat. Solidi (a), 1990. **121**. P. 547. [6] Емельянов В. И., Кашкаров П. К.//Поверхность. Физика, химия, механика. 1990. № 2. С. 77. [7] Ахманов С. А., Емельянов В. И., Коротеев Н. И. и др.//УФН. 1985. **147**, № 4. С. 675. [8] Берг А., Дин П. Светодиоды. М., 1979. [9] Клингер М. И., Лущик Ч. Б., Машовец Т. В. и др.//УФН. 1985. **147**, № 3. С. 523.

Поступила в редакцию
31.03.93

ВЕСТН. МОСК. УН-ТА. СЕР. 3, ФИЗИКА. АСТРОНОМИЯ. 1993. Т. 34, № 6

УДК 548.74

ЭЛЕКТРОННО-ДИФРАКЦИОННОЕ ОПРЕДЕЛЕНИЕ СТРУКТУРЫ ФАЗ В СПЛАВАХ Pr—Fe

А. С. Илюшин, Н. А. Хатанова, Е. А. Рыкова, Н. Б. Кольчугина *), О. Д. Чистяков *), Г. С. Бурханов *)

(кафедра физики твердого тела)

Методом дифракции электронов в сплаве Pr—77 ат.% Fe после отжига в течение 100 ч при 600 °С обнаружены следующие фазы: α—Pr, Pr_2Fe_{17}, $PrFe_2$ (*C*14) и $PrFe_2$ (*C*15). Определены параметры решеток ранее не наблюдавшихся интерметаллических соединений $PrFe_2$ двух типов: тип $MgZn_2$ (*C*14), пр. гр. $P6_3/mmc$, $a=5{,}26$ Å, $c=8{,}62$ Å, и тип $MgCu_2$ (*C*15), пр. гр. $Fd3m$, $a=6{,}76$ Å. Установлены ориентационно-структурные соответствия между этими соединениями и соединением Pr_2Fe_{17}, что указывает на возможность структурной перестройки трех соединений друг в друга.

Диаграмма состояний сплавов Pr—Fe окончательно не установлена, а приведенная в работе [1] не была экспериментально подтверждена. Рассмотренное в работе [1] равновесное соединение $PrFe_2$, принадлежащее фазе Лавеса типа $MgCu_2$ (*C*15), при атмосферном давлении обнаружено не было и синтезировано только при охлаждении расплава под давлением 32—35 кбар [2]. Аналогичная ситуация сложилась и с системой Nd—Fe. Однако, хотя соединение $NdFe_2$ (*C*15) также было синтезировано лишь под давлением, в работе [3] установлено, что при атмосферном давлении вместо соединения $NdFe_2$ образуется Nd_5Fe_{17}. В системе Pr—Fe соединение Pr_5Fe_{17} не наблюдалось [4]. Цель данной работы заключалась в установлении методом дифракции электронов структуры фаз, образующихся в сплавах Pr—Fe.

*) Институт металлургии им. А. А. Байкова РАН.

Сплавы Pr—Fe были получены в дуговой печи с нерасходуемым вольфрамовым электродом на медном водоохлаждаемом поду в атмосфере аргона. Для исследования был выбран состав Pr—77 ат.% Fe. Отжиг сплава проводился в отпаянной кварцевой трубке, откачанной до высокого вакуума.

Образцы для электронной дифракции были приготовлены двумя способами. Первый представлял собой химическую полировку тонких фольг в реактиве следующего состава: 1,5 части HNO_3, 1 часть щавелевой кислоты, 1 часть глицерина с последующей промывкой в ацетоне. Во втором способе тонкий порошок сплава, просеянный через сито, наносился на медную опорную сетку. Образцы исследовались в электронном микроскопе «Tesla» BS-613 при ускоряющем напряжении 80 кВ. Постоянная прибора $L\lambda=21$ мм·Å. Точность определения параметра решетки $\Delta a=0{,}02$ Å.

