

позициях. Следует отметить, что указанная асимметрия внешних линий спектра, соответствующих ионам Fe (A), характерна и для шпинели с $x = 0.9$, для которой линии, обусловленные ионами Fe (B), уже имеют заметную интенсивность. Существование магнитно-неэквивалентных положений для ионов Fe (A) косвенным образом указывает на слабую связь магнитных моментов ионов Fe (B) с магнитной структурой кристалла в целом. Это обстоятельство предопределяет возможность угловых магнитных конфигураций для ионов Fe (B) и в области замещений ионами меди $0.5 < x < 0.9$.

Список литературы

- [1] Зарицкий В. Н., Садыков Р. А., Костюк Я. И., Сизов Р. А., Аминов Т. Г., Губайдуллин Р. К., Сафин Ш. Р. // ФТТ. 1986. Т. 28. № 11. С. 3292—3298.
- [2] Гуденаф Д. Магнетизм и химическая связь. М.: Металлургия, 1968. 328 с.
- [3] Rosenzweig A. // Canad. J. Phys. 1970. V. 48. N 23. P. 2857—2867.

Казанский авиационный институт
им. А. Н. Туполева

Поступило в Редакцию
11 ноября 1991 г.

УДК 536.63

© Физика твердого тела, том 34, № 6, 1992
Solid State Physics, vol. 34, N 6, 1992

ТЕПЛОЕМКОСТЬ $TlIn_{1.8}Se_{0.2}$ В ИНТЕРВАЛЕ ТЕМПЕРАТУР 60—300 К

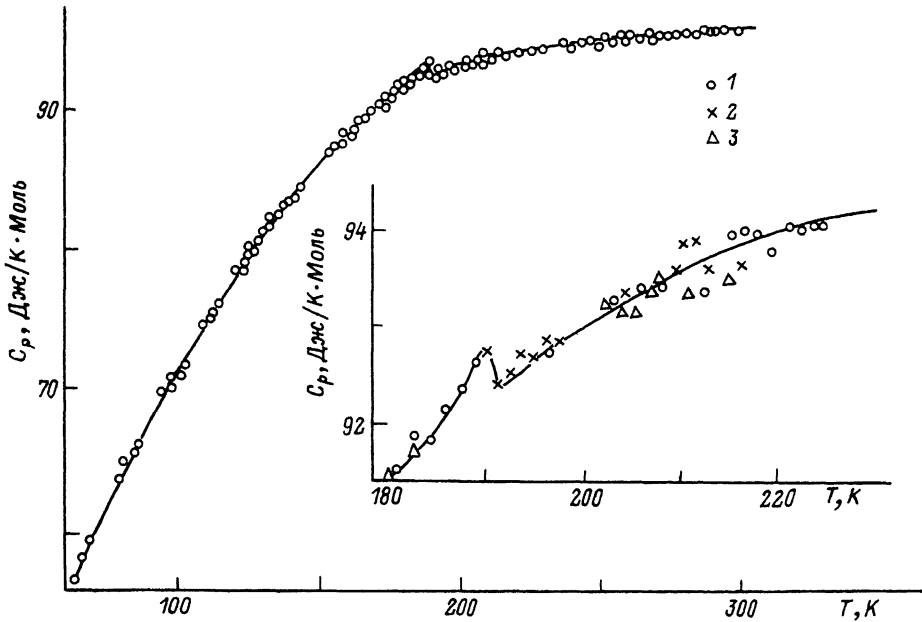
Н. П. Теханович, А. У. Шелег, В. А. Алиев

В кристаллах слоистых полупроводников $TlInS_2$ при исследовании диэлектрических, тепловых, упругих и кристаллографических свойств $[^{1-8}]$ в температурных зависимостях обнаружен целый ряд аномалий. Эти аномалии интерпретируются как наличие в этих кристаллах последовательности фазовых переходов, обусловленных существованием промежуточной несоизмеримой фазы, через которую происходит переход в соизмеримую сегнетоэлектрическую фазу.

Несмотря на большое число работ, посвященных исследованию фазовых переходов в $TlInS_2$, в опубликованных данных наблюдается значительное расхождение как по количеству обнаруженных аномалий в одном и том же интервале температур, так и по их положению на температурной шкале. Однако в большинстве работ, посвященных исследованию фазовых переходов в $TlInS_2$, общим является то, что в окрестностях температур $T_1 \approx 217$ К, $T_2 \approx 197$ К и $T_3 \approx 170$ К обнаружены аномалии в температурных зависимостях различных физических свойств. В $[^5]$ методом дифракции нейтронов в интервале температур $T_f - T_c = 216 \div 200$ К установлено наличие длиннопериодической несоизмеримой модулированной структуры, которая при $T < 200$ К переходит в соизмеримую с учетом элементарной ячейки вдоль оси z .

Целью настоящей работы было исследование теплоемкости слоистых полупроводников $TlIn_{1.8}Se_{0.2}$ в широкой области температур и выяснение особенностей поведения теплоемкости в области существования несоизмеримой фазы при замене легких атомов серы более тяжелыми атомами селена.

