

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ КАНАЛИРОВАНИЯ ПРОТОНОВ ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ МЕСТОПОЛОЖЕНИЯ КИСЛОРОДА, РАСТВОРЕННОГО В МОНОКРИСТАЛЛЕ НИОБИЯ

П. П. Матяш, Н. А. Скакун, Н. П. Духий

Используя явление перераспределения плотности потока заряженных частиц в канале, определяется местоположение кислорода, внедренного в монокристалл ниобия. Для идентификации кислорода используется ядерная реакция $O^{18}(p, \alpha)N^{15}$. Показано, что кислород занимает октаэдрические междоузлия.

Явление динамического перераспределения плотности потока каналирующих частиц в монокристалле [1 – 3] открывает перспективу исследования позиций, занимаемых инородными атомами в решетке монокристалла на уровне вплоть до десятых и сотых долей атомного процента примеси.

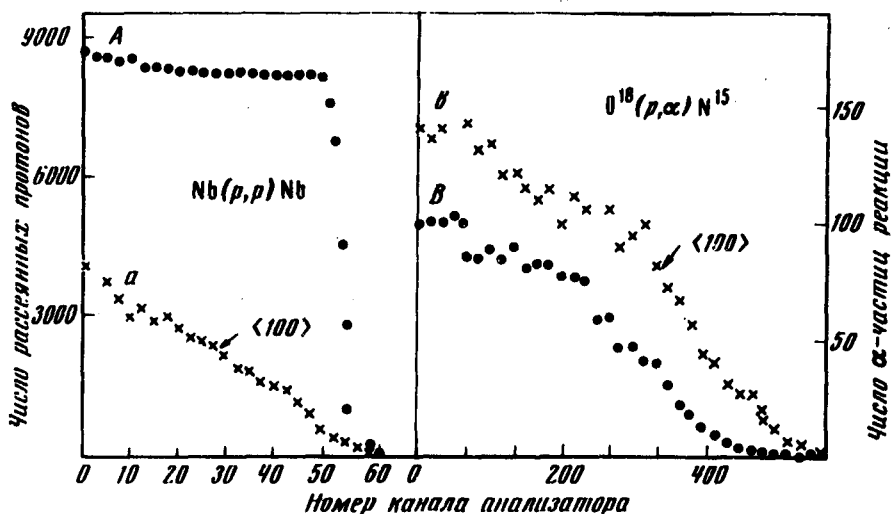


Рис. 1. Энергетические спектры протонов, упруго рассеянных атомами ниобия (левая часть), и α -частиц реакции $O^{18}(p, \alpha)N^{15}$ (правая часть) при совпадении направления пучка протонов с кристаллографической осью $\langle 100 \rangle$ решетки ниобия (\times) и в случае произвольного направления (\bullet). Начальная энергия протонов $E_p = 700$ кэВ

В настоящей работе для определения позиций, занимаемых кислородом в монокристалле ниобия, использовалась ядерная реакция $O^{18}(p, \alpha)N^{15}$. Дифференциальное поперечное сечение реакции ~ 50 мбн при энергии протонов $E_p = 700$ кэВ. Ориентирование монокристалла ниобия относительно пучка протонов с угловой расходимостью не превышающей $0,05^\circ$ осуществлялось с помощью гониометра с тремя степенями свободы [4]. Упруго рассеянные протоны и α -частицы реакции регистрировались спектрометрами заряженных частиц на базе полупроводниковых детекторов.

Образцы монокристаллического ниобия размером $10 \times 5 \times 1 \text{ мм}^3$, вырезанные перпендикулярно кристаллографическим осям $\langle 111 \rangle$, $\langle 110 \rangle$ и $\langle 100 \rangle$, насыщались кислородом, обогащенным до 42% изотопом O^{18} , при давлении $4 \cdot 10^{-4} \text{ мм рт.ст.}$ и температуре 1150°C . Гомогенизация производилась при температуре 1750°C и давлении $5 \cdot 10^{-6} \text{ мм рт.ст.}$ в течение 20 мин. Концентрация кислорода в образцах составляла $0,1 \div 0,2 \text{ ат.}\%$.

