

ДЕФОРМАЦИОННАЯ КОРРЕЛЯЦИЯ АВТОЛОКАЛИЗОВАННЫХ СОСТОЯНИЙ

В $Pb_{1-x}Sn_xTe(In)$

Б.А.Акимов, Н.Б.Брандт, А.В.Никорич,

Л.И.Рябова, В.В.Соковишин

Обнаружено, что при увеличении содержания In в $Pb_{1-x}Sn_xTe(In)$ свыше $C_{In} \sim 2$ ат.% происходит сильное уменьшение времен жизни неравновесных электронов и значений критического поля гашения фотопроводимости (ФП). Кинетика ФП при $C_{In} \gtrsim 2$ ат.%, $T < 20$ К свидетельствует о возможности коррелированной перестройки примесных центров.

1. По существующим представлениям ^{1 2} захват или выброс электрона из автолокализованного состояния в сплавах $Pb_{1-x}Sn_xTe(In)$ (а также в некоторых других материалах ³) сопровождается локальной перестройкой решетки (сильным смещением атомов) вокруг примесного центра (ПЦ), в результате чего между локализованным и делокализованным состояниями электрона возникает барьер, обуславливающий явление „задержанной“ ФП при $T < 20$ К. До сих пор теоретически и экспериментально (см. ссылки к работам ^{1 2}) исследовалась ситуация, когда расстояние между ПЦ было настолько велико, что взаимодействие центров посредством полей упругих деформаций не учитывалось. Вместе с тем можно ожидать, что при увеличении концентрации таких центров взаимодействие между ними станет настолько большим, что изменение зарядового состояния ПЦ приобретет корреляционный характер, так как перестройка одного из центров будет повышать вероятность перестройки соседних. Естественно, что при этом свойства образцов должны качественно измениться. В настоящей работе исследовался характер изменения кинетики ФП у сплавов $Pb_{0,75}Sn_{0,25}Te(In)$ *n*-типа проводимости при увеличении количества введенной примеси C_{In} до 2,6 ат.% (предельная растворимость In в исследуемых сплавах по оценкам составляет 5 - 7 ат.%).

2. Монокристаллы выращивались как методом зонной сублимации, так и из раствор-расплава по методу движущегося нагревателя. Легирование индием осуществлялось в процессе синтеза. Концентрация In определялась методом искровой масс-спектрометрии. Образцы, размером 0,5 x 0,9 x 5 мм³ помещались в вакуумируемую экранирующую металлическую камеру, охлаждаемую гелием. В качестве источника ИК-подсветки использовалось нагреваемое протекающим током угольное сопротивление. Температуры образца (T) и теплового источника (T^*) контролировались термopарами. Результаты измерений сводятся к следующему.

3. В сплавах с $C_{In} \gtrsim 0,5$ ат.% (далее № образца будет численно совпадать с C_{In} в ат.%) темновое ($T = T^*$) удельное сопротивление ρ_T возрастает с понижением температуры до значений $\rho_T \gtrsim 10^6$ Ом · см при $T < 10$ К, так как при $x \cong 0,25$ локальный уровень ϵ_i ^{1 2}, стабилизирующий уровень Ферми, расположен в запрещенной зоне. Включение подсветки уменьшает сопротивление образцов на несколько порядков. Световое (R_c) и темновое (R_T) сопротивления резко различаются между собой при $T < T_c$. Для сплавов с $C_{In} \gtrsim 0,5$ ат.% $T_c \sim 19 - 22$ К, для сплава 2,6 $T_c \cong 15,2$ К. Стационарные значения R_c при фиксированной температуре $T^* = 25$ К монотонно увеличиваются с ростом C_{In} : от 10^{-1} Ом для сплава 0,5 до 10^6 Ом для сплава 2,6, что эквивалентно уменьшению сигнала примесной ФП.

Падение ФП с ростом C_{In} не может быть связано с уменьшением числа электроактивных центров, так как при сближении *L*-зон под давлением в металлической фазе сплавов концентрация электронов достигает $5 \cdot 10^{16}$ см⁻³. Изменение люксамперной и спектральной характеристик ФП также не является определяющим фактором, поскольку при увеличении T^* до 100 К (при этом $T \sim 4,3$ К) R_c дополнительно понижается на более чем на порядок. Для толщин образца $d > k^{-1}$ ФП не зависит от коэффициента поглощения k . Поэтому единствен-

ной причиной падения ФП остается уменьшение времен жизни фотовозбужденных электронов.

4. Кинетика спада ФП в полях $E \sim 1$ В/см при $T = 4,2$ К определяется величиной C_{In} : в сплавах 0,6; 0,8 после первоначального относительно быстрого сброса части сигнала ФП (рис.1, кривая 1) релаксация продолжается несколько часов, тогда как в сплавах 2,3; 2,6 спад ФП имеет характер срыва (рис.1, кривая 2). Повторное включение подсветки в последнем случае приводит к более быстрому начальному росту проводимости. С целью выявления причин срыва ФП исследовались статические вольт-амперные характеристики ВАХ сплавов. С учетом возможности возникновения высокоомных доменов в полях $E_k \sim 8$ В/см⁴ из-за неустойчивости типа ганновской, ВАХ построены в координатах: напряжение U на всем образце – ток J (рис.2). Световые ветви с точками максимума S для образцов с $C_{In} < 2$ ат.% описываются тепловой теорией⁵. Как следует из приведенных данных, максимальный ток ФП с увеличением C_{In} уменьшается на ~ 3 порядка и при $C_{In} \gg 2$ ат.% вид ВАХ качественно изменяется. Точки (x) рис.2 соответствуют максимальным зарегистрированным токам, а фактически стационарные состояния описываются некоторым набором разбросанных точек (см. вставку), свидетельствующих о том, что система состоит из неэквивалентных неупорядоченных областей. Напряжение срыва для образца 2,3 составляет 10 мВ, тогда как при $C_{In} < 1$ ат.% кинетика спада ФП не зависит от U вплоть до 5 В. Низкие U , разумеется, не исключают высоких локальных значений поля E в образце.

