

ВОЗНИКНОВЕНИЕ НОРМАЛЬНОГО ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ПОЛЯ ПРИ УСКОРЕННОМ ДРЕЙФОВОМ ДВИЖЕНИИ НОСИТЕЛЕЙ ЗАРЯДА В ПОЛУПРОВОДНИКЕ С ПОСТОЯННЫМ ТОКОМ

А. Р. Апсит

(Получено 24.03.1992. Принято к печати 7.05.1992)

В двух случаях протекания постоянного тока в проводнике существует нормальное по отношению к дрейфовой скорости ускорение.

А. Образец имеет криволинейную форму радиусом кривизны R .

В. Прямой проводник вращается вокруг оси, нормальной к направлению тока.

В обоих случаях появляется нормальное электрическое поле E_x , которое имеет вполне измеримую величину и рассчитывается ниже на основе квазиклассического кинетического уравнения в приближении времени релаксации τ .

А. Функция распределения электронов в постоянном электрическом поле E есть

$$f = f_0 + \frac{eE\tau}{\hbar} \frac{\partial f}{\partial \mathbf{k}}. \quad (1)$$

Поместим узкий криволинейный образец в прямоугольную систему координат, направив ось oy тангенциально, вдоль приложенного электрического поля E_0 , а ось ox — к центру кривизны. Решая (1) итерациями до получения составляющей функции распределения, дающей ток в направлении ox , начиная с $\partial f / \partial \mathbf{k} = \partial f_0 / \partial \mathbf{k}$ и ограничиваясь для направления E_0 членами первого порядка по τ , имеем

$$f = f_0 + \frac{\partial f_0}{\partial \varepsilon} \frac{e\hbar\tau}{m^*} (\mathbf{k}E) + \frac{e^2 E_0^2 \tau \hbar^3}{m^* 3R} \frac{\partial}{\partial \varepsilon} \left(\tau^2 \frac{\partial f_0}{\partial \varepsilon} \right) k_y^2 k_x. \quad (2)$$

Для $\tau = \tau_0 (\varepsilon / k_0 T)^r$, где ε — энергия электрона, вычисление по (2) дает:

а) классическая статистика:

$$E_x = \frac{2\pi e E_0^2}{5 m^* R} \tau_0^2 (5/2 + r) \Gamma(5/2 + 3r) / \Gamma(5/2 + r); \quad (3)$$

в) сильно вырожденные электроны:

$$E_x = \frac{2\pi}{5} \frac{e E_0^2}{m^* R} \tau_0^2 (\xi) (5/2 + r), \quad (4)$$

где ξ — химический потенциал.

Для n -Si и n -Ge в главных осях каждого эллипсоида легко получают выражения, аналогичные (3), где вместо m^* появляются $m_i^* m_j^* / m_e^*$ и множители α_{ij} , β_{ij} , определяющие направление E_0 и образца относительно рассматриваемой пары осей. Последующее суммирование по всем ij всех эллипсоидов проявляет существенную анизотропию эффекта, особенно в случае Si. Эта анизотропия, впрочем, не представляет существенного интереса, так как в реальном образце α_{ij} , β_{ij} изменяются по длине криволинейного образца, и эффект в основном определится наименьшим $m_i^* m_j^*$.

B. В неинерциальной системе координат, вращающейся вместе с кристаллической решеткой в (1), выражение для силы имеет следующий вид:

$$\mathbf{F} = -e\mathbf{E} + 2m_0 [\mathbf{v} \times \boldsymbol{\omega}]. \quad (5)$$

Здесь учтена сила Кориолиса и опущена центробежная сила, которая описывает известный продольный эффект в центрифуге Никольса [1]. Легко видеть, что в этом случае кинетическое уравнение точно соответствует кинетическому уравнению в магнитном поле

$$\mathbf{B} = 2m_0\boldsymbol{\omega} / -e, \quad (6)$$

поэтому все процессы, связанные с кориолисовым ускорением, описываются теми же соотношениями, что эффект Холла и магнитосопротивления (в общем случае все гальвано- и термомагнитные явления). Возникающее поперечное электрическое поле совпадает с известными выражениями для эффекта Холла в магнитном поле (6), где знак знаменателя не зависит от типа проводимости.

В заключение отметим, что рассмотренные выше два инерционных эффекта, несмотря на их явно экзотический характер, имеют вполне измеримую величину $E_x \sim (10^{-6}—10^{-3})$ В/м и, как следует из полученных соотношений, могут давать дополнительную информацию о свойствах носителей заряда. Кроме того, принципиальное значение имеет то обстоятельство, что в отличие от хорошо известных «инерционных» эффектов типа Стюарта и Толмена [2] их знак определяется типом проводимости, а также то, что (A) определяется эффективной массой, а (B) — массой свободного электрона.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- [1] Р. Беккер. Электронная теория, 416. Л.—М. (1936).
[2] А. И. Ансельм. Введение в теорию полупроводников, 615. М. (1978).

Редактор: В. В. Чалдышев
