

$$\begin{aligned}
\Phi_1(x', y') &= C_0 + C_1 F_1(x', y') \otimes F_1(x', y') + C_2 F_2(x', y') \otimes F_2(x', y') + \\
&+ C_3 \gamma F_1(x', y') \otimes F_1(x', y') * F_2(x', y') \otimes F_2(x', y'), \\
\Phi_2(x', y') &= C_4 F_1(x', y') + C_5 \gamma F_1(x', y') * F_2(x', y') \otimes F_2(x', y'), \\
\Phi_3(x', y') &= C_4 F_2(x', y') + C_5 \gamma F_2(x', y') * F_1(x', y') \otimes F_1(x', y'), \\
\Phi_4(x', y') &= C_6 F_1(-x', -y') + C_7 \gamma F_1(-x', -y') * F_2(x', y') \otimes F_2(x', y'), \\
\Phi_5(x', y') &= C_6 F_2(-x', -y') + C_7 \gamma F_2(-x', -y') * F_1(x', y') \otimes F_1(x', y'). \quad (5)
\end{aligned}$$

Коэффициенты C_0 — C_8 включают в себя характеристики естественности среды фильтра, нормировочные множители интенсивности записывающих лучей, амплитуду считывающего луча и т. п. Заметим, что система координат на выходе x', y' инвертирована относительно системы координат на входе x, y .

В выражении (4) вид δ -функций указывает координаты, около которых концентрируются световые пятна, описываемые каждым слагаемым этого выражения. Наиболее интересным для нас являются последние два члена, представляющие собой кросс-корреляционные функции от $F_1(x, y)$ и $F_2(x, y)$. Для того чтобы наблюдать корреляционные пики при $F_1(x, y) = F_2(x, y)$, необходимо обеспечить условия по крайней мере типа $[(x_2 - x_1)^2 + (y_2 - y_1)^2]^{1/2} > d$, где d — максимальный размер изображения на входе, причем предполагается, что исходные изображения являются достаточно информативными (сложными), чтобы автокорреляционные функции имели вид узких пиков. Отсюда следует, что при типичных максимальных значениях пространственных частот входного изображения порядка 10—20 лин/мм, разрешающая способность среды фильтра должна составить по крайней мере десятки линий на миллиметр.

Выбор различных значений x_j, y_j (или, что то же самое, углов θ_j и η_j) позволяет обеспечить оптимальную схему с точки зрения согласования ее с полосой пропускания пространственных частот фильтра. Интересным является симметричный случай, когда $\theta_1 = -\theta_2$ и $\eta_1 = -\eta_2$. Экспериментальные характеристики (эффективность по считываемому свету) данного коррелятора могут быть вполне сравнимы с коррелятором Ван дер Люгта при значениях $\gamma \sim 0.1$ — 0.3 , ожидаемых для фоторефрактивных кристаллов в соответствии с работой [6].

Предлагаемая схема коррелятора объединяет в себе такие достоинства схемы с совместным фурье-преобразованием, как высокую стабильность (произведение фурье-образов хранится в фильтре), и такие преимущества схемы Ван дер Люгта, как минимально возможные требования к величине информационной емкости входного транспаранта. В качестве недостатков данного типа коррелятора следует указать на некоторое усложнение схемы и снижение в два раза темпа работы, так как для выполнения одного такта распознавания необходимо выполнить два такта записи фурье-голограмм.

Список литературы

- [1] Касасент Д. // Оптическая обработка информации. М.: Мир, 1980. С. 289—340.
- [2] Камшилин А. А., Петров М. П., Степанов С. И. // Письма в ЖТФ. 1979. Т. 5. Вып. 6. С. 374—377.
- [3] Камшилин А. А., Петров М. П., Степанов С. И. // Матер. XI Всесоюз. школы по голографии. Л.: Наука, 1979. С. 219—229.
- [4] Petrov M. P., Miridonov S. V., Stepanov S. I. // Opt. Commun. 1979. Vol. 31. P. 301—305.
- [5] Van der Lugt A. // IEEE Trans. Information Theory. 1964. Vol. IT-10. P. 139—145.
- [6] Шлягин М. Г., Хоменко А. В., Брыксин В. В. и др. // ЖТФ. 1985. Т. 55. Вып. 1. С. 119—126.

Физико-технический институт
им. А. Ф. Иоффе АН СССР
Ленинград

Поступило в Редакцию
2 марта 1989 г.

