

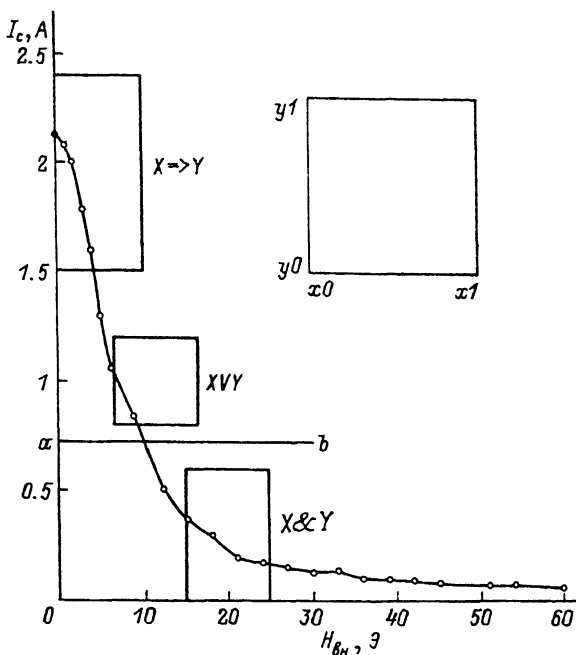
05.4  
©1994

## ПРИНЦИПЫ СОЗДАНИЯ ПЕРЕКЛЮЧАТЕЛЬНЫХ И ЛОГИЧЕСКИХ ЭЛЕМЕНТОВ НА ОСНОВЕ ВЫСОКОТЕМПЕРАТУРНЫХ СВЕРХПРОВОДНИКОВ

*В.А.Финкель, М.А.Ястребенецкий*

Идея создания устройств логики и памяти на основе высокотемпературных сверхпроводников (ВТСП), способных функционировать в азотном диапазоне температур, возникла сразу же после открытия явления высокотемпературной сверхпроводности в 1986 г. Преобладающее большинство исследований посвящено разработке сверхпроводниковых электронных ВТСП приборов на основе квантовых когерентных эффектов (см., например, [1,2]). Высокий уровень шумов в джозефсоновских контактах на основе керамических ВТСП материалов вызывает необходимость применения в этих приборах высококачественных пленок. Созданию же более простых переключательных и логических сверхпроводниковых устройств — криотронов, т.е. проводов или пленок, переключаемых из сверхпроводящего ( $S$ ) в нормальное ( $N$ ) состояние при помощи магнитного поля [3] — уделяют сравнительно мало внимания. Ранее обсуждалась возможность создания криотрона на основе сильно анизотропных монокристаллов ВТСП [4], в котором управляющий ( $I_{упр}$ ) и рабочий ( $I_{раб}$ ) токи протекают вдоль различных кристаллографических направлений, что в силу анизотропии верхних критических полей  $H_{c2}$  позволяет путем изменения величины  $I_{упр}$ , а следовательно, и создаваемого этим током магнитного поля  $H_{упр}$ , переводить кристалл из  $S$ - в  $N$ -состояние в направлении распространения  $I_{раб}$ .

Цель настоящей работы — показать, что на базе поликристаллических ВТСП материалов могут быть созданы работоспособные переключательные и логические элементы (ВТСП криотроны), обладающие более широкими функциональными возможностями, чем их низкотемпературные аналоги. При этом конструкция “классического” низкотемпературного проволочного криотрона [3] принципиальных изменений не претерпевает: рабочее тело (вентиль) представляет собой, как правило, керамическую прессовку или



Полевая зависимость критического тока ВТСП керамики  $YBa_2Cu_3O_{7-\delta}$  и генерирование одноаргументной логической функции — функтора отрицания (путь  $ab$ ) — и двухаргументных логических функций: конъюнкции ( $X \& Y$ ), дизъюнкции ( $XVY$ ) и математической импликации ( $X \Rightarrow Y$ ). В правом верхнем углу представлена схема задания логических переменных  $x_0, x_1, y_0, y_1$  для всех двухаргументных функций.

проволоку из ВТСП с критической температурой  $T_c$  выше температуры кипения жидкого азота (77.3 К); магнитное поле создается при помощи соленоида, который в силу достаточно высокой теплоемкости жидкого азота может быть выполнен из металлической проволоки с высокой электропроводностью. Работа ВТСП криотрона основывается на наличии сильной зависимости критического тока  $I_c$  керамических ВТСП от напряженности внешнего магнитного поля  $H_{вн}$ .

