

диффузии с участием легких дырок является преобладающим. В результате имплантации ионов ксенона с последующим диффузионным термическим отжигом время жизни в данном образце уменьшилось примерно в 70 раз при $T = 77$ К, а зависимость $\tau(T)$ приобрела вид, характерный для рекомбинации неравновесных носителей заряда на центрах Шокли—Рида. Анализ экспериментальной кривой на основе одноуровневой модели показал, что уровень центров лежит на ≈ 30 мэВ ниже дна зоны проводимости, а коэффициенты захвата электронов и дырок близки по величине (поскольку $B_n^{-1} \sim \tau_{n0}$ и $B_p^{-1} \sim \tau_{p0}$, а величины τ_{n0} и τ_{p0} равны 0.1 и 0.3 мкс соответственно), т. е. центры рекомбинации являются, по-видимому, нейтральными.

Таким образом, проведенные исследования показали, что ионное легирование ксеноном с последующим диффузионным термическим отжигом практически не влияет на электрические свойства кристаллов кадмий—ртуть—теллур, но приводит к образованию эффективных центров рекомбинации, значительно уменьшающих время жизни носителей заряда в области низких температур.

Список литературы

- [1] Ибрагимова М. И., Барышев Н. С., Хайбуллин И. Б., Ахмедова Ф. И., Фадеева А. П. // ФТП. 1989. Т. 23. В. 7. С. 1249—1253.
- [2] Hall R. N. // Proc. IEEE (Suppl. 17). 1959. V. B106. P. 923—931.
- [3] Гельмонт Б. Л. // ЖЭТФ. 1978. Т. 75. В. 2 (8). С. 536—544.
- [4] Casselman T. N. // J. Appl. Phys. 1981. V. 52. N 2. P. 848—854.

Казанский физико-технический институт КФ АН СССР

Получено 17.04.1989
Принято к печати 19.09.1989

ФТП, том 24, вып. 2, 1990

ОСОБЕННОСТИ РАССЕЯНИЯ ФОНОНОВ В ТВЕРДОМ РАСТВОРЕ $\text{Ga}_x\text{In}_{1-x}\text{As}$

Араслы Д. Г., Рагимов Р. Н., Алиев М. И.

В настоящей работе сообщается о результатах исследования теплопроводности твердого раствора $\text{Ga}_x\text{In}_{1-x}\text{As}$ $0 \leq x \leq 0.08$ в интервале температур $80 \div 300$ К. Измерения проводились методом стационарного теплового потока на монокристаллических образцах с одинаковой концентрацией электронов $n = 3.9 \cdot 10^{17} \text{ см}^{-3}$, полученных методом Чохральского.

Температурная зависимость теплопроводности исходного InAs и твердого раствора $\text{Ga}_x\text{In}_{1-x}\text{As}$ представлена на рис. 1. Как видно, с увеличением содержания второго компонента значение теплопроводности уменьшается и зависимость $\kappa(T)$ приобретает более пологий характер. Расчеты показали, что в исследуемом интервале T электронная теплопроводность $\kappa_{эл}$ мала (менее 2 % $\kappa_{общ}$) и наблюдаемое уменьшение κ , а также ее температурная зависимость связаны с фононными процессами. Проведен расчет параметра рассеяния фононов на разупорядоченности сплава A по формулам, приведенным в [1], с учетом локального изменения плотности и упругих свойств кристалла вокруг дефекта. Расчетное значение A значительно отличается от подгоночной величины параметра фонон-дефектного рассеяния, и с увеличением x это различие уменьшается. Вероятно, это связано с рассеянием фононов на собственных дефектах и изменением их концентрации с изменением состава сплава.

В температурной зависимости теплопроводности $\text{Ga}_x\text{In}_{1-x}\text{As}$ (рис. 1) в узком интервале температур наблюдается аномальное понижение теплопроводности для образца с $x = 0.01$ при ~ 90 К на 7 %. С увеличением содержания GaAs уменьшается глубина минимума κ , и температура, соответствующая этой аномалии, смещается в область более высоких температур. Наблюдаемое

Уменьшение теплопроводности в узком интервале температур, возможно, связано с резонансным рассеянием акустических фононов. Дополнительный максимум, наблюдаемый в спектре поглощения $\text{Ga}_{0.01}\text{In}_{0.99}\text{As}$ [2], также свидетельствует о наличии резонансного уровня, природа которого еще не ясна.

