

КОЛЕБАТЕЛЬНЫЕ СПЕКТРЫ КРИСТАЛЛОВ  $\text{CdP}_2$ 

Сырбу Н. Н., Львин В. Э.

Исследованы инфракрасные спектры поглощения и отражения в области  $500-50 \text{ см}^{-1}$  в поляризованном свете ( $E \parallel C$ ,  $E \perp C$ ) кристаллов  $\text{CdP}_2$ , рассчитаны контуры спектров отражения по дисперсионным соотношениям, определены частоты  $LO$ -,  $TO$ -фононов симметрий  $A_2$ ,  $E$  и их основные параметры. Исследованы спектры комбинационного рассеяния в различных геометриях при 300 и 77 К, определены частоты фононов симметрий  $A_1$ ,  $B_2$ ,  $E$ , изменения параметров фононов в твердых растворах  $\text{Cd}_{0.9}\text{Zn}_{0.1}\text{P}_2$ ,  $\text{Cd}_{0.8}\text{Zn}_{0.2}\text{P}_2$  по отношению к  $\text{CdP}_2$  и  $\text{ZnP}_2$ . Определены частоты и тип симметрии давидовских квартетов, а также частоты, обусловленные колебаниями молекул  $\text{P}-\text{P}$ ,  $\text{Cd}-\text{P}$  и атомов  $\text{Cd}$  в решетке  $\text{CdP}_2$ .

Кристаллы дифосфида кадмия обладают рядом необычных физических свойств: последовательностью фазовых переходов, гистерезисом диэлектрических и оптических свойств, наличием давидовских квартетов в колебательных спектрах и др. Экспериментальные исследования спектров комбинационного рассеяния (КР), ИК отражения и поглощения в  $\text{CdP}_2$  показали, что они содержат группу узких линий [1-7]. Благодаря резонансному взаимодействию колебательных состояний 4 трансляционно неэквивалентных фосфорных цепей кристаллической решетки, разделенных между собой атомами  $\text{Cd}$ , проявляются расщепления частот типа давидовских. Колебательные состояния этого типа, проявляясь в высокочастотной области спектров, образуют группы колебаний симметрий  $A_1B_1E$ ,  $A_2B_2E$  или  $A_1E$ ,  $B_2E$ . Однако для однозначного выделения линий, относящихся к колебаниям типа давидовских, необходимы дополнительные экспериментальные данные. В работах [1-4] в  $\text{ZnP}_2$  и  $\text{CdP}_2$  группа линий отнесена к давидовским частотам, однако эти сведения являлись неубедительными и недостаточно полными. Исследования [8] в кристаллах  $\text{ZnP}_2$  не подтвердили результатов работ [1-4] по высокочастотным линиям, отнесенным к давидовским колебаниям.

В нашей работе проведены исследования КР кристаллов  $\text{CdP}_2$  при 300 и 77 К на спектрометре ДФС-32 с использованием системы регистрации в режиме счета фотонов. Кристаллы, выращенные из газовой фазы, имели естественную огранку. ИК спектры отражения измерены на спектрометрах Spexord M-80 и КСДИ-82 на образцах размерами  $2 \times 1 \text{ см}$ . Одновременно исследованы спектры КР твердых растворов  $\text{Cd}_{0.9}\text{Zn}_{0.1}\text{P}_2$  и  $\text{Cd}_{0.8}\text{Zn}_{0.2}\text{P}_2$ . Исследования КР при низких температурах и твердых растворов позволили получить более полные и новые результаты, отличающиеся от данных [1-4].

Для определения оптических постоянных  $\text{CdP}_2$  в области однофононного резонанса использовались многоосцилляторная модель и дисперсионные соотношения.

На рис. 1, а представлены спектры отражения в поляризации  $E \perp C$ , в интервале  $500-50 \text{ см}^{-1}$ , обнаружены 12 полос симметрии  $E$ . Наиболее интенсивная полоса расположена при 93.5 ( $TO$ ) и 96.3 ( $LO$ ) частотах. В области  $4000-500 \text{ см}^{-1}$  в отражении ярко выраженных полос, обусловленных однофононными резонансами, не обнаружено.

Данные этой статьи согласуются с результатами работы [7] в области  $500-200 \text{ см}^{-1}$ . В интервале  $200-50 \text{ см}^{-1}$  обнаружены дополнительные полосы, так как нами использованы в измерениях образцы больших размеров и спектрометр высокого разрешения.

