

ДИЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА $ZnGeP_2$ В ДАЛЬНОМ ИК-ДИАПАЗОНЕ ДЛИН ВОЛН

В.В.Войцеховский, А.А.Волков, Г.А.Командин, Ю.А.Шакир

Институт общей физики Российской академии наук,
117942, Москва, Россия
(Поступило в Редакцию 1 ноября 1994 г.)

$ZnGeP_2$ — тройной полупроводник типа $A^{II}B^{IV}C^V$, имеющий структуру халькопирита (группа симметрии D_{2d}^{12} , восемь атомов в элементарной ячейке, отсутствует центр симметрии). Кристаллы $ZnGeP_2$ выдерживают резкие перепады температур, обладают высоким порогом разрушения под действием излучения. Важной особенностью $ZnGeP_2$ является наличие в его спектрах поглощения широких окон прозрачности в дальней инфракрасной области спектра, что позволяет получать генерацию как суммарной частоты излучения на длинах волн 10.6 и 1.06 μm [1], так и разностной частоты в области $\nu < 110 \text{ cm}^{-1}$ [2].

Экспериментально оптические свойства $ZnGeP_2$ исследовались методами комбинационного рассеяния света [3,4] и спектроскопии ИК-отражения [5,6]. В последнем случае на частотах ниже $\sim 150 \text{ cm}^{-1}$, т.е. там, где знание параметров $ZnGeP_2$ особенно важно для дифференциального смещения частот, данные оказались противоречивыми (табл. 1).

В настоящей работе мы выполнили исследование диэлектрических свойств $ZnGeP_2$ в диапазоне частот $10 \div 600 \text{ cm}^{-1}$ при комнатной температуре. Использовались две измерительные установки: лабораторный ЛОВ-спектрометр¹ «Эпсилон» [7] и промышленный инфракрасный фурье-спектрометр «Bruker IFS-113v». На частотах, меньших 250 cm^{-1} , записывались спектры пропускания плоскопараллельных пластинок $ZnGeP_2$ толщиной $\sim 0.5 \text{ mm}$, на более высоких частотах — спектры отражения от полированных плоских поверхностей толстых буль. Все измерения проводились для двух ортогональных ориентаций вектора электрического поля относительно кристаллографических осей кристалла: $\mathbf{E} \parallel \mathbf{c}$ и $\mathbf{E} \perp \mathbf{c}$.

Кривые пропускания пластинок $ZnGeP_2$ на частотах ниже 120 cm^{-1} представляли собой осциллирующие кривые, типичные для прозрачных образцов, в которых проходящее излучение многократно отражается от граней (рис. 1). По периоду осцилляций и их размаху по формулам Френеля для прохождения плоской электромагнитной волны через плоскопараллельный слой диэлектрика рассчитывались действительная и мнимая части диэлектрической проницаемости [8]. В диапазоне частот $10 \div 17 \text{ cm}^{-1}$ в наших измерениях эти величины составили $\epsilon' = 11.6 \pm 0.1$ ($\mathbf{E} \parallel \mathbf{c}$), $\epsilon'' = 11.4 \pm 0.1$ ($\mathbf{E} \perp \mathbf{c}$) и $\epsilon'' = 0.010 \pm 0.003$ (для обеих поляризаций).

¹ ЛОВ — лампа обратной волны.

Частоты ИК-активных мод в ZnGeP_2
(в cm^{-1}) по данным разных авторов

$E \parallel c$			$E \perp c$		
[5]	[6]	Наст. раб.	[5]	[6]	Наст. раб.
-	-	-	80	-	-
-	-	120	-	142.5	141.5
-	-	-	202	205	202
348	326.5	345	330	326	327
-	-	-	370	365	368
392	364.5	397	385	387	386

