

## ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ НАБЛЮДЕНИЕ КОНФИГУРАЦИОННЫХ ЭДС

*Т. М. Лифшиц, О. Ю. Полянский, В. В. Романовцев*

Исследованы нелинейные свойства монокристаллических пленок  $\text{Bi}$  и  $n\text{-GaAs}$ , обусловленные конфигурацией образцов. Наблюдаемая нелинейность объясняется существованием собственного холл-эффекта (в пленках  $\text{Bi}$ ) и эффектом, подобным эффекту Бернулли в несжимаемой жидкости (в пленках  $\text{GaAs}$ ).

При протекании тока по проводнику переменного сечения можно ожидать возникновения в этом проводнике ЭДС, обусловленной изменением плотности тока вдоль него. Возникновение этой ЭДС относят обычно за счет эффекта, аналогичного эффекту Бернулли в несжимаемой жидкости [1-4], либо за счет эффекта Холла в собственном магнитном поле тока (собственный холл-эффект) [5]. Однако, до настоящего времени нет сколько-нибудь надежных данных о действительном наблюдении названных эффектов. Так, эксперименты Ивашенко [1] в дальнейшем были опровергнуты Дорфманом и Каганом [2], которые показали, что в действительности этот автор наблюдал возникавшую в экспериментах термоэдс. Честер [3] в опытах с висмутовыми пленками получил величину "ЭДС Бернулли" примерно на четыре порядка превосходившую ожидавшуюся, что по-видимому, также обусловлено возникавшей термоэдс. Эксперименты Джемми, имевшие целью обнаружение ЭДС собственного холл-эффекта, методически неубедительны с точки зрения исключения возможности возникновения термоэдс (низкие частоты:  $30 + 60$  Гц, существенная зависимость эффекта от температуры образца, отсутствие сопоставления величины коэффициента Холла, вычисленной из наблюдавшейся ЭДС с данными непосредственных измерений). Таким образом, нельзя считать, что конфигурационные ЭДС до настоящего времени обнаружены экспериментально.

В наших экспериментах исследовались конфигурационные эффекты на сериях монокристаллических пленок висмута, выращенных на слюдяных подложках (тригональная ось перпендикулярна плоскости пленки) и эпитаксиальных монокристаллических пленок  $n\text{-GaAs}$ , выращенных на изолирующих подложках из того же материала. Концентрация носителей заряда в пленках  $\text{Bi}$  составляла  $n_e = n_p = 1,3 \cdot 10^{19} \text{ см}^{-3}$ , подвижность электронов и дырок при комнатной температуре, соответственно:  $\mu_e = 2,5 \cdot 10^3 \text{ см}^2/\text{в} \cdot \text{сек}$  и  $\mu_p = 2,9 \cdot 10^3 \text{ см}^2/\text{в} \cdot \text{сек}$ . В пленках  $\text{GaAs}$   $n_e = 3,5 \cdot 10^{16} \text{ см}^{-3}$ ,  $\mu_e = 2,9 \cdot 10^3 \text{ см}^2/\text{в} \cdot \text{сек}$ . Изменение этой величины при понижении температуры от 300 до 77°К составляло не более 20%. Конфигурация и линейные размеры пленок показаны на рис. 1

Измерения проводились методом смещения на нелинейности образца напряжений высокой частоты  $f_1$  (2 МГц или 180 МГц) и низкой  $f_2$  (1 кГц). Сигнал смещения пропусклся через фильтр высоких частот, детектировался и измерялся низкочастотным селективным усилителем с синх-

ронным детектором. Для контроля работы схемы вместо образца включался его омический эквивалент. Сигнал, наблюдавшийся в этих условиях, считался паразитным и при измерении висмутовых пленок не превышал  $40 \text{ нВ}$ , а при измерении пленок  $\text{GaAs} - 0,5 \text{ мкВ}$ . Манипулируя переключателями  $A$ ,  $B$  и  $B$  мы установили, что сигнал смещения наблюдается только в том случае, когда переключатели  $A$  и  $B$  установлены в положении 1 и в этом случае его величина не зависит от положения переключателя  $B$ . Легко понять, что этот результат исключает возможность того, что наблюдаемая ЭДС возникает у какого-либо контакта, т. е. обусловлена разогревом образца или электронов в нем. Из рис. 2 видно, что разница в величинах сигнала при  $f_1 2$  и  $180 \text{ МГц}$  не превышает  $20\%$ . Отсюда следует, что инерционность наблюдаемого эффекта, по крайней мере, меньше  $10^{-9} \text{ сек}$ .

