

УДК 537.311.33

ФИЗИКА

Член-корреспондент АН Армянской ССР Г. М. Авакьянц, А. Н. Вагвянц,
 М. Л. Бегларян

Электрофизические свойства твердых растворов



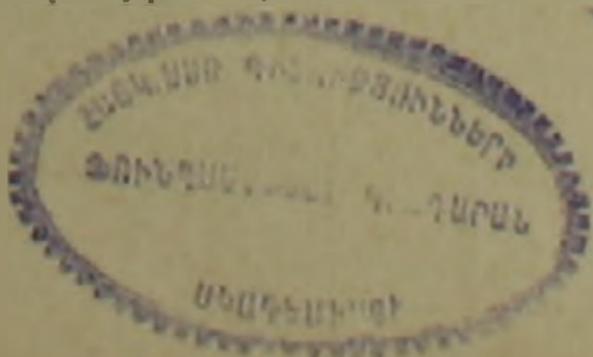
(Представлено 17/1 1970)

Твердые растворы на основе фосфида галлия и фосфида индия изучены совершенно пока недостаточно, хотя и представляют большой практический интерес, как материалы для фотоэлементов, полупроводниковых лазеров и полупроводниковых диодов, работающих при высоких температурах.

Настоящая работа посвящена изложению результатов по синтезу монокристаллических образцов $\text{In}_{1-x}\text{Ga}_x\text{P}$ и последующему исследованию их кристаллофизических и электрофизических свойств.

Для синтеза твердого раствора предварительно получались исходные соединения InP и GaP методом насыщения расплавов галлия и индия и последующим медленным охлаждением. Таким образом синтезированные монокристаллические фосфид индия и фосфид галлия имели концентрацию носителей тока (электронов) порядка $1-2 \times 10^{17} \text{ см}^{-3}$ и подвижности электронов соответственно 3500 и 120 $\text{ см}^2/\text{в сек}$.

Разработана следующая методика синтеза монокристаллических образцов твердого раствора $\text{In}_{1-x}\text{Ga}_x\text{P}$. Исходные соединения InP и GaP в рассчитанных количествах, через каждые 10—12 мол%, с определенным избытком фосфида индия, учитывающим диссоциацию этого соединения, тщательно размельченные и перемешанные, помещались в корундизовые тигли. После этого тигли со смесью вставлялись в толстостенные кварцевые ампулы с возможно малым объемом. В ампулы вводился также элементарный фосфор в количестве $1 \times 10^{-2} \text{ г/см}^3$ для создания в нем определенного давления над расплавом, затем ампулы откачивались до 10^{-4} мм рт. ст. и запаивались. Предполагалось, что существует непрерывный ряд твердых растворов между соединениями InP и GaP (1-3). Построив априори диаграмму состояния, были приблизительно определены температуры ликвидуса. Ампула вставлялась в печь при температуре, превышающей на 20—30°C температуру



ликвидуса для данного состава. Выдержка при этой температуре составляла от 0,5 до 2,0 часов и была тем больше, чем ближе раствор к фосфиду индия. Процентный состав полученных образцов определялся по выделившемуся фосфору и индию. Погрешность составляла $\pm 2-5\%$. Для гомогенизации все образцы подвергались термической обработке при температурах 700—900°C (в зависимости от состава) в течение 250 часов.

Металлографический анализ подтвердил существование твердых растворов во всем интервале концентраций.

Проведен рентгеноструктурный анализ методом Дебая-Шеррера на медном излучении. Четкость линий на полученных дебаеграммах указывает на гомогенность образцов. Все α -линии удовлетворяют правилу отбора для гранцентрированной решетки. Отсутствие новых линий указывает на однофазность синтезированных образцов. Таким образом, твердый раствор $\text{In}_{1-x}\text{Ga}_x\text{P}$ кристаллизуется в решетке цинковой обманки, пространственная группа $F\bar{4}3m Td^2$.

В работе (1) указывается на изменение параметра кристаллической решетки в системе $\text{InP}-\text{GaP}$ с небольшим отрицательным отклонением от закона Vegарда. По данным Мюллера и Ричардса (2) изменение параметра в этой системе приблизительно следует закону Vegарда.

По нашим данным наблюдается положительное отклонение от закона Vegарда в области $0 < x < 0,57$ и отрицательное — в области $0,57 < x < 1$ (рис. 1). Точка перегиба соответствует примерно $x = 0,57$. Подобное изменение параметра решетки наблюдается также в системах $\text{InSb}-\text{InAs}$ и $\text{InSb}-\text{AlSb}$ (3).