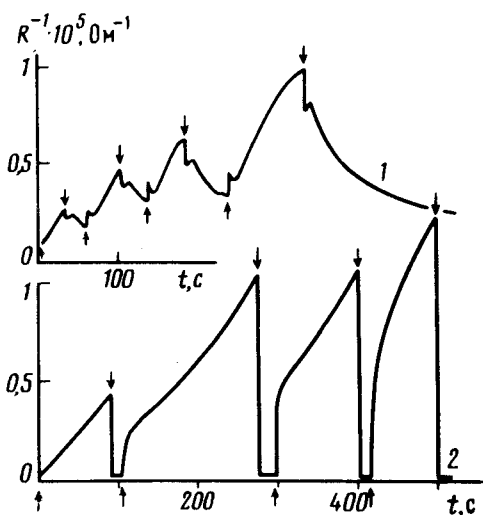


Рис.1. Кинетика нарастания и спада сигнала ФП в образцах 0,6 (кривая 1) и 2,3 (кривая 2). Стрелками показаны моменты включения (\uparrow) и выключения (\downarrow) подсветки: $T^* = 12,3$ К, $T = 4,2$ К

5. Уменьшение ФП в сплавах с высоким C_{In} не может быть связано с более сильной неоднородностью системы. В исследованных образцах подвижность электронов не отличается от зонной: при $T \sim 10$ К $\mu \sim 2 \cdot 10^5$ см²/В · с. Даже если предположить существенное возмущение края зоны проводимости, рекомбинирующие электроны и заряженные центры не могут скапливаться в одних и тех же областях, как происходит при „контравариантной“ модуляции зон⁶, поскольку проводимость по стабилизирующему локальному уровню отсутствует. Неоднородность сплавов $Pb_{1-x}Sn_xTe(In)$ может быть создана искусственно дополнительным введением примесей с низкой растворимостью (Cd, Zn) или введением малого количества In, когда не выполняется условие стабилизации положения уровня Ферми. Исследования кинетики ФП показывают, что времена жизни неравновесных электронов в таких системах при $T = 4,2$ К неопределенно велики: $\tau > 10^5$ с.

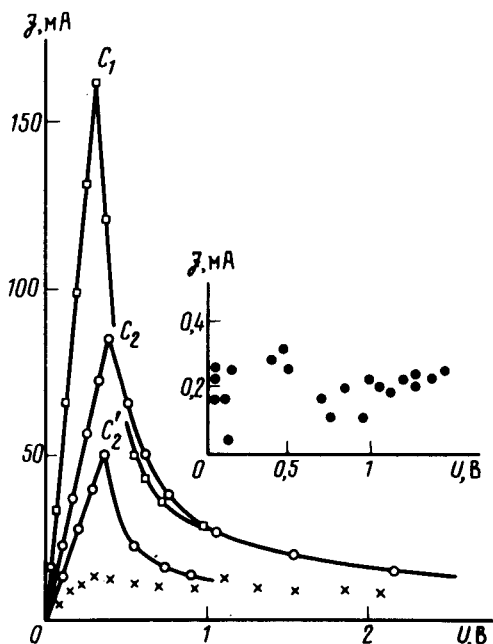


Рис.2. Семейство ВАХ сплавов $Pb_{0,75}Sn_{0,25}Te(In)$ с различным значением C_{In} : ■ - 0,6; ○ - 0,8; x - 2,3; ● - 2,6. Для кривой с точкой C_2' $T^* = 16$ К, для остальных - $T^* = 21$ К, на вставке - $T^* = 70$ К

6. Указанные выше особенности наиболее естественно связать с существованием деформационной корреляции ПЦ, вытекающей из теоретических представлений¹⁻³ При такой корреляции перестройка одного из центров за время, определяемое скоростью звука, вызывает перестройку ряда соседних ПЦ. С ростом C_{In} число таких соседей увеличивается, что и ведет к уменьшению эффективных времен жизни ФП. Наконец, при высоких C_{In} возможен спонтанный или вызванный случайным малым воздействием распад системы на ряд неэквивалентных макрообластей. Проводимость такой структуры в условиях фотоионизации ПЦ возможна лишь при образовании некоторого проводящего кластера. Срыв ФП эквивалентен разрыву этого кластера. Повторная подсветка быстро восстанавливает проводимость (рис.1, кривая 2).

В заключение нам хотелось бы обратить внимание на то, что спонтанная делокализация может быть использована для усиления звукового импульса, распространяющегося в системе, если его амплитудное значение превышает порог деформации, необходимый для процесса делокализации.

Авторы благодарят Ю.М.Кагана и О.А.Панкратова за полезные дискуссии.

Литература

1. Каган Ю., Кикоин К.А. Письма в ЖЭТФ, 1980, 31, 367.
2. Волков Б.А., Панкратов О.А. ДАН СССР, 1980, 255, 93.
3. Раиба Э.И. Изв. АН СССР, сер. физ., 1976, 40, 1793.
4. Акимов Б.А., Брандт Н.Б., Никифоров В.Н. Письма в ЖТФ, 1983, 9, 1438.
5. Akitov B.A., Brandt N.B., Kerner B.S., Nikiforov V.N., Chudinov S.M. Sol.St. Comm., 1982, 43, 31.
6. Петросян С.Г., Шик А.Я. Письма в ЖЭТФ, 1982, 35, 357.