

ОСОБЕННОСТИ ЭЛЕКТРОПРОВОДНОСТИ ПЛАСТИЧЕСКИ ДЕФОРМИРОВАННОГО ГЕРМАНИЯ n -ТИПА

А.И.Колюбакин, С.А.Шевченко

В пластически деформированном германии n -типа при 35К обнаружен минимум в температурной зависимости электропроводности при постоянном токе, перпендикулярном дислокациям, что связывается с наличием при той же температуре максимума коэффициента заполнения дислокаций электронами.

В настоящей работе исследовалась проводимость по постоянному току пластически деформированного германия n -типа с концентрацией нескомпенсированных доноров $N_D = 2,4 \cdot 10^{13} \text{ см}^{-3}$ и с достаточно упорядоченной и анизотропной структурой 60° -дислокаций плотностью $N_D \approx 2 - 7 \cdot 10^6 \text{ см}^{-2}$. В работе [1] экспериментально показано, что в таких образцах вокруг дислокаций имеются непроводящие цилиндры (D – цилиндры).

В условиях выполнения закона Ома определялась электропроводность вдоль (σ_{\parallel}) и поперек (σ_{\perp}) преимущественного направления дислокаций в интервале температур 4,2 – 300 К.

Как следует из рис.1, проводимость деформированных образцов зависит от направления электрического поля относительно направления дислокаций. Анизотропия $\vec{\sigma}$ становится заметной при $T \approx 240 \text{ К}$ и возрастает при понижении температуры. При этом чем больше N_D , тем при более высоких температурах появляется различие σ_{\parallel} и σ_{\perp} . Температурные зависимости проводимости контрольного образца σ_0 и проводимости σ_{\parallel} качественно подобны. Характерной особенностью $\sigma_{\perp}(T)$ является появление минимума при $T \approx 35 \text{ К}$. Оказалось, что явный минимум в $\sigma_{\perp}(T)$ наблюдается в образцах, в которых доля объема ϵ , занимаемого D -цилиндрами, больше половины. При $\epsilon \approx 0,8 - 0,9$ глубина минимума составляет около двух порядков (рис.1, кривая 3). В образце 4 проводимость σ_{\perp} начинает резко уменьшаться уже при высоких температурах и при $T = 50 \text{ К}$ достигает значения $\sim 10^{-9} \text{ Ом} \cdot \text{см}$, т.е. при низких тем-

пературах образец становится диэлектриком. А при $N_D > 6 \cdot 10^6 \text{ см}^{-2}$ в образцах инвертирует тип проводимости.

Отметим еще две ранее не наблюдавшиеся в германии особенности σ_{\perp} в диапазоне температур 20 – 60 К. 1) Зависимость величины σ_{\perp} от скорости изменения температуры (v) образцов в процессе измерения при $v > 1$ град/мин и практически полное отсутствие этой зависимости для σ_{\parallel} . Например, при скорости охлаждения $v = 1$ град/мин σ_{\perp} при 35 К для образца 3 в два раза больше значения σ_{\perp} , полученного при $v = 5$ град/мин. 2) Наличие при 35 К минимума в температурной зависимости коэффициента относительного магнетосопротивления $K_{\perp} = \sigma_{\perp}(0) / \sigma_{\perp}(H)$ в образцах с глубоким минимумом в $\sigma_{\perp}(T)$ (рис. 2) при монотонном росте $K_{\parallel} = \sigma_{\parallel}(0) / \sigma_{\parallel}(H)$ в том же интервале температур. Магнитное поле напряженностью $H = 7000$ Э было направлено перпендикулярно линиям дислокаций и электрическому полю.

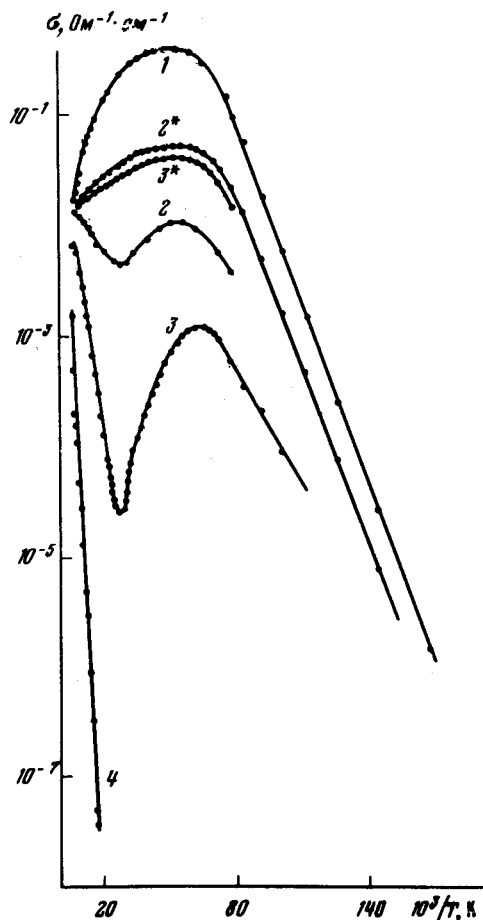


Рис. 1. Температурная зависимость электропроводности в контрольном (1) и деформированных (2 – 4) образцах при направлении электрического поля вдоль (кривые 2* и 3*) и поперек (кривые 2 – 4) преимущественного направления дислокации. Плотность дислокаций в образцах 2 – 4 составляет $3,0 \cdot 10^6 \text{ см}^{-2}$, $3,8 \cdot 10^6 \text{ см}^{-2}$ и $5,2 \cdot 10^6 \text{ см}^{-2}$ соответственно

В образцах с $\epsilon \approx 0,5 - 0,6$ при 35 К минимум имеется и в температурной зависимости холловской подвижности электронов. При $\epsilon > 0,6$ надежное измерение эффекта Холла было возможно только при $T \gtrsim 60$ К.

