

05.4; 06; 09

НАБЛЮДЕНИЕ ЭЛЕКТРОННОГО ПОГЛОЩЕНИЯ МАГНИТОСТАТИЧЕСКИХ ВОЛН В СТРУКТУРЕ ФЕРРИТ-ВЫСОКОТЕМПЕРАТУРНЫЙ СВЕРХПРОВОДНИК

В.Б. А н ф и н о г е н о в, Ю.В. Г у л я е в,
П.Е. З и л ь б е р м а н, И.М. К о т е л я н с к и й,
Н.И. П о л з и к о в а, А.А. С у х а н о в

Со времени открытия высокотемпературных сверхпроводников (ВТСП) [1] широким фронтом ведутся исследования возможностей их практического применения, в частности применения в технике СВЧ [2]. С другой стороны, магнитостатические волны (МСВ) в ферритовых пленках используются в устройствах обработки СВЧ радиосигналов [3]. Поэтому представляется интересным выяснить, каковы условия распространения МСВ в слоистых структурах феррит-высокотемпературный сверхпроводник и как влияет на эти условия переход в сверхпроводящее состояние при понижении температуры. В настоящей работе сообщается об обнаружении и интерпретации своеобразного (сильно зависящего от температуры) эффекта электронного поглощения поверхностной МСВ в таких структурах.

Исследованные структуры составлялись из стандартной пленки железиттриевого граната (ЖИГ) (111) с размерами $9 \times 3 \times 0.03 \text{ мм}^3$ и прижимаемого к ней слоя ВТСП (вставка к рис. 1). В качестве слоя ВТСП брались либо керамические пластины с удельным сопротивлением $\rho = 70 \text{ мОм} \cdot \text{см}$ при $T = 300 \text{ К}$ и размерами $7 \times 3 \times 0.8 \text{ мм}^3$, либо пленки с $\rho = (2-3) \text{ мОм} \cdot \text{см}$ и размерами $7 \times 3 \times 0.001 \text{ мм}^3$ из $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-\delta}$. Пластины готовились из таблеток, полученных путем спекания коммерческого порошка при $T = 950 \text{ }^\circ\text{C}$ в течение 3-4 часов с последующим медленным охлаждением в печи. Пленки получались на монокристаллической подложке BaF_2 (111) методом магнетронного распыления [4]. Пластины и пленки ВТСП имели $T_c \approx 90 \text{ К}$. Для сравнения рассматривались структуры, составленные из той же пленки ЖИГ с прижатыми к ней слоями Cu или $n\text{-InSb}$ ($\rho \approx 70 \text{ мОм} \cdot \text{см}$ при $T = 300 \text{ К}$). Структуры помещались в магнитное поле $H_0 \approx 770 \text{ Э}$, параллельное преобразователям, и могли медленно охлаждаться жидким азотом до $T = 77 \text{ К}$. Температура оценивалась с помощью термодатчика, помещенного в непосредственной близости от структуры. МСВ возбуждались и принимались проволочными преобразователями $\phi \approx 70 \text{ мкм}$ с расстоянием между ними 8 мм (рис. 1). С помощью панорамного измерителя находились амплитудночастотные характеристики (АЧХ) структуры. Законы дисперсии МСВ измерялись по картине интерференции сигнала на выходе структуры с незадержанным сигналом СВЧ генератора.

Типичные результаты измерений показаны на рис. 1 и 2. Полосы пропускания на рис. 1 возникают на частотах возбуждения и рас-

