

НЕОМИЧЕСКАЯ ПРЫЖКОВАЯ ПРОВОДИМОСТЬ В ПОЛУМАГНИТНОМ ПОЛУПРОВОДНИКЕ $p\text{-Mn}_x\text{Hg}_{1-x}\text{Te}$

А.Е.Беляев, Ю.Г.Семенов, Н.В.Шевченко

В полумагнитных полупроводниках типа $p\text{-Mn}_x\text{Hg}_{1-x}\text{Te}$ впервые исследовалась неомическая прыжковая проводимость. Обнаруженные особенности температурной и магнитополовой зависимостей ВАХ связываются с трансформацией акцепторных состояний, обусловленной носитель-ионным обменным взаимодействием.

Ранее было обнаружено ¹, что в определенной области концентраций акцепторной примеси (N_A) прыжковая проводимость в полумагнитных полупроводниках (ПМП) в отличие от немагнитных обусловлена двумя активационными процессами. Эффект объяснялся спиновыми флуктуациями в спектре связанного на акцепторе магнитного полярона и обусловленными ими флуктуациями радиуса состояния. Данные флуктуации должны проявиться и в процессах направленной прыжковой проводимости, которые становятся актуальными в умеренно сильных электрических полях E . Между тем ни теоретических, ни экспериментальных исследований процессов переноса в таких условиях для ПМП проведено не было.

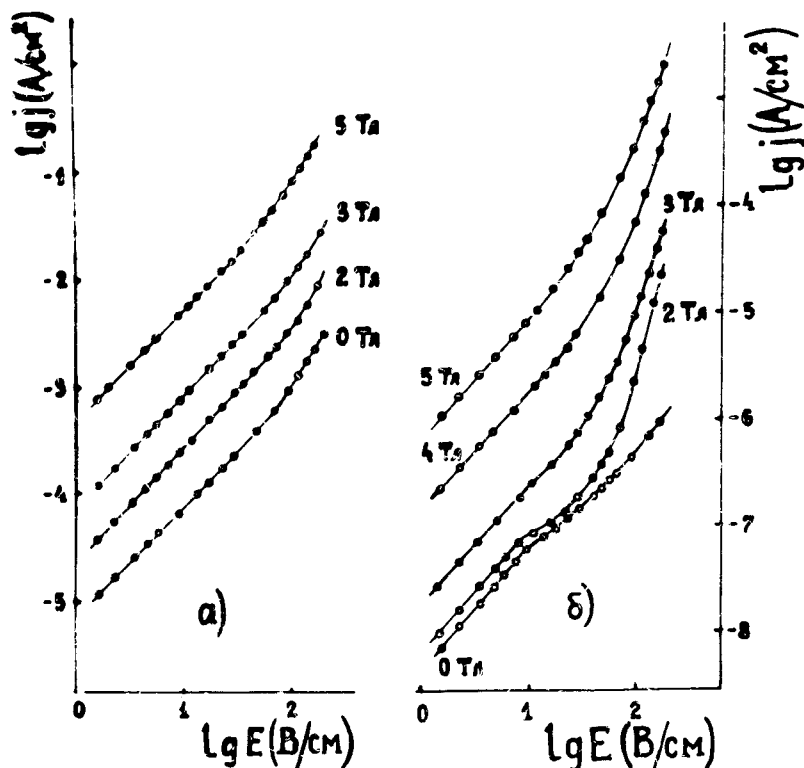


Рис. 1. Вольт-амперная характеристика $p\text{-Mn}_{0.2}\text{Hg}_{0.8}\text{Te}$, измеренная при 4,2 К (а) и 1,6 К (б). Цифрами у кривых обозначена величина магнитного поля

В настоящей статье представлены результаты исследований вольт-амперных характеристик (ВАХ) в области умеренных электрических полей от омического участка ВАХ вплоть до проявления примесного пробоя для исследованной в ¹ группы образцов, для которых прыжковая проводимость в слабых электрических полях характеризуется двумя активационными процессами. С целью исключения термического разогрева измерения проводились в импуль-

сном режиме с длительностью импульсов $\tau_{\text{имп}} = 10-20$ с и частотой следования $f = 1$ кГц. Эксперимент выполнялся при двух температурах, при которых прыжки определяются различными процессами¹: при 4,2 К, когда перенос осуществляется преимущественно по возбужденным спиновым состояниям магнитного полярона на акцепторе и при 1,6 К, когда проводимость обусловлена прыжками по нижайшим состояниям полярона. Измеренные ВАХ одного из образцов представлены на рис. 1.

