

Улучшение критических параметров пленок после пассивирования, видимо, связано с тем, что в процессе напыления пленки ВТСП имели некоторый дефицит по кислороду, а пассивирование частично ликвидировало этот дефицит.

Этот вывод подтверждается экспериментами, в которых в качестве исходных использовались пленки с относительно низкими критическими температурами (70–80 К). В таких пленках после пассивирования было получено наибольшее возрастание T_K (~ 10 К).

Помимо этого, часть атомов серебра может внедряться в поверхностный слой кристаллитов, изменяя при этом валентное состояние атомов меди, что приводит, в свою очередь, к улучшению проводимости пленки.

Постепенное увеличение утойчивости пассивированной пленки по отношению к магнитному полю при ее нахождении в вакууме может свидетельствовать о диффузном характере происходящих в ней изменений структуры, которые, по всей видимости, связаны с перераспределением атомов кислорода на границах и в объеме кристаллитов. Такое перераспределение стимулируется атомами серебра.

С п и с о к л и т е р а т у р ы

- [1] Miller J.H., Holder S.H. et al. // Appl. Phys. Lett. 1989. V. 54. P. 2256–2258.
- [2] Imamura N., Saito F. et al. // Jap. J. Appl. Phys. 1989. V. 28. N 4. P. 4580–4582.
- [3] Зайцев-Зотов С.В., Мартынюк А.Н., Протасов Е.А. // ФТТ. 1983. Т. 25. В. 1. С. 148–154.

Московский институт
радиотехники, электроники
и автоматики

Поступило в редакцию
2 марта 1990 г.

Письма в ЖТФ, том 16, вып. 17

12 августа 1990 г.

09

© 1990

ГИСТЕРЕЗИСНЫЙ РЕЖИМ КЕРАМИЧЕСКОГО ВЧ СКВИДА
В УСЛОВИЯХ БОЛЬШИХ ТЕРМОДИНАМИЧЕСКИХ
ФЛУКТУАЦИЙ ($T = 77$ К)

В.М. Закосяренко, Е.В. Ильичев,
В.А. Тулин

Обычно учет влияния собственного теплового шума джозефсоновского контакта основывается на его резистивной модели [1]. В рамках этой модели источником шума является нормальное сопротивление R_N джозефсоновского контакта.

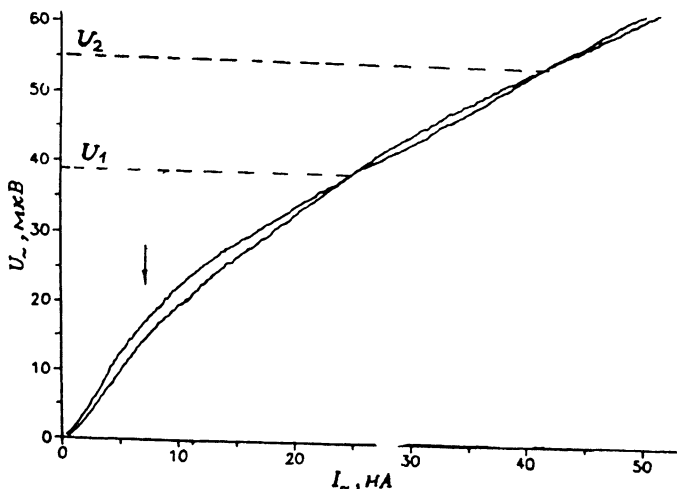


Рис. 1. Зависимость напряжения на контуре от тока накачки (ВЧ ВАХ) при целом и полуцелом числе квантов магнитного потока в сквиде. Стрелкой указан уровень накачки, при котором измерялась АЧХ.

Джозефсоновский контакт, замкнутый сверхпроводящим кольцом, называется квантовым интерферометром. Основным параметром, определяющим режим работы интерферометра как магнитометра, является его безразмерная индуктивность $l = 2\pi L_S I_C / \Phi_0$. Здесь L_S — индуктивность кольца датчика, I_C — критический ток слабой связи, а Φ_0 — квант магнитного потока. В случае $l > 1$ (так называемый гистерезисный режим) зависимость потока в сквиде Φ_i от внешнего потока Φ_e является неоднозначной, и отклик на изменение постоянного потока Φ возникает из-за изменения частоты переходов между стационарными состояниями интерферометра [2].

