

УДК 539.32

Васильев А. Н., Гайдуков Ю. П., Зломанов В. П.,
Никифоров В. Н., Тананаева О. И.

ВЛИЯНИЕ ХРОМА НА УПРУГИЕ СВОЙСТВА ТЕЛЛУРИДА СВИНЦА

Поиск и разработка новых материалов для электроники часто связаны с изучением трех- и четырехкомпонентных композиций на основе хорошо исследованного перспективного полупроводникового соединения. Таким примером служит ряд недавно синтезированных твердых растворов теллуридов свинца и хрома. Первые измерения электрофизических свойств $Pb_{1-x}Cr_xTe$ осуществлены в [1—3]. В настоящей работе впервые исследованы упругие свойства монокристаллов $PbTe$ и $Pb_{0,991}Cr_{0,009}Te$ в интервале 4—150 К.

Монокристаллы $PbTe$ и $Pb_{1-x}Cr_xTe$ синтезировали из компонентов особой чистоты по методу пар — жидкость — кристалл [4]. Сведения о фазовой диаграмме тройной системы $Pb—Cr—Te$ ограничены ее бинарными составляющими [5]. Растворимость теллурида хрома в теллуриде свинца невелика и составляет ~1 мол. % $CrTe$. При выращивании твердого раствора в шихту, состоявшую из свинца и теллура, хром вводили в виде $Cr_{0,5}Te_{0,5}$, полученного из компонентов при $T=1620$ К. Судя по фазовой диаграмме $Cr—Te$, состав $Cr_{0,5}Te_{0,5}$ лежит вне области гомогенности твердого раствора, однако микроскопический и рентгенодифрактометрический анализы вторую фазу в сплаве не обнаружили.

Рост проводили из шихты, состоящей из 95 мол. % $PbTe$ + 5 мол. % $CrTe$, состав которой значительно превышал величину граничной растворимости теллурида хрома в теллуриде свинца. При использовании шихты $(Pb_{1-x}Cr_x)_{0,5}Te_{0,5}$ образующаяся на поверхности кристалла жидкая пленка неустойчива. Уменьшение содержания теллура до 0,48 позволило стабилизировать условия роста и создать стационарное трехфазное равновесие в зоне конденсации. Кристаллы длиной ~5 см и диаметром 1,5 см разрезали перпендикулярно оси роста на диски толщиной 0,1—0,2 см. Нормаль к плоскостям дисков совпадала с кристаллографической осью четвертого порядка [001].

Температурные зависимости скоростей продольного и поперечного ультразвука в монокристаллах $PbTe$ и $Pb_{0,991}Cr_{0,009}Te$ изучали с использованием бесконтактной методики, основанной на электромагнитном возбуждении ультразвука в проводящих средах [6]. Суть метода заключается в том, что на обе поверхности предварительно отполированного плоскопараллельного диска наносится тонкая (~1 мкм) пленка алюминия. В этой пленке с помощью катушки индуктивности наводится переменный ток высокой частоты. В присутствии создаваемого независимым источником постоянного магнитного поля H_0 на ток в металлической пленке действует знакопеременная сила Лоренца $\vec{F}_L = [\vec{j}, \vec{H}_0]/c$, где $\vec{j}$ — плотность тока, c — скорость света.

Если поле H_0 перпендикулярно границе раздела металл — вакуум, сила Лоренца направлена вдоль поверхности. Это приводит к возбуждению поперечного ультразвука, распространяющегося затем в толщу полупроводника. В тангенциальном магнитном поле сила Лоренца действует по нормали к поверхности диска, что вызывает возбуждение продольного ультразвука. И в том и в другом случае направление распространения ультразвука совпадает с нормалью к плоскости образца и, следовательно, с кристаллографической осью [001]. Регистрацию воз-