Измерения теплоемкости C_p слоистых кристаллов $TlIn_{1.8}Se_{0.2}$ проводились в области температур 60—300 К в вакуумном адиабатическом калориметре, описание которого приведено в $[^9]$.



Температурная зависимость теплоемкости $\text{TlInS}_{1.8}\text{Se}_{0.2}$.

Образец массой 17.0013 г помещался в калориметр объемом 10 см³, который запаивался в атмосфере гелия. Измерения проводились при дискретном вводе тепла в калориметр через интервалы температур 1—1.5 К. Скорость нагревания калориметра 0.03—0.05 К/мин. Погрешность измерения теплоемкости, оцененная по образцовой мере I разряда из кварца марки КВ, не превышала 0.3% в исследуемом интервале температур.

Результаты измерений теплоемкости приведены на рисунке. Экспериментальные значения теплоемкости, обозначенные точками 1, 2, 3, относятся к различным сериям измерений. Как видно из этого рисунка, на зависимости теплоемкости от температуры наблюдается аномалия в виде четкого максимума при температуре 190 К. Методом графического интегрирования определена энтальпия перехода, которая равна 18.9 Дж/моль. В области температур 210—218 К наблюдается разброс значений теплоемкости в различных сериях измерений, значительно превышающий по величине погрешность измерения. Сравнивая литературные данные как по теплоемкости [2], так и по другим физическим свойствам [3–8] для чистых кристаллов TlInS_2 с нашими результатами, можно утверждать, что аномалии на температурной зависимости теплоемкости при $T_i = 208 \div 218$ К и $T_c = 190$ К соответствуют температурам фазовых переходов симметричная—несоизмеримая фаза и несоизмеримая—соизмеримая соответственно. Обращает на себя внимание вид аномалий на экспериментальной зависимости теплоемкости от температуры. В окрестности точки T_i наблюдается флуктуационный разброс значений теплоемкости для разных серий измерений и практически невозможно определить форму аномалий, в то время как при T_c наблюдается четко выраженный максимум. Это согласуется с теоретическими представлениями о том, что, как правило, переход симметричная—несоизмеримая фаза является переходом II рода, а переход из несоизмеримой в соизмеримую фазу — I рода [10]. Подчеркнем, что измерение теплоемкости образцов $\text{TlInS}_{1.8}\text{Se}_{0.2}$ нами проводилось в режиме нагревания со скоростью 0.04 К/мин.

Следует отметить, что по сравнению с литературными данными по исследованию различных физических свойств чистых TlInS_2 [1–8], где $T_i \approx 217$ К, $T_c \approx$

T, K	C_p	$S(T) - S_{65}$	$H(T) - H_{65}$	$\Phi(T) - \Phi_{65}$
	Дж/К·моль			
65	57.005	0.000	0.000	0.000
70	59.455	4.316	291.15	0.149
80	64.004	12.555	908.45	1.180
90	67.300	25.202	1990.75	4.363
100	71.015	30.959	2536.83	6.353
110	74.633	39.899	3472.64	9.851
120	78.039	46.784	4268.47	12.87
130	80.406	54.808	5273.07	16.71
140	83.442	59.353	5898.1	18.95
150	85.819	65.753	6827.6	22.26
160	87.797	67.687	7134.7	23.24
170	89.834	74.921	8333.6	27.03
180	91.406	80.680	9346.2	30.22
190	92.677	88.429	10785	34.77
200	93.045	95.096	12090	38.96
210	93.743	99.555	13013	41.86
220	93.991	105.702	14338	45.99
230	94.368	106.945	14622	46.85
240	94.557	110.501	15459	49.25
250	94.687	115.099	16591	52.42
260	95.094	120.181	17890	56.03
270	95.142	124.321	18984	59.07
280	95.110	127.371	19828	61.32
290	95.330	130.712	20780	63.82
300	95.550	133.948	21735	66.26

≈ 197 К, для $\text{TlInS}_{1.8}\text{Se}_{0.2}$ нами получены значения $T_i \approx 213$ К, $T_c = 190$ К. При замене атомов S на более тяжелые атомы Se происходит смещение границ существования несоизмеримой фазы в область более низких температур. В нашем случае точки фазовых переходов T_i и T_c сместились в сторону низких температур примерно на 5 К. Аналогичные результаты получены в [11], где проводилось исследование несоизмеримых фаз в твердых растворах $\text{Sn}_2\text{P}_2(\text{S}_{1-x}\text{Se}_x)_6$. При замене атомов S более тяжелыми атомами Se происходит резкое перемещение области существования несоизмеримой фазы в сторону низких температур.

По измеренным значениям теплоемкости в зависимости от температуры $\text{TlInS}_{1.8}\text{Se}_{0.2}$ рассчитаны термодинамические функции: энтропия $S(T)$, энтальпия $H(T)$ и приведенная энергия Гиббса $\Phi(T)$. Сглаженные значения теплоемкости и термодинамических функций $\text{TlInS}_{1.8}\text{Se}_{0.2}$ приведены в таблице.