На основе всей совокупности данных по пропусканию и отражению нами моделировалась панорама частотного поведения $\epsilon'(\nu)$ и $\epsilon''(\nu)$ в диапазоне частот $10-600 \text{ cm}^{-1}$. Использовалась модель независимых гармонических осцилляторов с затуханием $\epsilon(\nu) = \epsilon_\infty + \sum \Delta\epsilon_j \nu_j^2 / (\nu_j^2 - \nu^2 - i\nu\gamma_j)$, параметры которой ($\Delta\epsilon_j$ — диэлектрический вклад осциллятора, ν_j — частота и γ_j — затухание) методом наименьших квадратов подгонялись под эксперимент. В качестве привязок для спектров отражения на низких и высоких частотах использовались данные соответственно наших же субмиллиметровых и инфракрасных измерений ($\epsilon' = 9.68$ ($E \parallel c$) и $\epsilon'' = 9.44$ ($E \perp c$) для $\nu = 943 \text{ cm}^{-1}$). Полученные параметры осцилляторов и значение ϵ_∞ приведены в табл. 2, а спектры действительной и мнимой частей диэлектрической функции представлены на рис. 2.

Выше 200 cm^{-1} данные настоящей работы по $\epsilon'(\nu)$ и $\epsilon''(\nu)$ хорошо согласуются с данными [5,6]. В то же время наши спектры демонстри-

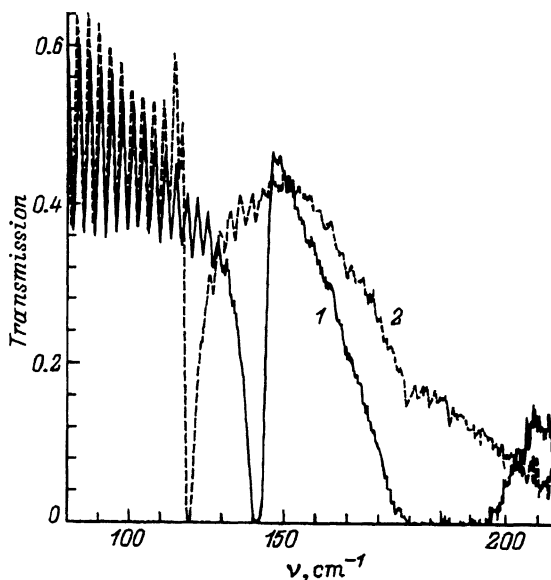


Рис. 1. ИК-спектры пропускания ZnGeP_2 толщиной 0.405 mm для ориентаций $E \perp c$ (1) и $E \parallel c$ (2).

Параметры модели ИК-активных мод в ZnGeP_2

$E \parallel c$			$E \perp c$		
ν_0, cm^{-1}	$\Delta\epsilon$	γ, cm^{-1}	ν_0, cm^{-1}	$\Delta\epsilon$	γ, cm^{-1}
120	0.02	0.55	141.5	0.025	0.72
			202	0.18	4.3
345	1.15	5.5	327	0.34	6.0
			368	0.64	2.3
397	0.48	7.4	386	0.5	3.0
$\sum \Delta\epsilon_j = 1.65$ $\epsilon_\infty = 9.96$ $\epsilon'(\nu \sim 13 \text{ cm}^{-1}) = 11.6$ $\epsilon'(\nu \sim 1886 \text{ cm}^{-1}) = 9.93$ [9]			$\sum \Delta\epsilon_j = 1.69$ $\epsilon_\infty = 9.73$ $\epsilon'(\nu \sim 13 \text{ cm}^{-1}) = 11.4$ $\epsilon'(\nu \sim 1886 \text{ cm}^{-1}) = 9.68$ [9]		

Примечание. ν_0 — частота, $\Delta\epsilon$ — диэлектрический вклад, γ — затухание.

ругут новые пики поглощения на частотах 120 cm^{-1} ($E \parallel c$) и 141 cm^{-1} ($E \perp c$), которые до сих пор либо вообще не наблюдались в ZnGeP_2 [5], либо наблюдались лишь частично (для поляризации $E \perp c$) [6]. Наличие линии поглощения на частоте 80 cm^{-1} [5] наши измерения не подтвердили.