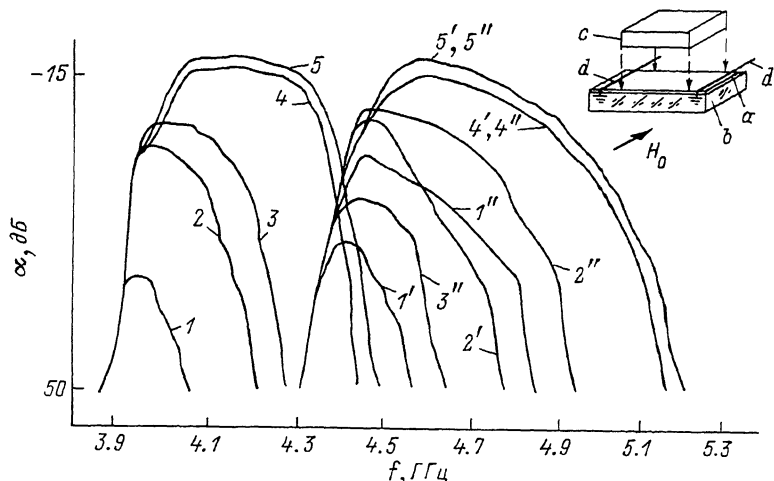


Рис. 1. АЧХ исследованных структур при различных температурах.

(1-5) - номера структур: 1 - ЖИГ-пленка ВТСП, 2 - ЖИГ-керамика ВТСП, 3 - ЖИГ- n - $InSb$, 4 - ЖИГ, 5 - ЖИГ- Cu , без штрихов - при 300 К, со штрихом - при 105 К, с двумя штрихами - при 77 К. На вставке: а - пленка ЖИГ, б - подложка, с - прижимаемый слой проводника, д - преобразователи МСВ.

пространения МСВ. Видно, что с понижением температуры эти полосы сдвигаются к высоким частотам, что связано с возрастанием намагниченности насыщения $4\pi M_0$ от 1750 Гс при $T=300$ К до 2400 Гс при $T=77$ К. Ширина полос пропускания Δf неодинакова для различных структур и меняется с T . Наиболее широкая полоса получается для структуры со слоем Cu , менее широкая - для свободной пленки ЖИГ. Для структур со слоями ВТСП и $n-InSb$ наблюдается сильное уменьшение Δf за счет ослабления пропускания высоких частот (коротких волн). При этом для структур 1, 2 полоса расширяется по мере уменьшения температуры ($d\Delta f/dT < 0$), а для структуры 3 - сужается ($d\Delta f/dT > 0$). Обращает на себя внимание, что для структур 1, 2 зависимость $\Delta f(T)$ становится особенно резкой в интервале (105-77) К, включающем область сверхпроводящего перехода. В этой области полоса увеличивается в среднем на ~ 10 МГц/К, а при более высоких температурах - на ~ 1 МГц/К. Из рис. 2 видно, что измеренные законы дисперсии для структур (1-3) располагаются между таковыми для структур 4 и 5. Сравнивая это с рис. 1, можно заключить, что покрытие пленки ЖИГ слоями проводников приводит не только к возрастанию групповой скорости, но и к дополнительному ослаблению МСВ, тем большему, чем короче длина волны.

Причина ослабления для структуры с $n-InSb$ хорошо известна - это электронное поглощение МСВ [5]. Можно предположить, что