Тетрагональная модификация  $\text{CdP}_2$  кристаллизуется в решетке с пространственной группой  $D_4^8$  ( $D_4^4$ ) с 8 молекулами в элементарной ячейке. Число фононных ветвей равно 72. В центре зоны Бриллюэна колебания решетки описываются следующими неприводимыми представлениями:  $9A_1 + 9B_1 + 9A_2 + 9B_2 +$

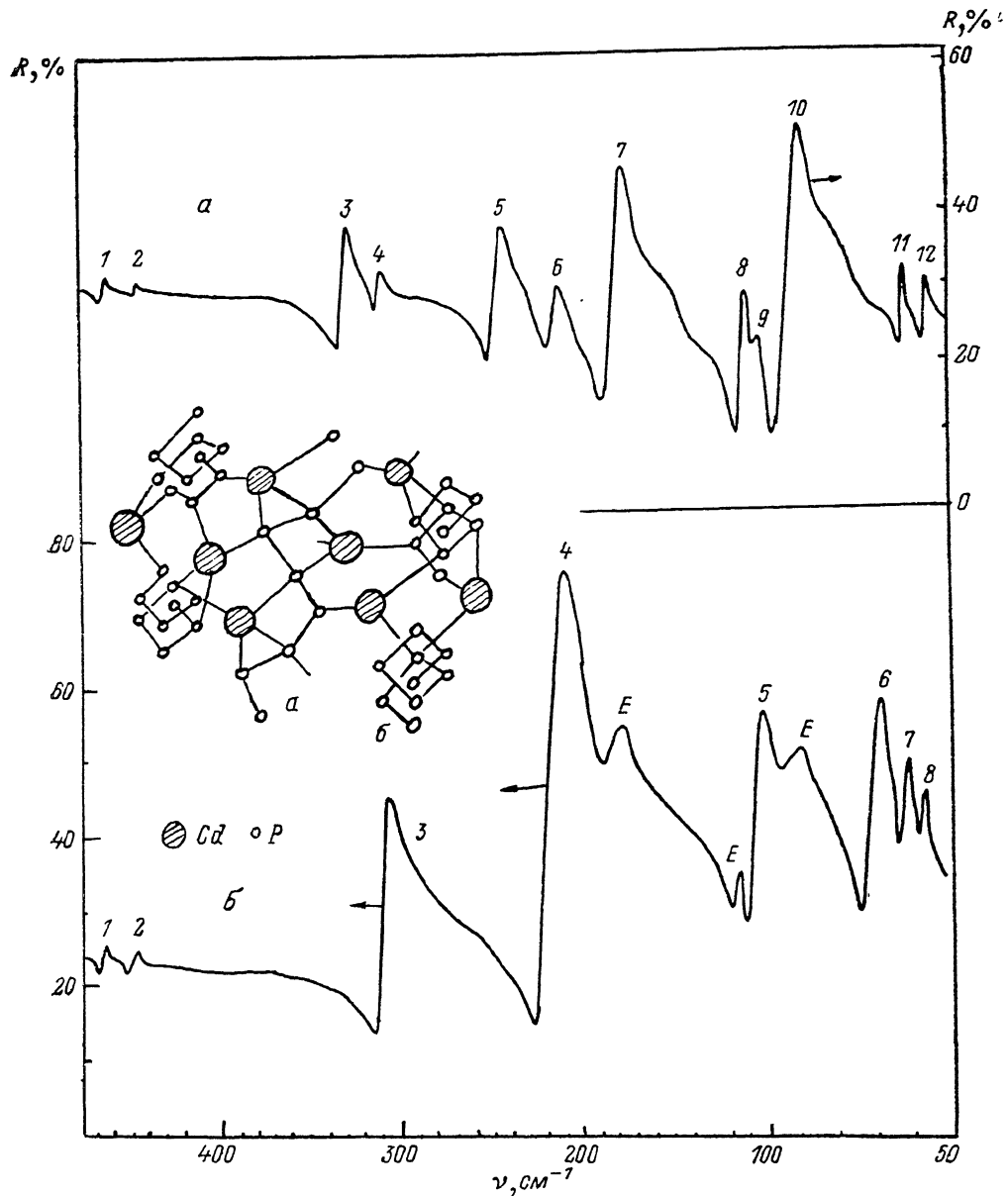


Рис. 1. Спектры отражения  $\text{CdP}_2$  в поляризациях  $E \perp C$  (а),  $E \parallel C$  (б) и фрагмент кристаллической решетки.

+18E. Акустические фононы —  $A_2$  и  $E$ . В инфракрасном отражении (поглощении) активны  $17E$  и  $8A_2$  в поляризациях  $E \perp C$  и  $E \parallel C$  соответственно. Фононы симметрий  $A_1$ ,  $B_1$ ,  $B_2$  и  $E$  раман-активны.

В поляризации  $E \parallel C$  в спектрах отражения (рис. 1, б) проявляются 8 фононов симметрии  $A_2$ . Параметры фононов приведены в табл. 1. Полоса при  $208.8 \text{ см}^{-1}$  имеет наибольшую силу осциллятора, полосы при  $180$  и  $90 \text{ см}^{-1}$  проявляются в этой поляризации как запрещенные, т. е. это фононы симметрии  $E$ , возникающие в этой поляризации из-за неточной ориентации и не 100%-й поляризации света. (Степень поляризации в области  $200\text{--}50 \text{ см}^{-1}$  была  $\sim 85\text{--}90 \%$ ).

