

"ПЕРЕВОРОТ" ВОЛЬТ-АМПЕРНОЙ ХАРАКТЕРИСТИКИ В ГЕРМАНИИ В СИЛЬНОМ МАГНИТНОМ ПОЛЕ

В.Г.Веселов, М.В.Глушков, Ю.С.Леонов, А.П.Шотов

Влияние граничных условий на вольт-амперную характеристику полупроводника при наличии сильного магнитного поля H , перпендикулярного электрическому полю E было рассмотрено теоретически Бассом [1] для различных механизмов рассеяния электроном энергии и импульса. Обычно в теории рассматриваются крайние случаи:

$$E_H = 0, i_H \neq 0 \quad (1)$$

и

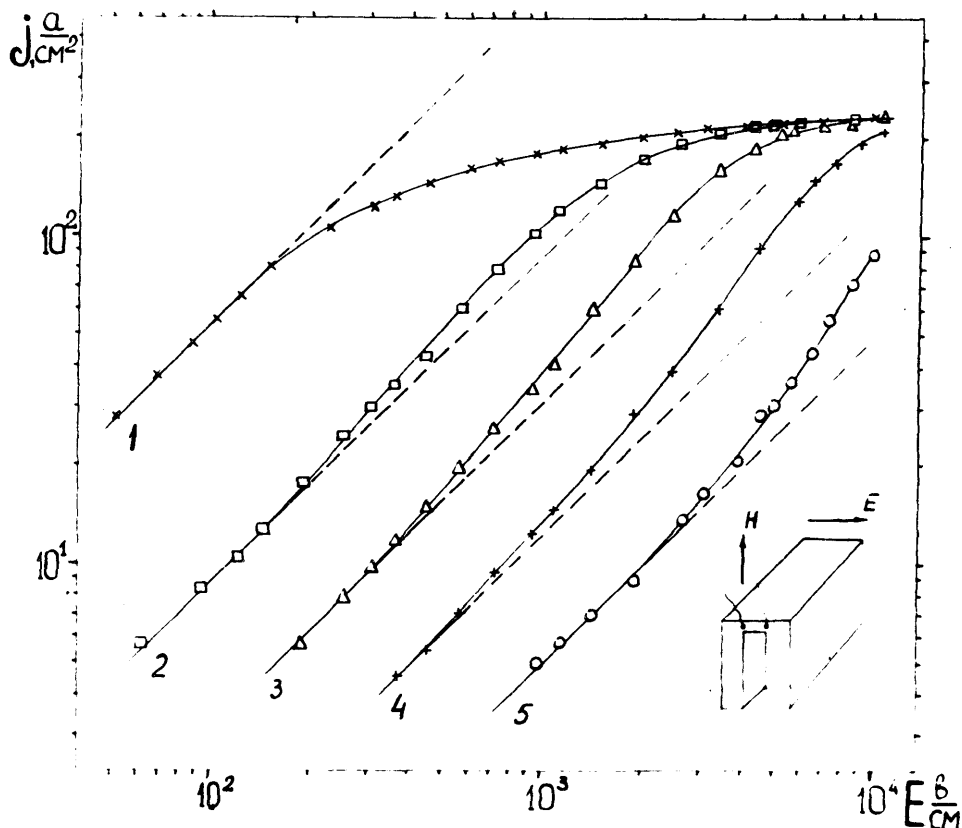
$$E_H \neq 0, i_H = 0, \quad (2)$$

где E_H и i_H — поле и ток Холла соответственно. Оба эти случая, особенно первый, трудно осуществить на эксперименте в чистом виде. Действительно, случай (1) можно реализовать лишь на образце типа диска Корбино, который, однако, в нашем случае не пригоден для исследований: во-первых, в случае анизотропного, многодолинного полупроводника электрическое поле будет направлено различно по отношению к отдельным долинам, во-вторых, электрическое поле будет неоднородным. Между тем, случай, близкий к (1), может быть осуществлен на образце с малым отношением длины b к ширине c [2]. При этом поле Холла будет слабым, так как будет существовать сильный ток Холла через токоподводящие электроды. Нами были изготовлены образцы из p -германия длиной 2 мм и шириной 25 мм (рисунок). Массивные электроды, площадь которых примерно в 10–15 раз была больше площади узкой, работающей части, позволяли избавиться от инжекции. На таких образцах мы предприняли измерения вольт-амперных характеристик p -Ge ($\rho \approx 1,4 \cdot 10^{14} \text{ см}^{-3}$) в постоянном магнитном поле 0, 10, 25, 50, 100 кэ при $T = 77^\circ\text{K}$, когда имеет место случай электрон-фононного рассеяния. Длительность импульсов электрического поля была 2 мксек.