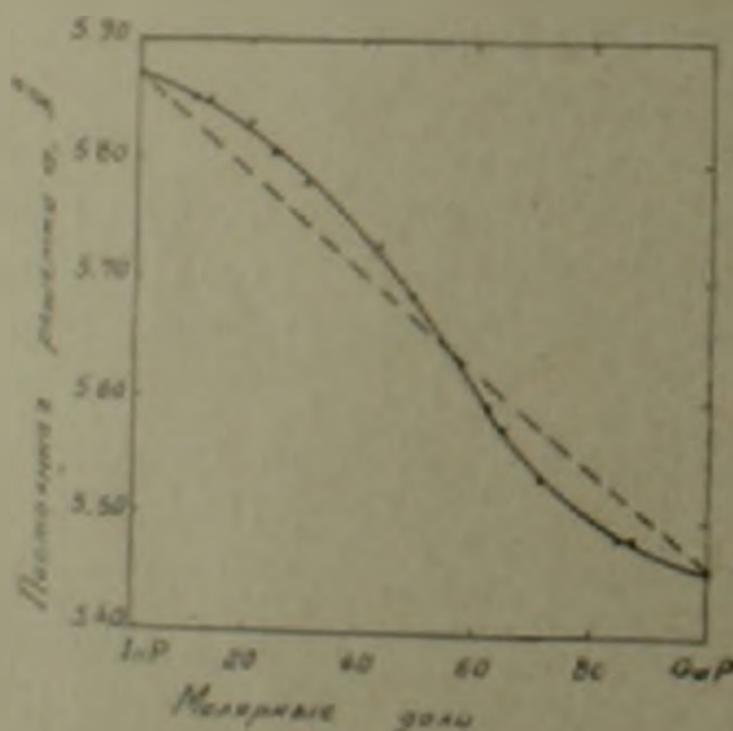


Рис. 1. Зависимость постоянной решетки от состава

Для исследования электрофизических свойств выбирались наибольшие монокристаллы, размером 2—4 мм, которым шлифовкой и полировкой придавалась форма прямоугольных пластинок. Омические контакты создавались термосплавлением олова. Омичность всех контактов проверялась путем снятия вольт-амперных характеристик. Измерены электропроводность и эффект Холла в интервале температур 20—200°C. Все образцы имели электронный тип проводимости. Рассчитаны концентра-

ции и подвижности. Концентрации электронов для всех образцов находились в интервале $0,7-2,4 \times 10^{17} \text{ см}^{-3}$ и медленно увеличивались с ростом температуры. Это указывает на практически полную ионизацию донорных примесных уровней в этих растворах в исследуемой нами области температур. Электропроводность фосфида индия составляла $90 \text{ ом}^{-1} \text{ см}^{-1}$ и уменьшалась с увеличением процентного содержания фосфида галлия до единиц $\text{ом}^{-1} \text{ см}^{-1}$.

На рис. 2 представлена зависимость подвижности электронов от абсолютной температуры в логарифмических масштабах. Видно, что если связь подвижности от температуры представить в виде $\mu \sim T^{-\alpha}$, то α ле-