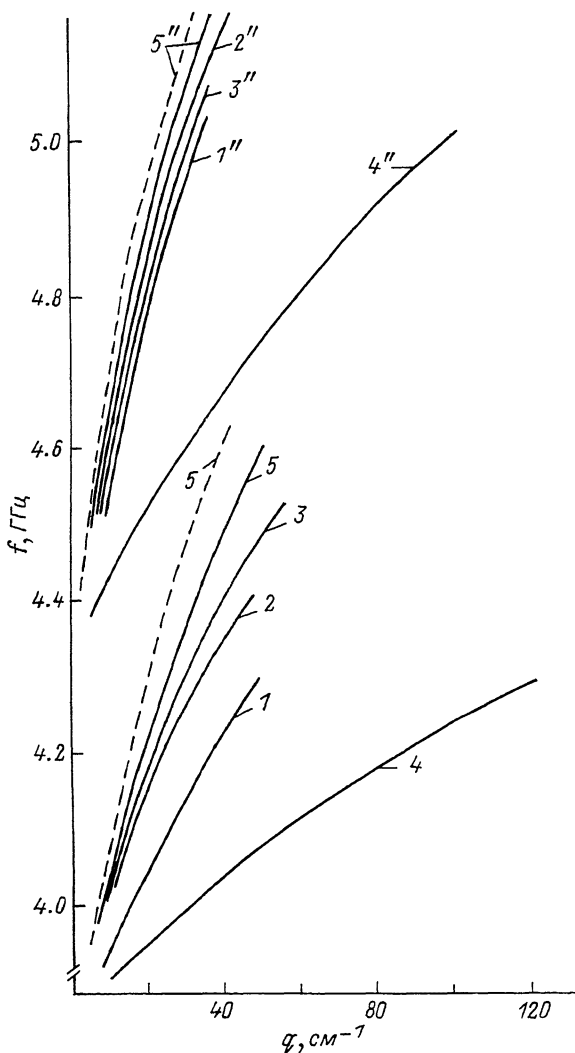


Рис. 2. Законы дисперсии МСВ (зависимости частоты f от волнового числа q) в исследованных структурах. Пунктирные линии - расчетные зависимости при $\rho = 0$, сплошные линии - эксперимент. Нумерация аналогична рис. 1.

электронное поглощение объясняет также и ослабление в структурах в ВТСП. Тогда отмечавшееся нами различие в знаках $\frac{d\delta f(T)}{dT}$ для структур 1, 2 и 3 можно связать с металлическим и полупроводниковым характером электропроводности соответствующих покрытий. Взаимодействие МСВ с электронами можно характеризовать комплексным параметром длины $\tilde{l} = (\tilde{l}' + i\tilde{l}'')$, причем при 300К

$l = l'' = l_{СК}$, где $l_{СК}$ — толщина скин-слоя. Исходя из известного ρ (300 К), получаем $l_{СК} = 210$ мкм. Таким образом, толщина керамических пластин $b \gg l_{СК}$, а ослабление на АЧХ начинается при $q l_{СК} \ll 1$. В этих условиях закон дисперсии 2 должен быть близок к 5, что и наблюдается. Из теории [5] отклонение можно оценить как $\delta f \sim f \cdot (q' l'')$. Сравнение этого отклонения с экспериментальным дает $l'' \approx 200$ мкм, что совпадает с оценкой по ρ (300 К). Электронный вклад в декремент из теории [5] получается равным $\delta q'' \sim q'^2 l''$. Если попытаться описать этим вкладом пологий участок спада на АЧХ справа от максимума на рис. 1, то снова получим оценку $l'' \approx 210$ мкм. Что касается крутого участка спада, то на нем, как можно убедиться, выполняется условие $q l_{СК} \sim 1$. При этом условии, как известно [5], достигается максимум декремента $\delta q'' \sim q'$; что объясняет большую крутизну спада. Для пленок оценка, исходящая из ρ (300 К), дает $l_{СК} \sim 50$ мкм, так что толщина $b \ll l_{СК}$. При этом параметр связи электронов с МСВ равен $\lambda = (b / q' l_{СК}^2)$. При $\lambda \ll 1$ закон дисперсии должен приближаться к 4, а при $\lambda \gg 1$ — к 5. В нашем случае $\lambda \sim 1$ и это объясняет положение закона дисперсии 1 примерно посередине между 4 и 5.