В гистерезисном режиме, как показано в расчетах [2], тепловые шумы приводят к спонтанному переходу между состояниями и в результате, при нарушении условия

$$\gamma l < 1, \quad (1)$$

происходит „размытие“ стационарных состояний интерферометра. Здесь $\gamma = 2\pi kT / I_C \Phi_0$. Условие (1) определяет так называемую шумовую индуктивность $L_{ш} = (\Phi_0 / 2\pi)^2 / kT$, причем $L_S < L_{ш}$ эквивалентно (1). $L_{ш} \approx 10^{-10}$ Гн при $T = 77$ К.

Для квантовых интерферометров циммермановской конструкции, как правило, $L_S = (2-5) \cdot 10^{-10}$ Гн $\geq L_{ш}$, что обусловлено размерами отверстия в кольце (обычно ~ 1 мм). Реализация меньших L_S возможна за счет уменьшения размеров контура квантования, что вызывает проблему оптимальной связи между датчиком и электроникой сквида. Решение в этом направлении может быть найдено, по-видимому, лишь в пленочных вариантах датчика прибора.

$$\text{Однако, несмотря на то, что } L_{ш} > L_S, \quad (2)$$

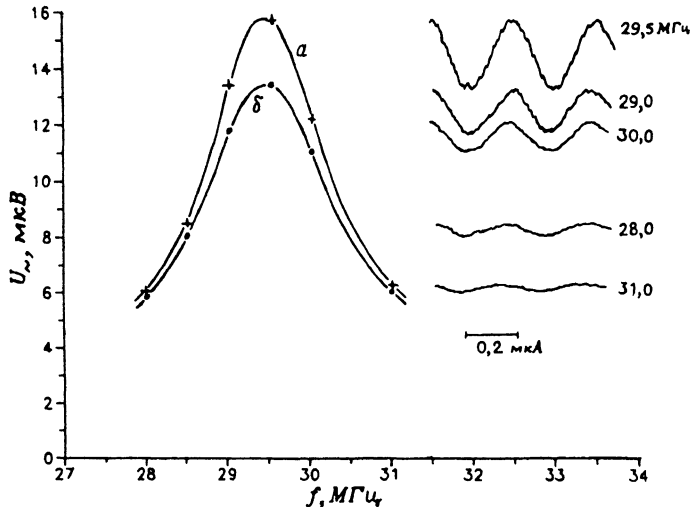


Рис. 2. Амплитудно-частотные характеристики скивда, соответствующие целому (а) и полуцелому (б) числу Φ_0 . Справа некоторые из сигнальных характеристик, записанные на различных частотах накачки (масштаб по горизонтальной оси указан отрезком), по которым восстановлена АЧХ.

были реализованы азотные ВЧ скивды с чувствительностью, близкой к гелиевым [3]. Поэтому, с нашей точки зрения, актуальной задачей является экспериментальное исследование особенностей работы таких приборов в условии (2).

Исследуемые датчики представляют собой полые цилиндры с диаметром отверстия ~ 1 мм, толщиной стенки ~ 1 мм и высотой ~ 5 мм, вырезанные из таблетки керамики состава $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_7$ с $T_c \approx 90$ К. По образующей цилиндра делается прорезь, в которой оставлена перемычка с характерными размерами 30–100 мкм. В отверстии цилиндра размещается катушка связи, диаметром ~ 0.8 мм, намотанная в один слой медным проводом $\varnothing 0.07$ мм. Катушка связи является частью контура с резонансной частотой 25–30 МГц и добротностью $Q \approx 50$. Для изучения работы прибора записывается зависимость величины переменного напряжения на резонансном контуре U_{\sim} от тока накачки I_{\sim} (ВЧ ВАХ) и зависимости U_{\sim} от постоянного тока в катушке связи $I_{=}$ (сигнальная характеристика). Схема измерений изложена нами в [4]. Исследования проводились в жидком азоте в экранах из магнитомягких материалов.

