

ТЕРМОЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ ЭФФЕКТЫ В МЕЗОСКОПИЧЕСКОМ ПРОВОДНИКЕ

Г.М.Гусев, З.Д.Квон, А.Г.Погосов

В наноструктурах, созданных на основе δ -легированного арсенида галлия, обнаружена флуктуирующая с магнитным полем термоэдс, имеющая мезоскопическую природу. Установлено, что величина флуктуаций значительно превышает регулярный вклад, а также имеет сильную температурную зависимость.

Как показано теоретически в работах ^{1,2}, нарушение симметрии "электрон-дырка" в мезоскопической ферми-системе приводит к возникновению флуктуаций термоэлектрических коэффициентов и, в частности, термоэдс, величина которых может быть сравнима и, более того, значительно превышать регулярную составляющую, даже если флуктуации сопротивления малы. Однако до последнего времени отсутствовали эксперименты, подтверждающие или опровергающие предсказания теории.

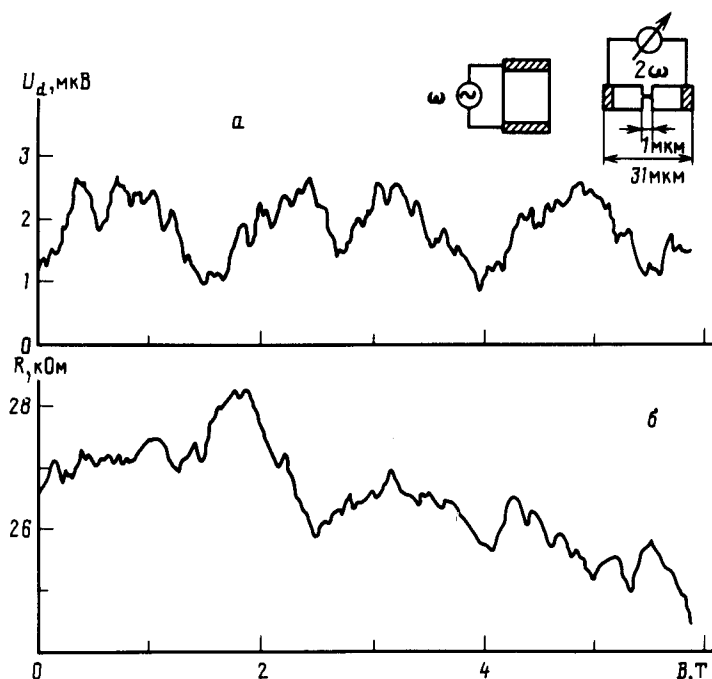


Рис. 1. *a* – Зависимость термоэдс мезоскопического образца GaAs от магнитного поля. *б* – Зависимость сопротивления образца от магнитного поля, $T = 4,2$ К. На вставке – геометрия эксперимента

В данной работе впервые сообщается о наблюдении мезоскопической термоэдс. Показано, что ее поведение согласуется с результатами ^{1,2}. Структура, использованная в эксперименте, была создана на основе δ -легированного арсенида галлия с концентрацией электронов $N_s \approx \approx 6 \cdot 10^{12} \text{ см}^{-2}$ и подвижностью $\mu \approx 2 \cdot 10^3 \text{ см}^2/\text{В} \cdot \text{с}$. Она показана на вставке к рис. 1*a* и состояла из нагревателя, в качестве которого использовался макроскопический δ -легированный слой GaAs (размер $150 \times 150 \text{ мкм}$), и мезоскопического образца ($L = 1 \text{ мкм}$, $W = 0,1 \text{ мкм}$), созданного при помощи электронной литографии и ионного реактивного травления.

Методика измерения была следующей. На макроскопический δ -слой подавалось переменное напряжение частотой $f = 10 \div 40$ Гц, а сигнал термоэдс измерялся на частоте $2f$. Поток тепла от нагревателя передавался на мезоскопический образец за счет решеточной теплопроводности арсенида галлия. Поскольку теплопроводность GaAs на несколько порядков превышает теплопроводность δ -слоя, градиент температуры, устанавливаемый в образце, определялся потоком фононов в подложке. Описанная структура позволяла полностью электрически изолировать нагреватель от мезоскопического образца, и тем самым избежать наводки от генератора напряжения, питающего нагреватель, которая могла бы быть источником паразитного сигнала на частоте $2f$ вследствие выпрямления.