При 4,2 К (рис. 1а) и в отсутствие магнитного поля омическую зависимость сменяет участок суперлинейной ВАХ, наблюдаемый в интервале полей от $E_1 \approx 50$ В/см до $E_2 \approx 300$ В/см, после чего наступает примесный пробой¹⁾. В магнитном поле $H \perp E$ граница омического участка, а также и начало пробоя сдвигаются в более слабые E , оставляя ВАХ качественно подобной случаю $H = 0$.

При 1,6 К, однако, проявляется немонотонная зависимость производной ВАХ — за омическим участком ($0 < E < 10$ В/см) следует сублинейный, сменяющийся затем суперлинейным (рис. 1б). В магнитном поле наблюдаемая сублинейность уменьшается вплоть до полного ее исчезновения.

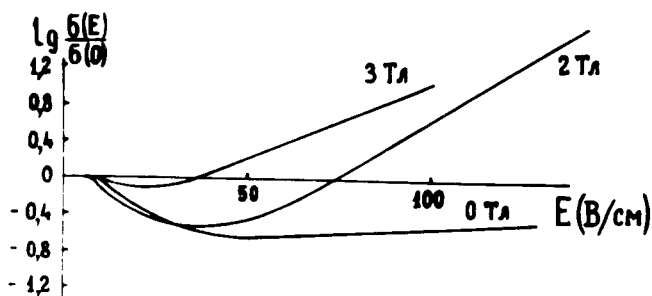


Рис. 2. Зависимость проводимости от электрического поля при различных значениях магнитного поля, $T = 1,6$ К

Суперлинейная ВАХ для прыжковой проводимости является типичной в предпробойной области электрических полей и для немагнитных полупроводников и обусловлена заметным (по сравнению с kT) изменением энергии активации в электрическом поле $\Delta\epsilon = eEl$ на длине прыжка l . Между тем, наблюдаемая в ПМП при 1,6 К сублинейная ВАХ в области сравнительно слабых полей E может быть обусловлена механизмом^{2,3}, учитывающим направленную перколяцию в бесконечном кластере, по которому осуществляется прыжковый процесс, и наличием в этом кластере "мертвых концов" (тупиков). Если L — характерная длина тупиков, то при условии $eEL > kT$, часть из них, направленная по полю, будет служить ловушками для носителей заряда и уменьшать тем самым проводимость. Действительно, наблюдаемое уменьшение проводимости (рис. 2) удовлетворительно описывается выражением³

$$\sigma(E) = \sigma(0) \exp(-eEL/2kT), \quad (1)$$

при $L = 4,6 \cdot 10^{-6}$ см. Эта величина оказалась близкой к характерному периоду перколяционной сетки $L_0 = (1/3)(1,74N_A^{1/3}/a)^{\nu}N_A^{-1/3}$ (критический индекс $\nu \approx 1$, a — эффективный радиус состояния примесного центра)³. Особенность ПМП проявляется в зависимости ВАХ от магнитного поля и связана с известным эффектом увеличения a с ростом H и сопутствующим уменьшением L , приводящим к ослаблению эффекта $\sigma(E)$ в (1).

Отсутствие сублинейной ВАХ при 4,2 К не противоречит проведенным оценкам, если учесть, что роль экспоненциального фактора в (1) в данном случае ослаблена как из-за непосредственного вклада T , так и из-за сравнительно большого радиуса возбужденных поляронных со-

¹⁾ В данном сообщении мы не будем останавливаться на особенностях пробойных характеристик, заслуживающих специального рассмотрения, а ограничимся анализом области полей $E < E_2$.

стояний, которые определяют прыжковый перенос заряда. Магнитное поле дает дополнительный вклад в увеличение α (уменьшение L), увеличивая $\sigma(E)$ в данной области температур.

Таким образом, наблюдаемые особенности зависимостей ВАХ от магнитного поля и температуры объясняются эффектами перестройки акцепторных состояний и спиновыми флуктуациями в спектре обменно-связанных локализованных дырок и магнитных ионов.

Авторы благодарны С.М.Рябченко, Т.Дитлу и П.Янишевскому за полезное обсуждение результатов работы.

Литература

1. *Беляев А.Е. и др.* Письма в ЖЭТФ, 1988, **48**, 623.
2. *Брыксин В.В. и др.* ФТТ, 1980, **22**, 1403.
3. *Аладашвили Д.И. и др.* Письма в ЖЭТФ, 1988, **47**, 390.

Институт полупроводников
Академии наук Украинской ССР

Поступила в редакцию
8 января 1990 г.