

## АНОМАЛИИ НАПРЯЖЕНИЯ ПРОСКАЛЬЗЫВАНИЯ ФАЗЫ ВОЛНЫ ЗАРЯДОВОЙ ПЛОТНОСТИ В РОМБИЧЕСКОМ TaS<sub>3</sub> ПРИ АЗОТНОЙ ТЕМПЕРАТУРЕ

С. В. Зайцев-Зотов

Обнаружено, что в ромбическом TaS<sub>3</sub> при температуре ниже 100 К возникновение центров проскальзывания фазы у отрицательного контакта возмущает движение волны зарядовой плотности на расстояниях  $\gtrsim 0,5$  мм от контакта и приводит к аномально большому увеличению падения напряжения на образце.

В квазиодномерном проводнике электрический ток, переносимый волной зарядовой плотности (ВЗП), превращается вблизи контактов в ток квазичастиц. Процесс превращения токов происходит благодаря проскальзыванию фазы ВЗП<sup>1-3</sup> и поддерживается дополнительным напряжением  $U_{ps} \sim 1 \text{ мВ}$ <sup>4-7</sup> падающим в приконтактной области. Экспериментально показано, что в NbSe<sub>3</sub><sup>5</sup> и ромбическом TaS<sub>3</sub><sup>7</sup> по крайней мере при температуре  $T \gtrsim 0,5 T_p$  ( $T_p$  – температура пайерлсовского перехода)  $U_{ps}$  связано с током ВЗП  $I_c$  соотношением  $I_c \sim \exp(-F/T) \text{sh}(\eta U_{ps}/T)$ , где  $F = 10^3 - 10^4$  К, а  $\eta \sim 10^2 e$ ,  $e$  – заряд электрона, которое позволяет рассматривать проскальзывание фазы как процесс термической активации, аналогичный процессу образования центров проскальзывания фазы (ЦПФ) в сверхпроводниках вблизи критической температуры<sup>8</sup>. Определенное в работах<sup>5</sup> и<sup>7</sup> напряжение проскальзывания фазы представляло собой сумму дополнительных напряжений  $U_{ps}^+$  и  $U_{ps}^-$ , возникающих соответственно у положительного и отрицательного контактов.

В настоящей статье сообщается об обнаружении неэквивалентности  $U_{ps}^+$  и  $U_{ps}^-$  и их аномальной зависимости от тока, появляющейся в ромбическом  $TaS_3$  вблизи температуры перехода к соизмеримости.

Исследовалась нелинейная проводимость монокристаллических нитевидных образцов ромбического  $TaS_3$ . Результаты, представленные в работе, были получены на одном из четырех изучавшихся образцов, имевших аналогичные свойства. На вставке к рис. 1 показано расположение контактов у данного образца. Контакты 1 и 4 были получены холодной пайкой индием, контакты 2 и 3 – с помощью индиевых вискероов диаметром около 10 мкм. Напряжение проскальзывания фазы  $U_{ps}$  определялось как разность напряжений  $U_a$  и  $U_b$ , возникающих при заданном токе на участке 3 – 4 соответственно при наличии ЦПФ у контакта 3 (схема а на вставке к рис. 1,  $U_a(I) = U_{14}(I_{34})$ ), и при движении ВЗП без образования ЦПФ у контакта 3 (схема б,  $U_b(I) = U_{34}(I_{14})$ ). С целью уменьшения погрешностей, связанных с наличием метастабильных состояний, при каждом из фиксированных значений тока проводились последовательно измерения по схемам а и б, причем переключение тока производилось без его прерывания на участке 3 – 4. При измерениях использовались источники тока с выходным сопротивлением  $> 10^6$  Ом, которое много больше сопротивления исследованных образцов ( $\sim 0,1 - 1$  МОм).

