

## АНОМАЛИИ СВЕРХПРОВОДЯЩЕГО ПЕРЕХОДА В ПЛЕНКАХ А-15 С ПЕРИОДИЧЕСКОЙ НЕОДНОРОДНОСТЬЮ

*В.А.Колясников, Г.В.Сотников, А.С.Токарев, А.А.Никонов*

Обнаружено аномальное поведение сверхпроводящего перехода в пленках  $\text{Nb}_3\text{Sn}$  и  $\text{Nb}_3\text{Ge}$ , облученных ионами  $\text{He}^+$  с  $E = 3$  МэВ через сетчатые маски с характерными размерами отверстий и перемычек в несколько десятков мкм. Предложенное объяснение предполагает существование в решетке А-15 дальнодействующих напряжений, возникающих вокруг разупорядоченных участков.

Известно, что при облучении  $\text{Nb}_3\text{Sn}$  возникают существенные локальные напряжения и искажения кристаллической решетки<sup>1</sup>. Есть также указания на то, что характерный масштаб пространственных модуляций периода решетки в облученном нейтронами поликристаллическом  $\text{Nb}_3\text{Sn}$  соизмерим с размером зерна<sup>2</sup>.

В работе изучалось влияние искусственно созданных с помощью облучения периодических неоднородностей на  $T_c$  сверхпроводников со структурой А-15.

Образцы представляли собой пленки  $\text{Nb}_3\text{Sn}$  и  $\text{Nb}_3\text{Ge}$ , напыленные магнетронным методом на подложку из сапфира или окисленного моноциркония кремния. Толщина пленок составляла 4000 – 8000 Å. Все образцы имели гомогенный фазовый состав и обладали критическими температурами  $T_c = 17 - 18$  К и шириной перехода  $\Delta T = 0,2 - 0,5$  К.

Облучение проводилось на ускорителе Ван Графа ионами гелия энергией  $E = 3$  МэВ. При этом ток пучка не превышал величины 1,5 мкА. Максимальная доза облучения образцов составляла  $2,12 \cdot 10^{18}$   $\text{He}/\text{см}^2$ . Температура облучения была близка к температуре жидкого азота. Размер и период образующейся в результате неоднородного облучения структуры изменялся в зависимости от использованной маски от 1 мм до нескольких десятков микрон. Размер неоднородностей определялся по известным параметрам маски. Толщина маски превышала длину пробега ионов гелия в материале маски, т.е. област-

ти матрицы закрытые перемычками маски, не подвергались облучению. Непроницаемость маски в местах перемычек для  $\alpha$ -частиц, длина пробега которых в материале маски около 6 мкм, проверялась путем облучения контрольного образца, закрытого никелевой фольгой толщиной 10 мкм (что составило половину толщины маски). После облучения дозой  $2,47 \cdot 10^{17}$  Не/см<sup>2</sup> не было обнаружено каких-либо изменений кривой сверхпроводящего перехода.

При облучении образцов неоднородным образом через мелкие ячейки (размер ячеек 60 мкм, ширина перемычки 40 мкм) было обнаружено аномальное поведение сверхпроводящего перехода, измерение которого осуществлялось как индуктивным так и резистивным методами.  $T_c$  после облучения дозой  $1 \cdot 10^{18}$  Не/см<sup>2</sup> уменьшилась с 18 К до 3 К (рис. 1). Конечный эффект облучения через маску оказался таким же, как если бы облучение проводилось сплошным образом, при котором, как известно<sup>3</sup>, происходит понижение температуры сверхпроводящего перехода во всем образце. Иными словами, при облучении через мелкую сетку отсутствует эффект шунтирования неповрежденными участками пленки облученных областей с низкой температурой перехода  $T_{c_1}$ . В облученных через крупноячеистую маску с характерными размерами отверстий и перемычек соответственно 0,5 и 0,3 мм такой аномалии не наблюдается и эффект шунтирования необлученными участками поврежденных областей имеет место.

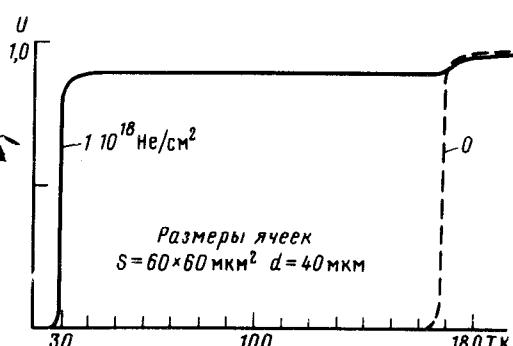


Рис. 1

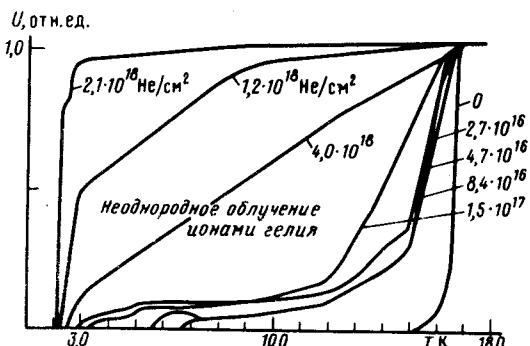


Рис. 2

Рис. 1. Температурные зависимости сверхпроводящего перехода после облучения образца дозой  $1 \cdot 10^{18}$  Не/см<sup>2</sup> для мелкодисперсных ячеек облучения