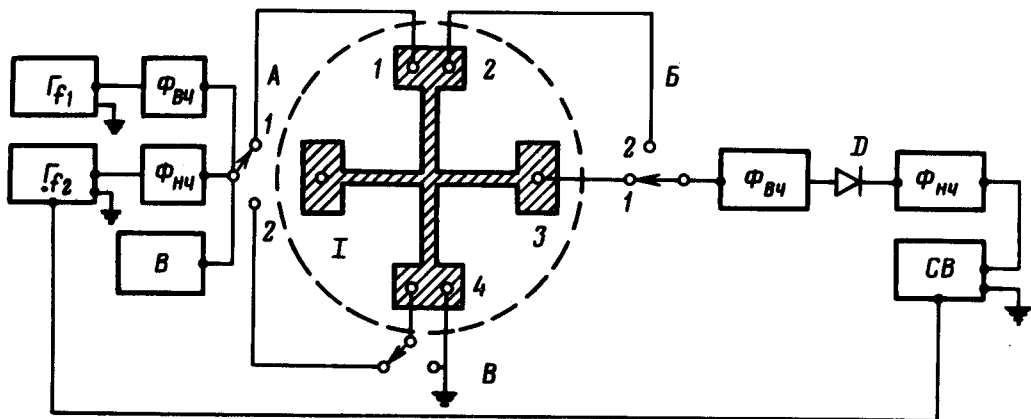


Рис. 1. Блок-схема измерений и конфигурация образцов: I — пленка на изолирующей подложке. Размеры пленок:  $\text{GaAs}$  — толщина  $d = 2,5 \text{ мкм}$ , длина узкой части  $\ell = 100 \text{ мкм}$ , ширина узкой части  $W = 10, \text{ мкм}$ ;  $\text{Bi}$  —  $d = 0,3 \text{ мкм}$ ,  $\ell = 1 \text{ мм}$ ,  $W = 70 \text{ мкм}$ .  $\Gamma_f$  и  $\Gamma_f$  — генераторы,  $B$  — вольтметр,  $\Phi_{вч}$  и  $\Phi_{нч}$  — фильтры высоких и низких частот,  $СВ$  — селективный микровольтметр с синхронным детектором,  $D$  — кристаллический детектор

Сопоставим величины наблюдавшихся ЭДС с ожидаемыми. Расчет "ЭДС Бернулли" выполнен в [4]. Для произвольного вырождения в приближении упругого рассеяния носителей заряда выражение для этой ЭДС имеет вид

$$\Delta V_B = 2C \frac{F_{3k+3/2}(\eta) F_{3/2}^2(\eta)}{F_{k+3/2}^3(\eta)} j^2 \quad (1)$$

где:  $C = (1+k)m/n^2 e^3$ ,  $k$  — показатель степени в энергетической зависимости времени релаксации импульса  $\tau = \tau_0 \epsilon^k$ ,  $j$  — плотность тока в узкой части пленки,  $n$ ,  $m$  и  $e$  — концентрация, эффективная

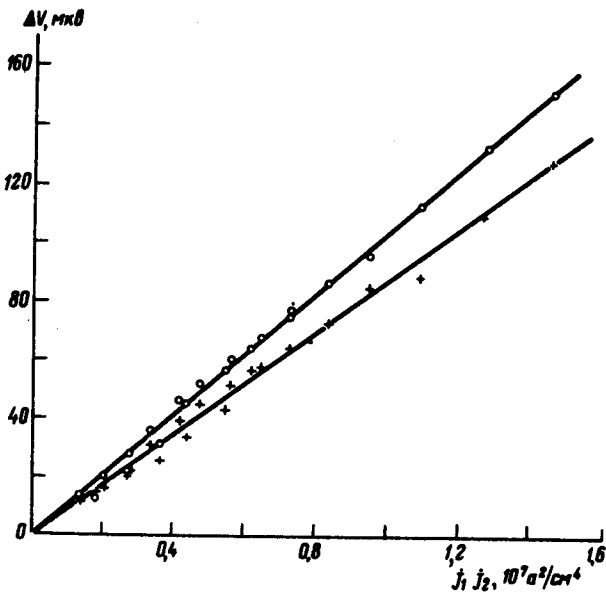


Рис. 2. Зависимость напряжения разностной частоты  $\Delta V$  на контактах 3 – 4 от произведения плотностей токов частоты  $f_1$ ;  $i_1$  и частоты  $f_2$ .  $i_2$  для пленки GaAs o – при  $f_1 = 2 \text{ МГц}$ ; + – при  $f_1 = 180 \text{ МГц}$ . Переключатели А и В – в положении I

