

Письма в ЖЭТФ, том 20, вып. 11, стр. 709 – 712

5 декабря 1974 г.

О ДИСЛОКАЦИОННОЙ ПРОВОДИМОСТИ ГЕРМАНИЯ

Ю.А.Осипьян, С.А.Шевченко

Экспериментально исследована температурная зависимость удельного сопротивления пластически деформированного р-германия в диапазоне 4,2 – 300К и обнаружена электропроводность, связываемая с проводимостью по дислокационным линиям.

При изучении влияния дислокаций на электрические свойства р-германия нами наблюдалась аномалия в температурном ходе подвижности

носителей тока [1, 2]. Оказалось, что при $T < 80\text{K}$ подвижность дырок, движущихся перпендикулярно дислокациям, уменьшается с увеличением плотности дислокаций N_D . При этом в образцах с $N_D \approx 1 \cdot 10^6 + 1 \cdot 10^7 \text{ см}^{-2}$ в температурной зависимости подвижности дырок существует глубокий минимум при $T = 16\text{K}$ [1]. В образцах с плотностью дислокаций большей чем 10^7 см^{-2} падение холловской подвижности с температурой начиналось при еще более высоких температурах [2] и было более резким. Наряду с этим ЭДС Холла также начинала сильно уменьшаться с понижением температуры, а при $T \lesssim 30\text{K}$ эффект Холла в этих образцах практически исчезал, т. е. при используемых нами методах ЭДС Холла измерить было нельзя.

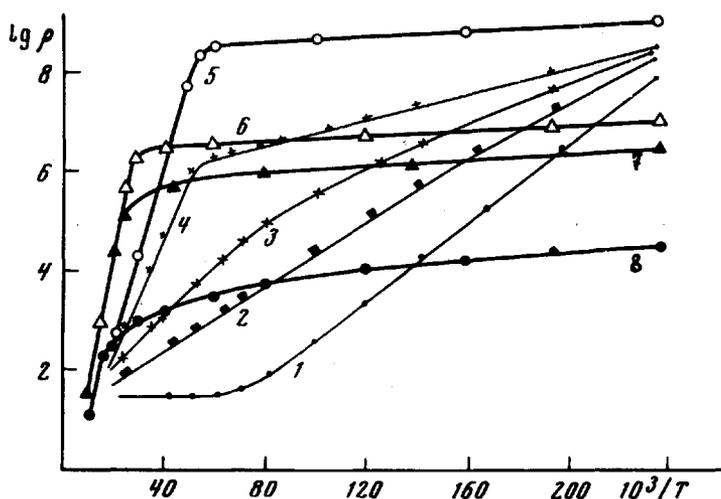


Рис. 1. Температурная зависимость удельного сопротивления контрольного (1) и деформированных (2 – 8) образцов р-германия. В образцах 2 – 4 плотность дислокаций равна соответственно $5 \cdot 10^6 \text{ см}^{-2}$, $7 \cdot 10^6 \text{ см}^{-2}$ и $1 \cdot 10^7 \text{ см}^{-2}$. Степень деформации образцов 5 – 8 соответственно 1, 3, 6 и 20%.

В этой связи мы предприняли попытку более подробного изучения электрических свойств р-германия с большой концентрацией дислокаций. Ниже приведены результаты измерений, выполненных в интервале температур 4,2 – 300К. На рис. 1 представлена температурная зависимость удельного сопротивления контрольного и деформированных образцов в диапазоне температур 4,2 – 100К. То, что в контрольном образце (разностная концентрация мелких примесей $3 \cdot 10^{12} \text{ см}^{-3}$, а полная – $3 \cdot 10^{13} \text{ см}^{-3}$) в интервале 50 – 20К удельное сопротивление ρ очень слабо зависит от температуры, связано с тем, что небольшое уменьшение концентрации дырок компенсируется увеличением их подвижности при понижении температуры. При $T < 20\text{K}$ сопротивление растет экспоненциально за счет вымораживания свободных носителей. При малых степенях деформации изгибом (плотность дислокаций $N_D \leq 1 \cdot 10^7 \text{ см}^{-2}$) электросопротивление растет для всех температур при $T < 80\text{K}$, как за счет уменьшения концентрации носителей, так и за счет уменьше-

