

## Литература

- [1] M.EiBschutz, H.I.Guggenheim, *Solid State Com.*, 6, 737, 1968.
- [2] Н. Н.Михайлов, С.В.Петров. *Кристаллография*, 11, 443, 1966.
- [3] Д.Н.Астров, С.И.Новикова, М.П.Орлова. *ЖЭТФ*, 37, 1197, 1959.
- [4] Д.Н.Астров. *ЖЭТФ*, 40, 1035, 1961.
- [5] Д.Н.Астров, Б.И.Альшин. *ЖЭТФ*, 51, 28, 1966.

*Письма в ЖЭТФ, том 12, стр. 209 - 213*

*5 сентября 1970 г.*

### ОБРАТИМОЕ ИЗМЕНЕНИЕ ТЕМПЕРАТУРЫ СВЕРХПРОВОДЯЩЕГО ПЕРЕХОДА $U_6Fe$ ПОД ДЕЙСТВИЕМ НЕЙТРОННОГО ОБЛУЧЕНИЯ

*И.В.Воронова, И.Н.Михайлов, А.Н.Скворцов*

Изменение  $T_K$  сверхпроводников при разупорядочении кристаллической решетки исследовано во многих работах на примере пленок, конденсированных при гелиевой температуре [1, 2]. Теоретический анализ, подобный проведенному МакМилланом в предположении независимости электронной плотности состояний  $N(\theta)$  от степени разупорядоченности, приводит к заключению, что у "аморфных" пленок, из-за смягчения фононного спектра,  $T_K$  должно быть выше, чем у массивного материала, как это действительно наблюдается у ряда сверхпроводников [3].

Более поздние исследования пленок некоторых переходных металлов показали, однако, что характер изменения  $T_K$  различных материалов при разупорядочении неодинаков. Так Стронжин [4] наблюдал у пленок  $Mo$  сильное повышение  $T_K$ , в то время как у разупорядоченных ниобиевых пленок  $T_K$  значительно понижалась. Эти факты указывают на то, что механизм изменения  $T_K$  при разупорядочении кристаллической решетки более сложен, чем предположил МакМиллан, и что в ряде случаев помимо изменения фононного спектра существенное влияние на  $T_K$  может оказывать изменение  $N(\theta)$ .

В связи с этим интересно исследовать влияние разупорядочения на  $T_K$  массивных сверхпроводников, так как в этом случае определение фононного спектра и  $N(\theta)$  является более простой задачей, чем в случае пленок. Удобным материалом для такого исследования является сверхпроводящее интерметаллическое соединение  $U_6Fe$ , кристаллическая структура которого сильно повреждается при облучении нейтронами. В настоящем сообщении приведены данные о изменении  $T_K$  образцов  $U_6Fe$  после нейтронного облучения и при последующем отжиге.

