

## ДИЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА КОМПЕНСИРОВАННОГО ФОСФИДА ИНДИЯ В ДИАПАЗОНЕ СУБМИЛЛИМЕТРОВЫХ ВОЛН

Б. П. Горшунов, В. П. Калинушкин, Г. В. Козлов, О. И. Сиротинский

Фосфид индия, характеризующийся высокими величинами электронной подвижности ( $\mu \sim 20\,000\text{ см}^2/\text{В}\cdot\text{с}$  [1]), является перспективным материалом для использования в высокочастотной электронике, в частности в приборах миллиметрового и субмиллиметрового (СБММ) диапазонов. Поэтому представляется практически важным исследование диэлектрических свойств InP в указанных областях спектра. В этой связи цель данной работы состояла в проведении первых систематических температурных исследований диэлектрических характеристик, динамической проводимости  $\sigma$  и диэлектрической проницаемости  $\epsilon'$  компенсированного фосфида индия в диапазоне субмиллиметровых волн.

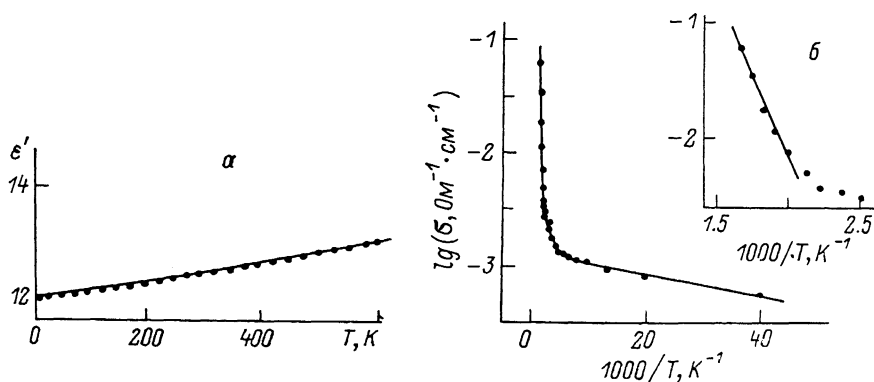


Рис. 1.

В качестве объекта исследования был взят кристалл InP, компенсированный железом. Концентрация носителей  $n_g = (0.7-1.0) \cdot 10^{18}\text{ см}^{-3}$ , подвижность  $\mu \sim (2-2.5) \cdot 10^3\text{ см}^2/\text{В}\cdot\text{с}$ , плотность дислокаций в кристаллах  $5 \cdot 10^4\text{ см}^{-2}$ .

Измерения субмиллиметровых спектров проводимости и диэлектрической проницаемости проводились в диапазоне частот  $6-32\text{ см}^{-1}$  при температурах  $5-600\text{ К}$  на СБММ ЛОВ-спектрометре «Эпсилон» по методике «на пропускание» [2] с использованием плоскопараллельного образца толщиной  $3.6\text{ мм}$ . Величины  $\epsilon'$  и  $\sigma$  при каждой температуре определялись путем обработки экспериментальных спектров пропускания образца по методу наименьших квадратов с использованием формулы, описывающей пропускание плоскопараллельного слоя (см., например, [3]). Экспериментальные погрешности измерения проводимости были порядка 5 и 25 % соответственно при 300 и 25 К. Погрешности измерения диэлектрической проницаемости не превышали нескольких процентов во всем температурном интервале.

На рис. 1 представлены температурные зависимости диэлектрической проницаемости  $\epsilon'$  и динамической проводимости InP для частоты  $9\text{ см}^{-1}$ . Величина  $\epsilon'$  при комнатной температуре  $\epsilon' = 12.44 \pm 0.05$  в пределах погрешностей совпадает с известными данными других авторов на частотах  $\nu \approx 0.3-40\text{ см}^{-1}$  [4-8]. Температурная зависимость  $\epsilon'$  хорошо описывается соотношением Мосса [9] (сплошная линия на рис. 1, а)  $\epsilon' = \epsilon'_0 E_g = \text{const}$  с температурной зависимостью величины запрещенной зоны  $E_g$ , взятой

из [10]. Во всей температурной области 5—600 К в пределах погрешностей измерений дисперсии диэлектрической проницаемости в диапазоне частот 6—33 см<sup>-1</sup> нами не наблюдалось.