ния их подвижности [1]. Эти данные получены для образцов, для которых наблюдался описанный в [1] минимум подвижности, и показаны на рис. 1 тонкими линиями (образцы 2 – 4). В образцах 5 + 8, деформированных сжатием на большие степени по методике описанной в [2], при $T = 730 - 750^\circ \text{C}$, после резкого увеличения удельного сопротивления при $80\text{K} \leq T \leq 25\text{K}$ с энергией активации $\mathcal{E}_1 = 0,03 - 0,07 \text{ эв}$ наблюдается переход к довольно слабой температурной зависимости сопротивления при $T \leq 25\text{K}$ с энергией активации \mathcal{E}_2 . Наблюдаемые нами значения \mathcal{E}_2 меньше 10^{-3} эв . Поэтому для всего интервала температур $4,2 + 100\text{K}$ электропроводность $\sigma(T)$ сильно деформированных образцов 5 + 8 можно записать в виде

$$\sigma(T) = \sigma_1(\mathcal{E}_1, T) + \sigma_2(\mathcal{E}_2, T) \quad (1)$$

Исследование зависимости ЭДС Холла и удельного сопротивления от напряженности магнитного поля показали, что проводимость σ_1 во всех образцах по-прежнему обусловлена свободными носителями – дырками. Характерно, что $\rho_1(T)$ и \mathcal{E}_1 возрастают с увеличением степени деформации, однако, рост абсолютного значения \mathcal{E}_1 происходит только до значения $0,07 \text{ эв}$.

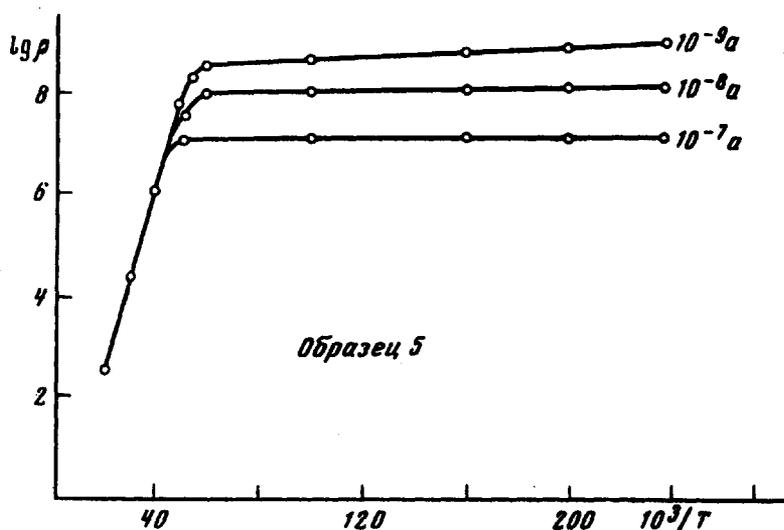


Рис. 2. Температурная зависимость удельного сопротивления образца 5 при различных значениях электрического тока через образец

Возникновение проводимости σ_2 , характеризуемой низкой энергией активации \mathcal{E}_2 , ограничивает экспоненциальный рост удельного сопротивления образцов при понижении температуры. Для этого состояния образцов характерны следующие черты: 1) ЭДС Холла не наблюдается, 2) сопротивление образцов не возрастает в магнитном поле, 3) электрическая проводимость возрастает при увеличении степени деформации от $10^{-9} \text{ ом} \cdot \text{см}$ ($\epsilon = 1\%$) до $10^{-4} \text{ ом} \cdot \text{см}$ ($\epsilon = 20\%$), 4) вольт-амперные характеристики имеют сверхлинейные участки.

Из рис. 2, отражающем зависимость ρ_2 от напряженности электрического поля E , видно, что энергия активации \mathcal{E}_2 уменьшается при увеличении тока I через образец и при $I = 10^{-7}$ а ($E \approx 60$ в/см) активационный характер проводимости σ_2 исчезает.

Оценки и контрольные эксперименты показывают, что описанные особенности σ_2 не могут быть вызваны: а) нагревом образцов в электрическом поле; б) инъекцией свободных носителей с контактов; в) влиянием изменения состояния поверхности образцов; г) прыжковой проводимостью по примесям.

На основании приведенных данных мы считаем возможным полагать, что наблюдаемые особенности электрических свойств пластически деформированного германия связаны с наличием специфической электрической проводимости по дислокационным линиям и могут свидетельствовать о наличии одной или нескольких дислокационных зон в энергетическом спектре носителей тока.

Авторы благодарны Э. И. Рашба за обсуждения результатов, а Н. Г. Мартыненко и М. Г. Дубининой за помощь в измерениях.

Институт физики твердого тела
Академии наук СССР

Поступила в редакцию
22 октября 1974 г.

Литература

- [1] Ю. А. Осипьян, С. А. Шевченко. Письма в ЖЭТФ, 18, 256, 1973.
[2] Ю. А. Осипьян, С. А. Шевченко. ЖЭТФ, 65, 698, 1973.
-