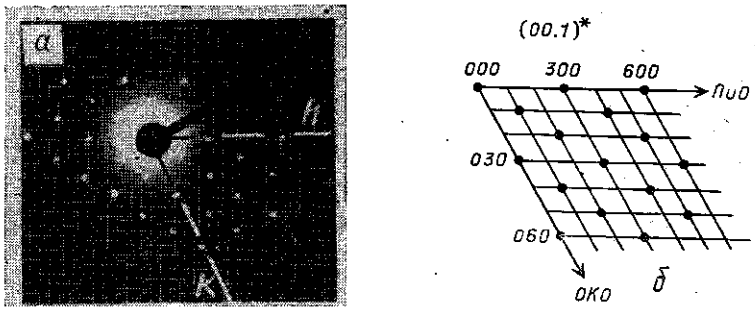


Рис. 1

Кроме дифракции от α—Pr было получено еще три типа электронограмм. На рис. 1, *а* представлена электронограмма сплава Pr—77 ат.% Fe после отжига в течение 100 ч при 600 °С, на которой видна гексагональная сетка рефлексов. Сравнение дифракционной картины с положением узлов в базисной плоскости обратной решетки для соединения Pr_2Fe_{17} (рис. 1, *б*) выявляет полное их сходство. Параметр решетки *a*, рассчитанный по электронограмме, составляет $a=8{,}56$ Å, что близко к литературным данным для Pr_2Fe_{17} [5], имеющего ромбоэдрическую решетку, пр. гр. $R\bar{3}m$ и параметры $a=8{,}585$ Å и $c=12{,}464$ Å.

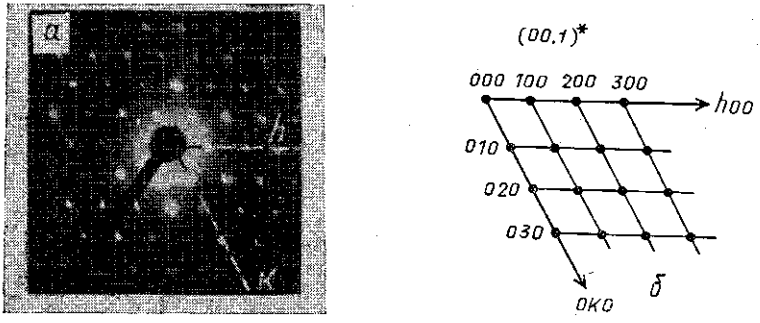


Рис. 2

На рис. 2, *а* показана электронограмма, полученная от этого же образца, также с гексагональной сеткой рефлексов, но немного меньшего размера. Анализ электронограммы свидетельствует о том, что она получена от соединения $PrFe_2$ типа $MgZn_2$ (*C*14), имеющего гексагональную решетку, пр. гр. $P6_3/mmc$ и параметры решетки, определенные нами рентгеновским методом, $a=5{,}26$ Å и $c=8{,}62$ Å. Экспериментальное значение, полученное из электронограммы, $a=5{,}29$ Å, что близко к $a=5{,}26$ Å. На рис. 2, *б* показано расположение узлов обратной решетки в базисной плоскости (00.1)*, соответствующее расположение рефлексов на электронограмме.

Сравнение с рис. 1, *б* позволяет утверждать, что между структурами $PrFe_2$ (*C*14) и Pr_2Fe_{17} имеется определенное структурно-ориентационное соответствие в обратном пространстве:

$$(00.1)^*_{C14} \parallel (00.1)^*_{2:17},$$

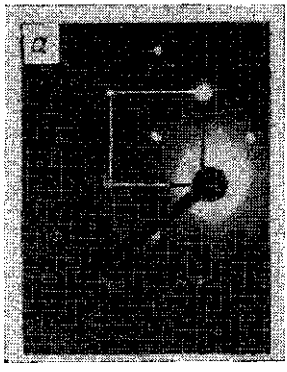
$$[100]^*_{C14} \parallel [110]^*_{2:17}.$$

Для кристаллических решеток это соответствие имеет вид

$$(00.1)_{C14} \parallel (00.1)_{2:17},$$

$$[210]_{C14} \parallel [110]_{2:17}.$$

На рис. 3, *а* показан еще один тип электронограммы с квадратной сеткой рефлексов, полученной от ранее не обнаруженного соединения $PrFe_2$ типа $MgCu_2$



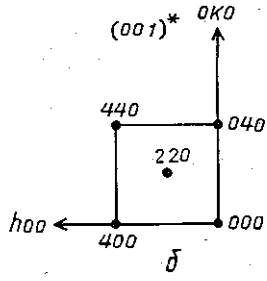


Рис. 3

(*C*15), имеющего кубическую решетку, пр. гр. *Fd*3*m* (отражения типа (200) запрещены). Соответствующая плоскость обратной решетки (001)* изображена на рис. *3, б*. Экспериментальное значение параметра решетки a=6,76 Å. Полученный параметр отличается от значения для других систем редкая земля—железо (a=7,2—7,4 Å). Однако параметр решетки a=6,76 Å обеспечивает структурно-ориентационное соответствие ее с решетками $PrFe_2$ (*C*14) и Pr_2Fe_{17}. А именно в обратном пространстве

