

Письма в ЖЭТФ, том 10, стр. 377 – 380

20 октября 1969 г.

**НЕЛИНЕЙНОСТЬ ТОКА В ПЛЕНКАХ ГЕРМАНИЯ
В МАГНИТНОМ ПОЛЕ**

П.П.Вильмс, В.С.Сардарли, П.П. Добровольский, С.В.Банылова

1. Известно, что в массивных полупроводниках в слабом электрическом поле выполняется закон Ома, причем наличие магнитного поля не приводит к нелинейности тока. Однако, в тонких полупроводниковых

пленках с толщиной $2d$, соизмеримой с длиной свободного пробега по энергии ϵ_2 , магнитное поле может привести к нарушению линейности тока от электрического поля, даже в случае слабости последнего [1–3]. Впервые на этот факт обратили внимание авторы работы [1], в которой предсказано появление в магнетосопротивлении члена, линейного по электрическому и магнитному полям. В настоящем сообщении экспериментально наблюдалась нелинейность тока в слабом электрическом поле в полупроводниковых пленках P-Ge, выращенных на сапфире.

2. Измерялось магнетосопротивление в магнитном поле, параллельном плоскости пленки и перпендикулярном электрическому полю при температуре 77°K . Исходные пленки ($2d \sim 100 \text{ мкм}$) имели концентрацию дырок $\approx 3 \cdot 10^{15} \text{ см}^{-3}$ и подвижность эффекта Холла $2,5 \cdot 10^4 \text{ см}^2/\text{в} \cdot \text{сек}$ при температуре 77°K . Измерения проводились компенсационным методом в постоянных электрическом и магнитном полях. Согласно [3] сигнал, пропорциональный проводимости можно записать следующим образом

$$V = V_0(E) + \Delta V(E^3) + \Delta V(E, H^2) + \Delta V(E^2, H), \quad (1)$$

где $V_0(E) + \Delta V(E^3)$ – напряжение на потенциальных контактах при отсутствии магнитного поля, $\Delta V(E, H^2)$ – обычный член, квадратичный по магнитному полю и линейный по электрическому, $\Delta V(E^2, H)$ – член, квадратичный по электрическому полю и линейный по магнитному $\Delta V(E^3)$ – член, кубичный по электрическому полю, появляющийся при разогреве электронного (дырочного) газа; мы его не учитывали, так как в отсутствии магнитного поля не наблюдалось отклонения от закона Ома. Меняя направление E и H , легко в эксперименте выделить каждое слагаемое в выражении (1). На рис. 1 представлена зависимость $\Delta V(E^2, H)$ от электрического поля для трех пленок различной толщины. На рис. 2 приведено для одного из образцов магнетосопротивление $\Delta\rho/\rho_0 = (V - V_0)/V_0$ в зависимости от величины магнитного поля для двух противоположных направлений тока. Видно, что для одного из них $\Delta\rho/\rho_0$ меняет знак с ростом H . Таким образом в тонких полупроводниковых пленках при определенных условиях линейный член по магнитному полю может преобладать над квадратичным и, если знаки у них разные, может иметь место отрицательное магнетосопротивление.

3. Остановимся подробнее на нелинейном члене $\Delta V(E^2, H)$. Анализ эксперимента показал, что он действительно хорошо аппроксимируется

квадратичной зависимостью от E (рис. 1) и линейной от H . Физическое возникновение члена $\Delta V(E^2, H)$ связано с отличием средней по сечению пленки дырочной температуры T_e от фоновой T_0 . Но, поскольку время

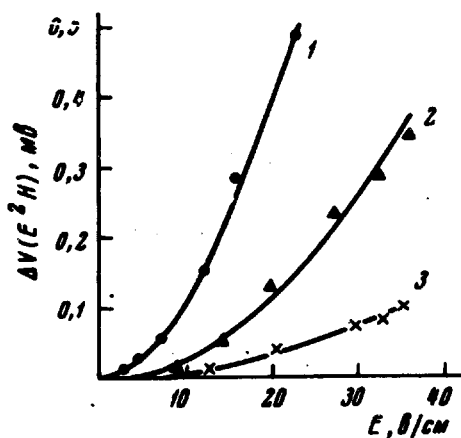


Рис. 1. Зависимость нелинейного члена от электрического поля для трех образцов различной толщины. 1 — для 5 мкм, 2 — для 3 мкм, 3 — для 0,8 мкм. Все кривые соответствуют магнитному полю $H = 0,35 \text{ кэ}$

релаксации зависит от энергии, оно также будет отличаться (а вместе с ним и проводимость) от времени релаксации в случае $T_e = T_0$. В свою очередь неравенство дырочной и решеточной температур имеет место, когда скорости отдачи энергии носителями заряда на противоположных поверхностях пленки различны. В исследуемых пленках это условие выполняется, по-видимому, из-за того, что одна поверхность свободная,

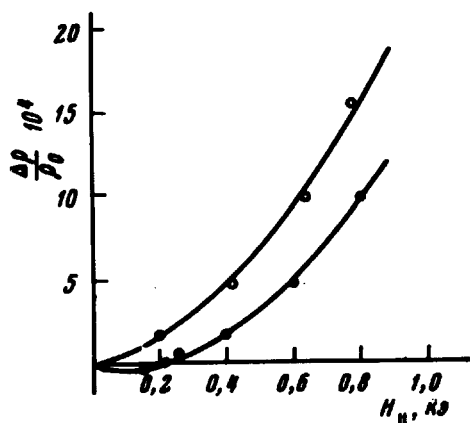


Рис. 2. Магнетосопротивление в зависимости от магнитного поля для двух противоположных направлений тока. Кривая соответствует образцу с толщиной 0,8 мкм и снята для $E = 30 \text{ в/см}$

а другая — граница раздела германий — сапфир. Из рис. 1 видно, что с изменением толщины от 5 до 0,8 мкм $\Delta V(E^2, H)$ уменьшается, что находит свое согласие с теорией [1, 3] при условии $d/\ell_j < 1$.

В заключение следует отметить, что наблюдаемая нелинейность не связана с магнитоцентрационным эффектом [4], имеющим место в

полупроводниках, близких к собственным, так как в исследуемых пленках концентрация дырок на четыре порядка превышает концентрацию электронов.

Авторы благодарны Клименко А.Г. и Клименко Э.А. за предоставленные пленки и помощь в работе.

Институт физики полупроводников

Академии наук СССР

Сибирское отделение

Поступила в редакцию

15 сентября 1969 г.

Литература

- [1] З.С.Грибников, В.И.Мельников. ЖЭТФ, 51, 1909, 1966.
 - [2] Ф.Г.Басс, В.С.Бочков, Ю.Г.Гуревич. ФТТ, 9, 3479, 1967.
 - [3] В.С.Бочков, Ю.Г.Гуревич. ФТТ, 11, 714, 1969.
 - [4] В.П.Жузе, Г.Е.Пикус, О.В.Сорокин. ЖТФ, 27, 1167, 1957.
-