

ФИЗИКА ТВЕРДОГО ТЕЛА

УДК 621.315.592

ПЕРЕХОД МЕТАЛЛ—ДИЭЛЕКТРИК, ИНДУЦИРОВАННЫЙ
ЭЛЕКТРОННЫМ ОБЛУЧЕНИЕМ, В СПЛАВЕ $Pb_{1-x}Sn_xSe$ ($x=0,25$)

Н. Б. Брандт, В. П. Дубков, Г. В. Иванова, Е. А. Ладыгин, Е. П. Скипетров

(кафедра физики низких температур)

Показано, что электронное облучение сплава $Pb_{1-x}Sn_xSe$ ($x=0,25$) n -типа приводит к уменьшению концентрации свободных электронов и фазовому переходу металл—диэлектрик в результате появления в запрещенной зоне сплава зоны локальных состояний, связанных, по-видимому, с вакансиями селена.

Долгое время считалось, что в халькогенидах свинца и сплавах на их основе энергетические уровни собственных дефектов сливаются с краями разрешенных зон; поэтому при понижении температуры в нелегированных кристаллах не происходит вымораживания носителей заряда и вплоть до самых низких температур концентрация свободных электронов или дырок остается высокой ($n, p \gtrsim 10^{17} \text{ см}^{-3}$). Численные расчеты энергетического спектра собственных дефектов в халькогенидах свинца [1—4] показали, что уровни простейших точечных дефектов (вакансии и междоузельные атомы в подрешетках металла и халькогена) находятся в разрешенных зонах, причем наиболее близко к краям разрешенных зон расположены уровни вакансии халькогена, находящиеся в зоне проводимости. Однако аналитическая теория энергетического спектра вакансий, развитая в работе [5], предсказывает изменение положения уровня вакансий халькогена при увеличении содержания олова в сплавах типа $Pb_{1-x}Sn_xTe$ — уровень вакансий халькогена должен опускаться вниз по энергии и при определенных составах может оказаться в запрещенной зоне сплава.

В работе [6] сообщалось о появлении под действием электронного облучения в зоне проводимости сплава $Pb_{1-x}Sn_xSe$ ($x=0,125$) локального уровня, связанного, вероятно, с вакансиями селена. Можно предположить, что в сплавах $Pb_{1-x}Sn_xSe$ с инверсным спектром ($x > 0,15$) локальный уровень находится в запрещенной зоне.

В настоящей работе исследовано влияние облучения быстрыми электронами ($T_{обл} \approx 300 \text{ К}$, $E=6 \text{ МэВ}$, $\Phi \leq 1,3 \cdot 10^{17} \text{ см}^{-2}$) на электрофизические свойства монокристаллов $Pb_{1-x}Sn_xSe$ ($x=0,25$) n -типа ($n=(4 \div 5) \cdot 10^{17} \text{ см}^{-3}$). Обнаружено, что при $T=4,2 \text{ К}$ у всех исследованных образцов удельное сопротивление, коэффициент Холла (рис. 1) и период шубниковских осцилляций увеличиваются под действием облучения, что свидетельствует об уменьшении концентрации электронов в зоне проводимости исследованного сплава. Уменьшаясь с начальной скоростью $dn/d\Phi \approx 8 \text{ см}^{-1}$, концентрация свободных электронов в облученных образцах достигает значения $n \approx 10^{16} \text{ см}^{-3}$. Экстраполяция зависимости $n(\Phi)$ показывает, что при потоке облучения $\Phi^* \approx 8 \cdot 10^{16} \text{ см}^{-2}$ концентрация электронов в облученных образцах обращается в нуль. При этом же потоке облучения происходит инверсия знака коэффициента Холла и резкое (более чем на порядок) уменьшение подвижности носителей заряда при $T=4,2 \text{ К}$. Дальнейшее облучение практически не изменяет электрофизические параметры кристаллов, что указывает на достижение некоторого предельного состояния и стабилизацию положения уровня Ферми в исследованных образцах. Предельные значения электрофизических параметров исследованных образцов практически совпадают с величинами, характерными для облученных электронами кристаллов $Pb_{1-x}Sn_xSe$ ($x=0,125$) в диэлектрической фазе [6].