Рис. 2. Температурная зависимость сверхпроводящего перехода после неоднородного облучения образца ионами гелия

Рис. 3. Температурная зависимость сверхпроводящего перехода после сплошного облучения образца ионами гелия

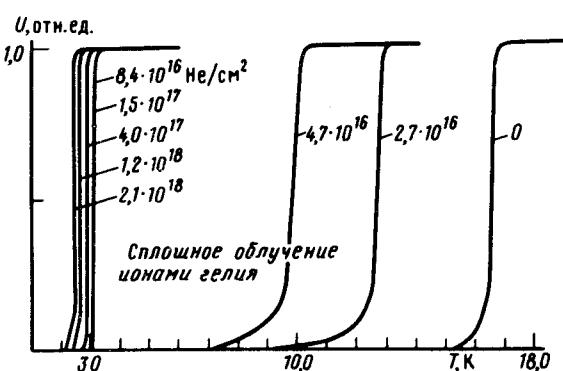


Рис. 3

Важно отметить, что, как для крупной, так и для мелкой масок, доля облученной площади пленки примерно одна и та же.

Для выявления особенностей неоднородного облучения был проведен эксперимент, в котором каждый из образцов разрезался на две одинаковые части и облучение обеих частей проводилось одновременно, но одна из половинок закрывалась маской с мелкими ячейками. Типичный результат показан на рис. 2, 3. Видно, что в отличие от обычно наблюдаемого при однородном облучении смещения перехода в сторону более низких температур, неоднородное облучение приводит к появлению второго перехода с  $T_{c_1} < T_{c_0}$  (рис. 2). С ростом дозы об-

лучения относительная амплитуда второго перехода растет, а температура его начала понижается, приближаясь к значению примерно соответствующему  $T_c$  насыщения, характерной для  $\text{Nb}_3\text{Sn}$ . Все это дает основания высказать предположение, что при неоднородном облучении пленок  $\text{Nb}_3\text{Sn}$  и  $\text{Nb}_3\text{Ge}$  создаваемая в облучаемых участках высокая концентрация радиационных дефектов вызывает значительные локальные искажения решетки, которые при определенных условиях могут распространяться достаточно далеко, приводя к изменению физических свойств в областях, не затронутых облучением.

Причина столь дальнодействующего характера возникающих искажений может быть обусловлена следующими обстоятельствами: во-первых, закон релаксаций упругих напряжений вокруг сферического источника дилатации в модели упругого континуума носит "медленный" характер ( $1/r^2$ ). Во-вторых, упругие модули в соединениях А-15 имеют ряд особенностей, что приводит к метастабильности кристаллической решетки этого класса соединений. Возможно, что образование дефектов или возникновение локальной деформации провоцирует нарушение симметрии в близлежащих координационных сферах. Такой процесс, распространяясь и дальше, может в принципе обеспечить изменение локальных свойств вокруг зон разупорядочения на расстояниях, превышающих длину когерентности  $\xi$ , которая играет роль характерного размера в модели Панде<sup>4</sup>, предложенной для объяснения деградации температуры сверхпроводящего перехода в соединениях со структурой А-15 при облучении.

Исходя из результатов эксперимента предлагается гипотеза, объясняющая деградацию температуры сверхпроводящего перехода в высокотемпературных соединениях А-15, заключающаяся в том, что области разупорядочения небольших размеров, создавая вокруг себя напряжение, изменяют локальную  $T_c$  в объеме значительно большем объема самой разупорядоченной области. Причем, как указывалось выше, искажения в решетке А-15 распространяются на большие расстояния, чем считалось раньше.

В заключение авторы считают своим приятным долгом поблагодарить Клименко Е.Ю., Максимова Л.А., Соменкова В.А. за полезные обсуждения и Черноплекова Н.А. за постоянное внимание и интерес к работе.

#### Литература

- . Voronova I.V., Mikhailov N.N., Sotnikov G.V., Zaikin V.Yu. Proceedings of the International discussion meeting on radiation effect on superconductivity, Argonne, Illinois, USA, June 1977, p. 13.  
Pande C.S. Sol. Stat. Com. , 1981, 37, 753.  
Михайлов Н.Н., Соменкова В.П., Сотников Г.В., Токарев А.С. ВАНТ сер. Общ. и Ядерн. физ., 1983, вып. № 2/23, с. 17.  
Pande C.S. Phys. Stat. Sol. (a), 1979, 52, 687.

Поступила в редакцию  
30 января 1986 г.