

05.4;12

Влияние сверхпроводника на ферромагнитный резонанс

© О.А. Чивилева, А.Г. Гуревич, И.А. Линейчук,
С.Г. Шульман, С.О. Фрегатов

Физико-технический институт им. А.Ф. Иоффе РАН, С.-Петербург

Поступило в Редакцию 4 июля 2000 г.

Исследовано влияние сверхпроводника на однородный ферромагнитный резонанс. Обнаружен пик ширины резонансной кривой в диске железо-иттриевого граната, прилегающего к пленке $YBaCuO$. Максимум его, превышающий в 6 раз ширину кривой при азотной температуре, находился несколько выше температуры сверхпроводящего перехода.

В последние годы экспериментально и теоретически (см., например, [1–5]) исследовалось влияние высокотемпературного сверхпроводника (ВТСП) на распространение длинноволновых спиновых (магнитостатических) волн в ферритовой пленке. В частности, в [3] было обнаружено, что затухание поверхностной магнитостатической волны в ферритовой пленке, соприкасающейся с пленкой ВТСП, оказывается большим, чем в отсутствие ВТСП, при температуре $T > T_c$ (где T_c — температура сверхпроводящего перехода) и меньшим — при $T < T_c$. Это, в принципе, могло бы быть использовано для бесконтактного измерения T_c . Однако измерение затухания магнитостатических волн является неточным и, главное, отсутствует уверенность, что указанная особенность всегда имеет место. Эти соображения, а также возможность обнаружения новых эффектов, связанных с взаимодействием высокочастотных процессов в структурах, состоящих из феррита и сверхпроводника, стимулировали исследование влияния сверхпроводника на однородный ферромагнитный резонанс. Насколько нам известно, такие исследования ранее не проводились.

С целью создания оптимальных условий для взаимного влияния процессов в сверхпроводнике и феррите в качестве ферритового образца был использован тонкий диск, лежащий на поверхности сверхпроводника. Диски диаметром ~ 1 mm и толщиной $20 \mu\text{m}$ были изготовлены из пленки железо-иттриевого граната (ЖИГ) на подложке гадолиний-

галлиевого граната путем стравливания "лишней" пленки ЖИГ¹ Для достижения достаточно большого коэффициента заполнения и, следовательно, большой интенсивности ферромагнитного резонанса целесообразно было использовать микрополосковый резонатор, в пучность магнитного поля которого помещался диск. Резонатор представлял собой (рис. 1, *a*) два отрезка микрополоскового волновода общей длиной $\lambda/2$ (такие резонаторы использовались ранее (см., например, [6]) в качестве элементов микрополосковых фильтров). Нагруженная добротность резонатора составляла ~ 20 .

Пленка сверхпроводника $YBa_2Cu_3O_{7-\delta}$ толщиной $0.1 \mu m$ была изготовлена методом лазерного распыления на подложке $SrTiO_3$. Для предотвращения существенного уменьшения добротности резонатора, главным образом из-за влияния подложки, использовался небольшой ($\sim 1.5 \times 1.5 mm$) кусочек пленки на подложке, накладываемый на диск ЖИГ (рис. 1, *b*).

Измерительная ячейка помещалась в криостат, температура в котором регулировалась путем продувки паров азота. Высокочастотная мощность подводилась и снималась с измерительной ячейки при помощи тонких коаксиальных волноводов. Постоянное магнитное поле, нормальное к плоскости диска, изменялось в пределах $2.8-3.3 kOe$, так чтобы ферромагнитный резонанс имел место на одной и той же частоте $3.36 GHz$.

На экране панорамного измерителя P2-57 наблюдались кривые однородного ферромагнитного резонанса (рис. 1, *c*), наложенные на резонансные кривые микрополоскового резонатора (видны также слабые резонансы, вызванные неоднородными типами прецессии). Ширина кривых ферромагнитного резонанса Δf измерялась на уровне $N_{res}-3 dB$, где N_{res} — затухание в максимуме резонансной кривой (рис. 1, *c*). При этом измеренные значения Δf не были, конечно, равны $\gamma \Delta H$, где ΔH — параметр диссипации. Однако для цели данной работы это не является существенным.