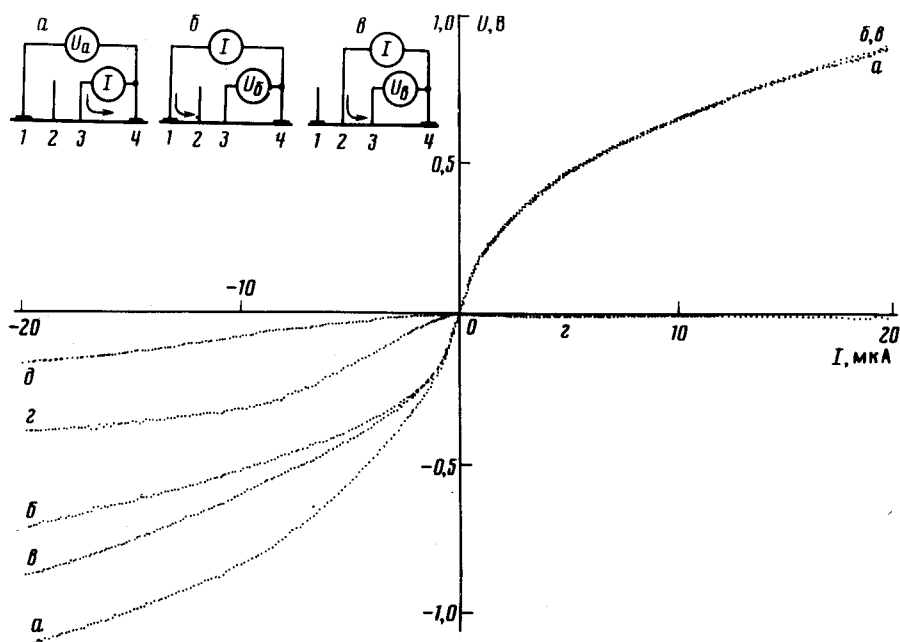


Рис. 1. Вольт-амперные характеристики участка 3 – 4, полученные при различных способах измерения. Кривые а, б и в получены с помощью соответственно схем а, б и в, изображенных на вставке. Кривые г и д – соответственно  $U_a(I) - U_b(I)$  и  $U_b(I) - U_a(I)$ ,  $T = 77$  К. Стрелками на схемах указано положительное направление тока ( $I > 0$ ). Расстояние между контактами  $L_{12} = 370$  мкм,  $L_{23} = 470$  мкм,  $L_{34} = 870$  мкм. Поперечные размеры образца  $2 \times 5$  мкм<sup>2</sup>

На рис. 1 представлены результаты измерений зависимостей  $U_a(I)$  (кривая а),  $U_b(I)$  (кривая б) и их разности  $U_{ps}(I) = U_a(I) - U_b(I)$  (кривая г). При  $|I| < I_n = 0,3$  мкА ( $I_n$  – ток возникновения нелинейности на вольт-амперных характеристиках)  $U_a$  и  $U_b$  совпадают с точностью до погрешности измерений 10 мкВ, а при  $|I| > I_n$  между  $U_a$  и  $U_b$  появляется различие. При  $I > 0$  возникновение ЦПФ у контакта 3 приводит к уменьшению падения напряжения на участке 3 – 4, а при  $I < 0$  – к его существенному увеличению (более чем в 1,5 раза при  $I = -20$  мкА). Так как в последнем случае  $|U_{ps}|$  оказывается много боль-

ше величины пайерловской щели  $2\Delta = 125$  мэВ<sup>9, 10</sup>, то возникает вопрос о пространственном распределении этого дополнительного напряжения. Измерения, проведенные по схемам б и в с использованием того же способа коммутации токовых контактов, что и при измерении  $U_{ps}$ , показали что приближение токового контакта к участку 3-4 с расстояния 0,8 мм (схема б) до 0,5 мм (схема в) при неизменном токе приводит к существенному изменению напряжения на участке 3-4 (рис. 1, кривые б и в). Зависимость  $\Delta U_{ps}(I) = U_g(I) - U_g(I)$  (кривая д), как и зависимость  $U_{ps}(I)$  (кривая з), носит пороговый характер и зависит от полярности тока. Из рис. 1 видно, что при  $I < 0$  значительная доля  $U_{ps}$  падает на расстоянии  $\geq 0,5$  мм от токового контакта, причем с ростом скорости ВЗП эта доля растет, а не уменьшается из-за уменьшения характерной длины диффузии возмущения, созданного ЦПФ<sup>1, 3</sup>.

Изучение спектров узкополосной генерации, возникающей на участке 3-4 (контакт 3 заземлялся, высокочастотное напряжение снималось с контакта 4) показало, что при одном и том же значении тока, независимо от его направления, частота генерации, а значит и скорость движения ВЗП в схеме б на 1-5% выше, чем в схеме в. Таким образом, увеличение напряжения на участке 3-4 может сопровождаться уменьшением скорости движения ВЗП.

