

НИЗКОТЕМПЕРАТУРНАЯ АНОМАЛИЯ СКОРОСТИ УЛЬТРАЗВУКА

В $Pb_{0,75}Sn_{0,25}Te(In)$

А.Н.Васильев, Ю.П.Гайдуков, В.Н.Никифоров

Предложен новый метод изучения акустических свойств полупроводников с использованием явления прямого преобразования электромагнитных и ультразвуковых волн. В теллуриде свинца—олова, легированном индием, при $T \sim 20K$ обнаружена аномалия скорости продольного ультразвука, которая связывается с переходом кристалла в сегнетоэлектрическую фазу.

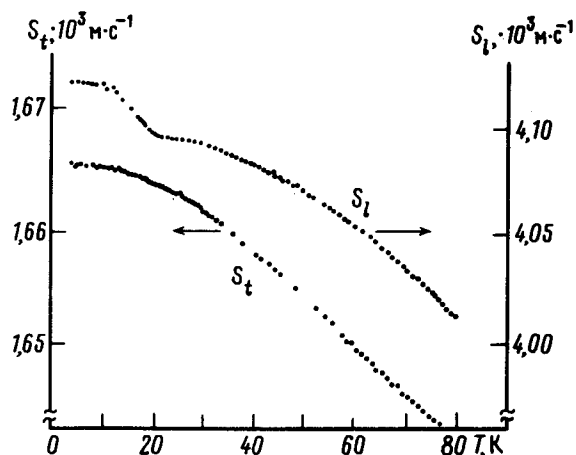
Возможность практического применения теллуридов свинца—олова в качестве источников и приемников излучения в дальней инфракрасной области спектра, в молекулярной спектроскопии высокого разрешения, газовом анализе и т. д. делает эти полупроводниковые соединения объектом интенсивного экспериментального и теоретического изучения. Термы, определяющие запрещенную зону в $PbTe$ и $SnTe$, взаимно инвертированы, поэтому с изменением состава в $Pb_{1-x}Sn_xTe$ происходит плавное уменьшение ширины запрещенной зоны от нескольких десятых эВ до нуля при $x \sim 0,35$ ($T = 4 K$). Считается, что при больших x твердые растворы $Pb_{1-x}Sn_xTe$ испытывают при низких температурах сегнетоэлектрический фазовый переход, сопровождающийся ромбоэдрическим искажением их кубической решетки. Температура перехода стремится к нулю при $x \sim 0,3$, при меньших x отмечается только тенденция к решеточной неустойчивости ¹. В то время как в $SnTe$ переход в сегнетоэлектрическую фазу подтвержден рентгенографическими измерениями ², на фазовый переход в $Pb_{1-x}Sn_xTe$ имеются лишь косвенные указания. Так, в ^{3, 4} отмечались аномалии на температурных зависимостях сопротивления (минимум подвижности при T_c), смещавшиеся вверх по температуре с увеличением x , в ⁵ наблюдались аномалии диэлектрической проницаемости.

Большое влияние на свойства теллуридов свинца—олова оказывает легирование их донорной примесью, в частности, индием. Именно в $Pb_{1-x}Sn_xTe(In)$ в диапазоне составов $0,22 \leq x \leq 0,28$ при $T \sim 25 K$ обнаружены необычно высокая фоточувствительность, долговременная релаксация фотоотклика и проводимости ⁶, спонтанная поляризация ⁷, эффекты переключения и задержанного электрического пробоя ⁸. Роль примесных центров в теллуридах свинца—олова до конца не выяснена. В некоторых моделях ^{9, 10} аномальные свойства $Pb_{1-x}Sn_xTe$ объясняются не сегнетоэлектрическим переходом в теллуридах свинца—олова, а "локальным фазовым переходом" — перестройкой примесных центров (дефектов) в этих материалах. Для выяснения природы наблюдаемых аномалий представляется необходимым проведение дополнительных экспериментов, дающих информацию, в первую очередь, о решеточных свойствах кристаллов.

В настоящей работе исследовались температурные зависимости скорости поперечного S_2 и продольного S_1 ультразвука в монокристалле $Pb_{0,75}Sn_{0,25}Te$ (0,4 % In). Образец представлял собой плоскопараллельную пластину толщиной 0,12 см с поперечными размерами ~ 2 см. Нормаль к плоскости образца и направление распространения ультразвука совпадали с осью симметрии четвертого порядка $[001]$. Для генерации ультразвука использовалось явление прямого преобразования электромагнитных и ультразвуковых волн в хорошо проводящих средах ¹¹. С этой целью на обе поверхности пластины напылялась тонкая (~ 1 мкм) пленка алюминия. В присутствии постоянного магнитного поля H_0 падение электромагнитной волны на поверхность металла сопровождалось генерацией в нем ультразвука, распространявшегося затем в толщу полупроводника. Возбуждение обусловлено лоренцевым взаимодействием тока, протекающего в металлической пленке, с полем H_0 . К достоинствам метода, в частности, относится возможность возбуждения как продольного,

