

БАЛЛИСТИЧЕСКАЯ ТЕМПЕРАТУРНАЯ МИКРОКОНТАКТНАЯ СПЕКТРОСКОПИЯ В МЕДИ ПРИ 0,7 К

М. Реифферс, К. Флахбарт, Ш. Янош

Обнаружена асимметрия в нагреве металлических массивных берегов микроконтакта, происходящая от релаксации баллистических электронов. На зависимости температуры берегов от напряжения проявляются нелинейные особенности, которые связаны с N - и U -процессами рассеяния баллистических электронов.

Известно, что микроконтактная (МК) спектроскопия используется для прямого изучения энергетической зависимости электрон-квазичастичного взаимодействия в металлических контактах малых размеров d ¹. При условии малости d в сравнении со средней длиной свободного пробега электронов (упругой и неупругой) электроны проходят баллистически через область микроконтакта, получив определенную энергию от напряжения, прикладываемого к микроконтакту. После пролета электроны теряют свою избыточную энергию путем рассеяния и генерации неравновесных квазичастиц (например, фононов) в приконтактной области. Эти процессы можно изучать с помощью измерения второй производной вольт-амперной характеристики (ВАХ) – МК спектра. В работе² предсказано, что при изучении эффекта Пельтье в микроконтакте на зависимости второй производной потока тепла по напряжению должны проявляться особенности плотности фононных состояний.

В предлагаемой работе исследуется проявление этого эффекта на температуре берегов. Микроконтакты из поликристаллической меди полученные по сдвиговой мето-

дике ¹, были охлаждены до температуры 0,7 К в предположении, что тепловыделением на контакте можно пренебречь. Схема эксперимента показана на рис. 1. Совместно исследовались вторые производные ВАХ и температуры обоих массивных электродов в зависимости от напряжения. Время развертки напряжения от нуля до ω_D — дебаевской энергии и фононов, было подобрано так, чтобы термометр успевал точно проследить за температурой контакта. Разрешающая способность при измерении МК спектра была $\delta \sim 0,4$ мэВ. Погрешность определения градиента температуры микроконтакта составляла 0,1 мК.

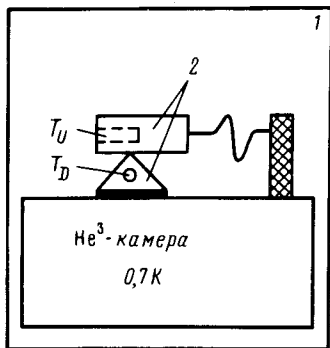


Рис. 1

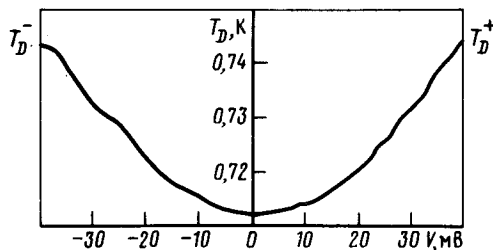


Рис. 2.

Рис. 1. Схема эксперимента: 1 — вакуумная камера; 2 — медные электроды; T_D , T_U — датчики температуры

Рис. 2. Зависимость температуры T_D берега от напряжения при двух полярностях V

Рис. 3. а — Микроконтактный спектр ЭФВ в меди: 1 — $V_2(V)$, 2 — G_{PC} (эВ); $R_\bullet = 0,84$ Ом; $T = 0,72$ К; $\delta = 0,42$ мэВ; $\lambda_{PC} = 0,1$; б — зависимость асимметрии температуры ΔT_D от напряжения V

