

гетероструктур омическими контактами.

Применявшиеся нами исходные оксидные мишени были подготовлены НПК „Лояск“, г. Москва.

С п и с о к л и т е р а т у р ы

- [1] G a o A., W a g e n e r T.J., W e a v e r J.H., C a r o n P D.W. // Phys. Rev. B: Condens. Matter. 1988. V. 37. N 1. P. 515-518.
- [2] T o n o u c h i M., S a k a g u c h i Y., H a s h i m o t o K., Y o s h i z a k o Y., K o b a y a s h i T. Appl. superconduct. conf., San Francisco, August 21-25, 1988.

Киевский государственный университет им. Т.Г. Шевченко

Поступило в Редакцию
3 мая 1989 г.
В окончательной редакции
19 декабря 1989 г.

Письма в ЖТФ, том 16, вып. 4

26 февраля 1990 г.

05.4; 12

© 1990

О ВОЗМОЖНОСТИ СОЗДАНИЯ КРИОТРОНА НА ОСНОВЕ СИЛЬНО АНИЗОТРОПНОГО ВЫСОКОТЕМПЕРАТУРНОГО СВЕРХПРОВОДНИКА

А.Ю. В о л к о в

Давно известна принципиальная возможность использования сверхпроводимости для создания выключающих элементов – криотронов [1]. Разработано и используется в различных областях науки и техники множество их конструкций на основе гелиевых сверхпроводников. Однако все эти криотроны, как пленочные слаботочные, так и мощные энергетического назначения, имеют одну не очень приятную с технологической точки зрения особенность – необходимость использования пары сверхпроводников с различными критическими значениями плотности тока и напряженности магнитного поля при данной температуре, и, как следствие этого, с разными температурами перехода в сверхпроводящее состояние (например, пара „таптал (4.4 К) – ниобий (9.3 К)“).

Именно соблюдение этих условий обеспечивает нормальную работу криотрона, заключающуюся в том, что переход одного сверхпроводника с более низкими критическими параметрами (клапана) в нормальное состояние происходит под действием критического для него магнитного поля, создаваемого током, протекающим по второму (управляющему) сверхпроводнику, имеющему более высокие (при той же температуре) критические параметры, так что управляющий элемент всегда остается в сверхпроводящем состоянии.

Таким образом, известная сложность заключается в необходимости подбора пары взаимодействующих сверхпроводников и оптимального их пространственного расположения для обеспечения связи по электромагнитному полю. Этот недостаток, как представляется, может быть устранен, если принять во внимание интересные свойства открытых недавно высокотемпературных сверхпроводников (ВТСП), а именно – монокристаллов.

Многочисленные исследования монокристаллов ВТСП показали наличие у них сильной анизотропии проводимости, длины когерентности, глубины проникновения магнитного поля, а главное – критических значений плотности тока и напряженности магнитного поля вдоль и перпендикулярно плоскости (а, в). Результаты исследований разных групп [1–16] говорят о том, что значительная анизотропия указанных величин наблюдается на сверхпроводниках различных составов: $R - Ba - Cu - O$ (где $R = Y$ [2–8, 11, 12], Eu [9], Tm [10], Gd [11], Yb [12]), $La - Sr - Cu - O$ [13], $Bi - Sr - Ca - Cu - O$ [14] и составляет, по разным данным, для верхнего критического поля H_{c2} от 2 до 10, для критической плотности тока от 3.4 до 50, для длины когерентности 3.4–9.2, для проводимости $10^1 - 10^3$ при $T \geq T_c$, причем ρ_c / ρ_{ab} достигает наибольшей величины вблизи температуры сверхпроводящего перехода. Несколько авторами [15, 16] исследовалась так же анизотропия силы вихревого пиннинга вдоль и поперек плоскости слоев $Cu - O$. Кроме этого, монокристалл имеет анизотропию температуры перехода в сверхпроводящее состояние, причем наиболее высокая T_c относится к плоскости (а, в) [7, 8, 14]. Все это наводит на мысль о возможности реализации криотрона на основе только одного материала – монокристалла ВТСП, тем более что отработанная технология позволяет получать монокристаллы с различными абсолютными и относительными параметрами в зависимости от потребности.

Анализ этих данных показывает, что реализующиеся в монокристаллах ВТСП условия довольно точно отвечают вышеупомянутым условиям работы криотрона, если рабочий ток пропускать в направлении оси \vec{c} , а управляющий ток – в плоскости (а, в) монокристалла, которая, как отмечалось, оказывается более „стойкой“ к магнитным полям и токам в смысле сохранения сверхпроводимости, хотя в направлении оси \vec{c} кристалл уже может перейти в нормальное состояние.

