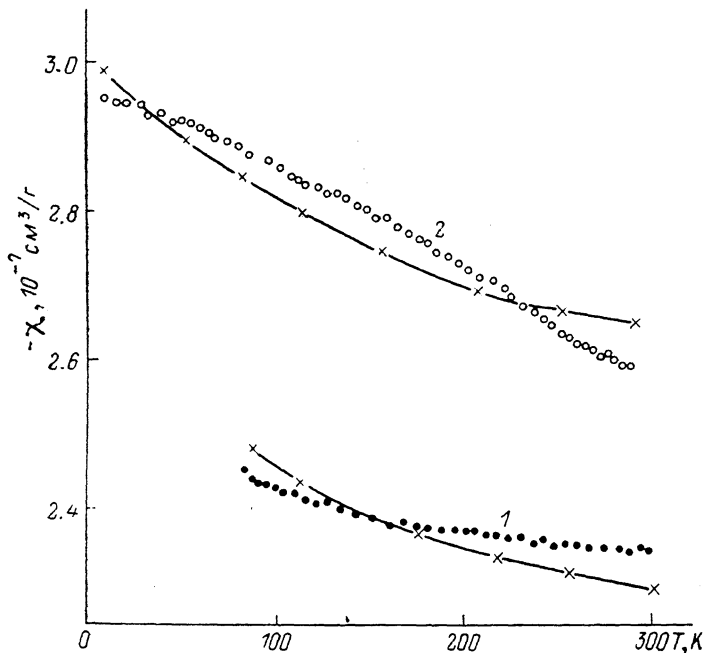


ЭЛЕКТРОННАЯ СТРУКТУРА СОБСТВЕННЫХ ДЕФЕКТОВ КРИСТАЛЛИЧЕСКОЙ РЕШЕТКИ $PbSe$ И $Pb_{1-x}Sn_xSe$

Бродовой А. В., Лашкарев Г. В., Кучеренко И. В.

Цель настоящей работы — изучение магнитной восприимчивости (МВ) кристаллов твердых растворов $Pb_{1-x}Sn_xSe$. В них обнаружены локальные состояния, принадлежащие собственным дефектам, связанным с отклонением состава от стехиометрии [1-4]. Концентрация этих дефектов примерно равна концентрации свободных электронов. Есть основания полагать, что эти дефекты связаны с вакансиями селена.

Согласно [1], энергетическое положение этих состояний зависит от x и температуры. Для $PbSe$ в области $T \sim 4.2 \div 300$ К уровни расположены в запре-



Типичные температурные зависимости МВ монокристаллов $PbSe$ (1) и $Pb_{0.86}Sn_{0.14}Se$ (2) с концентрацией электронов $\sim 3.2 \cdot 10^{18} \text{ см}^{-3}$.

Сплошные линии — теория.

щенной зоне. В $Pb_{0.86}Sn_{0.14}Se$ максимум плотности состояний расположен выше дна зоны проводимости на ~ 20 мэВ при 4.2 К и выходит в запрещенную зону при увеличении T со скоростью $\sim 2 \cdot 10^{-4}$ эВ/К.

Среди методов изучения полупроводников МВ занимает особое место. Она не зависит от механизмов рассеяния и определяется характером химической связи, зонным спектром носителей тока (НТ) и дефектами кристаллической решетки. Экспериментальные исследования МВ в зависимости от температуры, концентрации НТ и состава x дают важную информацию о структуре энергетических зон и магнитных свойствах дефектов.

Узкощелевые твердые растворы $Pb_{1-x}Sn_xSe$ относятся к слабомагнитным веществам.

Магнитная восприимчивость этих соединений исследовалась относительным методом Фарадея с помощью электронных микровесов по методике, описанной в [5].

Исследованы кристаллы $PbSe$ и $Pb_{0.86}Sn_{0.14}Se$ с концентрацией электронов $\sim 3.2 \cdot 10^{18} \text{ см}^{-3}$. Большое внимание уделялось контролю однородности. Сначала

с помощью термозонда устанавливалось отсутствие в кристалле $p-n$ -переходов. Затем проводились измерения электропроводности на противоположных граничных кристаллов и холловского напряжения на двух парах зондов. Образец считался однородным, если различия между этими величинами не превышали 10 %.