ИССЛЕДОВАНИЕ СОГЛАСОВАНИЯ ТОРЦЕВЫХ ДЖОЗЕФСОНОВСКИХ ПЕРЕХОДОВ С СВЧ ТРАКТОМ

В. А. Ильин, И. А. Семин, В. С. Эткин

Для оптимизации параметров приемного устройства на джозефсоновском переходе необходимо определить степень его согласования с сигнальным трактом. Из-за низких значений мощности насыщения джозефсоновских переходов ($\leq 10^{-9}$ Вт [1]) при этом не удастся использовать стандартные методы и схемы измерений [2]. В то же время для СВЧ детекторов изве-

стен простой метод определения коэффициента отражения Γ_g на малом уровне мощности измерительного сигнала, который был предложен в [3] и получил экспериментальное подтверждение в [4].

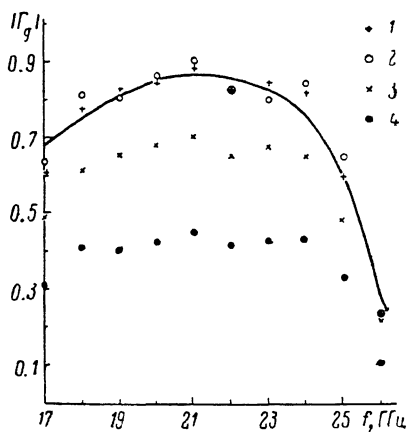
Целью настоящей работы является исследование возможности применения указанного метода для определения параметров согласования сверхпроводниковых детекторов, а также измерение с его помощью коэффициента отражения СВЧ детектора, содержащего торцевой джозефсоновский переход [5].

В основе метода [3] лежит интерференция сигнала, приходящего непосредственно в плоскость детектора, с его частью, попадающей в то же сечение, после одного или нескольких переотражений от плоскостей детектора и генератора СВЧ. Изменяя разность фаз интерферирующих сигналов, можно получить чередование минимальных P_{\min} и максимальных P_{\max} значений мощности, приходящей на детектор, и по величине $\alpha = P_{\max}/P_{\min}$ определить коэффициент отражения Γ_g от детектора.

Автор [3] при выводе основных соотношений не учитывал ослабления переотраженного сигнала из-за диссипативных потерь в СВЧ тракте. Это приводит к ошибкам при определении Γ_g даже в «теплых» СВЧ детекторах; ошибки значительно возрастают при исследовании криогенных детекторов, обладающих трактами значительной длины.

Рис. 1. Частотная зависимость коэффициента отражения кристаллического детектора.

Сплошная кривая — измерения по стандартной методике; 1, 2 — расчет по (1); 3, 4 — расчет по [3] при затухании в тракте 1 и 3 дБ соответственно.



Тем не менее оказалось, что теорию [3] можно сравнительно просто модернизировать, введя в нее g — коэффициент ослабления СВЧ тракта по мощности.

В этом случае основное соотношение [3] имеет вид

$$|\Gamma_g| = \frac{(\alpha - 1)g}{(\alpha + 1)|\Gamma_r|}, \quad (1)$$

где $\Gamma_r \approx 1$ — коэффициент отражения от генератора.

Учет диссипативных потерь дает возможность проводить исследования в СВЧ системах с немалым затуханием.

Для проверки применимости метода были проведены измерения $|\Gamma_g|$ кристаллического детектора в частотном диапазоне 17—26 ГГц. Исследования проводились по схеме [4] с использованием направленного ответвителя с переходным ослаблением 27 дБ, в одно из плеч которого включен подвижный короткозамыкающий поршень. Для моделирования различного затухания в СВЧ тракте в него поочередно вводились аттенюаторы с ослаблением $L=1$ и 3 дБ.

Полученные экспериментальные данные обрабатывались как с учетом потерь в СВЧ тракте (см. (1)), так и без него [3, 4]. Наряду с этим с помощью измерительной линии проведено определение коэффициента отражения по стандартной методике [2]. В дальнейшем эти данные использовались для определения применимости метода.

На рис. 1 представлены результаты проведенных измерений, причем сплошной кривой показана калибровочная зависимость $|\Gamma_g|$ от частоты, полученная стандартным методом [2]. Видно, что данные эксперимента, обработанные по (1), хорошо совпадают с калибровочной кривой вне зависимости от величины затухания в тракте. В то же время обработка тех же данных по формулам [3] приводит к ошибке, которая, как видно из рис. 1, растет с увеличением затухания.

Таким образом, модернизация метода [3], распространяющая его на СВЧ системы с потерями, позволяет обеспечить при измерениях точность, не уступающую точности стандартных методов.