На рис. 1 представлены ВЧ ВАХ образца, полученные на резонансной частоте ω_0 системы контур-скивд. Кривые отличаются значением постоянного магнитного потока в отверстии датчика на $\Phi_0/2$. Отсутствие на ВЧ ВАХ горизонтальных участков (плато), наблюдаемых при гистерезисном режиме работы скивда, а также

возможность записывать сигнальные характеристики при малых уровнях накачки I_{\sim} характерны для безгистерезисного режима ($l < 1$). Однако в случае $l < 1$ подобные кривые наблюдаются только при расстройках $\xi = \omega/\omega_0 - 1 \neq 0$ [5], где ω - частота накачки.

Для выяснения причин появления отклика прибора на изменение постоянного магнитного поля необходимо восстановить амплитудно-частотную характеристику сквида (АЧХ). В случае $l < 1$ из-за параметрической индуктивности джозефсоновского контакта резонансная частота ω_0 становится функцией постоянного магнитного потока через кольцо интерферометра. Если $l > 1$, то потери, вызванные переходами между состояниями интерферометра обуславливают изменение импеданса резонансного контура без изменения ω_0 . На рис. 2 представлены сигнальные характеристики, записанные при различных ξ . Уровень накачки I_{\sim} показан стрелкой на рис. 1. По сигнальным характеристикам восстановлены АЧХ для Φ , равного $n\Phi_0$ (рис. 2, а), и $(n+1/2)\Phi_0$ (рис. 2, б) в отверстии интерферометра. Из результатов, представленных на рис. 2 однозначно следует, что в данном случае реализован гистерезисный режим работы ВЧ сквида.

Из ВЧ ВАХ (рис. 1) можно оценить l . Выделенными точками на ВЧ ВАХ являются точки пересечения кривых, записанных при различном Φ в сквиде. Эти точки соответствуют такой накачке, когда частота скачков не зависит от Φ , т.е. скачки Φ_i происходят каждый период накачки. Естественно предположить, что положение этих точек не зависит также и от шумового потока в сквиде. Поэтому мы считаем, что величины U_{\sim} в этих точках соответствуют плато на ВЧ ВАХ в отсутствие шумов. Отсюда, в предположении синусоидальной токо-фазовой зависимости слабой связи, получаем уравнение для l :

$$\pi U_i / (U_2 - U_1) = \arcsin(1/l) + (l^2 - 1)^{1/2} + \pi/2, \quad (3)$$

из которого, считая $U_1 = 39$ мкВ и $U_2 = 55$ мкВ (см. рис. 1), имеем $l \approx 6$.

Таким образом, нарушение (1) приводит, как и предсказывает резистивная модель, к размытию стационарных состояний интерферометра, что выражается в отсутствии плато на ВЧ ВАХ. Однако прибор остается работоспособным, шумовой поток „усредняет“ положение скачка из одного состояния в другое, что делает ВЧ ВАХ сквида с $l > 1$ внешне похожей на ВЧ ВАХ безгистерезисного сквида.

В заключение отметим, что на данном образце реализована чувствительность $\delta\Phi/\sqrt{I_c} \approx 6 \cdot 10^{-4} \Phi_0/\sqrt{I_c}$ в жидком азоте.

С п и с о к л и т е р а т у р ы

- [1] Бароне А., Патерно Дж. Эффект Джозефсона. Физика и применения. М.: Мир, 1984. С. 639.

- [2] Лихарев К.К., Ульрих Б.Т. Системы с джозефсоновскими контактами. М.: МГУ, 1978. С. 446.
- [3] Шнырков В.И., Цой Г.М., Козырь А.Г., Глянцев В.Н. // ФНТ. 1988. Т. 14. С. 770-774.
- [4] Zakosarenko V.M., Il'yichov E.V., Tul'ina V.A. // IEEE. Trans. on MAG. 1989. V. 25. N 2. P. 946-949.
- [5] Zakosarenko V.M., Il'yichov E.V., Tul'ina V.A. // Письма в ЖТФ. 1989. Т. 15. С. 7-11.

Поступило в Редакцию
6 февраля 1990 г