Т а б л и ц а 1  
 Параметры ИК активных фононов CdP<sub>2</sub>

№ полосы	Поляризация E ⊥ C (E-фонон)				Поляризация E    C (A <sub>2</sub> -фонон)			
	ν <sub>TO</sub> , см <sup>-1</sup>	ν <sub>LO</sub> , см <sup>-1</sup>	f <sub>i</sub>	Γ <sub>i</sub>	ν <sub>TO</sub> , см <sup>-1</sup>	ν <sub>LO</sub> , см <sup>-1</sup>	f <sub>i</sub>	Γ <sub>i</sub>
1	466.2	466.7	0.014	0.008	469.7	470.4	0.015	0.009
2	449.5	449.8	0.010	0.007	450.1	450.3	0.010	0.009
3	331	333.5	0.120	0.020	308.6	313	0.186	0.013
4	311	311.2	0.010	0.008	208.8	228	1.069	0.021
5	248.9	252.3	0.210	0.033	102	112	1.176	0.012
6	216.9	217.9	0.066	0.020	69	74	0.192	0.015
7	182	190	0.600	0.036	61	64	0.052	0.020
8	115	117	0.200	0.015	56	59	0.05	0.011
9	109	111	Не рассчитаны					
10	93.5	96.3	0.680	0.031	ε <sub>∞  </sub> = 7.7			
11	61.7	63.3	0.061	0.010	ε <sub>0  </sub> = ε <sub>∞  </sub> + ∑ <sub>i=1</sub> <sup>8</sup> f <sub>i</sub> = 9.4			
12	57.5	58.8	0.053	0.009				

ε<sub>∞⊥</sub> = 8.1

ε<sub>0⊥</sub> = ε<sub>∞⊥</sub> + ∑<sub>i=1</sub><sup>12</sup> f<sub>i</sub> = 9.9

На рис. 2 (кривая *a*) приведены спектры КР в геометрии  $z [(y+x)z]y$ , где проявляются фононы симметрии *E*. Двукратно вырожденные *E*-фононы могут быть расщеплены вследствие дальнедействующих кулоновских сил на поперечные (*TO*) и продольные (*LO*) фононы. В этой геометрии обнаруживаются компоненты *LO*- и *TO*-фононов симметрии *E*. В геометрии  $y (zy)x$  проявляются *LO*-фононы симметрии *E* (кривая *b*), а в геометриях  $y (xy)x$  и  $y (zz)x$  — фо-

Т а б л и ц а 2  
 Частоты фононов, активных в КР при 300 и 77 К, и их симметрия

300 К				77 К			
E (LO + TO)	E (LO)	B <sub>1</sub>	A <sub>1</sub>	E (LO + TO)	E	B <sub>1</sub>	A <sub>1</sub>
469 (LO)	469	469	469	472	472	472	472
464 (TO)	—	—	—	468	468	468	467
453	453	452	453	456	456	456	456
420	420	420	420	422	422	423	423
334	335	333	333	335	335	336	336
315 (LO)	315	312	—	318	318	318	318
311 (TO)	—	—	—	313	313	314	314
302	302	301	301	305	304	305	305
—	—	—	—	302	302	301	301
—	248	—	241	249	248	—	—
120	121	—	—	122	121	—	—
106	106	—	—	107	107	—	—
96.5	96.6	—	—	98.4	98	—	—
93.6	93.3	93.2	93.3	94.6	95.2	94.7	94.7
90.3	90.3	—	—	91.7	91.9	—	—
80 (LO)	79.5	—	—	80.4	80.4	—	80.9
77.7 (TO)	—	—	—	78.4	78.5	79	—
76 (LO)	76.0	75.7	75.7	77	76.6	—	—
43.3	43.8	43.7	43.2	43.5	43.8	44.2	43.7

ноны симметрий  $B_1$  и  $A_1$  (кривые  $\epsilon$ ,  $\delta$ ). Во всех геометриях в КР обнаруживается группа линий в высокочастотной области — 420, 453 и 464 ( $TO$ ), 469 ( $LO$ ) (табл. 2). Эта группа линий отнесена к частотам давидовского типа. В [4] высказано предположение, что квартеты могут быть двух типов. В одном из них 3 компоненты ( $A_1$ ,  $B_1$ ,  $E$ ) активны в КР и 1 ( $E$ ) — в ИК спектре, а в другом типе в ИК и КР спектрах разрешены по 2 компоненты —  $A_2E$  и  $B_2E$  соответственно. В работах [1-4] частоты колебаний в интервале 328—469  $\text{см}^{-1}$  приписаны к давидовским квартетам разного типа. Однако в указанных работах не приведены соображения и эксперименты, на основании которых эта интерпре-