$$(\bar{1}11)^*_{C15} \parallel (00.1)^*_{2:17},$$

$$[110]^*_{C15} \parallel [100]^*_{2:17},$$

что для кристаллических решеток соответствует

$$(\bar{1}11)_{C15} \parallel (00.1)_{2:17},$$

$$[110]_{C15} \parallel [210]_{2:17}.$$

Между обратными решетками соединений $PrFe_2$ (*C*15) и $PrFe_2$ (*C*14) наблюдается следующее соответствие:

$$(\bar{1}11)^*_{C15} \parallel (00.1)^*_{C14},$$

$$[110]^*_{C15} \parallel [110]^*_{C14}$$

и для кристаллических решеток это соответствие остается таким же.

Обнаруженные структурно-ориентационные соответствия между решетками этих соединений означают возможность структурной перестройки их друг в друга.

ЛИТЕРАТУРА

[1] Кубашевски О. Диаграммы состояний двойных систем на основе железа. М., 1985. [2] Canon J. E., Robertson D. L., Hall H. T.//Mater. Res. Bull. 1972. 7. P. 274. [3] Moreau I. M., Paccard L., Nozieres J. P. et al.// J. Less-Common Met. 1990. 163. P. 245. [4] Neiva A. C., Jonemine T., Landgraf F. J. S., Missel P. P.//Proc. of the 6-th Intern. Symp. on Magn. Anisotropy and Coersit. on Met. Alloys. Pittsburg, 1990. 11. P. 235. [5] Stadelimair H. H., Shneider G., Ellner M.//J. Less-Common Met. 1968. 115. P. L11. [6] Илюшин А. С. Введение в структурную физику редкоземельных интерметаллических соединений. М., 1991.

Поступила в редакцию
16.06.93

ВЕСТН. МОСК. УН-ТА. СЕР. 3, ФИЗИКА. АСТРОНОМИЯ. Т. 34, № 6

УДК 621.315.592

К ТЕОРИИ ПРЫЖКОВОЙ ПРОВОДИМОСТИ КВАЗИОДНОМЕРНЫХ НЕУПОРЯДОЧЕННЫХ СИСТЕМ

И. П. Звягин

(*кафедра физики полупроводников*)

Рассмотрена анизотропия прыжковой проводимости квазиодномерных систем, связанная с особенностями формы оптимальных путей носителей. Показано, что для систем, описываемых с помощью модели *R*-протекания, указанные особенности не приводят к экспоненциальной анизотропии проводимости.

Хорошо известно, что проводимость неупорядоченных систем частно можно найти, используя методы теории протекания. В частности, задача о прыжковой проводимости в системе центров, координаты и энергии которых случайны, сводится к задаче связей на случайных узлах. Основные экспоненциальные температурная и концентрационная зависимости проводимости среды в этом случае определяются критическим значением темпа переходов между локализованными состояниями, отвечающим появлению в системе бесконечного кластера зацепляющихся связей. В силу того что при однородном распределении локальных центров (узлов) в пространстве существует единственный порог протекания даже для задачи с анизотропией темпов переходов, анизотропия экспоненциального множителя проводимости в этом случае отсутствует [1]. В то же время для систем с неоднородным распределением центров в пространстве ситуация может быть существенно иной. В квазидвумерных системах могут существовать два порога протекания, что приводит к появлению экспоненциальной анизотропии прыжковой проводимости [2]. Для квазиодномерных систем со слабым зацеплением между нитями, характеризуемых наличием одного порога протекания, в работе [3] также были получены различные экспоненциальные температурные зависимости продольной и поперечной прыжковой проводимости. Используя перколяционный подход, мы обсудим возможности существования экспоненциальной анизотропии прыжковой проводимости некоторых модельных квазиодномерных систем с одним порогом протекания.

Особенности рассматриваемой ситуации можно проиллюстрировать на примере хорошо известной модели анизотропного протекания на регулярной решетке [4]. Для двумерной анизотропной системы порог протекания один; граница области протекания на плоскости $(\eta_{\parallel}, \eta_{\perp})$ определяется уравнением

$$\eta_{\parallel}+\eta_{\perp}=1, \tag{1}$$

где $\eta_{\parallel}$, $\eta_{\perp}$ — вероятности образования продольных и поперечных связей. Вероятность образования цепочки s продольных связей равна $P_s=\eta_{\parallel}^{s}(1-\eta_{\parallel})\left(\sum_s P_s=1\right)$, а среднее число связей в цепочке есть $\bar{s}=\sum_s sP_s=\eta_{\parallel}(1-\eta_{\parallel})^{-1}$.