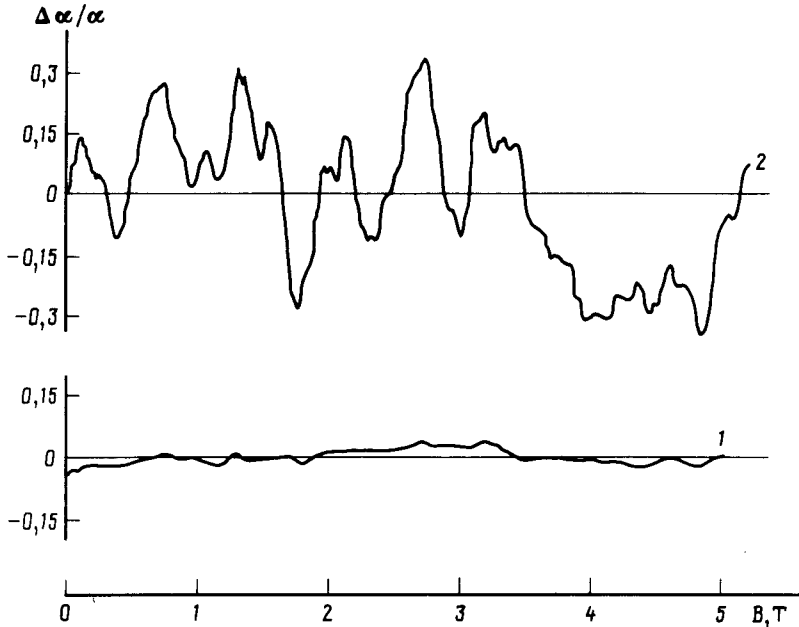


Рис. 2. Зависимость $\Delta\alpha/\alpha$ от магнитного поля для двух температур: 1 – $T = 4,2$ К; 2 – $T = 1,7$ К

Результаты эксперимента приведены на рис. 1а, показывающем зависимость измеренной термоэдс от магнитного поля. На рис. 1б показана такая же зависимость сопротивления. Видно, что наблюдаются аperiодические осцилляции как сопротивления $R(B)$, так и термоэдс $U_\alpha(B)$, причем между осцилляциями R и U_α отсутствует корреляция. Кроме того, если максимальная флуктуация сопротивления составляет всего 10% от полной величины R , то максимальная амплитуда флуктуаций U_α равна среднему значению термоэдс. Здесь следует отметить, что, поскольку величина градиента температур определяется не δ -слоем, а решеткой, среднее значение U_α практически полностью определяется немезоскопической частью образца, так как ее длина, как видно из рисунка, превышает в тридцать раз длину мезоскопического мостика. То есть, фактически, обнаруженные флуктуации на порядок превышают регулярное значение U_{α_M} мезоскопического проводника и $\langle \Delta\alpha \rangle / \alpha_M \approx 10$. Эта величина хорошо согласуется с оценкой по формуле ^{1,2}:

$$\frac{\langle \Delta\alpha \rangle}{\alpha} = k \frac{\langle \Delta\sigma \rangle}{\sigma} \frac{E_F}{E_c}, \quad (1)$$

где $E_F \approx 200$ мэВ – энергия Ферми, $E_c \approx 1$ мэВ – корреляционная энергия электронов, k – численный коэффициент порядка единицы, зависящий от отношения T/E_c . Заметим, что имен-

но величина $\langle \Delta\alpha \rangle / \alpha$ является удобной для анализа, так как практически не представляется возможным измерить градиент температуры мезоскопического проводника из-за его малых размеров.

В отличие от других кинетических характеристик мезоскопического проводника (сопротивление, выпрямление и др.) зависимость термоэлектрических коэффициентов от температуры может быть более сильной. Это видно по соотношению (1), из которого следует, что $\langle \Delta\alpha \rangle / \alpha \sim T^{-p-1}$ в отличие от $\langle \Delta\sigma \rangle / \sigma \sim T^{-p}$ если $E_c \sim T$ (величина p зависит от размерности системы и механизмов рассеяния). Зависимость $\langle \Delta\alpha \rangle / \alpha$ от T может быть еще более сильной из-за изменения с температурой коэффициента k^{-2} . На рис. 2 показаны зависимости $\Delta\alpha / \alpha$ от V для двух температур. Из него видно, что при изменении температуры от 4,2 К до 1,7 К величина $\langle \Delta\alpha \rangle / \alpha$ увеличилась почти на порядок. Столь сильный рост $\langle \Delta\alpha \rangle / \alpha$ нельзя объяснить описанным выше поведением $\langle \Delta\alpha \rangle / \alpha$ с температурой. Видимо, это связано с тем, что термоэдс α δ -легированного слоя вызвана не только дрейфом электронов под действием градиента T , но и эффектом фононного увлечения, имеющего более сильную температурную зависимость. Однако более точный анализ зависимости $\langle \Delta\alpha \rangle / \alpha$ от T требует дальнейших исследований.

В момент подготовки данной работы к печати появилось сообщение³ о наблюдении мезоскопической термоэдс. Однако результаты, полученные в³, вызывают большие сомнения, так как методика измерения в ней такова, что переменное напряжение, создающее градиент температуры, подавалось непосредственно на мезоскопический образец. Это напряжение должно приводить к другому мезоскопическому эффекту – выпрямлению, ЭДС которого значительно больше термоэдс при той же приложенной мощности. В этой ситуации выделение термоэлектрического эффекта представляется весьма сложной задачей, которая в цитируемой работе не нашла удовлетворительного решения.

Авторы выражают благодарность Д.И.Лубышеву и В.П.Мигалю за предоставление образцов δ -легированного GaAs, В.М.Кудряшеву за проведение электронной литографии, а также В.Ш.Алиеву и М.Р.Бакланову за проведение ионного травления.

Литература

1. Анисович А.В. и др. Письма в ЖЭТФ, 1987, 45, 237.
2. Лесовик Г.Б., Хмельницкий Д.Е. ЖЭТФ, 1988, 94, 164.
3. Galloway T. et al. Proc. 8 Int. Conf. Electronic Properties of 2D Systems, Grenoble, 1989, p. 558.

Институт физики полупроводников
Сибирского отделения Академии наук СССР

Поступила в редакцию
31 декабря 1989 г.