Перейдем к обсуждению экспериментальных результатов при пониженных T . При $T > T_C$ расширение полосы Δf по мере уменьшения T вызвано уменьшением $\rho(T)$ и $l_{СК}(T)$. Увеличение скорости расширения полосы, т.е. $|d\Delta f / dT|$, в диапазоне (105–77) К естественно объясняется наличием фазового перехода, в результате которого поле выталкивается из сверхпроводника. Если бы сверхпроводник был однородным, то $|Z| \sim \Lambda$, где $\Lambda \sim (0.5–0.1)$ мкм [6] — лондоновская длина. При столь малых $|Z|$ законы дисперсии и АЧХ структур 1, 2 практически должны совпадать с 5. В действительности на рис. 1 и 2 заметны отклонения. Для керамических пластин ($b \gg l'$ и $q' l' \ll 1$) сопоставление отклонений законов дисперсии 2 и 5 с теоретической оценкой $\delta f \sim f \cdot (q' l')$ дает $l' \approx 90$ мкм. Такое же точно l' нужно взять и для описания спада экспериментальных АЧХ с помощью формулы для электронного декремента $\delta q'' \sim q'^2 b'$. Для пленок ($b \ll l'$), как видно из рис. 2, закон дисперсии 1 приближается к 5. Это показывает, что параметр $\lambda \ll 1$. При таком λ справедливы формулы [5] $\delta f \sim f \cdot (q' l')^2 / b$ и $\delta q'' \sim (q' l'')^2 / b$. Снова сопоставляя эти формулы с экспериментальными законами дисперсии и АЧХ, получаем оценки $l' \sim l'' \sim 10$ мкм.

Таким образом, из оценок получается $l' \sim l'' \gg \Lambda$ как для пластин, так и для пленок ВТСП. Мы считаем, что это свидетельствует о неомогенной гранулярной структуре ВТСП и согласуется с представлениями об этой структуре, развитыми в [6]. Проникновение МСВ в такую среду происходит, главным образом, через нормальную фазу между сверхпроводящими зернами. Тот факт, что l' и l'' гораздо ближе к $l_{СК}$, чем к Λ , говорит о преобладании объема нормальной фазы над объемом сверхпроводящей фазы.

- [1] В е д н о р з J.G., М u l l e r К.А. // Z. Phys. B, Cond. Matter, 1986, V. 64, N 2, P. 189.
- [2] В е н д и к О.Г., Г а й д у к о в М.М., Г р а б о й И.Э. и др. // Письма в ЖТФ. 1988. Т. 14. № 21. С. 2001.
- [3] Г у л я е в Ю.В., З и л ь б е р м а н П.Е. Спинволновая электроника. М.: Знание, 1988. 64 с.
- [4] Г у л я е в Ю.В., К о т е л я н с к и й И.М., К р а в ч е н к о В.Б. и др. // Письма в ЖТФ. 1988. Т. 14. № 8, С. 761.
- [5] Б у г а ё в А.С., Г а л к и н О.Л., Г у л я е в Ю.В., З и л ь б е р м а н П.Е. // Письма в ЖТФ. 1982. Т. 8. № 8. С. 485.
- [6] Н у л т о н Т.Л., К а р и т у л н и к А. // Appl. Phys. Lett. 1988. V. 53. N 14. P. 1343.

Институт радиотехники
и электроники АН СССР

Поступило в Редакцию
13 апреля 1989 г.

Письма в ЖТФ, том 15, вып. 14

26 июля 1989 г.

07

СИНХРОНИЗАЦИЯ МОД ПАССИВНОГО КОЛЬЦЕВОГО ВОЛОКОННОГО ИНТЕРФЕРОМЕТРА

А.Г. Б у л у ш е в, Е.М. Д и а н о в,
А.В. К у з н е ц о в, О.Г. О х о т н и к о в

Одним из путей получения коротких световых импульсов является сжатие сигнала, предварительно спектрально уширенного с помощью фазовой модуляции, на линии задержки с высокой дисперсией групповой скорости. Другая возможность уменьшения длительности импульса состоит в спектральной аподизации частотных компонент, образующих крылья импульса [1].

В настоящей работе предложен и реализован способ получения оптических импульсов из непрерывного по интенсивности излучения, в котором предварительно частотной модуляцией формируются фазированные спектральные компоненты, а затем в кольцевом волоконном интерферометре (КВИ) осуществляется их спектральная фильтрация. Таким образом, происходит возбуждение синхронизированных мод КВИ, фазировка которых обеспечивает получение оптических импульсов.

Оптическая схема эксперимента показана на рис. 1.

Излучение инжекционного лазера с длиной волны ≈ 1.58 мкм и оптической обратной связью, обусловленной резонансным Релеевским рассеянием (R^3) из КВИ длиной 2 м [2], подавалось через