Результаты измерения температурных зависимостей Δf в отсутствие и при наличии сверхпроводящей пленки приведены на рис. 2. Приведена также температурная зависимость сопротивления, которое измерялось между двумя контактами, нанесенными на ту же пленку, из которой был вырезан образец для измерений ферромагнитного резонанса, причем при наличии такого же магнитного поля, как и при измерении резонанса.

¹ Диск были любезно предоставлены нам Б.П. Трубицыным.

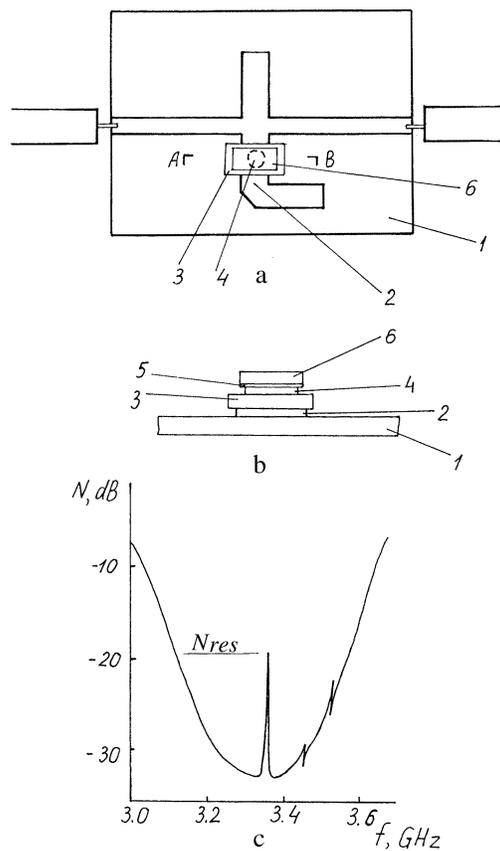


Рис. 1. Измерительная ячейка (схематически): вид сверху (*a*), разрез по *AB* (*b*) и наблюдаемая на экране измерителя P2-57 зависимость проходящей мощности от частоты (*c*): 1 — ситалловая подложка, 2 — медный полосок, 3 — подложка гадолиний-галлиевого граната, 4 — диск ЖИГ, 5 — пленка ВТСП, 6 — подложка титаната стронция.

Как следует из рис. 2, в области температур вблизи сверхпроводящего перехода имеет место мощный пик потерь, вносимых сверхпроводящей пленкой. Максимум его находится на ~ 10 К выше температуры T_c (определенной, как обычно, на середине крутого участка спада со-

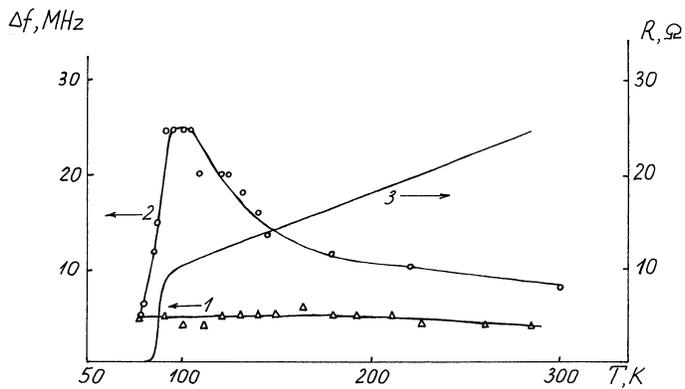


Рис. 2. Температурные зависимости ширины наблюдаемой кривой ферромагнитного резонанса в отсутствие (1) и при наличии (2) пленки ВТСП и температурная зависимость сопротивления этой пленки при наличии магнитного поля (3).