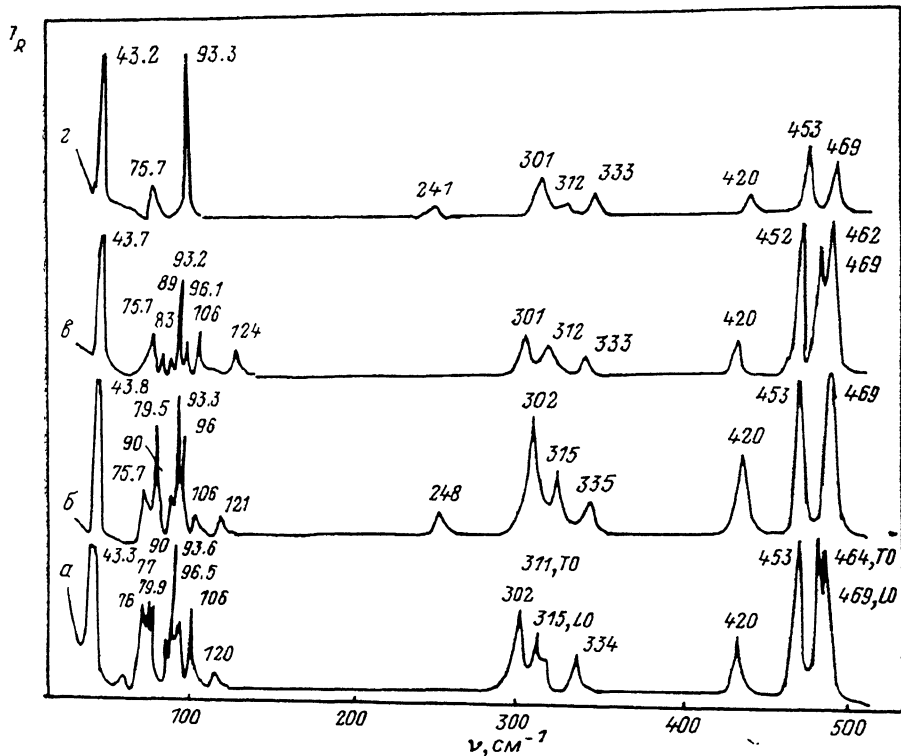


Рис. 2. Спектры комбинационного рассеяния (КР)  $\text{CdP}_2$  при 300 К для геометрий  $z [(y+\text{+}x)z] y \sim E$  (а),  $y (zy) x \sim E$  ( $LO$ ) (б),  $y (xy) x \sim B_1$  (в),  $y (zz) x \sim A_1$  (г).

тация проведена. Для большинства частот [1-4] как само расщепление, так и объяснение нашими результатами не подтверждаются. Наши результаты по  $\text{CdP}_2$  коррелируют с результатами работы [8], полученными на  $\text{ZnP}_2-D^8$ . Спектры КР при 77 К показаны на рис. 3. Из сравнения данных при 300 и 77 К следует, что высокочастотные линии 420 (422), 453 (456), 464 (468) и 469 (472)  $\text{см}^{-1}$  (в скобках указаны частоты при 77 К) смещаются с понижением температуры в сторону больших энергий. Последнее означает, что изменяется энергия фонона с понижением температуры, в силу того что изменяются параметры кристаллической решетки, т. е. уменьшается расстояние между атомами связи  $P-P$ .

Полосы 420 (300) и 422  $\text{см}^{-1}$  (77 К) не расщеплены и не смещены ни в одной геометрии. Аналогичную закономерность обнаруживаем и для полос 453 (300) и 456  $\text{см}^{-1}$  (77 К). При комнатной температуре в геометрии  $y (zz) x \sim A_1$  наблюдается самая высокочастотная полоса 468  $\text{см}^{-1}$ , а в геометрии  $B_1$  присутствуют полосы 469 и 464  $\text{см}^{-1}$ . Полоса 464  $\text{см}^{-1}$  является более слабой по интенсивности по сравнению с полосой 469  $\text{см}^{-1}$ . Полоса 464  $\text{см}^{-1}$  имеет наибольшую интенсивность как  $E$ -компонента  $TO$ -фонона. Таким образом, при 300 К обнаруживаются одна линия (469  $\text{см}^{-1}$ ) в геометриях  $y (zz) x \sim A_1$  (рис. 3, г) и  $y (zy) x \sim E$  (б) и две линии (464 и 469  $\text{см}^{-1}$ ) — в геометриях  $y (xy) x \sim B_1$  (в) и  $z [(y+\text{+}x)z] \times \times y \sim E$  (а). При понижении температуры до 77 К, кроме смещения линий

в высокочастотную область, происходит изменение спектров в геометриях  $y(zz)x-A_1$  и  $y(xy)x-E$ . При 77 К во всех геометриях выделяются линии 467 и 472  $\text{см}^{-1}$ , т. е. линия 467  $\text{см}^{-1}$  становится неполяризованной. Это возможно только вследствие изменения положения в пространстве некоторых молекул Р—Р, обуславливающих давидовские квартеты. Таким образом, из рассмотренных линий 420, 456 и 467 (472)  $\text{см}^{-1}$  только самые высокочастотные 467 (472) могут быть отнесены к частотам давидовского типа с симметрией  $A_1E$  или  $A_1E, B_1$ . В кристаллах  $\text{ZnP}_2$  самые высокочастотные линии отнесены нами к группе квартетов  $A_1, B_1, E$ , как и в [1-4]. Эта интерпретация подтверждается измерениями спектров КР на твердых растворах состава  $\text{Cd}_{0,9}\text{Zn}_{0,1}\text{P}_2$  и  $\text{Cd}_{0,8}\text{Zn}_{0,2}\text{P}_2$ , приведенных в сравнении со спектрами  $\text{CdP}_2$  и  $\text{ZnP}_2$  (рис. 4) при