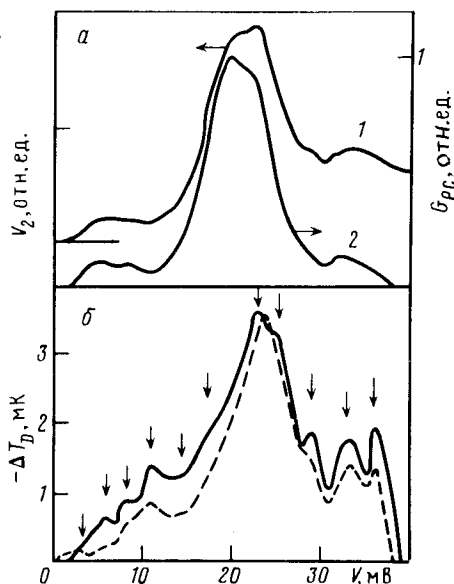


Рис. 3

На рис. 3 а показан МК спектр, который близок к баллистическому режиму. В модели чистого отверстия ¹ МК константа электрон-фононного взаимодействия (ЭФВ) $\lambda_{PC} = 0,1$. Остальные параметры микроконтакта даны в подписи к рис. 3, а. На рис. 2 представлена зависимость температуры берега T_D этого контакта от напряжения V при обеих полярностях. На этих зависимостях видно, что при характерных фоновых энергиях возникают нелинейности, связанные с испусканием неравновесных T - и L -фононов баллистическими электронами. Рисунок также показывает, что зависимость $T_D(V)$ несимметрична относительно $V = 0$ мВ. Эта асимметрия в нагреве массивных берегов микроконтакта в зависимости от напряжения сама свидетельствует о баллистическом движении электронов через область микроконтакта, так как место их релаксации зависит от полярности напряжения. На рис. 3, б представлена зависимость $\Delta T_D(V) = T_D^+(V) - T_D^-(V)$, которая асимметрию нагрева делает более выразительной. Надо отметить, что при положительной полярности V ток электронов течет из электрода с термометром T_D в другой, что согласуется с отрицательным значением $\Delta T_D(V)$ в эксперименте. Асимметрия температуры нагрева, измеренная на термометре в верхнем электроде $\Delta T_U(V)$.

имеет положительные значения; особенности в асимметрии являются менее выразительными из-за более плохого теплоотвода от этого электрода и тем самым большего перегрева электрода. Если вычесть из зависимости $T_D^-(V)$ в отрицательной полярности V часть, происходящую от нагрева Джоуля пропорциональную V^2/R_0 , то получим зависимость, нарисованную штриховой линией на рис. 3, б, которая похожа на $-\Delta T_D(V)$.

Рис. 3, б показывает, что кроме пиков при характерных энергиях T - и L -фононов здесь появились особенности и при других энергиях (обозначенные стрелками). По-видимому они связаны с различными механизмами рассеяния баллистических электронов, включающимися при данных энергиях. Положение наблюдаемых особенностей хорошо коррелирует с положением максимумов и минимумов на шумовых МК спектрах меди^{3,4}. На основе этого сравнения можно аномалии в поведении ΔT_D объяснить следующим образом. Пики при энергиях $\sim 23,5$ и ~ 33 мэВ связаны со стимулированным излучением T - и L -фононов. Разная интенсивность пиков (пик от T -фононов более интенсивный, чем от L -фононов) свидетельствует о том, что баллистические электроны сильнее взаимодействуют с T -фононами, чем с L -фононами, как это хорошо известно из микроконтактной спектроскопии меди¹. Пик при ~ 11 мэВ, вероятно, связан с пороговой энергией для U -процессов в меди. Остальные особенности, положение которых коррелирует с положением максимумов в шумовых микроконтактных спектрах, связаны с U -процессами рассеяния электронов на фононах, и другие, положение которых коррелирует с положением минимумов, связаны с N -процессами рассеяния. Пик при энергии ~ 36 мэВ, по-видимому, соответствует многофононным процессам рассеяния баллистических электронов на фононах.

В заключение можно сказать, что баллистическая температурная МК спектроскопия, т.е. исследование асимметрии температуры берегов микроконтакта при баллистическом прохождении электронов через него, предоставляет новую дополнительную возможность для получения дальнейшей информации о подробностях энергетической зависимости ЭФВ, наблюдения различных типов рассеяния электронов и генерации неравновесных фононов с определенной энергией. Наблюдаемые результаты, полученные новым способом первый раз в металле, одновременно подтверждают результаты шумовой МК спектроскопии^{3,4}.

Литература

1. Янсон И.К., ФНТ, 1983, 9, 676.
2. Богачек Э.Н., Кулик И.О., Шкорбатов А.Г. ФНТ, 1985, 11, 1189.
3. Акименко А.И., Веркин А.Б., Янсон И.К., J. Low Temp. Phys., 1984, 54, 247.
4. Акименко А.И., Веркин А.Б., Янсон И.К. ФНТ, 1984, 10, 1159.