Подобные прогибы теплопроводности при относительно низких температурах (< 50 K) наблюдались в ряде полупроводников [3-5], что также связывалось с резонансным рассеянием фононов. Возможно, что этот механизм в $\text{Ga}_x\text{In}_{1-x}\text{As}$ обусловлен примесно-вакансионным комплексом.

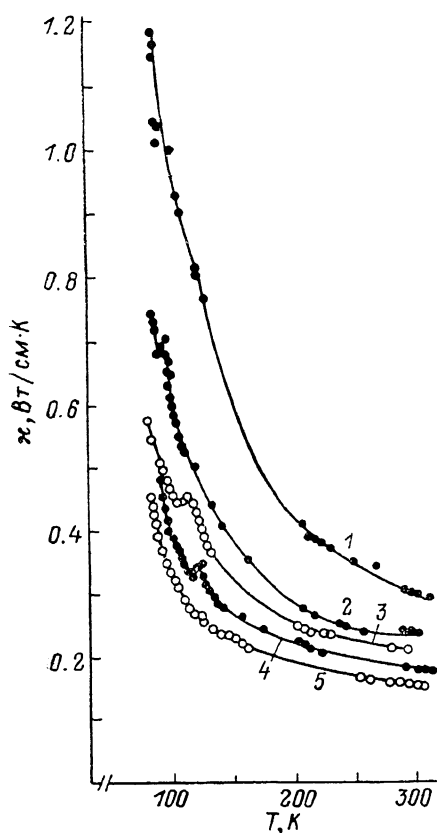


Рис. 1. Температурная зависимость теплопроводности $\text{Ga}_x\text{In}_{1-x}\text{As}$.
 x : 1 — 0, 2 — 0.01, 3 — 0.02, 4 — 0.04, 5 — 0.08.

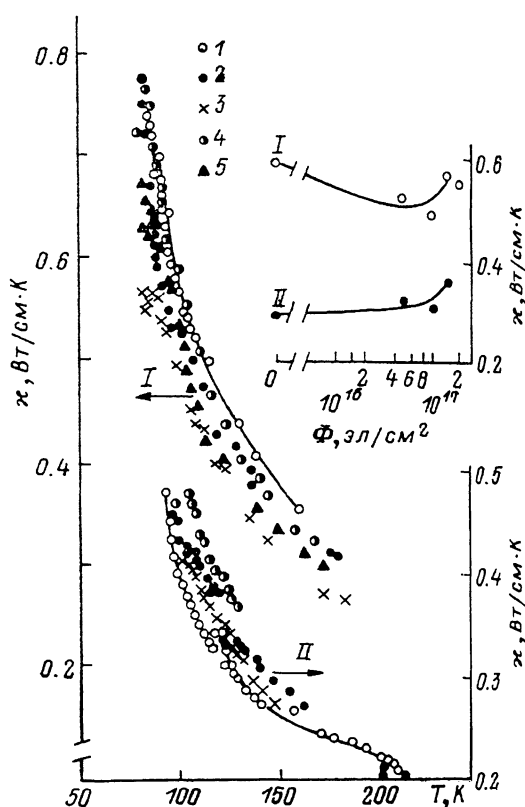


Рис. 2. Температурные зависимости теплопроводности твердых растворов $\text{Ga}_{0.01}\text{In}_{0.99}\text{As}$ (I) и $\text{Ga}_{0.04}\text{In}_{0.96}\text{As}$ (II).

$\Phi \cdot 10^{-17}$, эл/см²: 1 — 0.5, 2 — 1, 3 — 1.5, 4 — 2. На вставке — зависимости $\kappa(\Phi)$ при $T=100$ K.

В настоящей работе в исследованном интервале T изучена теплопроводность твердых растворов $\text{Ga}_x\text{In}_{1-x}\text{As}$ с $x=0.01$ и 0.04 , облученных электронами с энергией 6 МэВ и дозой $\Phi \leq 2 \cdot 10^{17}$ эл/см². На рис. 2 представлены температурные зависимости теплопроводности до и после облучения быстрыми электронами с различной дозой. Как видно из вставки рис. 2, κ $\text{Ga}_{0.01}\text{In}_{0.99}\text{As}$ уменьшается с увеличением дозы до $\Phi=1 \cdot 10^{17}$ эл/см², а дальнейшее повышение дозы облучения приводит к росту κ . Однако с увеличением содержания GaAs наблюдается обратная картина — теплопроводность с возрастанием дозы увеличивается. Кроме того, в $\text{Ga}_{0.01}\text{In}_{0.99}\text{As}$ прогиб κ с увеличением дозы становится более выраженным, чем в $\text{Ga}_{0.04}\text{In}_{0.96}\text{As}$. В обоих составах с увеличением дозы облучения ослабляется температурная зависимость теплопроводности.