Для примера на рисунке представлена типичная зависимость  $I_c(H_{вн})$  для параллелепипеда из ВТСП керамики  $YBa_2Cu_3O_{7-\delta}$  с  $T_c \sim 92$  К размерами  $\sim 2 \times 2 \times 10$  мм (эту зависимость можно рассматривать в качестве фазовой диаграммы [5] ВТСП криотрона). Очевидно, что область устойчи-

вой (т. е. обратимой) работы ВТСП криотрона ограничивается условием  $H_{вн} < H_{c1}$ , где  $H_{c1}$  — первое критическое поле сверхпроводника второго рода, к каковым относятся все ВТСП, при котором начинается проникновение магнитного поля в сверхпроводник и захват магнитного потока. Строго говоря, должно выполняться более строгое условие  $(H_{вн} + Y_{сoб}) < H_{c1}$ , где  $H_{сoб}$  — поле, создаваемое сверхпроводящим током, но вблизи  $H_{c1}$  для керамических ВТСП это поле достаточно мало. По нашим данным, для данного образца ВТСП поле  $H_{c1} = 37 \pm 1$  Э.

Естественно, что при  $I_{раб} = \text{const}$  и при изменении  $H_{вн}$  от величины  $H_{вн} < H_{S-N}(I_{раб})$  до  $H_{вн} > H_{S-N}(I_{раб})$ , где  $H_{S-N}(I_{раб})$  — критическое значение магнитного поля, при котором сверхпроводник, несущий ток  $I_{раб}$ , переходит из  $S$ - в  $N$ -состояние (путь  $ab$  на рисунке) работа ВТСП криотрона ничем не отличается от работы его низкотемпературного аналога: ventиль переключается из сверхпроводящего в нормальное состояние при  $H_{вн} > H_{S-N}(I_{раб})$ . На языке математической логики это означает, что при помощи ВТСП криотрона можно генерировать одноаргументную логическую функцию — функтор отрицания [6].

В отличие от проволочного (или ленточного) [3] и джозефсоновского [7] криотронов, для которых  $I_{раб}$  — величина весьма малая и постоянная, рабочие токи ВТСП криотрона отнюдь не малы (см. рисунок). Это открывает принципиально новую возможность — перейти от одноканального управления состоянием криотрона (по магнитному полю) к двухканальному — по магнитному полю и по току. Наличие двух каналов управления открывает возможность генерировать при помощи ВТСП криотрона двухаргументные логические функции. Если за первую логическую переменную ( $x$ ) принять  $H_{вн}$  (или  $I_{упр}$ , создающий поле  $H_{вн}$ ), а за вторую ( $y$ ) —  $I_{раб}$  и положить, что  $S$ -состоянию отвечает значение логической функции, равное нулю, а  $N$ -состоянию — единице, то при соответствующем выборе логических переменных, как это показано на рисунке, легко могут быть получены основные двухаргументные логические функции: конъюнкция или логическое умножение ( $X \& Y$ ), дизъюнкция или логическое сложение ( $X \vee Y$ ) и материальную импликацию ( $X \Rightarrow Y$ ). Способы генерирования этих функций схематически показаны на рисунке “на фоне” реальной фазовой характеристики.

Как переключательный элемент ВТСП криотрон имеет повышенную надежность по сравнению с низкотемпературным аналогом, поскольку управление им может осуществляться по двухканальной схеме — по полю и по току.

Немаловажным обстоятельством в пользу реализации ВТСП криотронов является то, что требования к применяемым материалам в данном случае невысоки — низкие критические токи и достаточно резкая вольтамперная характеристика, что вполне достижимо при современном уровне технологии высокотемпературных сверхпроводников.

### Список литературы

- [1] *Gallagher W.J.* // *Solid State Technol.* 1989. V. 32. N 11. P. 151.
- [2] *Куприянов М.Ю., Литарев К.К.* // *УФН.* 1990. Т. 160. В. 1. С. 49.
- [3] *Visk D.A.* // *Proc. IRE.* 1956. V. 44. P. 482.
- [4] *Волков А.Ю.* // *Письма в ЖТФ.* 1990. Т. 16. В. 4. С. 11.
- [5] *Формозов Б.Н.* Экспериментальная техника в физике сверхпроводников. Киев, 1987. С. 174.
- [6] *Карри Х.* Основания математической логики. М., 1969. С. 65.
- [7] *Алфеев В.Н., Баттин П.А., Васенков А.А. и др.* Интегральные схемы и микроэлектронные устройства на сверхпроводниках. М., 1985. С. 36.

Национальный научный центр  
"Харьковский  
физико-технический институт"  
Институт безопасности и надежности  
технологических систем  
Харьков

Поступило в Редакцию  
14 марта 1994 г.