

ИССЛЕДОВАНИЕ КЛАССИЧЕСКОГО СМЕСИТЕЛЯ МИЛЛИМЕТРОВОГО ДИАПАЗОНА ВОЛН НА СВИНЦОВЫХ ПЕРЕХОДАХ СИС

А. В. Поладич, Л. П. Стрижко

Исследования последних лет (см. обзор [1]) показали, что в малощумящей приемной аппаратуре миллиметрового диапазона из двух типов нелинейности туннельных переходов сверхпроводник—изолятор—сверхпроводник (СИС) может быть использована лишь квазичастичная нелинейность, для которой в отличие от нелинейности, связанной с генерацией колебаний, шумы малы и ограничены квантовым пределом, ранее достижимым лишь в мазерах. Использование этой нелинейности возможно в двух режимах — классическом и квантовом. Квантовый режим исследован в ряде смесителей [1], в то же время для расширения области использования смесителей на переходах СИС важны исследования и классического режима.

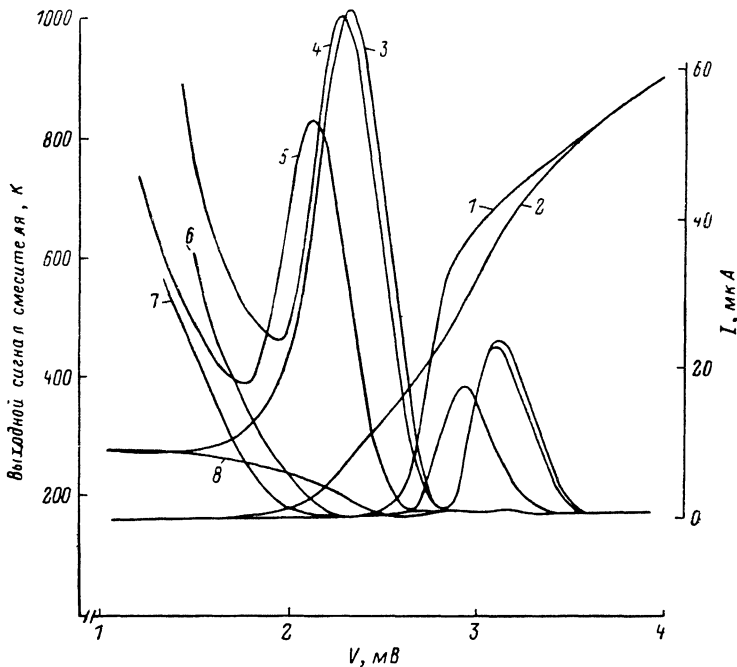


Рис. 1. ВАХ перехода СИС при 1.8 К, $S=6 \text{ мкм}^2$, $R_N=43 \text{ Ом}$.

1 — в отсутствие СВЧ излучения; 2 — при оптимальной мощности гетеродина; 3—8 — сигнал на выходе ПЧ: температура шумового сигнала на входе смесителя 2500 (3—5) и 75 К (6—8); 3, 8 — переход в магнитном поле; 5, 7 — при 4.2 К; 3, 4, 6, 8 — при 1.8 К.

Целью настоящей работы явилось исследование классического режима смешения, параметров практического смесителя на основе свинцовых переходов СИС и приемника в целом.

Необходимость создания практического устройства, в котором согласование с СВЧ и ПЧ трактами накладывает ограничения на нормальное сопротивление R_N и емкость перехода, определила выбор свинца как материала электродов перехода. На практике приемлемы величины $R_N=20 \dots 200 \text{ Ом}$ и $C=(4 \dots 10)/\omega R_N$. Меньшие емкости затрудняют получение оптимального трехчастотного режима преобразования, а большие могут быть скомпенсированы лишь в высокодобротных цепях, создающих большое рассогласование с СВЧ трактом. При той же площади окисные свинцовые переходы в отличие от окисных ниобиевых, большая емкость которых часто остается нескомпенсированной [2], имеют значительно меньшую емкость, приемлемую в миллиметровом диапазоне даже при площади 10 мкм^2 .