В окрестности точки $\Phi=\Phi^*$ качественно меняется вид температурной и полевой зависимостей коэффициента Холла облученных образцов. При потоках облучения $\Phi < \Phi^*$ коэффициент Холла в слабых магнитных полях имеет отрицательный знак во всем исследованном интервале температур ($4,2 \leq T \leq 300 \text{ К}$). Однако с ростом магнитного поля происходит сначала уменьшение абсолютной величины R_x при $T=4,2 \text{ К}$, а затем ($\Phi \leq \Phi^*$) инверсия знака коэффициента Холла (рис. 2). При увеличении потока облучения точка инверсии знака R_x сдвигается в сторону слабых магнитных полей. В области $\Phi > \Phi^*$ коэффициент Холла при $T=4,2 \text{ К}$ положителен во всем исследованном интервале магнитных полей ($B \leq 7 \text{ Тл}$), но при увеличении температуры наблюдается инверсия знака R_x . Причем с ростом потока облучения происходит сдвиг точки инверсии в сторону высоких температур.

Полученные результаты находят удовлетворительное объяснение в рамках следующей модели. Под действием электронного облучения в запрещенной зоне сплава $Pb_{1-x}Sn_xSe$ ($x=0,25$) появляется локальный уровень (или локальная зона), связанный, вероятно, с вакансиями селена. Энергия активации локального уровня, определенная по температурным зависимостям удельного сопротивления, составляет $\Delta E_t = E_t - E_v \approx 0,025$ эВ. Генерация вакансий селена при электронном облучении приводит к возрастанию плотности состояний в локальной зоне и уменьшению концентрации свободных электронов за счет перетекания электронов из зоны проводимости на локальный уровень. При потоке облучения $\Phi = \Phi^*$ концентрация электронов в зоне проводимости обращается в нуль и происходит фазовый переход типа металл — диэлектрик.

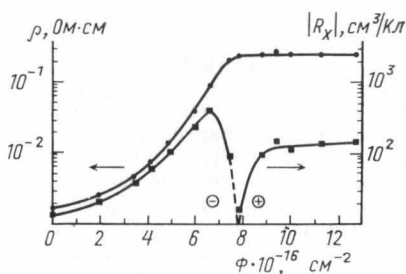


Рис. 1. Зависимости удельного сопротивления и коэффициента Холла при $T=4,2$ К сплава $Pb_{1-x}Sn_xSe$ ($x=0,25$) от потока облучения

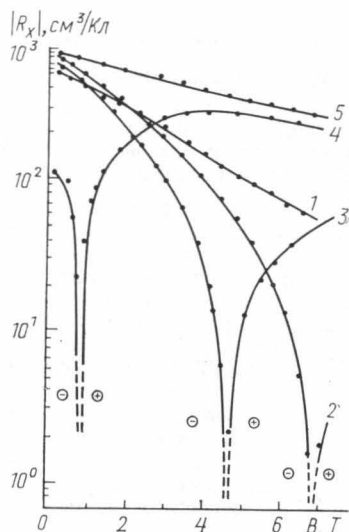


Рис. 2. Полевые зависимости коэффициента Холла при $T=4,2$ К сплава $Pb_{1-x}Sn_xSe$ ($x=0,25$) в окрестности перехода металл—диэлектрик: $\Phi \cdot 10^{-16}$, cm^{-2} : 1 — 6,7; 2 — 7,1; 3 — 7,3; 4 — 7,9 и 5 — 10,65

Характер температурных и полевых зависимостей коэффициента Холла свидетельствует о том, что в окрестности перехода сосуществуют два механизма проводимости — электронная проводимость по разрешенной зоне и дырочная проводимость по зоне локальных состояний. В диэлектрической фазе основным механизмом проводимости при низких температурах становится проводимость по зоне локальных состояний, имеющая дырочный характер, и происходит стабилизация электрофизических параметров исследованного сплава.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- [1] Parada N. J., Prañt G. W. // Phys. Rev. Lett. 1969. **22**, N 5. P. 180—182.
 [2] Parada N. J. // Phys. Rev. 1971. **B3**, N 6. P. 2042—2055. [3] Hemstreet L. A. // Phys. Rev. 1975. **B11**, N 6. P. 2260—2270. [4] Hemstreet L. A. // Ibid. **B12**, N 4. P. 1212—1216. [5] Волков Б. А., Панкратов О. А. // ЖЭТФ. 1985. **88**, № 1. С. 280—292. [6] Брандт Н. Б. и др. // ФТТ. 1987. **29**, № 1. С. 246—249.

Поступила в редакцию
13.04.87