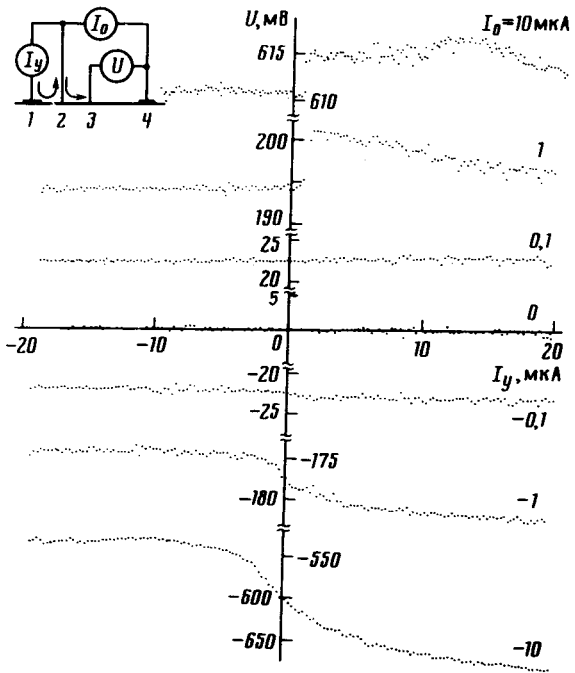


Рис. 2. Зависимость напряжения  $U_{34}$  от управляющего тока  $I_y = I_{12}$ ,  $T = 77$  К. Цифрами на кривых обозначено значение тока  $I_0 = I_{24}$ , при котором производились измерения. На вставке - схема измерений. Стрелками указано положительное направление токов

Описанные выше результаты свидетельствуют о том, что при движении ВЗП имеется взаимосвязь между электрическим полем в одной части образца и током, текущим в другой его части. Для выяснения характера этой взаимосвязи были проведены исследования зависимости падения напряжения на участке 3-4 от тока  $I_y$ , протекающего на участке 1-2 (см. вставку на рис. 2). Измерения были выполнены при нескольких значениях тока  $I_0$ , протекающего через участок 2-4. При токах  $I_0 > 0$  наблюдалось изменение напряжения  $U_{34}$  на несколько процентов, вызываемое током  $I_y$  (см. рис. 2). При  $I_0 < 0$  наблюдалась более сильная зависимость  $U_{34}$  от тока  $I_y$ , протекающего в удаленном на 0,5 мм участке 3-4: при  $I_0 = -10$  мкА изменение  $I_y$  от -10 мкА до 10 мкА приводило к возрастанию  $U_{34}$  на 20%. Наличие зависимости  $U_{34}$  от  $I_{12}$  является прямым экспериментальным доказательством существования нелокальной связи между распределением потенциала и тока в

различных частях образца. Ранее гипотеза о нелокальной связи неоднократно использовалась при интерпретации ряда экспериментов (см., например, <sup>4, 11</sup>).

Представляло также интерес изучение температурных зависимостей обнаруженных эффектов. С этой целью при нескольких фиксированных значениях тока были проведены измерения зависимостей  $U_{ps}$  и  $\Delta U_{ps}$  от температуры. Из результатов, представленных на рис. 3 видно, что при повышении температуры до 100 К значение  $U_{ps}$  (-10 мкА) (кривая  $\epsilon$ ) уменьшается почти на два порядка, причем появляется симметрия относительно смены знака тока  $U_{ps}(I) = -U_{ps}(-I)$  (кривые  $a$  и  $\epsilon$ ). С ростом температуры  $\Delta U_{ps}$  (-10 мкА) (кривая  $b$ ) приближается к нулю значительно быстрее и при  $T > 90$  К  $|\Delta U_{ps}| < 1$  мВ.

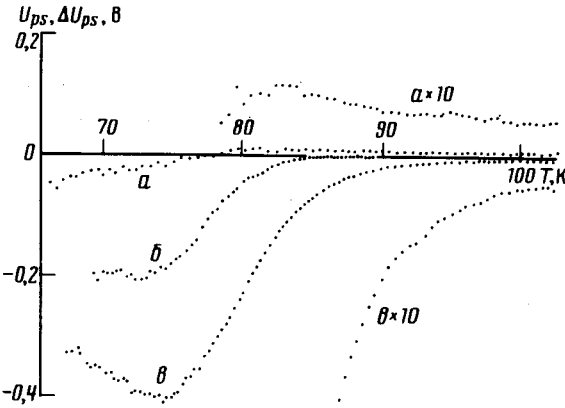


Рис. 3. Температурные зависимости  $U_{ps}$  при токах +10 мкА (кривая  $a$ ), -10 мкА (кривая  $\epsilon$ ). Кривая  $b$  — температурная зависимость  $\Delta U_{ps}$  (-10 мкА)