противления). Заметим, что для другого образца такой же пленки величина максимума была несколько (приблизительно на 10%) меньше представленной на рис. 2, а положение максимума по температуре было, практически, тем же.

Обнаруженный максимум ширины кривой ферромагнитного резонанса в ферритовом диске может быть вызван следующими причинами.

1. Потерями, вносимыми вихревыми токами в пленке ВТСП. В [7] было экспериментально показано, что вклад в затухание магнитостатической волны в ферритовой пленке, вызванный вихревыми токами в соприкасающейся с ней пленке нормального металла, проходят через максимум при некоторой величине поверхностного сопротивления металлической пленки. Если этот механизм в нашем случае является преобладающим, то близость положения максимума к температуре T_c является "случайной": она обусловлена просто тем, что вблизи T_c сопротивление ВТСП изменяется резко.

2. Неоднородностью постоянного либо высокочастотного магнитного поля в диске, вызванной неоднородностями в пленке ВТСП — неоднородностями ее структуры или вихрями.

Возможны, конечно, и иные механизмы, специфичные для пленки сверхпроводника. Тогда, как и в случае преобладающего влияния неоднородности поля, вызванной вихрями, появление максимума Δf вблизи T_c не является случайным.

Для выяснения роли первой причины (влияния сопротивления пленки ВТСП) были проведены измерения Δf при замене этой пленки металлическими пленками. Измерения производились при постоянной (комнатной) температуре, но для пленок различных металлов и различной толщины, так что их поверхностные сопротивления ρ_s варьировались в пределах изменения поверхностного сопротивления пленки ВТСП. Эти измерения дали несколько неожиданный результат: точки для разных металлов и разных толщин легли на одну кривую $\Delta f(\rho_s)$, кривая эта имела максимум при значении ρ_s близком к величине сопротивления пленки ВТСП при той температуре, при которой имел место максимум Δf , однако величина максимума Δf для металлических пленок оказалась в несколько раз большей, чем для пленки ВТСП. Это обстоятельство можно, конечно, "объяснить" тем, что влияние пленки ВТСП существенно отличается от влияния металлической пленки. Но во всяком случае ответа на вопрос о роли данной причины в случае ВТСП пленки и вообще о механизме влияния этой пленки на ферромагнитный резонанс в соприкасающемся с ней образце феррита получено не было.

Для выяснения этого механизма и, в частности, для ответа на вопрос, чем определяется положение максимума ширины резонансной кривой, необходимо прежде всего провести измерения, аналогичные тем, о которых сообщается в данной статье, для пленок ВТСП, различающихся составом и толщиной.

Авторы выражают благодарность Б.П. Трубицыну за предоставление дисков ЖИГ, С.В. Яковлеву за изготовление микрополосковой структуры и В.А. Саниной и Е.И. Головенчицу за обсуждение результатов.

Работа выполнена при поддержке РФФИ (грант 00-15-96757).

Список литературы

- [1] Потков А.Ф. // ЖТФ. 1989. Т. 59. В. 9. С.112–117.
- [2] Анфиногенов В.Б., Гуляев Ю.В., Зильберман П.Е. и др. // Письма в ЖТФ. 1989. Т. 15. В. 14. С. 24–28.
- [3] Чивилева О.А., Гуревич А.Г., Анисимов А.Н., Карманенко С.Ф. // Письма в ЖТФ. 1990. Т. 16. В. 3. С. 16–20.

- [4] *Бабушкин В.С., Морозова Н.А.* // Письма в ЖТФ. 1991. Т. 17. В. 19. С. 1–3.
- [5] *Гуляев Ю.В., Огрин Ю.Ф., Ползикова Н.И., Раевский А.О.* // ФТТ. 1997. Т. 39. В. 9. С. 1628–1630.
- [6] *Мазепова О.И., Мещанов В.П., Прохорова Н.И.* и др. Справочник по элементам полосковой техники. М.: Связь, 1979. 336 с.
- [7] *Гусев Б.Н.* Автореф. на соис. . . . канд. дис. Л., 1987.