В исследуемых составах $\text{Ga}_x\text{In}_{1-x}\text{As}$ при облучении быстрыми электронами концентрация электронов с повышением дозы облучения увеличивается, что указывает на образование радиационных дефектов донорного типа (заряженные атомы As [6]). Кроме того, увеличение n с ростом Φ в $\text{Ga}_x\text{In}_{1-x}\text{As}$ при малом содержании GaAs более сильно, чем при большом. Поведение электропровод-

ности и термоэдс с увеличением дозы облучения объясняется увеличением n (Φ) [6]. Однако изменение теплопроводности облученных образцов в измеренном интервале температур не связано с изменением концентрации электронов, так как $\chi_{в.л}$ даже при $\Phi=1 \cdot 10^{17}$ эл/см² не превышает 4 % $\chi_{0,6м}$. Следовательно, изменение χ с облучением связано с рассеянием фононов. Под влиянием радиации смещение атома мышьяка в междоузлия кристаллической решетки приводит к образованию заряженной вакансии. Скорости миграции заряженных атомов и вакансий различны. Поэтому наряду с рекомбинацией существует и вероятность их взаимодействия с присутствующими примесями и дефектами. В предположении пропорциональности концентрации возникающих дефектов дозе облучения рассчитано изменение теплопроводности с дозой по формуле

$$\Delta \chi = \chi_p \left[1 - \left(\frac{\omega_0}{\omega_D} \right) \operatorname{arctg} \frac{\omega_D}{\omega_0} \right],$$

где $\omega_0^2/\omega_D^2 = k_B/2\pi^2 v \chi_p \omega_D A$, χ_p — теплопроводность решетки, ω_D — дебаевская частота. При вычислениях параметра рассеяния фононов на вакансиях A использовано эффективное значение изменения массы по формуле (1) из [7]. Расчет показал, что при $T=110$ К и $\Phi=10^{17}$ эл/см² в $\text{Ga}_{0.01}\text{In}_{0.99}\text{As}$ изменение теплопроводности, обусловленное рассеянием фононов на вакансиях, составляет $\Delta \chi_{в.л}=0.024$ Вт/см·К, на атомах мышьяка $\Delta \chi_{с.л}=0.005$ Вт/см·К, а сумма их $\Delta \chi = \Delta \chi_{в.л} + \Delta \chi_{с.л}$ меньше наблюдаемого в эксперименте $\Delta \chi_{экс}=0.08$ Вт/см·К (рис. 2). Это означает, что при облучении быстрыми электронами в $\text{Ga}_x\text{In}_{1-x}\text{As}$ наряду с первичными точечными дефектами возникает значительное количество и других дефектов. Кроме того, генерация радиационных дефектов и взаимодействие их с химическими примесями и термически равновесными дефектами в $\text{Ga}_x\text{In}_{1-x}\text{As}$ изменяются с составом, что связано, по-видимому, с различными повреждениями подрешетки арсенида индия и галлия за счет облучения. В пользу этого предположения свидетельствует и экспериментальный факт различного прироста концентрации электронов в $\text{Ga}_{0.01}\text{In}_{0.99}\text{As}$ и $\text{Ga}_{0.04}\text{In}_{0.96}\text{As}$ при одинаковой дозе облучения.

Список литературы

- 1) Драбл Дж., Голдсמיד Г. Теплопроводность полупроводников: Пер. с англ. М., 1963. 266 с.
- 2) Алиев М. И., Араслы Д. Г., Рагимов Р. Н., Халилов Х. А., Халилова А. А., Рашидова Ш. Ш. // Препринт № 279. ИФ АН АзССР. Баку, 1988.
- 3) Holland M. G. // Phys. Rev. 1964. V. 134. N 2. P. 471—480.
- 4) Gaur N. K. S., Brandari C. M., Verma G. S. // Physica. 1966. V. 32. N 6. P. 1048—1049.
- 5) Guckelsberger K., Briggs A. // J. Phys. C: Sol. St. Phys. 1975. V. 8. N 10. P. L195—L198.
- 6) Алиев М. И., Халилов Х. А., Рашидова Ш. Ш. // ДАН АзССР. 1988. Т. 44. В. 7. С. 31—34.
- 7) Ratsifaritana G. A., Klemens P. G. // Phonon scattering in condensed matter. N. Y., 1980. P. 259—262.

Институт физики АН АзССР
Баку

Получено 23.06.1989
Принято к печати 28.09.1989