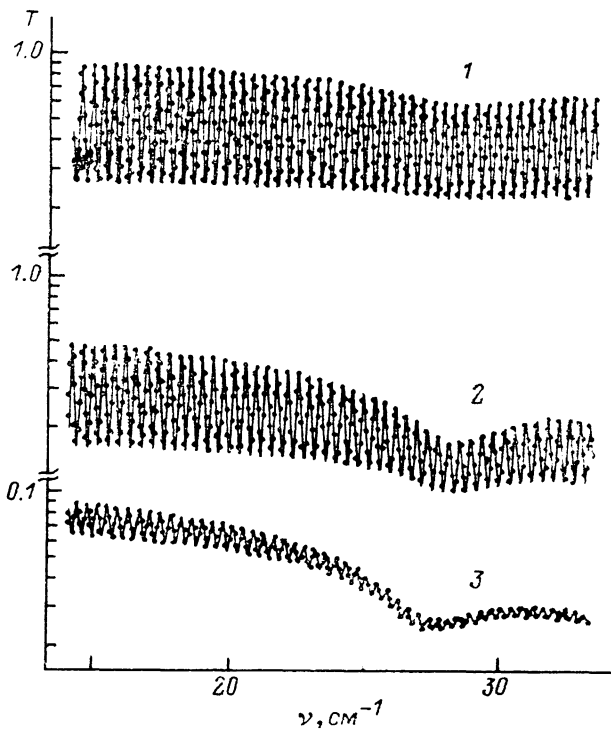


Рис. 2. Частотные зависимости коэффициента пропускания плоскопараллельного образца InP толщиной 3.6 мм, измеренные при  $T=100$  (1), 293 (2) и 573 К (3). Точки — эксперимент, сплошные линии — обработка по формуле пропускания плоскопараллельного слоя [3] с учетом осцилляторной модели дисперсии.

На температурной зависимости динамической проводимости (рис. 1, б) хорошо различаются две области с различными энергиями активации с перегибом в районе 350—400 К. В высокотемпературной области наклон зависимости  $\lg \sigma$  (СБММ) от  $1/T$  соответствует энергии щели  $E_g=1.35$  эВ (сплошная линия на вставке к рис. 1, б).

При измерении спектров пропускания нами была обнаружена в районе частоты 28 см<sup>-1</sup> слабая линия поглощения (рис. 2) с диэлектрическим вкладом  $\Delta \epsilon$  около 0.0035 при комнатной температуре. Обработка спектров пропускания с использованием модели классического осциллятора позволила определить температурную зависимость параметров линии: собственной частоты  $\nu_0$ ,

Диэлектрическая проницаемость и динамическая проводимость фосфида индия на частоте 10 см<sup>-1</sup> для нескольких температур:

$T, K$	$\epsilon'$	$\sigma, \text{ Ом}^{-1} \cdot \text{ см}^{-1}$
5	12.0	0.0006
100	12.1	0.001
200	12.2	0.0013
300	12.3	0.002
600	13.0	0.057

затухания  $\gamma$  и силы осциллятора  $f$ . Оказалось, что в интервале температур 100—600 К собственная частота моды изменяется очень незначительно, от  $\nu_0 \approx 28.5$  см<sup>-1</sup> (100 К) до  $\nu_0=27.5$  см<sup>-1</sup> (600 К), а затухание остается практически постоянным,  $\gamma \approx 5.5 \pm 0.5$  см<sup>-1</sup>. В то же время наблюдается линейная зависимость силы осциллятора линии  $f = \Delta \epsilon \nu_0^2$  от температуры (рис. 3). Такая зависимость  $f(T)$  является характерной для двухфононных процессов поглощения [11]. Поэтому мы полагаем, что

существование данной моды связано с двухфононными процессами с участием продольного и поперечного акустического фононов (см. дисперсионные кривые для  $\text{InP}$  в [12]) и отражает наличие особенности в плотности фононных состояний.