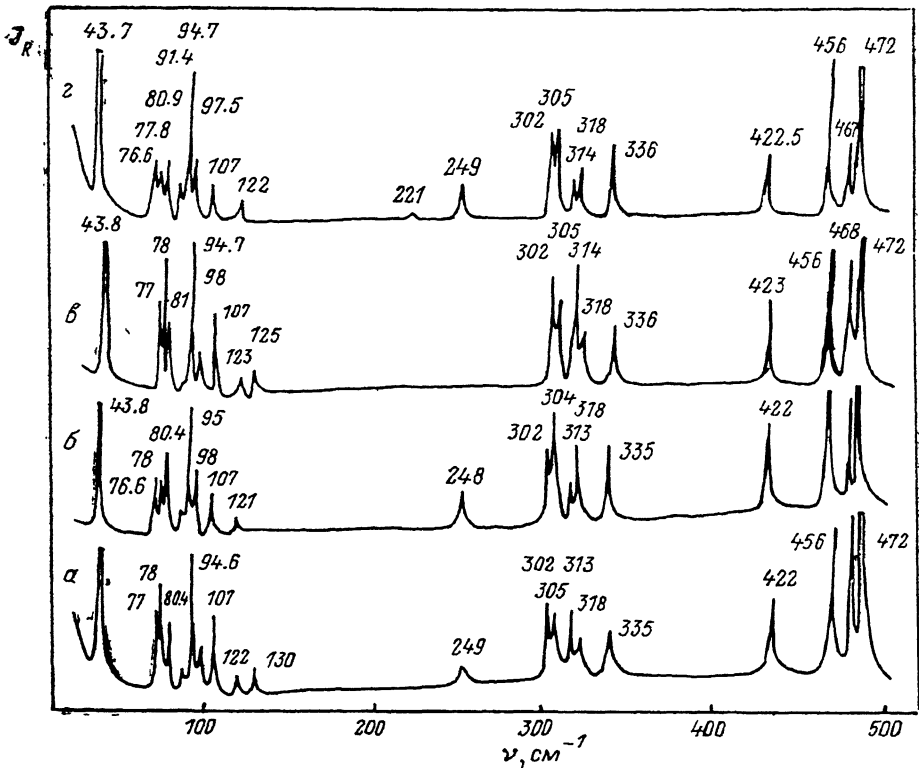


Рис. 3. Спектры КР  $\text{CdP}_2$  при 77 К.  
 $\alpha-2$  — то же, что и на рис. 2.

77 К в геометрии  $z[(y+x)z]y-E$  (a). Спектры твердых растворов наглядно иллюстрируют появление триплета уже при составах  $\text{Cd}_{0,9}\text{Zn}_{0,1}\text{P}_2$ . В спектрах твердых растворов наблюдается также изменение полосы 422  $\text{см}^{-1}$ : она уменьшается по интенсивности по мере приближения к  $\text{ZnP}_2$ . Одновременно со стороны высоких частот появляется другая компонента при 428  $\text{см}^{-1}$ , которая присутствует в  $\text{ZnP}_2$  при 430  $\text{см}^{-1}$ . Мы предполагаем, что такое изменение обусловлено трансформацией параметров молекулы в цепи Р—Р при переходе от  $\text{CdP}_2$  к  $\text{ZnP}_2$ . На исследованных нами твердых растворах эту закономерность не удалось обнаружить на частотах 456 ( $\text{CdP}_2$ ) и 464  $\text{см}^{-1}$  ( $\text{ZnP}_2$ ), т. е. не удалось выделить ее в виде дублета. Эти полосы смещаются в сторону больших энергий на 8  $\text{см}^{-1}$ . Полосы 422 в  $\text{CdP}_2$  и 430  $\text{см}^{-1}$  имеют одинаковую природу. Полоса 456 в  $\text{CdP}_2$  аналогична полосе 464  $\text{см}^{-1}$  в  $\text{ZnP}_2$ .

Высокочастотные линии в ИК отражении в поляризациях  $E \parallel C$  ( $A_2$ ) и  $E \perp C$  ( $E$ ) проявляются при 470.4 ( $LO$ ) и 466.7 ( $LO$ ) соответственно. Расщепление этих линий равно 3.7  $\text{см}^{-1}$ . Расщепление линий 449.8 ( $E$ ) и 450.3 ( $A_2$ ) практически равно нулю (с учетом ошибки эксперимента), т. е. эта мода, так же как и в КР, не расщеплена (не поляризована). Компоненту  $B_2$  в  $\text{CdP}_2$  мы не

выделили. Согласно имеющимся в [1-7] и полученным нами результатам, можно сделать предположение, что полосы 470.4 ( $A_2$ ) и 466.7 ( $E$  и  $B_2$ ) составляют кватерн типа  $E$ ,  $A_2$  и  $B_2$ , обусловленный колебаниями P—P.