При  $I \gg I_T$  практически весь ток переносится ВЗП. Из представленных результатов следует, что на одном и том же участке образца движение ВЗП с некоторой скоростью может происходить при существенно различных падениях напряжения  $U$ , отличающихся в 1,2 – 1,5 раза, причем  $\Delta U \gg \Delta$ . Такое изменение падения напряжения может быть объяснено лишь изменением трения ВЗП также примерно в 1,2 – 1,5 раза. В ромбическом  $TaS_3$  при понижении температуры ВЗП приближается к соизмеримости, причем продольная компонента волнового вектора  $q$  уменьшается <sup>12</sup>. При  $I < 0$  около контакта  $3$  деформирующее действие электрического поля на ВЗП также должно приводить к уменьшению  $q$ , т.е. к приближению ВЗП к соизмеримости. При этом, в соответствии с <sup>13</sup> должно наблюдаться уменьшение проводимости квазичастиц  $\sigma_q$ . В принципе, наблюдаемое уменьшение проводимости ВЗП  $\sigma_c$  можно было бы связать с ее пропорциональностью проводимости квазичастиц <sup>14 - 16</sup>. Однако решение задачи о распределении потенциала  $U$  вдоль образца, найденное в предположении  $\sigma_c \sim \sigma_q$  и с использованием соотношений  $\sigma_q = \sigma_0 \text{ch}(\xi/T)$  <sup>3, 13</sup>,  $I_c = -\sigma_c (-\nabla(U - \xi))$ ,  $I_q = \sigma_q (-\nabla U)$  <sup>3</sup> и заданных на границах сдвигах химического потенциала  $\xi^+$  и  $\xi^-$  дает в пределе  $I \gg I_T$  практически симметричные (по току) зависимости  $U_{ps}(I)$  ( $U_{ps}(I) \approx U_{ps}(-I)$ ,  $U_{ps}(I) < 0$ ), которые не согласуются с результатами измерений (см. рис. 1). Фактически результаты измерений свидетельствуют о том, что вблизи отрицательного контакта при образовании ЦФ (и приближении ВЗП к соизмеримой) возникает чрезвычайно сильное торможение ВЗП, в то время как у положительного контакта — лишь слабое увеличение  $\sigma_c$ . В ромбическом  $TaS_3$  по мере уменьшения температуры и ее приближения к температуре перехода к соизмеримости ( $\sim 70$  К <sup>15</sup>) пороговое поле начала скольжения ВЗП  $E_T$  возрастает на несколько порядков <sup>15, 17</sup>, а проводимость ВЗП резко падает <sup>15</sup>. По-видимому, решающую роль в обнаруженном торможении ВЗП могут играть именно эти эффекты, связанные не с малым количественным изменением проводимости квазичастиц, а с качественным изменением динамики ВЗП при переходе к соизмеримости.

Автор выражает благодарность Я.С.Савицкой за предоставление образцов, Ю.И. Латышеву за предоставление вискеров индия, а также С.Н.Артеменко, А.Ф.Волкову, Ф.Я.Надю и В.Я.Покровскому за полезные обсуждения.

#### Литература

1. Горьков Л.П. Письма в ЖЭТФ, 1983, **38**, 76; ЖЭТФ, 1984, **86**, 1818.
2. Ong N.P., Verma G. Maki K. Phys. Rev. Lett., 1984, **52**, 663.
3. Артеменко С.Н., Волков А.Ф., Круглов А.Н. ЖЭТФ, 1986, **91**, 1536.
4. Gill J.C. Sol. State Comm., 1982, **44**, 1041.
5. Gill J.C. J. Phys. C: Solid State Phys., 1986, **19**, 6589; Physika, 1986, **14B**, 49.
6. Monceau P., Renard J., Saint-Lager M.C. Physica, 1986, **143B**, 64.
7. Бородин Д.В., Зайцев-Зотов С.В. Надь Ф.Я. ЖЭТФ 1987, **93**, 1394.
8. Ивалев Б.И., Копнин Н.Б. УФН, 1984, **142**, 435.
9. Иткус М.Е., Надь Ф.Я. Письма в ЖЭТФ, 1984, **39**, 373.
10. Herr S.L., Minton G., Brill J.W. Phys. Rev., 1986, **B33**, 8851.
11. Janossy A., Mihaly G., Pekker S., Roth S. Solid State Comm., 1987, **61**, 33.
12. Wang Z.Z., Salva H., Monceau P., Renard M., Roucau C., Auroles R. Levy F., Guemas L., Meerschant A. J. de Phys., 1983, **44**, L 311.
13. Бородин Д.В., Зайцев-Зотов С.В., Надь Ф.Я. Письма в ЖЭТФ, 1986, **43**, 485.
14. Sneddon L. Phys. Rev., 1984, **29**, 719.
15. Fleming R.M., Cava R.J., Rietman E.A., Dunn R.G. Phys. Rev., 1986, **B33**, 5450.
16. Ong N.P., Zhang X.J. Physica, 1984, **143B**, 3.
17. Жилинский С.К., Иткус М.Е., Надь Ф.Я., Кальнюва И.Я., Преображенский В.Б. ЖЭТФ, 1983, **85**, 382.

Институт радиотехники и электроники  
Академии наук СССР

Поступила в редакцию  
14 июля 1987 г.