Как указано выше, определение параметров согласования джозефсоновских элементов до сих пор не проводилось, хотя считается [6, 7], что в реальных устройствах хорошее согласование не обеспечивается. С помощью описанного метода такие измерения были выполнены для торцевого джозефсоновского перехода (ТДП) [5]. Исследовался переход с сопротивлением

350 Ом и критическим током $I_c = 8$ мА, включенный в схему широкополосного детектора диапазона волн 15 мм. Потери в СВЧ тракте детектора в среднем по диапазону составляли ~ 1.6 дБ. Результаты исследований показаны на рис. 2. Здесь кривая 1 — частотная зависимость коэффициента поглощения $(1 - |\Gamma_g|^2)$, кривая 2 — аналогичная зависимость вольт-ваттной чувствительности η детектора.

Видно, что в диапазоне частот 17—22 ГГц величина $(1 - |\Gamma_g|^2) \geq 0.7$, т. е. значительная часть падающей мощности поглощается в детекторной камере. Однако это не значит, что вся мощность поглощается непосредственно ТДП и дает вклад в отклик. Определенная ее часть излучается через щели между волноводом и подстроечным поршнем. Следует учитывать также потери в стенках детекторной секции. Измерения, проведенные с детекторной секцией без ТДП, показали, что величина коэффициента отражения от поршня $|\Gamma_{\text{п}}|$ меняется в за-

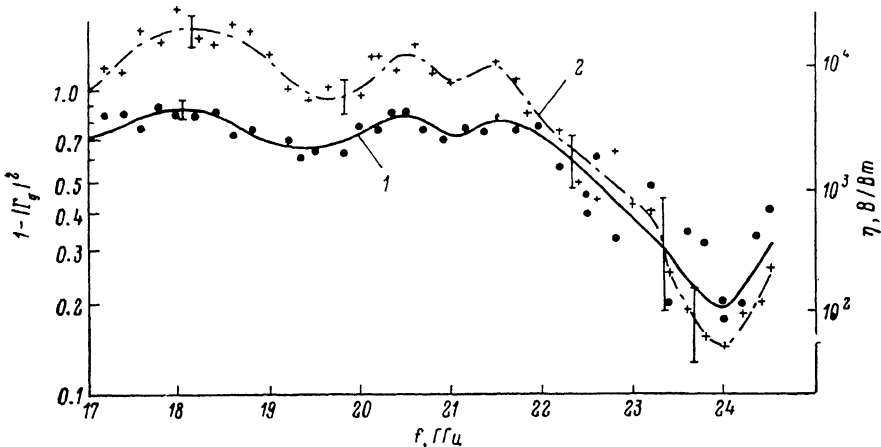


Рис. 2. Частотные зависимости коэффициента поглощения (1) и вольт-ваттной чувствительности (2) джозефсоновского детектора.

висимости от частоты в пределах 0.7—0.8. Тогда среднее значение коэффициента поглощения ТДП $K_{\text{ТДП}}$ составляет 0.36, что примерно вдвое меньше, чем полученное ранее без учета потерь в секции.

Исходя из полученного значения коэффициента поглощения проведем оценку величины вольт-ваттной чувствительности. Согласно [1], с учетом коэффициента поглощения имеем

$$\eta = \frac{1}{I_c} K_{\text{ТДП}} \approx 4.5 \cdot 10^4 \text{ В/Вт}, \quad (2)$$

что хорошо согласуется с экспериментом (кривая 2 на рис. 2).

Из рис. 2 видно также качественное сходство кривых 1 и 2. В частности, совпадают частоты их экстремумов, а также ход кривых при $f \geq 22$ ГГц. В то же время количественное изменение зависимости $\eta(f)$ существенно больше, чем рассчитанное по (2) с использованием кривой 1 на рис. 2. Этот факт требует проведения дополнительных исследований. Корреляция между $(1 - |\Gamma_g|^2)$ и η нарушается на частотах, больших 22 ГГц, что объясняется ухудшением точности измерений коэффициента отражения в коротковолновой части исследуемого диапазона (рис. 2).

Таким образом, проведенные исследования показали перспективность использования предлагаемого метода для изучения согласования джозефсоновских переходов с СВЧ трактом. Первичные результаты, полученные с его помощью, свидетельствуют о том, что вопреки сложившемуся мнению [6, 7] торцевой джозефсоновский переход можно хорошо согласовать с СВЧ трактом.

Авторы признательны В. И. Махову, А. Л. Гудкову, В. Н. Лаптеву за предоставление торцевых переходов, Е. М. Гершензону за полезные замечания.

Список литературы

- [1] Лихарев К. К., Ульрих Б. Т. Системы с джозефсоновскими контактами. М., 1978. 446 с.
- [2] Юркис А. П., Штумпер П. // ТИИЭР. 1986. Т. 74. № 1. С. 45—51.
- [3] Либерман Л. С. // РнЭ 1957. Т. 2. № 7. С. 41—42.
- [4] Stainforth A., Craven J. H. // J. Brit. I. R. E. 1960. N 3. P. 243—245.