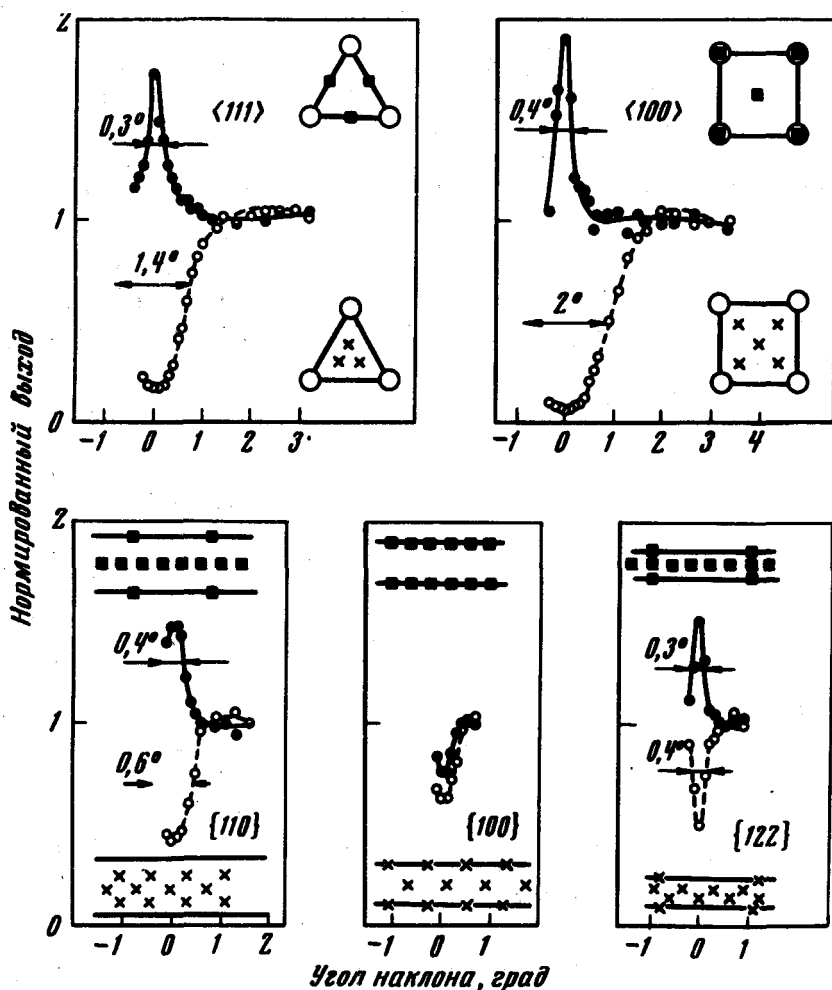


Рис. 2. Результаты углового сканирования в окрестности кристаллографических осей $\langle 111 \rangle$, $\langle 100 \rangle$ и плоскостей $\{110\}$, $\{100\}$ и $\{122\}$: ● – выход α -частиц реакции $\text{O}^{18}(p, \alpha) \text{N}^{15}$, ○ – выход протонов, упруго рассеянных атомами ниобия. Для каждого случая показаны проекции цепочек атомов (○) и атомных плоскостей (сплошная линия) ниобия, а также цепочек возможных положений внедрения кислорода (октаэдрических (■) или тетраэдрических (×) междоузлий) на плоскость нормальную данному направлению.

На рис. 1 представлен спектр протонов, упруго рассеянных атомами ниобия (а), и α -частиц реакции (б), когда направление пучка протонов совпадает с осью $\langle 100 \rangle$. Там же показан спектр протонов (А)

и α -частиц (B) в случае отсутствия каналирования. Наблюдается ослабление более, чем в десять раз выхода рассеянных протонов для каналирующего пучка, что свидетельствует о хорошем качестве исходного монокристалла.

Для определения позиций, занимаемых кислородом, выполнялось угловое сканирование с шагом $0,05^\circ$ в окрестности осей $\langle 111 \rangle$, $\langle 100 \rangle$ и плоскостей $\{100\}$, $\{110\}$ и $\{122\}$ с одновременной регистрацией выходов протонов, упруго рассеянных атомами ниобия, и α -частиц из реакции $O^{18}(p, \alpha)N^{15}$. Результаты сканирования представлены на рис. 2. Наблюдается значительное повышение выхода α -частиц при совпадении направления пучка протонов с кристаллографическими осями $\langle 111 \rangle$, $\langle 100 \rangle$ и плоскостями $\{110\}$ и $\{122\}$. Это свидетельствует о том, что кислород – примесь внедрения, занимающая регулярные междоузлия [5]

Результат углового сканирования в окрестности плоскости $\{100\}$ показывает, что кислород размещается в октаэдрических междоузлиях. Действительно, если бы кислород располагался в тетраэдрических пустотах, следовало бы ожидать увеличения выхода α -частиц [6], когда направление пучка протонов совпадает с плоскостью $\{100\}$, так как в этом случае часть кислорода располагается между плоскостями атомов ниобия. Однако, если кислород занимает октаэдрические междоузлия, ослабление выхода α -частиц реакции должно быть таким же, как и ослабление выхода рассеянных протонов (что и наблюдается в эксперименте), поскольку все октаэдрические пустоты находятся в атомных плоскостях $\{100\}$ решетки ниобия. Некоторое отличие угловых полуширин для выхода α -частиц и упруго рассеянных протонов, по-видимому, связано с тем, что амплитуда тепловых колебаний кислорода, занимающего октаэдрические пустоты, больше чем у атомов решетки. Соотношение между указанными полуширинами для плоскостей $\{110\}$ и $\{122\}$ служит дополнительным подтверждением правильности гипотезы о расположении кислорода в октаэдрических пустотах.

Обработка результатов, представленных на рис. 2, продолжается.

Авторы выражают благодарность А.П.Ключареву за участие в обсуждении результатов.

Физико-технический институт
Академии наук УССР

Поступила в редакцию
11 ноября 1973 г.

Литература

- [1] М.А.Кумахов. ДАН СССР, 196, 1300, 1971.
- [2] Г.А.Иферов, Г.П.Похил, А.Ф.Тулинов. Письма в ЖЭТФ, 5, 250, 1967.
- [3] J.U.Andersen, O.Andreasen, J.A.Davies, E.Uggerhøj. Rad. Eff., 7, 25, 1971.
- [4] Н.А.Скакун, Н.П.Дикий, П.П.Матяш, А.Г.Страшинский. ПТЭ, №4, 49, 1973.
- [5] D.V.Vliet. Rad. Eff., 10, 137, 1971.
- [6] N.Jue, N.Matsunami, K.Morita, N.Iton. Rad. Eff., 14, 191, 1971.