Типичные температурные зависимости МВ PbSe и $Pb_{0,86}Sn_{0,14}Se$ приведены на рисунке. Видно, что МВ диамагнитна и уменьшается по абсолютной величине.

МВ узкощелевых полупроводников типа $A^{IV}B^{VI}$ может быть представлена в виде суммы особой χ_{oc} и регулярной $\chi_{рег}$ частей [6]; χ_{oc} зависит от состава, температуры и химического потенциала. При малых межзонных зазорах E_g основной вклад в МВ возникает от интегрирования по малой окрестности точек L , где локализованы экстремумы зон. Вклад более глубоких состояний $\chi_{рег}$ не зависит от температуры.

Нами выполнен расчет МВ по формулам, приведенным в [6], с использованием параметров $P_{\perp, \parallel}$, $m_{\perp, \parallel}^{\pm}$, $g_{\perp, \parallel}^{\pm}$, полученных в работах [7, 8]. Теория удовлетворительно описывает эксперимент с использованием параметра $\chi_{рег} \sim 25 \times 10^{-8}$ см³/г.

Мы не обнаружили парамагнитного вклада в МВ ни в PbSe, ни в $Pb_{0,86}Sn_{0,14}Se$. Так как локализованные состояния, связанные с вакансиями селена, расположены под уровнем Ферми ($E_F = 40$ мэВ для PbSe и 70 мэВ для $Pb_{0,86}Sn_{0,14}Se$), можно предположить, что находящиеся на них два электрона имеют антипараллельную ориентацию спинов.

С повышением температуры уровни смещаются к краю зоны проводимости и при $T \geq 100$ К выходят в запрещенную зону. Тепловое возбуждение электронов приводит к опустошению уровней, которые в этом случае также являются немагнитными и не влияют на МВ кристалла.

Авторы работы [9] пришли к выводу, что при низких температурах вакансия теллура в $Pb_{1-x}Sn_xTe$, являясь двукратно заряженной, связывает два электрона и проявляется как парамагнитный центр со спином $S=1$. В $Pb_{1-x}Sn_xTe$ наблюдаются аномальные зависимости коэффициента Холла от напряженности магнитного поля [1, 2], и одной из возможных причин, вызывающих эти особенности, может быть магнитный момент, локализованный на вакансиях.

Однако, по нашим оценкам, концентрация таких центров в $Pb_{0,86}Sn_{0,14}Se$ и PbSe не превышает $\sim 10^{12}$ см⁻³, иначе их вклад в МВ был бы существенным и наблюдался в эксперименте при низких температурах.

Таким образом, ни в одном из исследованных образцов не наблюдается влияние локализованных состояний на магнитную восприимчивость. Отсюда можно сделать вывод о том, что на уровне находятся два электрона с противоположной ориентацией спинов ($S=0$).

Список литературы

- [1] Копыловский П. Д., Кучеренко И. В., Свистов А. Е. // ФТП. 1987. Т. 21. В. 11. С. 1256—1260.
- [2] Ицкевич Е. С., Каширская Л. М., Кучеренко И. В., Панкратов О. А., Свистов А. Е., Шотов А. П. // Письма ЖЭТФ. 1986. Т. 43. В. 6. С. 303—306.
- [3] Вейс А. Н. // ДАН СССР. 1986. Т. 289. В. 6. С. 1355—1360.
- [4] Lischka K. // Phys. St. Sol. 1986. V. 133. N 1. P. 17—46.
- [5] Lashkarev G. V., Migley D. F., Shevchenko A. D., Tovstyuk K. D. // Phys. St. Sol. (B). V. 161. N 63. P. 663—668.
- [6] Фальковский Л. А., Бродовой А. В., Лашкарев Г. В. // ЖЭТФ. 1981. Т. 80. В. 1. С. 334—348.
- [7] Брандт Н. Г., Белоусова Н. И., Зломанов В. П., Пономарев Я. Г., Скипетров Е. И., Штанов В. И. // ЖЭТФ. 1975. Т. 74. В. 2. С. 646—657.
- [8] Бродовой А. В., Лашкарев Г. В., Радченко М. В., Товстык К. Д. // ФТП. 1984. Т. 18. В. 4. С. 610—614.
- [9] Браташевский Ю. А., Прозоровский В. Д., Харионовский Ю. С. // ФТП. 1977. Т. 11. В. 1. С. 195—197.