

СМЕЩЕНИЕ ОСОБЕННОСТЕЙ СПЕКТРА КОЛЕБАНИЙ РЕШЕТКИ ГЕРМАНИЯ ПОД ДАВЛЕНИЕМ

Н.В.Заварицкий

Как известно [1, 2], в туннельных характеристиках вырожденных полупроводников, отчетливо проявляется ряд особенностей спектра колебаний решетки. У германия это энергии TA, LA, LO, TO мод колебаний [111] на границе зоны Бриллюэна. Соответственно по туннельным характеристикам эти энергии ω могут быть измерены с высокой точностью. Ниже приводятся результаты исследования под гидростатическим давлением смещения указанных выше особенностей спектра колебаний решетки германия. Ранее подобные измерения проводились лишь при одноосных напряжениях [3].

Метод создания гидростатического давления и исследования туннельных характеристик в основном не отличался от применявшегося ранее [4]. Все измерения проводились при $1,3^\circ\text{K}$, при давлениях до 18 кбар . Приложение давления не вызывало необратимых изменений характеристик переходов во всей области исследования. Копии записи d^2U/dI^2 при различных давлениях для одного из переходов представлены на рис. 1. Энергию особенности спектра колебаний решетки германия определили как середина соответствующего максимума d^2U/dI^2 с возможной ошибкой около $0,04 \text{ мэв}$.

У ряда диодов, помимо типичных для германия TA, LA, LO, TO особенностей наблюдалась еще особенность вблизи 38 мэв (рис. 1). Очевидно она обязана проявлению рамоновской частоты RO . Определенная по туннельным характеристикам $\omega_{RO} = 37,97 \text{ мэв}$ находится в удовлетворительном согласии с нейтронографическими [5] $\omega = 37,2 \pm 1,2 \text{ мэв}$ и оптическими [6] $\omega = 37,8 \text{ мэв}$ измерениями.

Используя подобные диоды можно было исследовать смещение под давлением пяти особенностей спектра колебаний решетки германия.

На рис. 2 приведены значения ω при различных давлениях. Сходные результаты получены на диодах приготовленных из германия легированного как Sb так и As. Однако, в последнем случае особенности были не столь резко выра-

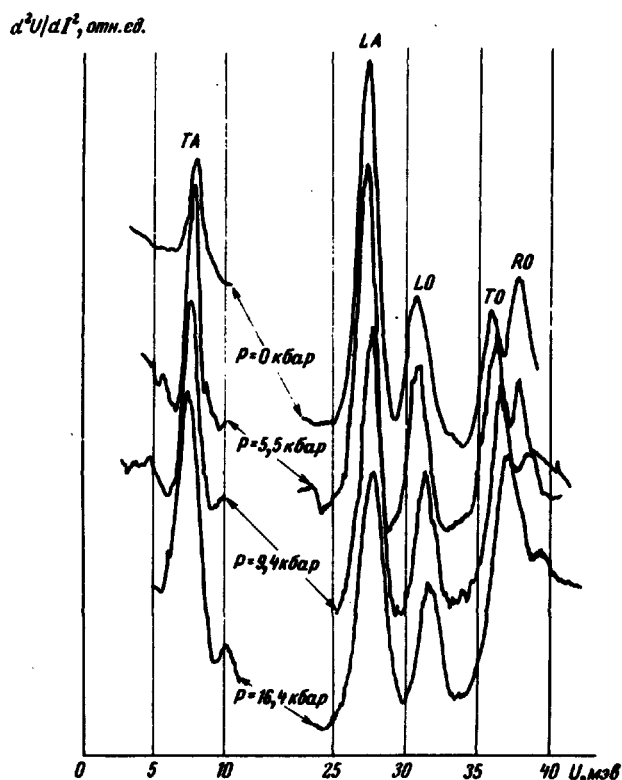


Рис. 1

жены и точность измерения ω была ниже. Все численные значения представлены в таблице. При расчете параметра Грюнрайзена $\gamma = d \ln \omega / d \ln V$ использованы данные [7] по сжимаемости германия.

	TA	LA	LO	TO	RO
Энергия ω , мэв	7,82	27,42	30,72	36,04	37,97
$d\omega/dP \cdot 10^{-5}$, мэв · бар ⁻¹	$-1,65 \pm 0,2$	$1,50 \pm 0,3$	$6,3 \pm 0,3$	$5,7 \pm 0,3$	$5,6 \pm 0,3$
$d \ln \omega / dP \cdot 10^{-6}$	$-2,11 \pm 0,25$	$0,545 \pm 0,008$	$2,05 \pm 0,08$	$1,57 \pm 0,08$	$1,48 \pm 0,08$
$\gamma = d \ln \omega / d \ln V$	$-1,6 \pm 0,2$	$0,42 \pm 0,06$	$1,57 \pm 0,06$	$1,21 \pm 0,06$	$1,13 \pm 0,0$

Результаты с очевидностью показывают, что в германии оптические моды колебаний смещаются при изменении межатомного расстояния в большей степени, чем акустические. Этот результат и тем более различный знак γ для TA и LA подтверждает теоретические предположения о том, что спектр

колебаний решетки германия определяется несколькими силами разного характера. Так например, в модели Кохрана [8, 9], каждый атом подразделяется на тяжелый «остов» и невесомую «оболочку», связанные квазиупругими силами. Аналогичные силы связывают остов и оболочку каждого атома с остовом и оболочкой соседей. Соответственно силы взаимодействия можно разделить на связанные с взаимным расположением остовов и дипольные силы, обязанные смещению оболочек.