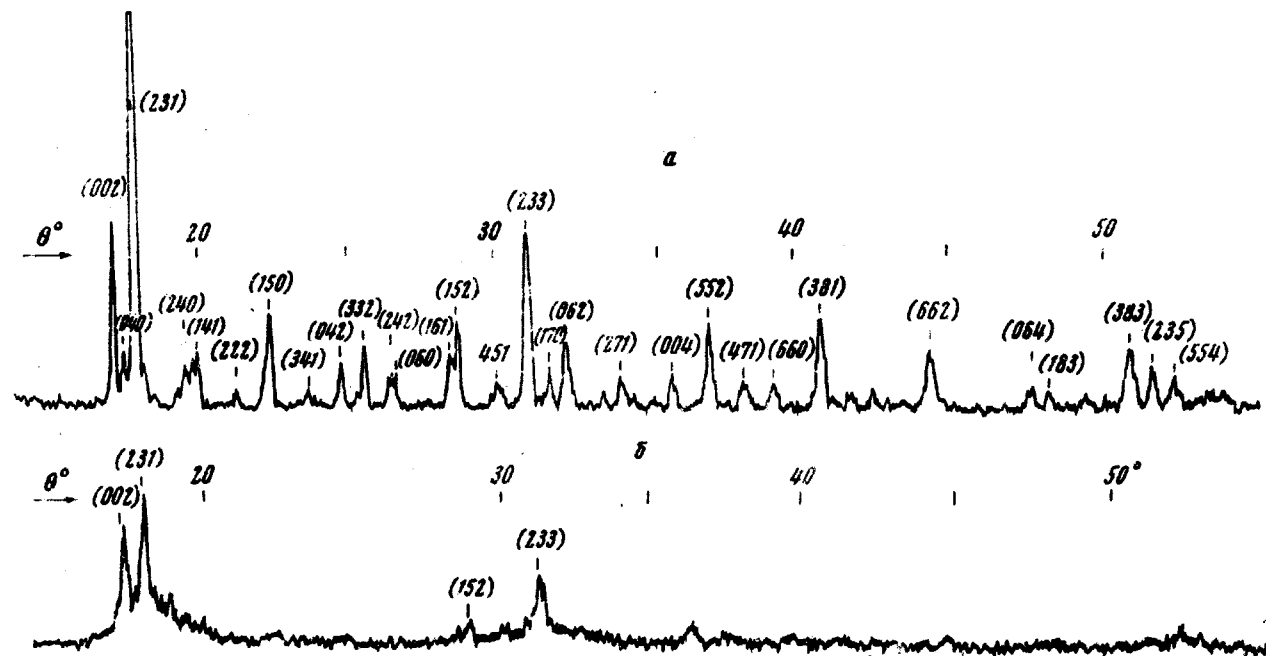


Рис. 1

Сверхпроводимость соединения  $U_6Fe$  с  $T_K = 3,9^\circ K$  была обнаружена Чандрасекхаром и Хьюмом в 1958 г. [5]. Рентгеноструктурное исследование этого соединения было проведено в работе [6]. Хилл и Маттиас [7] измерили  $T_K$  псевдобинарных соединений, образованных сплавлением в разных соотношениях двух соседних членов следующего ряда:  $U_6Mn$ ,  $U_6Fe$ ,  $U_6Co$ ,  $U_6Ni$  и показали, что среди полученных образцов  $U_6Fe$  обладает наиболее высокой  $T_K$ . Критическая температура других образцов постепенно снижается при изменении состава как в сторону  $U_6Mn$  ( $T_K = 2,3^\circ K$ ), так и в сторону  $U_6Ni$  ( $T_K = 0,4^\circ K$ ).

Эти авторы указали на наличие корреляции между  $T_K$  соединений приведенного выше ряда и средним числом несбалансированных электронных спинов на атом магнитных элементов, входящих в соединение, когда они находятся в состоянии металла или сплава.

Блох [8] показала, что нейтронное облучение  $U_6Fe$  до выгорания около  $5 \cdot 10^{-6}$  общего числа атомов урана вызывает полное исчезновение дифракционных максимумов на рентгенограмме соединения. Это явление было объяснено переходом соединения в "аморфное состояние" в результате разрушения кристаллической структуры осколками деления ядер урана. Отжиг при  $450^\circ C$  полностью восстанавливал дифракционную картину облученных образцов.

Мы изготовляли исходные образцы  $U_6Fe$  путем вакуумной плавки в индукционной печи и последующего отжига при  $790^\circ C$  в течение 10 часов. Облучение образцов производилось при  $60^\circ C$  в потоке тепловых нейтронов с интенсивностью  $3 \cdot 10^{12}$  н/см<sup>2</sup>·сек до выгорания  $4 \cdot 10^{-6}$  общего числа атомов урана.

$T_K$  образцов  $U_6Fe$  определялась по изменению индуктивности небольшой катушки с помещенным внутри нее образцом при понижении температуры посредством откачки гелия. Мост переменного тока Р-571 с рабочей частотой 1 кГц уравнивался при  $4,2^\circ K$ . Изменение напряжения в диагонали моста при переходе образца в сверхпроводящее состояние регистрировалось по показаниям катодного вольтметра ВК-7, как функция  $T$ . Для некоторых образцов  $T_K$  определялась по изменению сопротивления с помощью низкоомного потенциометра постоянного тока Р-330. Не было обнаружено существенных отличий при использовании обоих указанных методов.

Рентгенограммы  $U_6Fe$  до и после облучения приведены на рис. 1, а и б. Неполное исчезновение рентгеновских максимумов можно объяснить частичным восстановлением структуры во время облучения, так как доза облучения была вполне достаточна для того, чтобы весь материал прошел через состояние термического пика.

Кривая сверхпроводящего перехода облученного  $U_6Fe$  показана на рис. 2, а. Как видно,  $T_K$  составляет в этом случае  $1,6^\circ K$ , то есть понижается примерно в 2,5 раза по сравнению с  $T_K$  исходного соединения  $U_6Fe$ ; вместе с тем переход остается сравнительно резким.

Отжиг облученных образцов производился в чистом гелии при температурах от  $350$  до  $500^\circ C$  в течение 3 часов. Кривые перехода образцов после отжига показаны на рис. 2, б. После отжига при  $500^\circ C$   $T_K$  дости-

гает значения  $3,9^{\circ}\text{K}$ , то есть возвращается к своему первоначальному значению, наблюдавшемуся у исходного  $\text{U}_6\text{Fe}$ . Переходы после промежуточных и после окончательного отжига остаются сравнительно резкими. Одновременно с повышением  $T_K$  происходит восстановление кристаллической структуры соединения.