Представляет интерес проверка возможности работы такого криотрона, которая, как предполагается, выразится в заметном уменьшении рабочего тока при превышении управляющим током определенного значения. Криотрон должен работать при температуре ниже обеих точек перехода в сверхпроводящее состояние. В „открытом“ состоянии ($\rho_L = 0$) через монокристалл в направлении, перпендикулярном плоскости (а, в), течет рабочий ток $J_{раб}$, не превышающий критический для этого направления J_c^{\perp} . Если в плоскости (а, в) будет пропущен управляющий ток $J_{упр} < J_c^{\parallel}$, такой, что созданное им магнитное поле превысит критическую для направления \vec{c} величину H_{c2}^{\perp} , монокристалл в этом направлении перейдет в нормальное состояние; появившееся $\rho_L \neq 0$ ограничит ток $J_{раб}$, тогда как $J_{упр}$ будет продолжать течь без потерь. Переход является полностью обратимым.

Говоря о возможности создания криотрона на основе новых высокотемпературных сверхпроводников, необходимо ответить на вопрос: являются ли вышеперечисленные составы подходящими для этой цели? Отметим, что общепринятым физическим параметром, определяющим возможность использования материала в сверхпроводящих преобразователях (следовательно, в криотронах), является ρJ_c^2 . Желательно иметь величину этого параметра возможно большей ($\geq 10^{15}$ Вт/м³) [17]. Из анализа многих последних работ, в частности [18, 19], следует, что параметры монокристаллов системы Y-Ba-Cu-O при 77 К очень близки к лучшим „классическим“ сверхпроводникам ($\rho J_c^2 \sim 10^{14}$ Вт/м³), а при 4.2 К даже превосходят последнее, уверенно обеспечивая 10^{15} Вт/м³.

Удачное сочетание в монокристаллах ВТСП таких разнообразных свойств дает основание рассмотреть возможность практического их использования в качестве криотронов.

С п и с о к л и т е р а т у р ы

- [1] B u c k D.A. // Proc. IRE. 1956. V. 44. P. 482.
- [2] H i d a k a Y., S u z u k i M., K a t s u i A. et al // Physica. 1987. V. 148. B + C, No 1-3. P. 329-331.
- [3] G u i l l o t M., P o t e l M., G o u g e o n P. et al // Phys. Lett. A. 1988. V. 127. No 6. 7. P. 363-365.
- [4] G r a b t r e e G.W., L i u J.Z., U m e z a w a A., K w o t et al. // Phys. Rev. B. 1987. V. 36. No 7. P. 4021-4024.
- [5] M o o d e r a J.S., M e s e r v e y R., T k a c z y k J.E. et al. // Phys. Rev. B. 1988. V. 36. No 1. P. 619-622.
- [6] G a l l a g h e r W.J., W o r t h i n g t o n T.K., D i n g e r T.R. et al. // Physica. 1987. V. 148 B + C. No 1-3. P. 228-232.

- [7] Макаренко И.Н., Никифоров Д.В., Быков А.Б. и др. // Письма в ЖЭТФ. 1988. Т. 47. В. 1. С. 52-56.
- [8] Буравов Л.И., Винников Л.Я., Емельченко Г.А. и др. // Письма в ЖЭТФ. 1988. Т. 47. В. 1. С. 50-52.
- [9] Tajima Y., Hikita M., Ishii T., et al. // Phys. Rev. B. 1988. V. 37. No 13. P. 7956-7959.
- [10] Hamman J., Ocio M., Vincent E. et al. // Phys. 1987. 148 B. P. 325-328.
- [11] Iye Y., Tamagai T., Takeya H., Takei H. // Phys. 1987. V. 148. B+C. No 1-3. P. 224-227.
- [12] Melmed A.J., Shull R.D., Chiang C.K., Fowler H.A. // Science. 1988. V. 239. P. 176-178.
- [13] Hidaka Y., Enomoto Y., Suzuki M. et al. // Jap. J. Appl. Phys. 1987. V. 26. No 4. P. L377-L379.
- [14] Арбузов В.Л., Бакунин О.М., Давлетшин А.Э. и др. // Письма в ЖЭТФ. 1988. Т. 48. В. 7. С. 399-400.
- [15] Vinnikov L.Ya., Gurevich, Yemelchenko G.A., Ossipyan Yu.A. // Solid State Commun. 1988. V. 67. No 4. P. 421-423.
- [16] Umezawa A., Grabtree G.R., Liu J.Z. // Physica. 1988. V. C53-155. Pt. 2. P. 1461-1462.
- [17] Ferrrier M. Proc. of the Third Intern. - "Cryog. Eng. Conf.", Berlin, 25-27 May, 1970.
- [18] Matsushita T., Iwakuma M., Sudo Y. et al. // Jap. J. Appl. Phys. 1987. V. 26. No 8. P. L1524-L1526.
- [19] Астапов А.А. и др. - Сообщения ОИЯИ, Дубна, № 14-88. 1988. 12 с.

Обнинский институт
атомной энергии

Поступило в Редакцию
31 марта 1989 г.
В окончательной редакции
17 декабря 1989 г.