В более низкоэнергетической области при 300 К наблюдаются полосы 301, 312 и 333  $\text{см}^{-1}$  (рис. 2), которые имеют разные зависимости частот и поляризации от температуры. Полоса 333  $\text{см}^{-1}$  (300 К) при понижении температуры до 77 К смещается на 3  $\text{см}^{-1}$  в сторону больших частот, при этом она уменьшается по полуширине и не расщепляется. При 300 К полоса 312  $\text{см}^{-1}$  обнаруживается в геометрии  $A_1B_1$ , в геометрии  $E_1(LO)$  — 315  $\text{см}^{-1}$ , а в геометрии  $z[(y+x)z]y-E$  наблюдается слабая дублетность, обусловленная  $TO$  (311)-

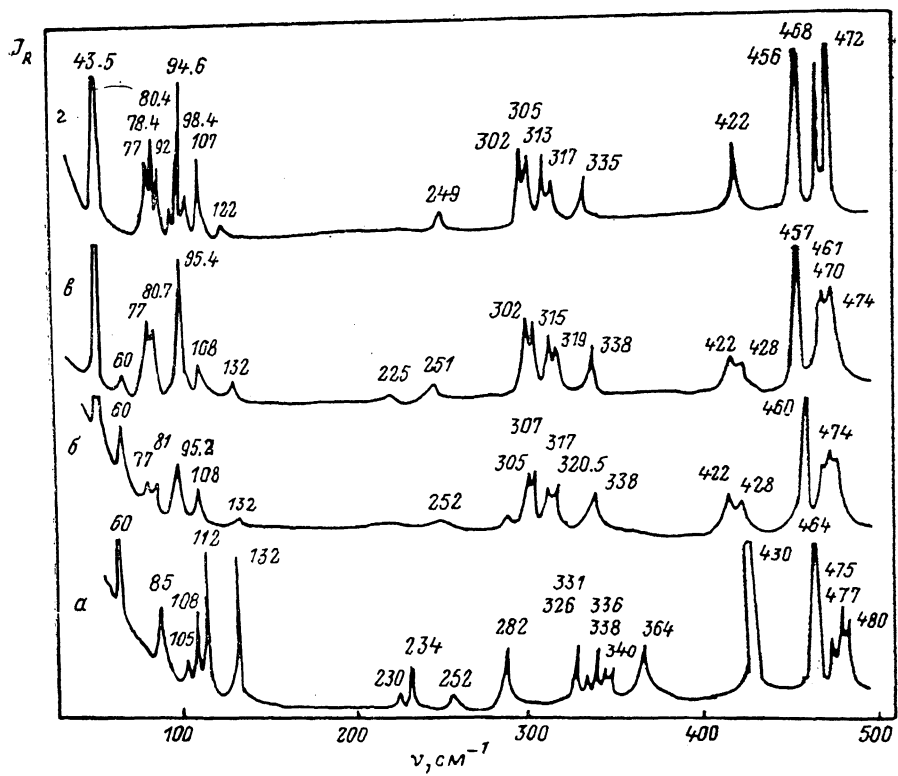


Рис. 4. Спектры  $KP ZnP_2$  (а),  $CdP_2$  (г) и твердых растворов  $Cd_{0.9}Zn_{0.1}P_2$  (б),  $Cd_{0.8}Zn_{0.2}P_2$  (в) при 77 К в геометрии  $y(zx)x \sim E$  (а, б).

и  $LO$  (315)-фононами. Понижение температуры до 77 К приводит к тому, что в поляризации  $E$  ( $LO$  и  $TO$ ) проявляются частоты 318 и 313  $\text{см}^{-1}$  соответственно. В ориентации  $y(zx)x \sim E$  (рис. 4, б) наблюдается также дублет при 313 и 318  $\text{см}^{-1}$ , причем интенсивность этих полос имеет обратную зависимость (318 сильнее, чем 313  $\text{см}^{-1}$ ). В ориентации  $y(xy)x \sim B_1$  (в) проявляются сильный пик при 314 и более слабый пик при 318  $\text{см}^{-1}$ , а в геометрии  $A_1$  — слабый пик при 314 и более сильный пик при 318  $\text{см}^{-1}$ . Таким образом, четкое проявление поляризационных зависимостей при 300 К и их исчезновение (ослабление) при 77 К также однозначно свидетельствуют о том, что эти полосы относятся к частотам типа давидовских 315 ( $E$ ), 312 ( $B_1A_1$ ) при 300 К и 318 ( $E$ ), 314 ( $A_1$ ) при 77 К. Эти полосы мы приписываем кватертам  $E$ ,  $A_1$ ,  $B_1$ , так как они в  $CdP_2$  проявляются более интенсивно в  $B_1$  и  $E$  (такая комбинация термов невероятна), а в  $ZnP_2$  в этой области обнаруживается триплет (рис. 4).