В заключение приведем (см. таблицу) значения диэлектрической проницаемости и проводимости фосфида индия на частоте  $10 \text{ см}^{-1}$  для нескольких температур.

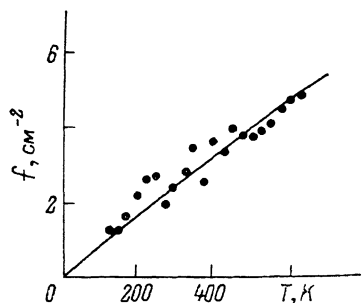


Рис. 3. Температурная зависимость силы осциллятора моды с собственной частотой около  $29 \text{ см}^{-1}$ , наблюдаемой в субмиллиметровых спектрах фосфида индия.

### С п и с о к л и т е р а т у р ы

- [1] Henry R. L., Swiggard E. M. // J. Elektron. Mater. 1978. V. 7. N 5. P. 647—657.
- [2] Волков А. А., Гончаров Ю. Г., Козлов Г. В., Лебедев С. П., Мальцев В. И. // Электронная техника, сер. 1. 1984. № 11. С. 38—41.
- [3] Борн М., Вольф Э. Основы оптики. М., 1973.
- [4] Гавриленко В. И., Грехов А. М., Корбутяк Д. В., Литовченко В. Г. Оптические свойства полупроводников. Киев, 1987.
- [5] Neidert R. E., Binari S. C., Weng T. // Electron. lett. 1982. V. 18. N 23. P. 987—988.
- [6] Palik Ed. D. Handbook of Optical Constants of Solids. N. Y., Academic Press, 1985. P. 503—516.
- [7] Пихтин А. Н., Яськов А. Д. // ФТП. 1975. Т. 12. № 6. С. 1047—1053.
- [8] Seeger K. // Appl. Phys. lett. 1989. V. 54. N 13. P. 1268—1269.
- [9] Мосс Т. Оптические свойства полупроводников. М., 1961.
- [10] Turner W. J., Reese W. E., Pettit G. D. // Phys. Rev. 1964. V. 136. N 5A. P. A1467—A1470.
- [11] Stolen R. H. // Phys. Rev. B. 1975. V. 11. N 11. P. 767—770.
- [12] Borchers P. H., Alfrey G. F., Saunderson D. H., Woods A. D. B. // J. Phys. C. 1975. V. 8. N 13. P. 2022—2030.

Институт общей физики АН СССР  
Москва

Поступило в Редакцию  
1 ноября 1989 г.

УДК 669.017 : 539.89

© Физика твердого тела, том. 32, № 5, 1990  
Solid State Physics, vol. 32, N 5, 1990

## ТОРМОЗЯЩЕЕ ДЕЙСТВИЕ ВЫСОКОГО ГИДРОСТАТИЧЕСКОГО ДАВЛЕНИЯ НА ПРОЦЕССЫ РЕЛАКСАЦИИ В АНСАМБЛЯХ МАЛЫХ ЧАСТИЦ

Л. И. Трусов, В. И. Новиков, В. П. Филоненко, В. А. Сидоров,  
Л. Г. Хвостанцев, Р. В. Салия, О. М. Гвоздецкий

Релаксационные процессы (сплаво- и фазообразования, рекристаллизация и т. п.) в смесевых системах малых частиц (МЧ) с размером частиц  $0.1 \text{ мкм}$  протекают при существенно более низких температурах ( $0.1—0.2 T_{п.л.}$ ), чем в системах обычной дисперсности ( $\sim 10 \text{ мкм}$ ) [1—3]. Экспериментально показано [3], что ведущим процессом, определяющим релаксационно-диффузионную активность в системах МЧ, является собирательная рекристаллизация. Доминирующая роль рекристаллизации обусловливается кинетическим эффектом образования неравновесных вакансий мигрирующими границами. Из общих представлений очевидно, что наложение высокого гидростатического давления должно увеличивать работу,