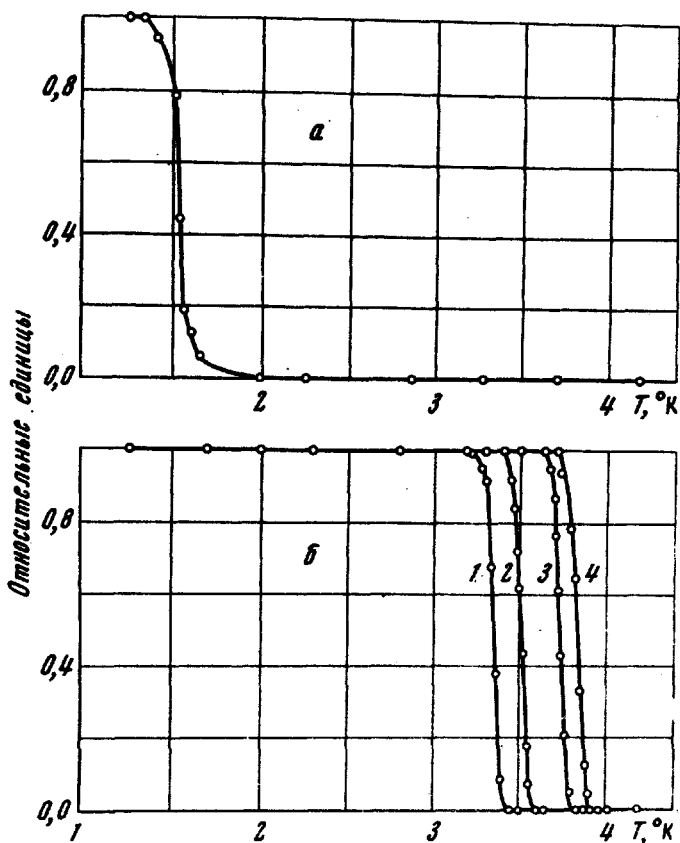


Рис. 2

Если не присоединяться к предположению Маттиаса и Хилла [7] об особом "магнитном" механизме сверхпроводимости у соединений типа  $\text{U}_6\text{Fe}$ , для чего пока недостаточно оснований, следует считать, что изменение  $T_K$  при "аморфизации"  $\text{U}_6\text{Fe}$  должно быть связано с изменением фононного спектра или электронной плотности состояний на поверхности Ферми или и того и другого одновременно. Поскольку смягчение фононного спектра, которое, по-видимому, должно сопровождать переход в состояние, близкое к аморфному, согласно МакМиллану ведет к повышению  $T_K$ , надо предположить, что при "аморфизации"  $\text{U}_6\text{Fe}$  происходит преобладающее снижение  $N(0)$ , также как в исследованных Стронжином [4] разупорядоченных пленках Nb.

Однако не исключено и другое объяснение наблюдаемого эффекта, связанное с изменением магнитного состояния атома железа при разрушении соединения, что может оказывать на  $T_K$  влияние, подобное влиянию парамагнитной примеси в сверхпроводящем сплаве. Таким образом механизм, ответственный за изменение  $T_K$  облученного  $\text{U}_6\text{Fe}$ , остается еще не вполне ясным и вопрос требует дополнительных исследований.

Авторы благодарят Р.О.Зайцева, М.Н.Михееву, Б.Н.Самойлова и Н.А.Черноплекова за полезные дискуссии и В.П.Соменкову за помощь при рентгеновском исследовании некоторых образцов.

Поступила в редакцию  
13 июля 1970 г.

#### Литература

- [1] Н.В.Заварицкий. Письма в ЖЭТФ, 5, 434, 1967.
  - [2] F.T.Chen. Phys. Rev. Lett., 22, 526, 1969.
  - [3] R.Benda. Phys. Stat. Sol., 38, 451, 1970.
  - [4] J.E.Crow, M.Strongin. Phys. Lett., 30A, 3, 161, 1969.
  - [5] B.S.Chandrasekhar, J.K.Hulm. JPhys. Chem. Sol., 7, 259, 1958.
  - [6] N.C.Baenzinger и др. Acta cryst., 3, 34, 1950.
  - [7] H.H.Hill, B.T.Matthias. Phys. Rev., 168. 2, 1968.
  - [8] J.J.Mme Bloch Nucl. Mat., 6, 203, 1962.
-