

## ПРОВОДИМОСТЬ ПЛАСТИЧЕСКИ ДЕФОРМИРОВАННОГО ГЕРМАНИЯ ПРИ СВЕРХНИЗКИХ ТЕМПЕРАТУРАХ

*К.Н.Зиновьева, М.Л.Кожух, В.А.Трунов,  
С.М.Рыбкин, И.С.Шлимак*

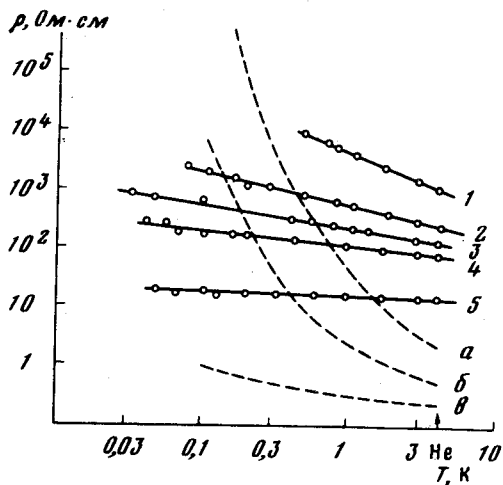
Обнаружено, что температурная зависимость проводимости образцов германия, подвергнутых сильной пластической деформации, имеет степенной характер вплоть до 40 мК, причем показатель степени зависит от деформации.

1. Известно, что с увеличением концентрации примесей в легированных полупроводниках наблюдается переход полупроводник — металл (П — М) [1]. На металлической стороне перехода проводимость практически не зависит от температуры, а на полупроводниковой стороне температурная зависимость проводимости имеет экспоненциальный (активационный) характер вплоть до самого перехода. Исследование проводимости легированного примесями германия в области сверхнизких температур показало [2], что энергия активации не остается постоянной, а уменьшается с температурой, что объясняется механизмом прыжковой проводимости "с переменной длиной прыжка" [1]. Все же энергия активации падает медленнее, чем уменьшается температура и экспоненциальный характер проводимости прослеживается вплоть до  $0,1 \pm 0,05$  К. Такая электропроводность хорошо описывается выражением вида

$$\sigma(T) = \sigma_0 \exp \left[ - \left( \frac{T_0}{T} \right)^x \right], \quad (1)$$

где  $x = 1/4 \div 3/4$  в зависимости от концентрации примесей.

Экспоненциальный характер  $\sigma(T)$  с уменьшающейся энергией активации отчетливо проявляется в логарифмическом масштабе, в котором соответствующие кривые имеют характерный "вогнутый" вид (см. рисунок, кривые *a, б, в*, которые соответствуют кривым 2, 3, 4 рис. 2 работы [2], а также рисунок в [3]).



Температурная зависимость удельного сопротивления образцов германия в случае легирования примесями (*a, б, в*) и в случае сильной пластической деформации (*1 - 5*)  
 Параметры деформированных образцов: *1* -  $N = 2 \cdot 10^{13} \text{ см}^{-3}$ ,  $D = 30\%$ , *2* -  $N = 2 \cdot 10^{16} \text{ см}^{-3}$ ,  $D = 43\%$ , *3* -  $N = 5 \cdot 10^{17} \text{ см}^{-3}$ ,  $D = 28\%$ , *4* -  $N = 2 \cdot 10^{13} \text{ см}^{-3}$ ,  $D = 41\%$ , *5* -  $N = 5 \cdot 10^{17} \text{ см}^{-3}$ ,  $D = 47\%$

2. Переход П - М обнаружен также в нелегированном германии, подвергнутому сильной пластической деформации. Для объяснения процесса переноса заряда в таком материале развивается модель проводимости "по дислокациям" [4, 5]. Однако, в отличие от проводимости "по примесям", в данном случае существует определенный интервал величины степени деформации  $D$  ( $\approx 30 + 50\%$ ), в котором при низких температурах ( $T \lesssim 30\text{K}$ ) наблюдается степенная температурная зависимость проводимости

$$\sigma(T) \sim T^{\gamma} \quad (2)$$

Обычно  $\gamma \lesssim 1$  и уменьшается по мере роста  $D$ . Такая зависимость для большинства образцов пластически деформированного германия прослежена в работе [5] вплоть до 1,7K.