- [5] Гудков А. Л., Лихарев К. К., Махов В. И. // Письма в ЖТФ. 1985. Т. 11. Вып. 23. С. 1423—1426.
 [6] Завалев В. П., Лихарев К. К. // РИЭ. 1978. Т. 23. № 6. С. 1268—1278.
 [7] Лихарев К. К. Введение в динамику джозефсоновских переходов. М.: Наука, 1985. 320 с.

Московский государственный педагогический институт им. В. И. Ленина
 Физический факультет

Поступило в Редакцию
 20 июня 1988 г.
 В окончательной редакции
 2 декабря 1988 г.

ДИСПЕРСИЯ ПОВЕРХНОСТНЫХ МАГНИТОСТАТИЧЕСКИХ ВОЛН В ДВУХСЛОЙНЫХ ФЕРРИТОВЫХ ПЛЕНКАХ

В. И. Зубков, Э. Г. Локк, Б. П. Нам, А. С. Хе, В. И. Щеглов

В связи с возможностью создания систем аналоговой обработки информации на СВЧ, в которых носителем информации являются магнитостатические волны (МСВ), распространяющиеся в ферритовых пленках, актуально изучение дисперсии различных типов МСВ, которая в решающей степени определяет характеристики таких устройств, как фильтры и линии задержки (см., например, [1]). Настоящая работа посвящена экспериментальному исследованию дисперсии поверхностных МСВ (ПМСВ) в двухслойных ферритовых пленках. Такое исследование важно, так как на многослойных ферритовых пленках можно реализовать устройства обработки информации со значительно большими функциональными возможностями, чем аналогичные на однослойных пленках.

Спектр ПМСВ в двухслойных ферромагнитных пленках достаточно хорошо изучен теоретически (см., например, [2-4]), однако экспериментальному исследованию посвящена всего одна работа [5], в которой обнаружена лишь часть ветвей спектра ПМСВ, да и та интерпретирована некорректно.

Эксперимент проводился на двух двухслойных ферритовых пленках размером 20×20 мм, выращенных на подложках из галлий-гадолиниевого граната (ГГГ), плоскость которых совпадала с кристаллографической плоскостью $\{111\}$, а ребра — с кристаллографическими осями $(2\bar{1}1)$ и $(\bar{1}10)$. При создании первой пленки на подложке из ГГГ сначала выращивался слой железиттриевого граната (ЖИГ), легированный галлием, толщиной 14 мкм с намагниченностью насыщения $4\pi M_{-1} = 735$ Гс, а на нем слой чистого ЖИГ толщиной 15 мкм с намагниченностью насыщения $4\pi M_1 = 1790$ Гс. При создании второй пленки на подложке из ГГГ сначала выращивался слой чистого ЖИГ толщиной 6 мкм с намагниченностью насыщения $4\pi M_{-1} = 1830$ Гс, а на нем слой ЖИГ, легированного галлием, толщиной 16 мкм с намагниченностью насыщения $4\pi M_1 = 1555$ Гс. Согласно [4], на пленках с указанными выше параметрами можно изучить все возможные типы спектров ПМСВ. Над поверхностью верхнего слоя пленки в плоскости, параллельной ей, устанавливались параллельные друг другу и ребру пленки неподвижная входная и подвижная выходная антенны. Они представляли собой короткозамкнутые отрезки позолоченной вольфрамовой проволоки диаметром 10 мкм и длиной 4 мм. Выходная антенна передвигалась вдоль линии, соединяющей центры антенн и перпендикулярной к самим антеннам. Постоянное магнитное поле H_0 (далее поле H_0) ориентировалось параллельно антеннам. В эксперименте измерялись дисперсионные зависимости ПМСВ методом подвижной антенны (см., например, [6]) и зависимости потерь на распространение ПМСВ от частоты. На рис. 1, 2 приведены результаты этих измерений при поле $H_0 = 573$ Э.

На рис. 1 приведены экспериментальные точки (черные точки для первой пленки, для второй — светлые) и теоретические кривые, рассчитанные по формулам из работы [4] (для первой пленки — сплошные, для второй — штриховые), описывающие зависимости частоты ПМСВ f от ее волнового числа k .

Из рис. 1 видно, что впервые в обеих пленках обнаружены все четыре ветви ПМСВ, предсказанные в [4]. Хорошее наложение экспериментальных точек на теоретические кривые свидетельствует, на наш взгляд, о правильности теоретических положений, развитых