Переходы изготавливались напылением на слюду через маски, установленные на подложках и позволяющие получать площадь перехода до $1\text{--}2 \text{ мкм}^2$. Туннельный барьер создавался окислением на воздухе, произведение $R_N S$ составляло обычно $250\text{--}500 \text{ Ом}\cdot\text{мкм}^2$,

емкость определялась по известной величине $C_0 = 0.04 \text{ пФ} \cdot \text{мм}^{-2}$ [3], ωCR_N составляло 2—5. Смесительная камера представляла собой состыкованные волноводные секции сечением $7.2 \times 0.3 \text{ мм}$, соединенные экспоненциальными компенсированными переходами со входным трактом и секцией нормальной высоты с перемещающимся в ней бесконтактным поршнем. Измеренный в диапазоне 30—39 ГГц КСВН сборки (без образца и с нагрузкой вместо поршня) составлял 1.1—1.3, поршень имел КСВН > 37 . Переход СИС размещался между фланцами секций сечением $7.3 \times 0.3 \text{ мм}$, контактируя одним электродом на корпус. Вывод сигнала ПЧ и смещение по постоянному току осуществлялись по четвертьволновому ФНЧ, образованному вторым электродом и фланцами с фрезерованными канавками. Входной СВЧ тракт имел затухание 1.5 дБ, определявшееся в основном нейзильберовым волноводом, и содержал охлаждаемый поглотитель с затуханием 6 дБ на 35 ГГц (оценки потерь преобразования его затухание не включают). Сигнал гетеродина вводился через направленный ответвитель. Сигнал ПЧ по коаксиальной линии отводился наружу криостата к УПЧ с полосой 300—650 МГц. Температура шума тракта ПЧ вместе с УПЧ, усредненная по полосе усиления и приведенная к переходу СИС, измерялась методом двух температур (77 и 7.2 К) при подключенном переходе и составляла 125 К.

Смещение монохроматического (гетеродина) и шумового сигнала (газоразрядный генератор шума) исследовалось в диапазоне 28—45 ГГц, где реализовывался классический режим (рис. 1). Особенности квантового режима в ПЧ сигнале были слабо выражены и лишь в верхней части исследованного диапазона. Классический характер смещения объясняется малостью кванта излучения по сравнению с масштабом нелинейности ВАХ ($\hbar\omega/e < V_g$; рис. 1). Кроме того, проявлению квантовых особенностей препятствует необходимость работы с относительно высоким уровнем ПЧ сигнала, сравнимым с величиной $\hbar\omega/e$. На более высоких частотах 82 ГГц, где проводились отдельные эксперименты, режим уже близок к квантовому — сигнал ПЧ периодичен по смещению.

Благодаря относительной малости рабочих частот максимум сигнала ПЧ наблюдался при смещениях, превышающих напряжение срыва V_{min} в режим паразитных колебаний с джоульсоновской частотой, являющихся причиной избыточного шума. Это обычно позволяло работать без подавляющего такого шума внешнего магнитного поля.

Определение уровня шумового сигнала ПЧ производилось как по измеренной $T_{\text{ш}}$ тракта ПЧ, приведенной к выходу смесителя, так и по известной величине дробовых шумов перехода [4, 5]. Минимальные потери преобразования, определенные как отношение температуры шумового сигнала на СВЧ входе и ПЧ выходе смесителя, составили 4.8 дБ на 30 ГГц для перехода с $R_N = 62 \text{ Ом}$, $S = 6 \text{ мкм}^2$, при 1.8 К в режиме с двумя боковыми полосами. В этот результат входят и потери на рассогласование по СВЧ, связанное как с емкостью перехода СИС, так с индуктивностью его пленочных электродов, определивших совместно высокую добротность СВЧ цепи. Классический режим смещения и величина потерь преобразования позволяли надеяться на то, что уровень насыщения смесителя будет достаточно большим. Действительно, линейность смесителя сохранялась до уровня шумового сигнала на входе смесителя 2500 К; при максимальном использованном нами сигнале 8000 К отклонение от линейности не превышало 1 дБ.

Рабочий диапазон частот смесителя и приемника определялся в основном полосой работы ФНЧ (рис. 2). Изменяя размеры ФНЧ, мы могли сдвигать рабочий диапазон при сохранении его ширины в пределах 5—8 ГГц. При перестройке перемещением поршня в пределах этого диапазона результирующая реактивность перехода СИС компенсировалась реактивностью поршня, а квазиэлектрическая СВЧ проводимость перехода была меньше приведенной к ней проводимости источника СВЧ сигнала. Температура шума смесителя $T_M = (L-1)T_{\text{SIS}}$, приведенная к СВЧ входу, достигала 20 К, так как T_{SIS} , определяемая [6] дробовым шумом,

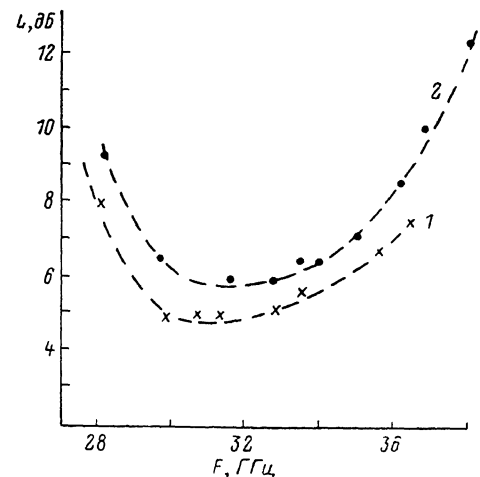


Рис. 2. Частотная зависимость потерь преобразования на переходе $S = 6 \text{ мкм}^2$, $R_N = 62 \text{ Ом}$ при температурах 1.8 (1) и 4.2 К (2).

