

## ЭФФЕКТ ХОЛЛА НА ПОВЕРХНОСТИ ГЕРМАНИЯ ПРИ РАСКОЛЕ КРИСТАЛЛОВ В ЖИДКОМ ГЕЛИИ

*Б.М.Вул, Э.И.Заварицкая*

При расколе кристаллов германия в жидком гелии свежееобразованная поверхность захватывает на оборванные связи электроны из приповерхностного слоя германия, оставляя дырки в валентной зоне. Измерения эффекта Холла показали, что концентрация свободных дырок в приповерхностном слое и, соответственно, концентрация электронов на поверхности примерно равны  $\sim 10^{13} \text{ см}^{-2}$ . Подвижность дырок  $\mu \sim 300 \text{ см}^2/\text{В}\cdot\text{сек}$ . Общая физическая картина явлений та же, что и на поверхности сращивания бикристаллов германия.

В предыдущей статье мы сообщили о некоторых результатах исследования при  $T = 4,2\text{К}$  поверхностной электропроводности германия после раскола кристаллов в жидком гелии [1]. В настоящей работе представлены результаты измерений эффекта Холла при тех же условиях эксперимента, что и в работе [1].

Измерения показали, что независимо от типа проводимости исходных кристаллов и концентрации в них примесей, поверхностная электропроводность в германии обязана движению дырок. Измерения ЭДС Холла были проведены на 14 образцах  $n$ - и  $p$ -типа с различной концентрацией доноров и акцепторов в интервале от  $10^{14}$  до  $3 \cdot 10^{15} \text{ см}^{-3}$ . Результаты измерения коэффициента Холла  $R_s$  для пяти из этих образцов приведены на рис. 1; для остальных образцов результаты измерений аналогичны приведенным и содержатся в том же интервале  $R_s$ . Наблюдаемые значения  $R_s$  не зависят от свойств образцов до скола.

Результаты измерений холловской подвижности  $\mu = R_s \sigma_s$  для разных образцов приведены на рис. 2. Все эти данные относятся к образцам, подвергнутым после раскола промежуточному подогреву при  $T_n \approx 40\text{K}$ .

Из данных, представленных на рис. 1, следует, что коэффициент Холла

$$R_s = r/eP_s \quad (1)$$

не зависит от напряженности магнитного поля  $100 \leq H \leq 7000 \text{ Э}$  и силы тока  $10^{-6} \leq I \leq 10^{-3} \text{ А}$ .

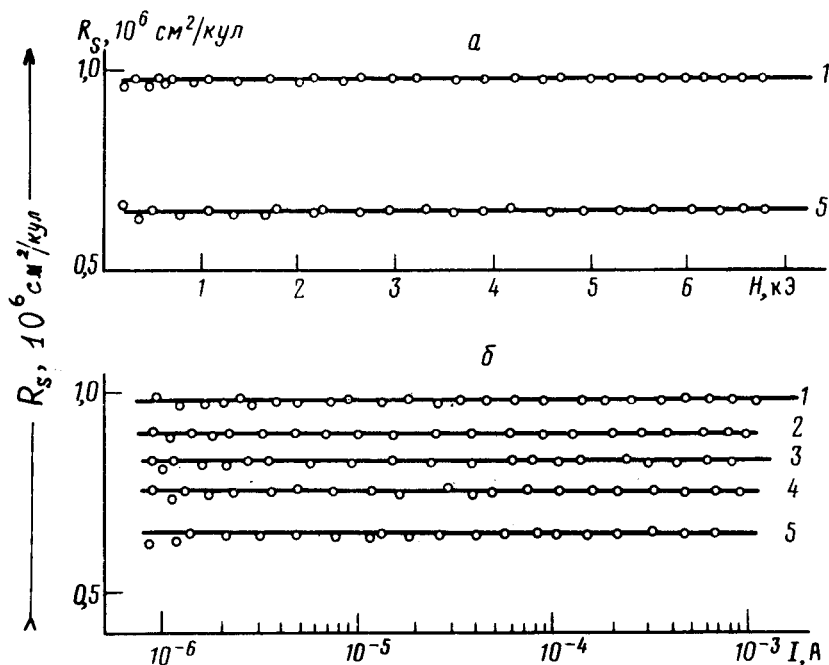


Рис. 1. Зависимость константы Холла: *a* – от напряженности магнитного поля при  $I = \text{const} = 50 \text{ мкА}$ , *б* – от силы тока при  $H = \text{const} = 2 \text{ кЭ}$  (цифры на кривых соответствуют номерам образцов)

В наших условиях можно принять, что фактор Холла  $r = 1$ . Тогда концентрация дырок

$$P_s = (6 \div 10) \cdot 10^{12} \text{ см}^{-2},$$

как и на поверхности сращивания бикристаллов германия [2].