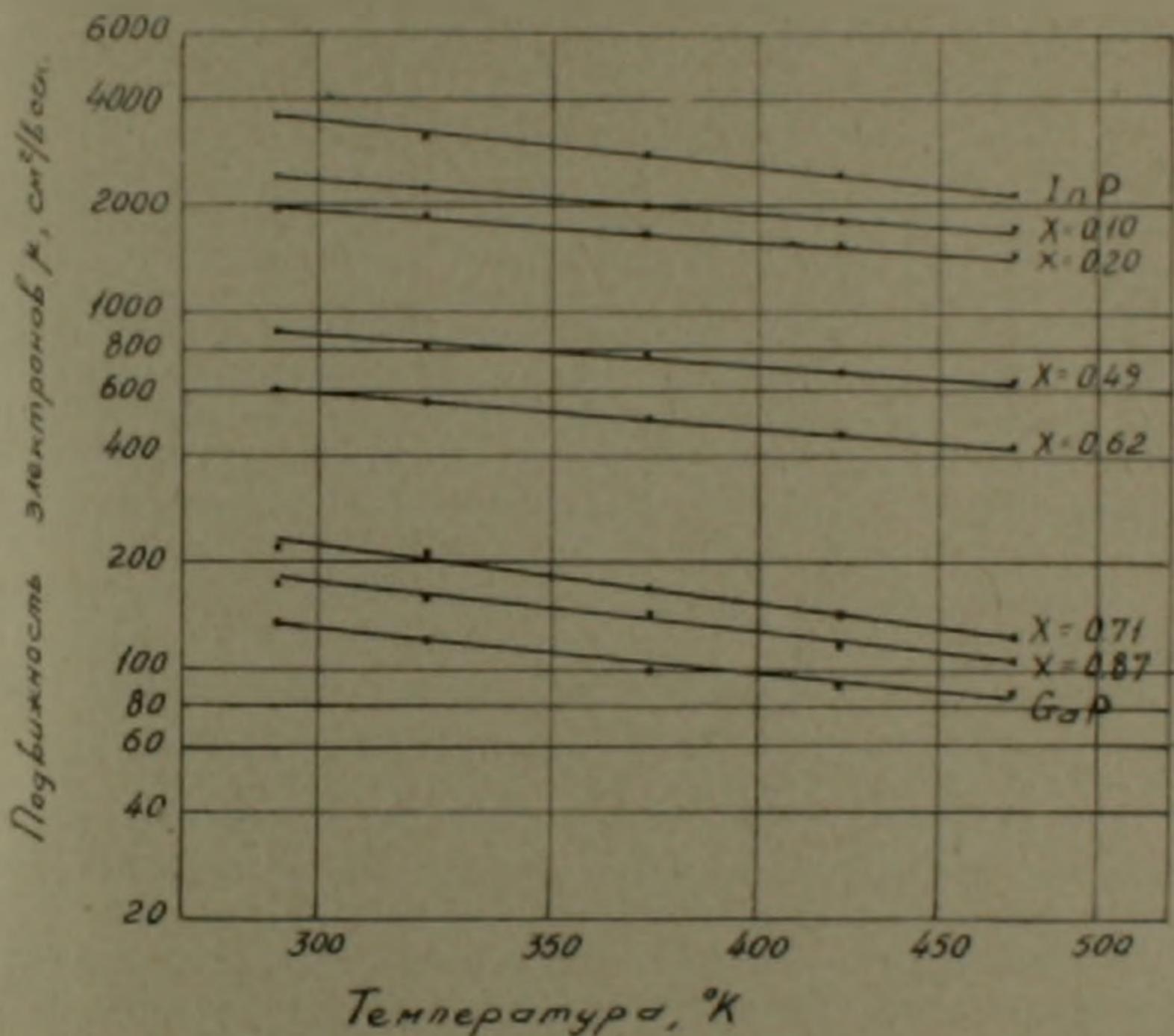


Рис. 2. Зависимость подвижности электронов от температуры

жит в пределах от 0,5 до 1,5. Таким образом, движение носителей в основном ограничивается как полярным рассеянием, так и взаимодействием их с акустическими колебаниями решетки.

Наибольший интерес представляет изменение подвижности электронов от состава (рис. 3). Установлено, что подвижность экспоненциально убывает с ростом процентного содержания фосфида галлия. Причем, если подвижность электронов аппроксимировать формулой

$$\mu = \mu_0 \left(\frac{T_0}{T} \right)^{\alpha(x)} e^{-\beta/T},$$

где x — процентная доля фосфида галлия, то μ_0 , α и k не зависят от температуры. Наблюдается нарушение этой зависимости в интервале $0,6 < x < 0,7$. Это нарушение, видимо, связано с переходом электронов из