Список литературы

- [1] Волков А. А., Гончаров Ю. Г., Козлов Г. В., Аллахвердиев К. Р., Сардарлы Р. М. // ФТТ. 1983. Т. 25. № 12. С. 3583—3585.
- [2] Mamedov R. K., Abdullaev A. M., Kerimova E. M. // Phys. Stat. Sol. (a). 1986. V. 94. P. 115-119.
- [3] Abdullaev N. A., Allakhverdiev K. R., Belenkii G. L., Mamedov T. G., Suleimanov R. A., Sharifov Ja. N. // Solid St. Comm. 1985. V. 53. N 7. P. 601—602.
- [4] Аллахвердиев К. Р., Гусейнов С. С., Мамедов Т. Т., Штейншрайбер В. Я. // ДАН АзССР. 1988. Т. 44. № 1. С. 26—29.
- [5] Вахрушев С. Б., Жданова В. В., Квятковский Б. Е., Окунева Н. М., Аллахвердиев К. Р., Алиев Р. А., Сардарлы Р. М. // Письма в ЖЭТФ. 1984. Т. 39. № 6. С. 245—247.
- [6] Илисовский Ю. В., Стерлин В. М., Сулейманов Р. А., Салаев Ф. М., Сеидов М. Ю. // ФТТ. 1991. Т. 33. № 1. С. 104—109.
- [7] Гололобов Ю. П., Саливов И. Н. // ФТТ. 1991. Т. 33. № 1. С. 298—299.
- [8] Глюц О. Б., Шелег А. У., Алиев В. А., Гусейнов Г. Д. // ФТТ. 1989. Т. 31. № 7. С. 257—260.
- [9] Коврянов А. Н., Чашкин Ю. Р. // Измерит. техн. 1976. № 3. С. 31—35.

- [10] Струков Б. А., Леванюк А. П. Физические основы сегнетоэлектрических явлений в кристаллах. М., 1983. С. 218.
 [11] Парасмян Т. К., Хасанов С. С., Шехтман В. Ш. // ФТТ. 1987. Т. 29. № 6. С. 1665—1668.

Институт физики твердого тела
 и полупроводников АН Белоруссии
 Минск

Поступило в Редакцию
 16 декабря 1991 г.

УДК 621.315

© Физика твердого тела, том 34, № 6, 1992
 Solid State Physics, vol. 34, N 6, 1992

МЕТАСТАБИЛЬНОСТЬ ОПТИЧЕСКОЙ ПОЛЯРИЗАЦИИ ЯДЕРНЫХ МОМЕНТОВ В КРЕМНИИ

Н. Т. Баграев, И. С. Половцев, А. Юсупов

Цинк в кремнии проявляет акцепторные свойства и формирует два взаимосвязанных глубоких уровня [1, 2]. По данным фотоемкостной спектроскопии и фото-ЭПР [3-5], изолированный центр цинка представляет собой negative-U дефект, вследствие чего парамагнитное Zn⁻-состояние нестабильно и спонтанно диссоциирует в решетке кремния



При этом перезарядка дефекта сопровождается туннелированием центра между позициями различной симметрии (Zn⁻-C_{3v}, Zn⁻-C_{2v}, Zn⁰-D_{2d}) [6]. В пользу туннельной природы изолированного центра цинка свидетельствует также несовпадение значений энергий уровней, полученных из холловских, DLTS и фотоемкостных измерений [1-3, 6-9]. Кроме того, энергии термо- и фотоионизации данного центра изменяются за счет эффекта Штарка в условиях внешнего электрического поля [6], что затрудняет интерпретацию результатов, полученных с помощью электрофизических методик. В настоящей работе поведение изолированного центра цинка изучалось методом оптической поляризации ядерных моментов (ОПЯ) [5, 10, 11], которая дает возможность исследовать процессы перезарядки точечного дефекта в отсутствие электрического поля.

В работе использовались образцы кремния n-типа с исходным удельным сопротивлением 10 Ом·см. Цинк вводился путем высокотемпературной диффузии (1100 °С) с последующей закалкой образцов в масле. После легирования образцы изменяли тип проводимости.

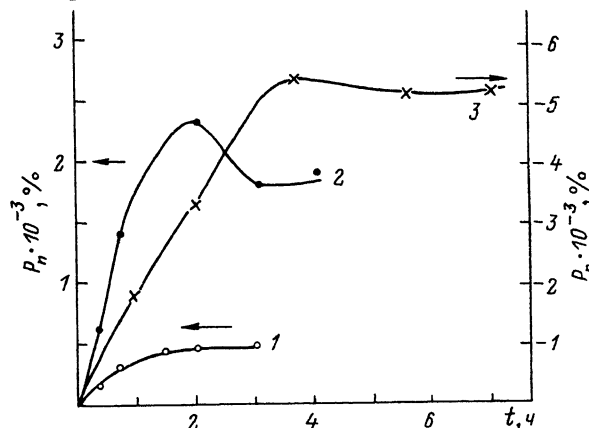


Рис. 1. Зависимость степени ОПЯ от времени оптической накачки в кремнии, содержащем центры фосфора и цинка. $H_0 = 1$ (1), 5 (2), 50 Э (3).