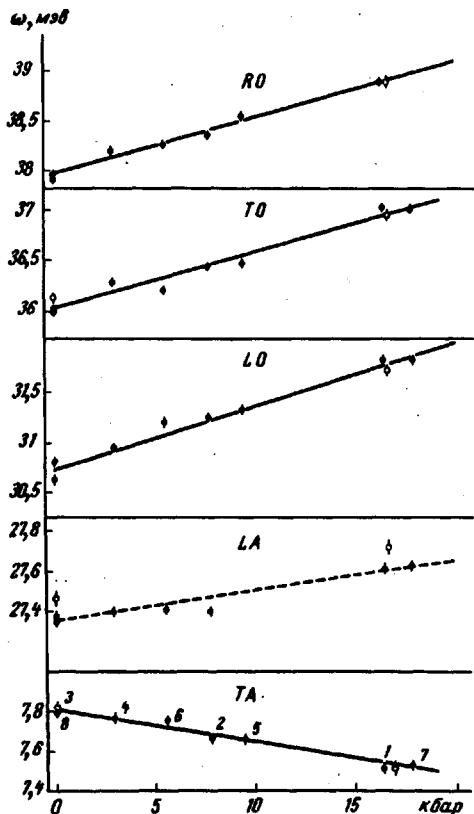


Рис. 2 Зависимость от давления положения особенностей спектра колебаний решетки германия. Цифры на кривой для TA показывают порядок экспериментов

Отрицательное значение γ_{TA} можно было ожидать из работ [10, 11], в которых феноменологически рассматривалась аномалия теплового расширения германия [12]. Однако, полученные в этих работах расчетом γ_{TA} в несколько раз отличаются от экспериментального значения ($\gamma_{теор} \approx -0,3$, $\gamma_{эксп} = -1,6$). Для устранения этого разногласия можно было бы предположить например более сильную зависимость дипольных сил от межатомарного расстояния, чем предполагается в [10]. Изменение межатомарного расстояния из-за теплового расширения также вызывает смещение частот колебаний решетки. Для германия соответствующие нейтронографические измерения проведены в интервале 100–700°K [13]. Для всех мод колебаний $(\partial \ln \omega / \partial T)_P = -7,5 + 0,810 \cdot 10^{-5} \text{ град}^{-1}$, что значительно превосходит величину $d \ln \omega / d T$, которую можно рассчитать по полученным значениям $(d \ln \omega / d P)_T$ и коэффициенту теплового расширения. Устранить это противоречие можно, предположив у германия наличие заметного изменения ω за счет вклада от фонон-фононного взаимодействия (см. [4]). Рассчитанная по нашим данным и [13] величина $(\partial \ln \omega / \partial T)_V$ составляет $-11 \cdot 10^{-5}$, $-7 \cdot 10^{-5}$ и $-5 \cdot 10^{-5} \text{ град}^{-1}$ соответственно для TA, LA, и TO,

RO особенностей. Обнаружение большого значения $(\partial \ln \omega / \partial T)_V$, сложный характер смещения спектра под давлением представляет несомненный интерес. Очевидно спектр колебаний решетки германия и сходных веществ заслуживает дальнейшего изучения.

Автор признателен П.Л.Капице за внимание, А.Н.Вороновскому за содействие при работе с давлением, Н.Н.Голоньяк и В.И.Фистуль за любезное предоставление образцов легированного германия, использованного для изготовления диодов.

Институт физических проблем
Академии наук СССР

Поступила в редакцию
2 июня 1970 г.

Литература

- [1] N.Holonyak. Phys. Rev. Lett., 3, 167, 1959.
- [2] R.N.Hall. Proc. of Intern. Conf. on Semiconductors. Prague, 1970, p 193.
- [3] R.T.Rayne. Phys. Rev. Lett., 13, 53, 1964.
- [4] Н.В.Заварицкий, Е.С.Ицкевич, А.Н.Вороновский. Письма в ЖЭТФ, 7, 271, 1968.
- [5] B.N.Brockhouse, P.K. Jyengar. Phys. Rev., 111, 747, 1958.
- [6] F.N.Johnson. Progress in Semiconductors., London, 9, 208, 1965.
- [7] M.F.Fine. J.Appl. Phys., 26, 862, 1955.
- [8] W.Cochran. Pros. Roy Soc., 252, 260, 1958.
- [9] К.Б.Толпыго. ФТТ, 3, 943, 1961.
- [10] A.Bienenstock. Phil. Mag., 9, 755, 1964.
- [11] G.Dolling, A.A.Cowley. Pros. Phys. Soc., 88, 463, 1966.
- [12] С.Н.Новикова. ФТТ, 2, 43, 1960.
- [13] B.N.Brockhouse, D.A.Dasannacharya. Solid. State Comm., 1, 207, 1963.