Результаты измерений представлены на рисунке. Видно, что поведение вольт-амперных характеристик коренным образом меняется: если при $H = 0$ проводимость уменьшается при разогреве, то в сильном магнитном поле при $E \perp H$, проводимость, наоборот, увеличивается с ростом E . Происходит "переворот" вольт-амперных характеристик. На такого рода изменения вида вольт-амперных характеристик в сильном перпендикулярном магнитном поле при выполнении граничных условий (1) указывалось в работе [1], в частности, и для реализованного нами экспериментально случая рассеяния электронов на деф ормационном потенциале акустических фононов. Физически такое изменение в поведении вольт-амперных характеристик вполне понятно: в скрещенных электрическом и сильном магнитном полях ($E \perp H$) электрон дрейфует в направлении $[E \times H]$. При этом, чем больше столкновений электрона с фононами, тем больше ток в направлении F , который мы измеряем на опыте.

Если обратиться теперь к рисунку, то обращают на себя внимание следующие особенности в поведении вольт-амперных характеристик.

Во-первых, в слабом электрическом поле, когда плотность тока $j \sim E$, уменьшение проводимости с ростом H происходит не по закону $\sigma \sim 1/H^2$, как это должно быть в сильном магнитном поле при реализации условия (1), а несколько медленнее. Так при увеличении магнитного поля от 50 до 100 кэ проводимость в области закона Ома уменьшается не в 4 раза, а примерно в 2,5 раза. Это связано с тем, что условие (1) выполнено не полностью — существует слабое поле Холла, достигающее максимальной величины в центре образца.



Вольт-амперные характеристики в различных магнитных полях при температуре 77° К: 1 — 0 кэ, 2 — 10 кэ, 3 — 25 кэ, 4 — 50 кэ, 5 — 100 кэ

Во-вторых, из рисунка видно также, что вольт-амперные характеристики (сравни 25, 50, 100 кэ) сдвигаются примерно линейно в сторону больших электрических полей с ростом H . Этот факт является наглядной иллюстрацией явления охлаждения электронов сильным магнитным полем. Линейный же сдвиг следует из формулы [3] для эффективной температуры T_e при электрон-фононном рассеянии и граничных условиях типа (1)

$$T_e = T \left[1 + \frac{1}{3} \left(\frac{cE}{sH} \right)^2 \right], \quad (3)$$

где s — скорость звука. Действительно, чтобы достигнуть такой эффективной температуры в магнитном поле $H_2 > H_1$ потребуется электрическое поле $E_2 = (H_2/H_1) E_1$.

И, в-третьих, при очень сильном разогреве, когда $\omega_c \tau < 1$ (ω_c — циклотронная частота, τ — время релаксации) и магнитное поле не оказывает влияния на вольт-амперные характеристики, происходит их слияние. Естественно, чем больше магнитное поле, тем большей величины электрическое поле для этого требуется. Так при $H = 100$ кэ даже при $E \geq 10^4$ в/см условие $\omega_c \tau < 1$ не выполняется (см. кривая 5 рисунка).

При наличии граничных условий близких к (2) на образцах с $b/\lambda > 1$, сильное магнитное поле также оказывает влияние на вольт-амперную характеристику, однако это влияние не столь сильное [4, 5]. В этом случае поведение вольт-амперных характеристик связано с током Холла лишь вблизи краев образца на расстоянии порядка ϵ , и так как $b/\epsilon \gg 1$, влияние магнитного поля на вольт-амперную характеристику не столь велико, как это описано в данной работе.

Таким образом для случая электрон-фононного рассеяния экспериментально показано, что при $E \perp H$ и осуществлении граничных условий близких к $E_H = 0$, $i_H \neq 0$ происходит "переворот" вольт-амперной характеристики.

Авторы благодарны Ф.Г. Бассу за указание на возможность наблюдения данного явления.

Физический институт
им. П.Н. Лебедева
Академии наук СССР

Поступила в редакцию
5 ноября 1970 г.

Литература

- [1] Ф.Г. Басс. ЖЭТФ, 48, 275, 1965.
- [2] H.I. Lippman, F. Kut. Z. Naturforsch., 13A, 462, 1958.
- [3] Р.Ф. Казаринов, В.Г. Скобов. ЖЭТФ, 42, 1047, 1962.
- [4] В.Г. Веселаго, М.В. Глушков, Ю.С. Леонов, А.П. Шотов. ФТП, 3, 1580, 1969.
- [5] В.Г. Веселаго, М.В. Глушков, Ю.С. Леонов, А.П. Шотов. ФТП, 4, 1476, 1970.