3. Возникает естественный вопрос - являются ли степенные температурные зависимости проводимости отражением принципиально иного механизма переноса заряда, связанного со спецификой "дислокационной зоны", или это переходные участки, которые с дальнейшим понижением температуры сменяются обычными активационными зависимостями?

Для получения ответа на этот вопрос было предпринято исследование зависимости  $\sigma(T)$  серии образцов пластически деформированного германия с  $D \geq 30\%$  в области сверхнизких температур. Измерения проводились в криостате растворения  $\text{He}^3 - \text{He}^4$  [6]. Исходным материалом являлся германий *n*-типа как "чистый" (с концентрацией примесей  $N \approx 2 \cdot 10^{13} \text{ см}^{-3}$ ), так и легированный ( $N \approx 2 \cdot 10^{16}$  и  $5 \cdot 10^{17} \text{ см}^{-3}$ ). Методика пластической деформации и нанесения контактов описана в [5]. Ре-

зультаты исследования, представленные на рисунке, свидетельствуют о том, что вплоть до  $0,03 \div 0,04\text{K}$  перехода к активационной проводимости не наблюдается.

Таким образом, с учетом результатов работы [5] можно утверждать, что степенная температурная зависимость наблюдается в пластически деформированном германии в очень широком интервале температур (от 40 до  $0,04\text{K}$ ). Это дает основание сделать вывод о том, что степенная зависимость характерна для проводимости "по дислокациям".

Следует отметить, что в публикациях [7, 8], посвященных экспериментальному исследованию проводимости "по примесям," сообщалось о том, что в некоторых случаях активационный характер проводимости с понижением температуры сменялся более слабой температурной зависимостью (в частности, в сильно легированном и компенсированном  $n\text{-InSb}$  [8] наблюдалась линейная зависимость  $\sigma \sim T$ ). Можно предположить, что это явление связано с дислокационной структурой исследованных в этих работах легированных образцов.

В заключение авторы благодарят А.Н.Монова и В.Н.Крутихина за помощь в эксперименте.

Физико-технический институт  
им. А.Ф.Иоффе  
Академии наук СССР

Поступила в редакцию  
27 июля 1979 г.

Институт ядерной физики  
им. Б.П.Константинова  
Академии наук СССР

## Литература

- [1] Н.Мотт, Э.Дэвис. Электронные процессы в некристаллических веществах. М., изд. Мир, 1974.
- [2] И.С.Шлимак, Е.И.Никулин. Письма в ЖЭТФ, 15, 30, 1972.
- [3] С.Т.Болдырев, К.Н.Зиновьева, Ф.М.Воробкало, Л.И.Зарубин, И.Ю.Немиш, А.Г.Забродский, И.С.Шлимак. Материалы 20-го Всесоюзного совещания по физике низких температур НТ-20, часть 1, стр. 277. Черноголовка, 1978.
- [4] Ю.А.Осипьян, С.А.Шевченко. Письма в ЖЭТФ, 20, 709, 1974.
- [5] И.В.Кляцкина, М.Л.Кожух, В.А.Трунов, С.М.Рывкин, И.С.Шлимак. ФТП, 13, 1089, 1979.
- [6] К.Н.Зиновьева, Г.Э.Карстенс. ПТЭ, №2, 249, 1974.
- [7] А.Г.Забродский, А.Н.Ионов, Р.Л.Корчажкина, И.С. Шлимак. ФТП, 7, 1914, 1973.
- [8] Е.М.Гершензон, В.А.Ильин, И.Н.Куриленко, Л.Б.Литвак-Горская. ФТП, 9, 1324, 1975.