Полосы 301 и 302  $\text{см}^{-1}$  наблюдаются при 300 К соответственно в геометриях  $B_1$  ( $A_1$ ) и  $E$ . При температуре 77 К полоса 302 наиболее интенсивна в поляризациях  $B_1$  и  $A_1$ , а 304  $\text{см}^{-1}$  — в  $E$  и  $A_1$ . Поляризационные зависимости этих пиков при 77 К также слабо проявляются, что, как и в предыдущих случаях, объясняется изменением (смещением) молекул P—P в пространстве элементар-

ной ячейки. Последнее нарушает строгие поляризационные зависимости спектров КР. В твердых растворах эта группа пиков так же дублетна, как и в  $ZnP_2$ . В области частот  $\gamma < 300 \text{ см}^{-1}$  в  $CdP_2$  обнаруживается полоса  $249 \text{ см}^{-1}$  в поляризациях  $A_1$  и  $E$ ,  $y(zz)x$  (рис. 4,  $z$ ),  $y(zy)x$ . В  $ZnP_2$  также проявляется полоса при  $252 \text{ см}^{-1}$ . Не исключена возможность того, что в  $ZnP_2$  полоса  $282$  будет соответствовать полосе  $249 \text{ см}^{-1}$  в  $CdP_2$ , так как они имеют почти одинаковую величину смещения  $\Delta\nu$  ( $282-249=33$  и  $364-335=29 \text{ см}^{-1}$ ).

В области частот  $130-40 \text{ см}^{-1}$  в  $CdP_2$  наблюдается группа линий, имеющих следующую особенность: при  $300 \text{ К}$  наиболее интенсивна линия  $93.3 \text{ см}^{-1}$  в геометрии  $A_1$ , в остальных ориентациях ( $B_1$ ,  $E$  и  $E$ ) она выделяется в виде триплета  $90.3$ ,  $93.3$  и  $96.6 \text{ см}^{-1}$ . При понижении температуры до  $77 \text{ К}$  в геометрии  $A_1$  эта полоса также выделяется в виде триплета  $91.4$ ,  $94.7$  и  $97.5 \text{ см}^{-1}$ . Примерно аналогичная особенность наблюдается и для линии  $75.7 \text{ см}^{-1}$  ( $A_1$ ) при  $300 \text{ К}$ . При  $77 \text{ К}$  во всех ориентациях проявляется триплет  $77.0$ ,  $78.5$  и  $80.4 \text{ см}^{-1}$ . Эта группа линий  $75-130 \text{ см}^{-1}$ , вероятнее всего, обусловлена колебаниями молекул  $Cd-P$ . Тогда на некоторых линиях этой группы могут сказываться изменения координации молекул  $P-P$  в пространстве при понижении температуры от  $300$  до  $77 \text{ К}$ . Действительно, такое наблюдается в геометрии  $A_1$  для триплетов  $77.0$ ,  $78.5$  и  $80.4$ ;  $91.4$ ,  $94.7$  и  $97.5 \text{ см}^{-1}$  (рис. 3, 4). В спектрах КР твердых растворов (рис. 4) обнаружено следующее: самая длинноволновая полоса  $43.5 \text{ см}^{-1}$  в  $CdP_2$  уменьшается по интенсивности в твердых растворах, одновременно с увеличением компоненты  $Zn$  в твердых растворах возникает полоса при  $60 \text{ см}^{-1}$ , которая является аналогом полосы  $43.5 \text{ см}^{-1}$  в  $CdP_2$ . Мы полагаем, что фонон  $43.5 \text{ см}^{-1}$  обусловлен колебанием атомов  $Cd$ , а фонон  $60 \text{ см}^{-1}$  — атомов  $Zn$  в решетках  $CdP_2$  и  $ZnP_2$  соответственно. При переходе от  $CdP_2$  к  $ZnP_2$  малоэнергетический триплет ( $77$ ,  $78.4$  и  $80.4 \text{ см}^{-1}$ ) преобразуется в дублет уже при составах  $Cd_{0.9}Zn_{0.1}P_2$ , который почти исчезает для состава  $Cd_{0.8}Zn_{0.2}P_2$ . В чистых кристаллах в этой области наблюдается полоса при  $85 \text{ см}^{-1}$ , которая и является аналогом длинноволнового триплета в  $CdP_2$ . Эта полоса, так же как и сами высокочастотные колебания ( $475$ ,  $477$  и  $480 \text{ см}^{-1}$  в  $ZnP_2$ ), свидетельствует о том, что в кристаллах  $ZnP_2$  расположение атомов  $Zn-P$ ,  $P-P$  имеет некоторые отличия в пространстве элементарной ячейки по сравнению с расположением атомов  $Cd-P$  и  $P-P$  в  $CdP_2$ . Высокочастотный триплет ( $92$ ,  $94.6$  и  $98.4 \text{ см}^{-1}$ ) в  $CdP_2$  в твердых растворах не расщепляется,