Значительная величина σ_{\parallel} при исследованных температурах, наличие при 4,2 К электрического пробоя в направленном вдоль дислокаций поле напряженностью ~ 2 В/см и отрицательные значения коэффициента

Холла свидетельствуют о том, что не весь объем образцов 2 и 3 занят D -цилиндрами, т.е. проводимость осуществляется свободными электронами вне цилиндров.

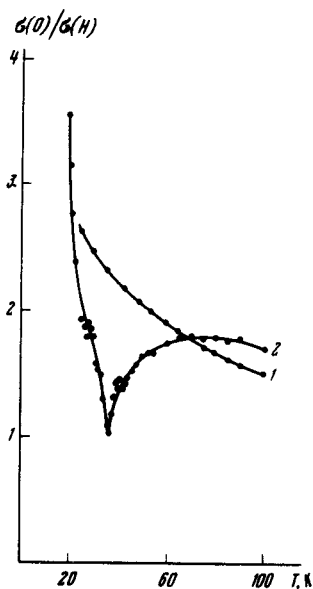


Рис. 2. Температурная зависимость коэффициента поперечного относительного магнетосопротивления K_{\perp} (кривая 1) и K_{\parallel} (кривая 2) для образца 3

Как показано в [2, 3], расположенные перпендикулярно к направлению движения электронов D -цилиндры приводят как к искривлению линий тока (так называемый эффект огибания), так и к уменьшению длины свободного пробега электронов из-за столкновения их с D -цилиндрами. Оценки показывают, что влияние этих столкновений на σ_{\perp} в наших образцах при $T \approx 35$ К составляет не более 20%. Поэтому глубокий минимум в $\sigma_{\perp}(T)$ нельзя объяснить рассеянием электронов на дислокациях. Тогда, согласно [2]

$$\sigma_{\parallel} = \sigma_0 (1 - \epsilon), \quad (1)$$

$$\sigma_{\perp} = \sigma_0 (1 - \epsilon) g(\epsilon), \quad (2)$$

где $g(\epsilon)$ — монотонно убывающая функция, учитывающая искривление траектории электронов, явный вид которой зависит от конкретной дислокационной структуры. Распределение дислокаций в наших образцах представляет собой промежуточный случай между правильной структурой и случайно расположенными дислокациями. Это не позволяет использовать для количественных расчетов как результат работы [2], где приведена функция $g(\epsilon)$ для гексагональной сетки дислокаций, так и [4], в которой исследована зависимость проводимости среды со случайным распределением отверстий от их концентрации дырок. Но в любом случае при значениях ϵ , близких к единице, величина $g(\epsilon)$ должна быть малой (например, для идеальной D -структуры [2] $g(0,8) = 0,1$, а $g(0,91) = 0$). Тогда даже незначительное изменение радиуса D -цилиндров приведет к резкому изменению проводимости. Поэтому,

как видно из формулы (2), минимум в $\sigma_1(T)$ может быть обусловлен немонотонностью зависимости $\epsilon(T)$, а именно: наличием при $T = 35$ К даже слабого максимума в $\epsilon(T)$.

В связи с тем, что ϵ пропорционально коэффициенту заполнения дислокации электронами f , естественно предположить наличие максимума и в температурной зависимости f при 35 К. Но по имеющимся представлениям [2] f монотонно растет при понижении температуры. Поэтому можно полагать, что в пластически деформированном германии n -типа при $T \approx 35$ К начинает действовать некий новый физический процесс, который обеспечивает необходимое уменьшение f . Одним из таких процессов может быть перестройка спектра D -состояний вследствие, например, фазового перехода в системе D -электронов. Все изложенное выше позволяет качественно объяснить и особенности 1 и 2.

В заключение отметим, что эффекты, аналогичные рассмотренным в данной работе, могли бы быть причиной аномалий холловской подвижности в пластически деформированном германии p -типа [5].

Авторы благодарны Ю.А.Осипьяну, В.Б.Шикину, В.М.Винокуру за полезные обсуждения результатов работы.

Институт физики твердого тела
Академии наук СССР

Поступила в редакцию
21 июня 1979 г.

Литература

- [1] А.И.Колюбакин, Ю.А.Осипьян, С.А.Шевченко. ЖЭТФ, 7, вып. 9, 1979.
- [2] W.T.Read. *Phil. Mag.*, **45**, 775, 1954; **46**, 111, 1955.
- [2] R.A.Logan, G.L.Pearson, P.A.Kleinman. *J.Appl. Phys.*, **30**, 885, 1959.
- [4] B.J.Last, D.J.Thouless. *Phys. Rev. Let.*, **27**, 1719, 1971.
- [5] Ю.А.Осипьян, С.А.Шевченко. Письма в ЖЭТФ, **18**, 256, 1973.