Провалы в зависимости $\epsilon''(\nu)$ на рис. 2 отчетливо определяют окна прозрачности ZnGeP_2 в дальней ИК-области: $\nu < 110 \text{ cm}^{-1}$ и $\nu \approx 220-300 \text{ cm}^{-1}$. Величины двулучепреломления на этих участках составляют, по нашим данным, соответственно $\Delta\nu \sim 0.03$ и ~ 0.3 . Интересно, что наблюдаемый в эксперименте частотный ход ϵ'' на самых

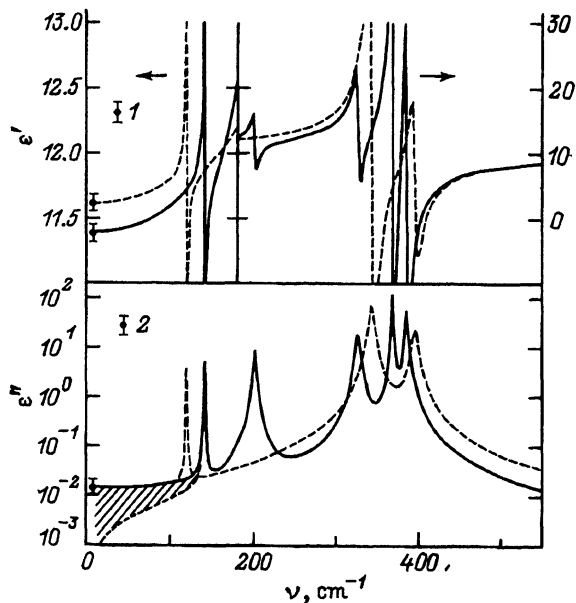


Рис. 2. Диэлектрические спектры $\epsilon'(\nu)$ и $\epsilon''(\nu)$ ZnGeP_2 , рассчитанные из спектров ИК-отражения.

Сплошная линия — $E \perp c$, пунктир — $E \parallel c$, 1, 2 — данные субмиллиметровых измерений. Штриховкой показан вклад в ϵ' свободных носителей.

низких частотах резко не соответствует модельным длинноволновым хвостам ИК-пиков поглощения (разница заштрихована). Здесь, очевидно, основной вклад в поглощение вносят свободные носители. С учетом современных возможностей выращивания полупроводниковых материалов с заданным уровнем концентрации свободных носителей можно надеяться, что потери в $ZnGeP_2$ в субмиллиметровой области спектра могут быть снижены на порядок (заштрихованная область на рис. 2 тогда бы исчезла).

В нижней части табл. 2 приведен суммарный диэлектрический вклад всех наблюдавшихся нами ИК-мод. Он с высокой точностью (± 0.03) для обеих поляризаций соответствует разности величин ϵ_0 и ϵ на частоте 1886 cm^{-1} (область высокой прозрачности и малой дисперсии). Это означает, что полученную в настоящей работе картину диэлектрических свойств $ZnGeP_2$ в диапазоне $10-600 \text{ cm}^{-1}$ можно считать исчерпывающей.

Авторы выражают благодарность А.И. Грибенюкову за предоставленные кристаллы и С.П. Лебедеву за помощь в проведении измерений в субмиллиметровом диапазоне.

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (грант 93-02-16110) и Фонда Дж. Сороса.

Список литературы

- [1] Boyd G.D., Gandrud W.B., Buehler E. Appl. Phys. Lett. **18**, 446 (1974).
- [2] Boyd G.D., Bridges T.J., Patel C.K.N., Buehler E. Appl. Phys. Lett. **21**, 553 (1972).
- [3] Bettini M., Miller A. Phys. Stat. Sol. (b) **66**, 579 (1974).
- [4] Григорьева В.С., Марков Ю.Ф., Рыбакова Т.В. ФТТ **17**, 7, 1993 (1975).
- [5] Miller A., Holah G.D., Clark W.C. J. Phys. Chem. Sol. **36**, 685 (1975).
- [6] Марков Ю.Ф., Григорьева В.С., Задохин Б.С., Рыбакова Т.В. Опт. и спектр. **36**, 1, 163 (1974).
- [7] Volkov A.A., Gonchrov Yu.G., Kozlov G.V., Lebedev S.P., Prokhorov A.M. Infrared Phys. **25**, 369 (1985).
- [8] Волков А.А., Гончаров Ю.Г., Козлов Г.В., Лебедев С.П. Тр. ИОФАН **25**, 3 (1990).