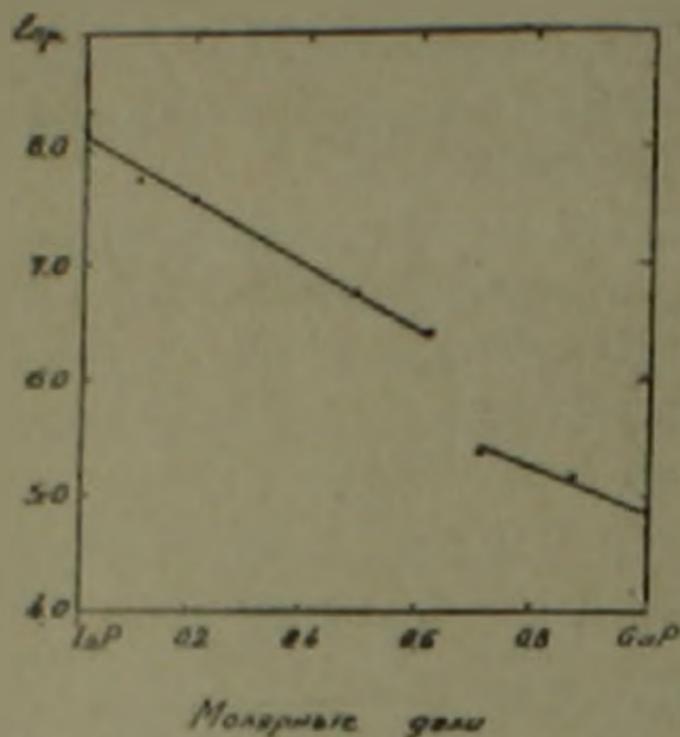


Рис. 3. Зависимость подвижности электронов от состава

одной зоны проводимости в другую, а также возможно из-за более сильного взаимодействия электронов с решеткой в рассматриваемом интервале твердых растворов. По нашим данным $k=2,8$ при $0 < x < 0,6$ и $k=1,8$ при $0,7 < x < 1$. При переходе из одного интервала x к другому испытывает скачок также μ_0 . В области $0,6 < x < 0,7$ подвижность меняется от 600 до 220 $\text{см}^2/\text{в сек}$.

Насколько нам известно, до сих пор измерение подвижности от состава системы $\text{In}_{1-x}\text{Ga}_x\text{P}$ никем не производилось. Имеются, однако, измерения ширины запрещенной зоны E_g от состава. Причем, указывается на перелом в зависимости E_g от состава около точки $x=0,5$ по данным Хилсума (4) и при $x=0,8$ по данным Лоренца и др. (5).

Следует думать, что одной из основных причин подобных расхождений является неточность в определении самого x . Дальнейшая работа в этом направлении должна дать окончательный ответ.

Основным результатом наших измерений следует считать наличие экспоненциальной зависимости подвижности от состава в системе $\text{In}_{1-x}\text{Ga}_x\text{P}$, а также указание на существование нарушения этой зависимости в области $0,6 < x < 0,7$.

Что касается электропроводности, то она в основном подчиняется той же зависимости от состава, что и подвижность электронов. Это следовало ожидать, так как концентрация электронов почти не зависит от состава.

В заключение авторы выражают благодарность С. Е. Яхияну, В. П. Слдолян, Х. С. Паносяну и Р. Н. Аконджаяну за помощь в работе.

Ереванский государственный
университет

$In_{1-x}Ga_xP$ Պինդ լուծույթների էլեկտրաֆիզիկական հատկությունները

Հայման մեթոդով ստացված են $In_{1-x}Ga_xP$ պինդ լուծույթների միաբյուրեղային նմուշներ: Բոլոր նմուշները ստացված են n -տիպի կատարված է մետաղաբանական և ունեցնում են ատրոսկոպիկ առանցքներ: Նկատված է բազադրությունից կախված ցանցի հաստատունի փոփոխության չեղում՝ մեզարդի սրենքից: Որոշված են էլեկտրաահորդականության, էլեկտրոնների կոնցենտրացիայի և շարժունակության կախումները բազադրությունից և չեմաստիճանից: Պարզված է, որ էլեկտրոնների շարժունակությունը պայմանավորված է ինչպես բննության ցրմամբ, այնպես էլ ակուստիկական ֆոնոնների հետ էլեկտրոնների փոխազդեցությամբ, Յույց է տրված, որ էլեկտրոնների շարժունակության կախումը բազադրությունից ունի էքսպոնենցիալ բնույթ և որ այն խախտվում է $0.6 < x < 0.7$ միջակայքում:

ЛИТЕРАТУРА — ԳՐԱԿԱՆՈՒԹՅՈՒՆ

¹ H. H. Curotu, B. B. Pozov, ДАН АН БССР, т. 7, 7, 446 (1963). ² E. K. Müller, T. L. Richards, Journ. Applied Physics, v. 35, 4, 1233 (1964). ³ T. C. Wolley, B. A. Smith, T. A. Evans, Solid State Physics in Electronics and Telecom., 2, New-York, 802, 1960. ⁴ К. Хилсум, П. Портеус, Аннотации докладов на международной конференции по физике полупроводников, М., 1968. A. M. Witte, E. W. Williams, P. Porteus, Physica Status Solidi, 30, 2, K125 (1968). ⁵ M. R. Lorenz, W. Reuter, W. P. Dumke, R. T. Chlcotha, G. D. Pettit, T. M. Woodall, Applied Physics Letters, 13, 12, 421 (1968).