Т а б л и ц а 3

Отношение частот  $ZnP_2(D_2^8)$  к частотам фононов в  $CdP_2$ , обнаруженных в КР и ИК отражении (для КР рассмотрены фононы симметрии  $E$ ), и их объяснение

Данные КР			Данные ИК отражения			
частоты E-фононов	отношение частот	молекулы, ответственные за моды	частоты $A_1$ - и E-фононов	отношение частот	молекулы, ответственные за моды	
480/472	1.02 D	} P-P	475/466.2 (E)	1.02 D	} P-P	
464/456	1.02		457/449.5 (E)	1.02		
430/422	1.02		480/469.7 ( $A_2$ )	1.02 D		
364/335	1.08		362/331 (E)	1.09		
340/317	1.07 D		341/311 (E)	1.09		
338/313	1.07 D		337/308.6 ( $A_2$ )	1.09		
331/305	1.08 D		281/248.9 (E)	1.13		Cd-P
326/302	1.08 D		248/208.8 ( $A_2$ )	—		} Zn-P
282/249	1.13		Zn-P	248/216.9 (...)		
132/107	1.23		Cd, Zn	225/182 (...)		1.23
112/98.4	1.13	Cd-P	154/102	1.51		
108/94.6	1.14	} Zn-P	121.8/69	1.76		
105/92	1.14		90.9/61	1.49		
85/78.4	1.08	P-P				
60/43.5	1.37	Cd, Zn				

а в  $ZnP_2$  проявляется в виде 3 пиков — 105, 108 и 112  $cm^{-1}$ , распределения интенсивностей в  $ZnP_2$  и  $CdP_2$  различаются. Полоса 107 в  $CdP_2$  является аналогом полосы 132 в  $ZnP_2$ .

В табл. 3 приведено отношение частот фононов  $ZnP_2$  к частотам фононов  $CdP_2$  при 300 К, обнаруженных в КР (симметрия  $E$ ) и в ИК отражении (симметрии  $A_2$  и  $E$ ). Данные КР приведены только для симметрии  $E$ , так как для других фононов зависимости для близких частот аналогичны. Результаты ИК отражения сопоставлены для тех частот, подобие которых удалось обнаружить. Из табл. 3 следует, что частоты можно разделить на 3 группы ( $a$ — $e$ ). Отношение частот  $ZnP_2$  к частотам  $CdP_2$  равно:  $a$  — 1.02—1.09,  $b$  — 1.13—1.19,  $e$  — 1.23—1.76. Для группы  $a$  отношение частот наименьшее, т. е. замена атомов  $Zn$  атомом  $Cd$  практически не изменяет частоту колебаний. Эти частоты мы считаем обусловленными связями  $P$ — $P$ . При этом те колебания, между которыми существуют резонансные взаимодействия, относятся к давыдовским (в табл. 3 обозначены  $D$ ). Группа  $b$  обусловлена колебаниями молекул  $Cd$ — $P$  (или  $Zn$ — $P$ ), а группа  $e$ , которая наиболее сильно изменяется (1.23—1.76), — колебаниями атомов.

Таким образом, спектры КР, ИК отражения при разных температурах в сочетании со спектрами твердых растворов позволили расшифровать колебательные спектры, идентифицировать давыдовские квартеты и обнаружить различия колебательных спектров в изоморфных кристаллах  $ZnP_2$  и  $CdP_2$ .

#### Список литературы

- [1] Горбань И. С., Горыня В. А., Луговой В. И., Маковецкая А. П. // ФТТ. 1975. Т. 17. В. 6. С. 1638—1641.
- [2] Артамонов В. В., Бережинский Л. И., Валах М. Я., Горбань И. С., Луговой В. И., Тычина И. И. // ФТТ. 1976. Т. 18. В. 5. С. 1418—1420.
- [3] Gorban I. S., Gorinya V. A., Dashkovskaya A. A., Lugovoi V. I., Makovetskaya A. P., Tichina I. I. // Phys. St. Sol. (b). 1978. V. 86. N 5. P. 419—428.
- [4] Горбань И. С., Горыня В. А., Луговой В. И., Маковецкая А. П., Тычина И. И., Ульянова Е. Г., Ильин М. А. // ЖПС. 1979. Т. 30. В. 5. С. 890—894.
- [5] Сырбу Н. Н. // Получение и исследование новых материалов полупроводниковой техники. Кишинев, 1980. С. 51—66.
- [6] Сырбу Н. Н. Оптоэлектронные свойства соединений группы  $A^2B^5$ . Кишинев, 1983. 155 с.
- [7] Sobotta H., Neumann H., Syrbu N. N., Riede V. // Phys. St. Sol. (b). 1984. V. 125. N 11. P. K17—K20.
- [8] Кузьминов Е. Г., Андреев А. А., Смоляренко Э. М., Шелег А. У. // ФТТ. 1979. Т. 21. В. 7. С. 2128—2131.

Кишиневский  
политехнический институт  
им. С. Лазо

Получена 14.05.1990  
Принята к печати 22.05.1990