При столь больших концентрациях рассеяние дырок происходит, главным образом, на заряженных центрах. Расчет подвижности в этих условиях для двумерной модели дает, что [3]

$$\mu = \frac{\kappa h \sqrt{P_s}}{2 \sqrt{2} \pi e m^* N_i} \left( \text{arc tg} \frac{\kappa h^2 P_s}{4 \pi e^2 m^* \sqrt{N_i}} \right)^{-1}, \quad (2)$$

где  $\kappa$  — диэлектрическая постоянная,  $h$  — постоянная Планка,  $e$  — заряд электрона,  $m^*$  — эффективная масса носителей,  $P_s$  — концентрация носителей,  $N_i$  — концентрация рассеивающих центров.

В первом приближении можно принять, что у поверхности германия, как и в объеме,  $\kappa = 16$ , эффективная масса дырок  $m_h^* = 0,4 m_0$ , а концентрация рассеивающих центров  $N_i \approx P_s$ . Тогда рассчитанные значения примерно в два раза меньше, чем измеренные холловские, что при грубых допущениях можно считать довольно удовлетворительным совпадением.

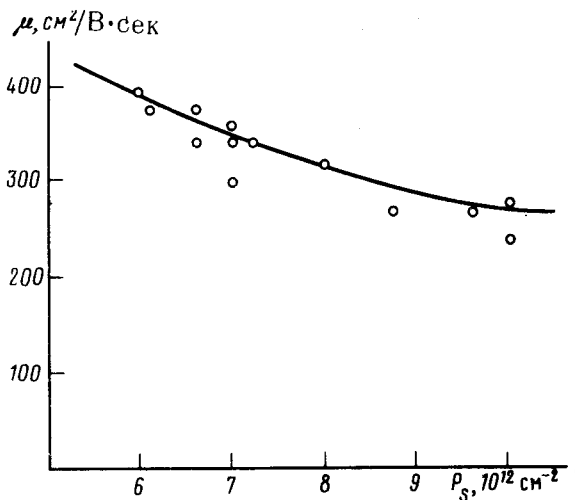


Рис. 2. ● — Зависимость подвижности дырок от их концентрации, — — удвоенное значение  $\mu_{\text{теор}}$ , рассчитанного согласно (2)

Непосредственно после раскола кристаллов в жидком гелии добавочная электропроводность,  $\sigma_s$ , вносимая свежееобразованной гладкой поверхностью, незаметна на фоне объемной проводимости. Промежуточный подогрев в парах гелия позволяет выявить влияние новообразованной поверхности.

При подогреве до  $\sim 40\text{К}$  и выдержке в течение одной — двух минут поверхностная электропроводность, измеренная при  $T = 4,2\text{К}$ , достигает значений  $\sigma_m \approx 4 \cdot 10^{-4} \text{ Ом}^{-1}$ , и поверхностный ток при этом в  $10^5 \div 10^6$  раз превышает объемный. Если промежуточный подогрев происходит при  $T_n < 40\text{К}$  или недостаточно продолжителен, то поверхностная электропроводность  $\sigma_s$  не достигает значения  $\sigma_m$ , однако, возрастает по мере увеличения длительности подогрева. При хранении образцов в жидком

гелии эти промежуточные значения  $\sigma_s$  не изменяются в течение многих часов. Измерения эффекта Холла на поверхностях с электропроводностью

$$0,1 \sigma_m \leq \sigma_s \leq \sigma_m$$

позволили убедиться в том, что концентрация дырок при этом заметно не отличается от предельного значения  $P_m$ .

Таким образом, можно предположить, что рост поверхностной электропроводности с увеличением длительности промежуточного подогрева вызывается процессами, аналогичными отжигу дефектов, и сопровождается ростом подвижности носителей.

Предельное значение поверхностной электропроводности  $\sigma_m \approx 4 \cdot 10^{-4} \text{ Ом}^{-1}$  определяется, как и в случае бикристаллов германия, движением дырок с концентрацией  $P_s = (6 + 10) \cdot 10^{12} \text{ см}^{-2}$  и подвижностью  $\mu = 400 + 250 \text{ см}^2/\text{В} \cdot \text{сек}$ .

Полученные данные позволяют считать, что общая физическая картина наблюдаемых нами явлений примерно та же, что и на поверхности сращивания бикристаллов германия [2]. В последнем случае, однако, не требуется промежуточный нагрев, так как процесс роста бикристалла происходит при температуре гораздо более высокой, чем  $T_n$ .

Электроны из вентной зоны германия захватываются на оборванные связи, которые возникают, в первом случае — при расколе кристалла, а во втором — в процессе роста кристалла на двойную затравку с большим углом наклона. Проводимость поверхности раскола кристалла, как и поверхности сращивания двух кристаллов в германии обусловлена движением вблизи поверхности дырок, которые остаются свободными вплоть до самых низких температур.

Авторы выражают благодарность инженеру Е.Г.Сокол за помощь в работе.

Физический институт им. П.Н.Лебедева  
Академии наук СССР

Поступила в редакцию  
20 декабря 1979 г.

### Литература

- [1] Б.М.Вул, Э.И.Заварицкая, Е.Г.Сокол. Письма в ЖЭТФ, 30, 517, 1979.
- [2] Б.М.Вул, Э.И.Заварицкая. ЖЭТФ, 76, 109, 1979.
- [3] S.Kawaji, Y.Kawaguchi. Proc. Intern. Conf. Phys. Semicond, Kyoto p. 336, 1966.