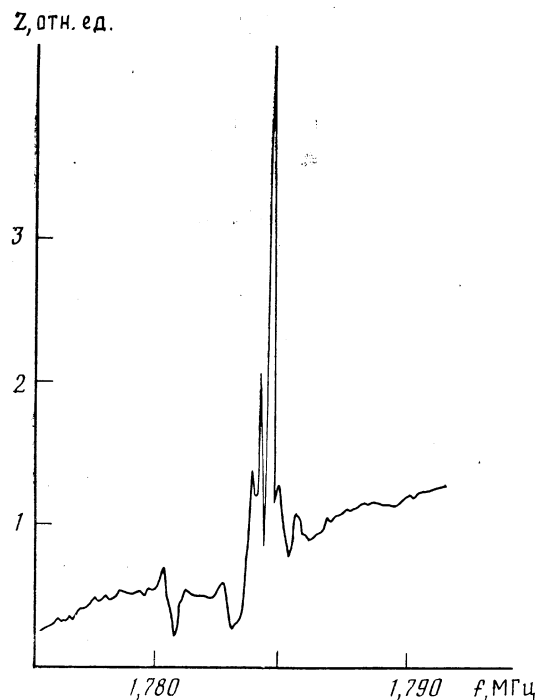


Рис. 1. Первый ($n=1$) акустический резонанс продольного ультразвука в пластине $\text{Pb}_{0,991}\text{Cr}_{0,009}\text{Te}$

буждаемого ультразвука осуществляли также с помощью катушки индуктивности за счет обратного электромагнитно-акустического преобразования.

Исследуемый образец с охватывавшими его двумя — задающей и приемной — катушками размещали на вставке, которая в свою очередь находилась в гелиевом криостате с регулируемой температурой. Магнитное поле напряженностью до 80 кЭ создавали сверхпроводящим соленоидом.

Длина волны λ возбуждаемого ультразвука простым дисперсионным соотношением связана с частотой f переменного тока в задающей катушке: $\lambda = s/f$, где s — скорость звука. Когда полуцелое число длин акустических волн сравнивается с толщиной диска d , в нем устанавливаются стоячие ультразвуковые колебания, сопровождающиеся резонансным изменением поверхностного импеданса Z образца. Акустические резонансы воспринимаются приемной катушкой и регистрируются далее стандартными радиотехническими методами. Запись акустического резонанса продольного ультразвука в монокристалле $\text{Pb}_{0,991}\text{Cr}_{0,009}\text{Te}$ представлена на рис. 1. Тонкая структура резонансного спектра обусловлена главным образом конечными в плоскости размерами диска [7].

Для неограниченной в плоскости пластины частоты акустических резонансов определяются выражением

$$f_{l,t} = ns_{l,t}/2d, \quad n=1, 3, \dots$$

где символы l и t относятся соответственно к продольной и поперечной ультразвуковым волнам. Относительная точность определения скорости ультразвука задается полушириной основного резонансного пика и составляет $(\Delta f/f_0) \approx 10^{-4} - 10^{-5}$. Абсолютная точность измерений зависит от разброса по частоте резонансной группы и не хуже $10^{-2} f_0$. Измерения проводили в диапазоне 0,4—2 МГц на частотах первых ($n=1$) акустических резонансов продольной и поперечной ультразвуковых волн.

Температурные зависимости скоростей продольной (s_l) и поперечной (s_t) ультразвуковых волн, распространяющихся вдоль кристаллографической оси [001] в монокристаллах PbTe и $\text{Pb}_{0,991}\text{Cr}_{0,009}\text{Te}$, представлены соответственно на рис. 2 и 3. Введение даже небольшого количества теллурида хрома в теллурид свинца существенно изменяет его упругие