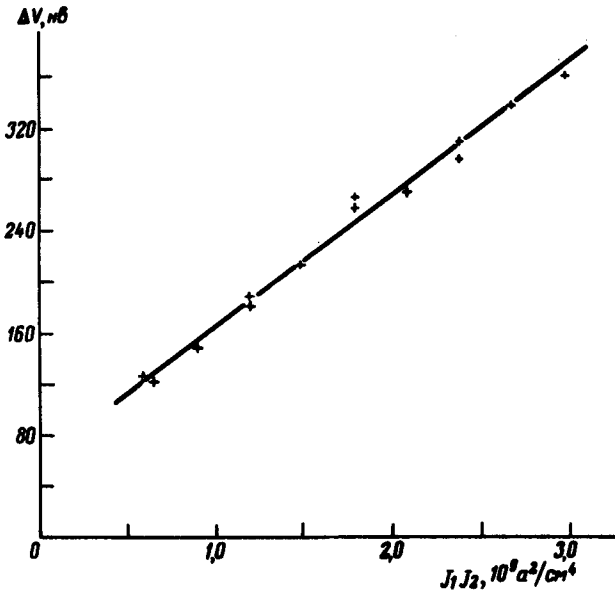


Рис. 3. То же, что на рис. 2 для пленки Bi  $f_1 = 180 \text{ МГц}$

масса и заряд электронов,  $F_m(\eta)$  – интегралы Ферми,  $\eta$  – приведенный химический потенциал. Для слабо неупругих механизмов рассеяния носителей (акустическое и примесное)  $k$  равно, соответственно,  $-1/2$  и  $3/2$  и расчетное значение ЭДС для образцов  $n$ -GaAs ( $m = 0,06 m_0$  [6]) при  $i_1 = i_2 = 3,5 \cdot 10^3$  а/см<sup>2</sup> лежит в пределах  $\Delta V_B = 100 + 200$  мкв. Экспериментально измеренная величина ЭДС также лежит в этих пределах и линейно растет с произведением  $i_1 i_2$  (см. рис.2).

Величина ЭДС собственного холл-эффекта дается выражением [5]

$$\Delta V_H \approx \frac{\ln 4\mu_0 S}{4\pi ne} i^2, \quad (2)$$

где  $S$  – площадь поперечного сечения узкой части пленки. При подстановке в формулу (2) тех же значений параметров для образцов GaAs получаем:  $\Delta V_H = 1$  мкв. Как видим, в случае GaAs преобладающим является "эффект Бернулли". Для висмутовых пленок при  $i_1 = i_2 = 5 \cdot 10^4$  а/см<sup>2</sup>, полагая  $m = 0,05 m_0$  и учитывая наличие двух типов носителей (электроны и дырки), получаем, соответственно, величины:  $\Delta V_B = 3$  мв и  $\Delta V_H = 320$  мв. В этом случае в противоположность GaAs, существенно преобладает ЭДС собственного холл-эффекта. Расчетная величина этой ЭДС близка к наблюдаемой (рис. 3).

Таким образом, можно утверждать, что в описанных экспериментах действительно наблюдались конфигурационные ЭДС двух типов: "ЭДС Бернулли" в пленках GaAs и ЭДС собственного холл-эффекта в висмутовых пленках.

Институт радиотехники  
и электроники  
Академии наук СССР

Поступила в редакцию  
30 июля 1973 г.

### Литература

- [1] Н.В.Ивашенко. ЖЭТФ, 9, 892, 1939.
- [2] Я.Г.Дорфман, А.С.Каган. ЖЭТФ, 10, 358, 1940.
- [3] M. Chester. Phys. Rev. Lett., 5, 91, 1960.
- [4] M. Chester. Phys. Rev., 133, 907, 1964.
- [5] R. Taggi. Phys. Rev., 122, 448, 1961.
- [6] О.Маделунг. Физика полупроводниковых соединений элементов III и V групп, М., изд. Мир, 1967.