составляла ≈ 10 К, но минимальная $T_{ш}$ приемника из-за относительно высокой $T_{ш}$ УПЧ входу смесителя составляла уже 400 К, а по фланцу снаружи криостата 570 К.

Таким образом, в 8-мм диапазоне на окисных свинцовых переходах СИС реализован классический режим смешения. Созданный практический смеситель имеет в классическом режиме достаточно высокие параметры, которые в приемнике с малощумящим УПЧ ($T_{ш} = 10 \div 15$ К) могут обеспечить низкую шумовую температуру устройства в целом. Исползованные в смесителе переходы СИС по своим параметрам могут быть применены и в коротковолновой части миллиметрового диапазона уже в квантовом режиме.

Авторы благодарны С. А. Песковацкому за поддержку работы, А. М. Королеву за предоставление УПЧ.

Литература

- [1] *Tucker J. R., Feldman M. J.* Rev. Mod. Phys., 1985, v. 57, N 4, p. 1055—1113.
- [2] *Губанков В. Н., Константиныч К. И., Кошелев В. П., Овсянников Г. А.* Письма в ЖТФ, 1982, т. 8, № 24, с. 1498—1501.
- [3] *Megerlein J. H.* IEEE Trans. Magn., 1981, т. 17, № 1, p. 286—289.
- [4] *Van der Ziel A.* IEEE J. Quant. Electr., 1983, v. 19, N 5, p. 799.
- [5] *Woody D. P., Miller R. E., Wengler M. J.* IEEE Trans. MTT, 1985, v. 33, N 2, p. 90—95.

Радиоастрономический институт
АН УССР
Харьков

Поступило в Редакцию
9 июня 1987 г.

УДК 538.221

Журнал технической физики, т. 58, в. 8, 1988

ДИНАМИКА ВЕРТИКАЛЬНОЙ БЛОХОВСКОЙ ЛИНИИ ВБЛИЗИ ИЗГИБНОЙ НЕУСТОЙЧИВОСТИ ДОМЕННОЙ ГРАНИЦЫ

А. Ф. Попков

Динамика блоховских линий играет ключевую роль в устройстве магнитной памяти параллельно-последовательного типа со сверхбольшой плотностью записи информации [1]. Теоретические вопросы динамики собственно вертикальных блоховских линий достаточно интенсивно обсуждались в последнее время в литературе (см., например, [2—4]), но без учета неколокальных полей размагничивания. Некоторые вопросы влияния дальнедействующих полей рассеяния, возникающих при изгибах доменной границы, на динамику стенки и блоховской линии рассмотрены в [5, 6].

В магнитоодноосной пленке с большой перпендикулярной анизотропией дальнедействующие магнитоэстатические поля, как известно [7, 8], приводят к изгибной неустойчивости плоской доменной границы при малой величине градиента магнитного поля H' , стабилизирующего ее положение. Очевидно, что тенденция к изгибной неустойчивости снижает «жесткость» стенки, благодаря чему возрастает масса движущейся в ней блоховской линии [5], что согласуется с общими представлениями о линейной динамике блоховских линий [9].

В настоящей работе обращается внимание на возрастание роли нелинейных эффектов в динамике блоховской линии при приближении к точке потери устойчивости стенкой плоского состояния.

Рассмотрим достаточно тонкую магнитную пленку с большой перпендикулярной анизотропией, когда эффектом «скрученности» доменной границы можно пренебречь, а динамика спинов в стенке описывается уравнениями Слончевского [10]. Исходные уравнения с учетом дальнедействующих полей рассеяния, связанных с неоднородным отклонением доменной границы от равновесия, можно представить в виде

$$-a\Psi_t + q_t = 0.5 \sin 2\Psi - \Psi_{xx} + h_x \sin \Psi, \quad (1)$$

$$aq_t + \Psi_t = q_{xx} - b^2q - \beta \int G(\eta) [q(x) - q(x + \eta)] d\eta, \quad (2)$$

где Ψ — угол выхода намагниченности из плоскости стенки; q — координата центра стенки, нормированная на ее толщину $\Delta = (A/K)^{1/2}$; A — постоянная обмена; K — энергия одноосной