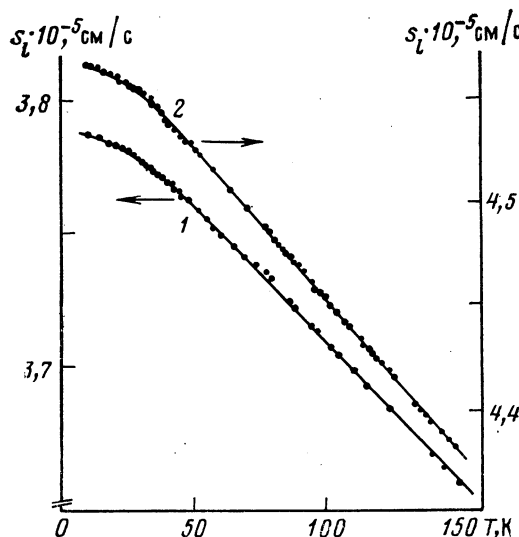


Рис. 2

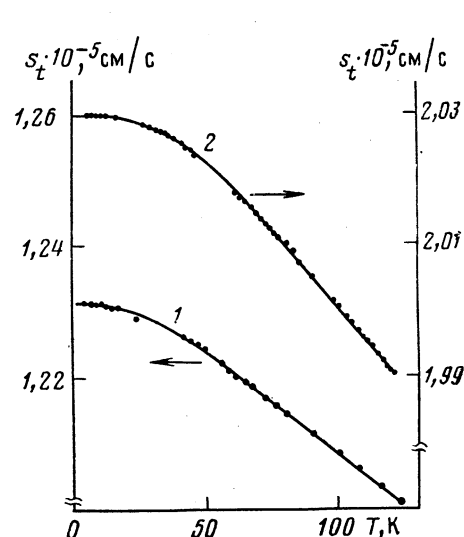


Рис. 3

Рис. 2. Температурные зависимости скорости s_l продольного ультразвука в PbTe (1) и $\text{Pb}_{0.991}\text{Cr}_{0.009}\text{Te}$ (2)

Рис. 3. Температурные зависимости скорости s_t поперечного ультразвука в PbTe (1) и $\text{Pb}_{0.991}\text{Cr}_{0.009}\text{Te}$ (2)

свойства. Так, скорость продольного ультразвука в твердом растворе $\text{Pb}_{0.991}\text{Cr}_{0.009}\text{Te}$ во всем исследованном интервале температур в среднем на 12%, а поперечного — на 65% выше, чем в PbTe.

Продольный C_{11} и поперечный C_{44} модули упругости связаны с измеренными в настоящей работе величинами соотношениями $C_{11} = \rho s_l^2$, $C_{44} = \rho s_t^2$. Для определения температурного хода плотности ρ исследованных материалов можно воспользоваться данными по температурной зависимости коэффициента теплового расширения теллурида свинца [8].

При $T=4$ К в PbTe $C_{11}=116,6$, $C_{44}=12,3$; в $\text{Pb}_{0.991}\text{Cr}_{0.009}\text{Te}$ $C_{11}=169$, $C_{44}=33,4$. При $T=78$ К в PbTe $C_{11}=113$, $C_{44}=12,1$; в $\text{Pb}_{0.991}\text{Cr}_{0.009}\text{Te}$ $C_{11}=156$, $C_{44}=32,8$ (в 10^{10} дин/см²). Данные по модулям упругости PbTe при $T=80$ К, приведенные в [9], согласуются с результатами настоящей работы.

ВЫВОДЫ

Исследованы температурные зависимости скоростей продольной и поперечной ультразвуковых волн в монокристаллах PbTe и $\text{Pb}_{0.991}\text{Cr}_{0.009}\text{Te}$. Введение хрома в теллурид свинца приводит к повышению модуля упругости C_{11} в 1,4, а C_{44} — в 2,7 раза.

Литература

1. Borisova L. D. Thermoelectric properties of impurity doped PbTe//Phys. status solidi(a). 1979. V. 53. № 1. P. K19.
2. Борисова Л. Д. и др. Влияние хрома на кинетические свойства PbTe//Болг. физ. журн. 1983. Т. 10. № 3. С. 337.
3. Borisova L. Kinetic parameters in chromium-doped lead telluride//Bulg. J. Phys. 1984. V. 11. № 6. P. 611.
4. Андрищенко Е. Д. и др. Изучение роста кристаллов $\text{Pb}_{1-x}\text{Sn}_x\text{Te}$ по механизму пар — жидкость — кристалл//Изв. АН СССР. Неорганические материалы. 1979. Т. 15. № 9. С. 1569.
5. Ipser H., Komarek K. L. Transition metal-chalcogen systems. VIII: The Cr—Te phase diagram//J. Less-Common Metals. 1983. V. 92. № 2. P. 265.
6. Васильев А. Н., Гайдуков Ю. П. Электромагнитное возбуждение звука в металлах//Успехи физ. наук. 1983. Т. 141. № 3. С. 431.
7. Васильев А. Н., Вышкварко А. А., Гайдуков Ю. П. Перестройка спектра акустических резонансов в пластинах металлов//Письма в ЖЭТФ. 1984. Т. 40. № 1. С. 7.
8. Новикова С. И., Абрикосов Н. Х. Исследование теплового расширения халькогенидов свинца//ФТТ. 1983. Т. 5. № 7. С. 1913.
9. Чудинов А. А. Зависимость скорости ультразвука от температуры в монокристаллах PbTe в интервале 80—640 К//ФТТ. 1962. Т. 4. № 3. С. 755.

Московский государственный университет им. М. В. Ломоносова

Поступила в редакцию 27.III.1986