так и поперечного ультразвука заданной поляризации. В поле H_0 , параллельном поверхности пластины возбуждались продольные, а в нормальном к пластине H_0 генерировались поперечные ультразвуковые волны. Возбуждение и прием ультразвуковых колебаний в образце осуществлялись с помощью двух катушек, охватывающих образец. В эксперименте изучались резонансные особенности поверхностного импеданса пластины, наблюдавшиеся при установлении на ее толщине стоячих ультразвуковых волн. Частоты акустических резонансов $f_{l,t} = nS_{l,t}/2d$, $n = 1, 3, \dots$ определялись с точностью $\Delta f = 10^{-5} f_{l,t}$, что и определяет относительную точность измерения скорости ультразвука. Измерения проводились в поле $H_0 = 50$ кЭ на частотах $f \sim 10^6$ Гц в интервале температур 4 – 80 К. Температурные зависимости S_l и S_t представлены на рисунке. Вблизи $T \sim 20$ К наблюдается аномальное изменение скорости продольного ультразвука, относительная величина эффекта составляет $\Delta S/S_l \sim 0,5\%$. В этом же интервале температур скорость поперечного ультразвука не обнаруживает каких-либо особенностей.

Оценим величину аномалии упругих модулей, которая могла бы наблюдаться при перестройке примесных центров. Изменение зарядового состояния атомов индия при понижении температуры ниже 20 К сопровождается, как следует из ⁹, изменением положения примеси в кристаллической ячейке. На шкале энергий устойчивые состояния In в решетке $Pb_{1-x}Sn_xTe$ различаются на $2 \cdot 10^{-2}$ эВ. Эту величину следует сопоставить с упругим модулем теллурида свинца—олова ~ 10 эВ. В исследованном образце концентрация примеси составляет 0,4%. Таким образом, величина аномалии скорости ультразвука, связанной с перестройкой примесных центров $\Delta S/S \sim 10^{-5}$ т. е. не превышает 10^{-2} от наблюдаемого эффекта.



Зависимости скорости поперечного S_t и продольного S_l ультразвука от температуры

Наблюдающуюся при $T \sim 20$ К аномалию скорости продольного ультразвука следует интерпретировать, на наш взгляд, как проявление сегнетоэлектрического фазового перехода в теллуриде свинца—олова. Роль примеси индия заключается в понижении концентрации зонных носителей, поскольку для составов $0,22 \leq x \leq 0,28$ примесный уровень попадает в зону запрещенных энергий. Низкая концентрация свободных носителей заряда ($n \lesssim 10^{10} \text{ см}^{-3}$) ⁶ приводит к резкому ослаблению кулоновского экранирования ионов, облегчая, таким образом, формирование сегнетоэлектрических диполей в решетке кристалла. Отсутствие особенности на зависимости $S_l(T)$, как показано в ¹², обусловлено существенно меньшей (на два — три порядка) чувствительностью сдвигового модуля к флуктуациям сжимаемости вблизи фазового перехода.

В заключение авторы выражают благодарность Н.Б.Брандту, Б.А.Акимову, С.Д.Бенеславскому и А.Э.Юновичу за плодотворные обсуждения.

Литература

1. *Kawamura H.* Lect. Notes in Phys., 1980, 133, 470.
2. *Muldawer L.* J. Nonmetals, 1973, 1, 177.
3. *Takaoka S., Murase K.* Phys. Rev. B, 1979, 20, 2823.
4. *Насыбуллин Р.А., Калимуллин Р.Х., Шапкин В.В., Кухарский А.А.* Изв. АН СССР, сер. физ., 1983, 47, 702.
5. *Nishi N., Kawamura H., Murase K.* Phys. Stat. Sol. (B), 1980, 97, 581.
6. *Akimov B.A., Brandt N.B., Ryabova L.I., Sokovishin V.V., Chudinov S.M.* Low Temp. Phys., 1983, 51, 9.
7. *Herrmann K.H., Kalyuzhnaya G.A., Mollmann K.P., Wendt M.* Phys. Stat. Sol. (A), 1982, 49, K21.
8. *Akimov B.A., Brandt N.B., Kerner B.S., Nikiforov V.N., Chudinov S.M.* Solid State Comm., 1982, 43, 31.
9. *Волков Б.А., Панкратов О.А.* ДАН СССР, 1980, 255, 93.
10. *Каган Ю.М., Кикоин К.А.* Письма в ЖЭТФ, 1980, 31, 367.
11. *Васильев А.Н., Гайдуков Ю.П.* УФН, 1983, 141, 431.
12. *Ермолов А.Ф., Леванюк А.П., Сигов А.С.* ФТТ, 1981, 23, 2033.

Московский

государственный университет

им. М.В.Ломоносова

Поступила в редакцию

22 апреля 1985 г