

## ДВИЖЕНИЕ ЗАРЯДОВ В ТВЕРДОМ ВОДОРОДЕ

А.А.Левченко, Л.П.Межов-Деглин

Впервые измерена скорость движения инжектированных зарядов в твердом водороде. Вблизи  $T_{пл}$  в слабых полях  $E \leq 10^4$  В/см скорость зарядов обоих знаков экспоненциально падает с понижением температуры. Обнаружено, что коэффициент диффузии положительных зарядов  $D_+$  близок по величине к коэффициенту самодиффузии  $D_s$  в твердом  $H_2$  в термоактивированной области.

Ниже приведены и обсуждаются результаты изучения температурных и полевых зависимостей скорости движения инжектированных зарядов в твердом водороде в интервале температур 13,8 – 11 К и полей  $E = 5 \cdot 10^2 \div 1,5 \cdot 10^4$  В/см. Измерения были выполнены на диоде состоящем из радиоактивного источника зарядов (титано-третиевая мишень) и коллектора. Расстояние источник-коллектор составляло  $L = 0,2$  мм. Диод помещали внутри металлической цилиндрической ампулы, в которой выращивали кристаллы водорода или гелия при постоянном давлении.

Скорость движения зарядов определяли по времени прихода фронта заряженных частиц на коллектор при ступенчатом включении напряжения  $U$  (время-пролетная методика). Эта методика успешно применялась для изучения полевых и температурных зависимостей скоростей движения инжектированных зарядов в твердом гелии<sup>1</sup>. Перед началом работы с твердым водородом работоспособность ячейки была проверена в экспериментах с твердым гелием в широком диапазоне полей и температур.

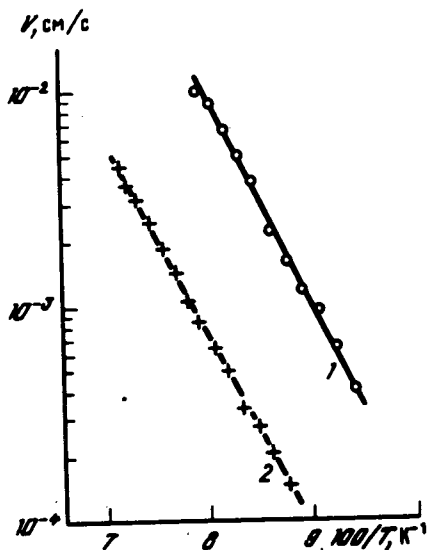


Рис. 1

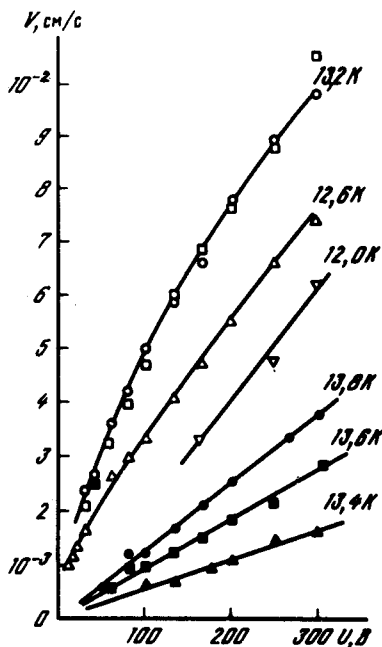


Рис. 2

Рис. 1. Зависимость скорости  $v_{\pm}$  от обратной температуры при  $U = 300$  В. 1 – отрицательные заряды, 2 – положительные заряды

Рис. 2. Полевые зависимости скорости:  $v_{\pm}(U)$ ;  $\circ, \square, \Delta, \nabla$  – отрицательные заряды,  $\bullet, \blacksquare, \blacktriangle$  – положительные заряды

В данных экспериментах образцы выращивали при постоянном давлении 1,5 атм со скоростью около 1 мм/мин. Скорость роста контролировали по изменению статического тока через диод при постоянном напряжении по и показаниям термометра, установленного на ампуле.

На рис. 1 показаны зависимости скорости движения положительных и отрицательных зарядов от обратной температуры в одном из образцов (образец 2) при напряжении  $U = \pm 300$  В. Видно, что зависимости  $v_{\pm}(T)$  близки к экспоненциальным. Энергии активации, рассчитанные по наклонам прямых, проведенных через экспериментальные точки, составляют  $\Delta_+ = 215 \pm 20$  К и  $\Delta_- = 230 \pm 20$  К. Отметим, что эти данные относятся к образцу, выдержанному в ампуле около 100 ч. Сравнение результатов измерений, выполненных в разные дни, показали, что скорость движения положительных зарядов систематически уменьшалась, а отрицательных возрастала. При этом энергия активации положительных зарядов практически не изменилась, а отрицательных — уменьшилась в 1,5 раза по сравнению со свежера выращенным образцом. Это не связано с изменением свойств образца вследствие термоциклирования, так как кривые  $v_{\pm}(T)$  хорошо воспроизводятся при последовательном охлаждении и отогреве образца. Вероятно, причиной наблюдаемых изменений является повышение со временем, <sup>2</sup> концентрации парамолекул в образце.

Полевые зависимости скорости  $v_{\pm}(U)$  в том же образце приведены на рис. 2. Из-за большой разницы в скоростях и сильного захвата отрицательных зарядов в слабых полях при  $T \ll 12$  К измерения выполнены при разных температурах. Как видно из рисунка, скорость движения положительных зарядов линейно зависит от напряженности электрического поля вплоть до  $E = U/L = 1,5 \cdot 10^4$  В/см. Для отрицательных зарядов зависимость  $v_-(U)$  оказалась слабее линейной даже при самых малых рабочих полях  $E = 5 \cdot 10^2$  В/см.

Линейная зависимость скорости движения положительных зарядов от ускоряющего поля позволяет по результатам измерений скорости  $v_+$  рассчитать подвижность положительных зарядов  $\mu_+ = v_+/E$ . Далее, воспользовавшись соотношением Эйнштейна, можно оценить величину коэффициента диффузии положительных зарядов  $D_+ = \mu_+ kT/e$ . Таким способом можно перейти от скорости движения положительных зарядов  $v_+(300)$  при  $U = 300$  В (кривая 2 на рис. 1) к коэффициенту диффузии  $D_+$ :  $D_+ = 0,6 \cdot 10^{-8} v_+(300) T \text{ см}^2/\text{с}$ . Представляет интерес сравнить найденные значения  $D_+(T)$  с известными значениями коэффициента самодиффузии  $D_s$  в твердом  $\text{H}_2$ . Согласно рекомендациям справочника <sup>2</sup> коэффициент самодиффузии в твердом водороде может быть записан в виде  $D_s = D_0^s \exp(-\Delta_s/T)$ , где  $D_0^s = 3 \cdot 10^{-3} \text{ см}^2/\text{с}$ ,  $\Delta_s = 200$  К. Пересчет результатов измерений  $v_+(T)$  на рис. 1 в коэффициент диффузии приводит к значениям  $D_0^+ = 3,7 \cdot 10^{-3} \text{ см}^2/\text{с}$ ,  $\Delta_+ = 228$  К. Близость значений  $D_+$  и  $D_s$  в области термоактивированного движения может указывать, что в обоих случаях существенную роль играет один и тот же механизм диффузии.

#### Литература

1. Голов А.И., Ефимов В.Б., Межов-Деглин Л.П. ЖЭТФ, 1988, 4, 198.
2. Справочник "Свойства конденсированных фаз водорода и кислорода", Киев. Наукова Думка, 1984.