

- [10] Watkins G. D., Corbett J. W. — Phys. Rev., 1961, v. 121, N 4, p. 1001—1014; 1964, v. 134A, N 5, p. 1359—1377.
- [11] Corbett J. W., Bourgoin J. C., Cheng L. J., Corelli J. C., Lee Y. H., Mooney P. M., Weigel C. — In: Rad. Def. Semicond. Conf. Ser. N 31. Bristol—London, 1977, p. 1—11.
- [12] Lee Y. H., Corbett J. W., Brower K. L. — Phys. St. Sol. (a), 1977, v. 41, N 2, p. 637—645.
- [13] Лугаков П. Ф., Лукашевич Т. А., Шуша В. В. — ФТП, 1979, т. 13, в. 2, с. 401—404.
- [14] Bean A. R., Newman R. C. — J. Phys. Chem. Sol., 1972, v. 33, N 2, p. 255—268.
- [15] Mooney P. M., Cheng L. J., Süli M., Gerson J. D., Corbett J. W. — Phys. Rev., 1977, v. 15, N 8, p. 3836—3843.
- [16] Lugakov P. F., Lukyanitsa V. V. — Phys. St. Sol. (a), 1984, v. 83, N 2, p. 521—527.

Получено 17.12.1987

Принято к печати 26.07.1988

Научно-исследовательский институт  
прикладных физических проблем  
им. А. Н. Севченко при БГУ им. В. И. Ленина  
Минск

ФТП, том 22, вып. 12, 1988

## УСКОРЕННАЯ ДИФФУЗИЯ ИНДИЯ В $Hg_{1-x}Cd_xTe$ ПОД ВОЗДЕЙСТВИЕМ ОБЛУЧЕНИЯ ИОНАМИ ПРИ $T=300$ К

Войцеховский А. В., Кирюшкин Е. М., Лиленко Ю. В.,  
Петров А. С., Черников Е. В., Кузнецов Н. В.,  
Курбанов К. Р., Мамонтов А. П.

Индий является одной из перспективных примесей, позволяющих получать кристаллы  $Hg_{1-x}Cd_xTe$   $n$ -типа проводимости [1-3]. Однако введение в  $Hg_{1-x}Cd_xTe$  индия, являющегося медленно диффундирующей примесью, посредством термодиффузии требует использования высоких температур в течение длительного отжига и может сопровождаться изменением морфологии и состава поверхности, а также образованием инверсионных слоев  $p$ -типа проводимости [4]. В то же время известно, что воздействие облучения способствует ускорению атомной диффузии в полупроводниках и позволяет значительно снизить температуру процесса диффузии [5-7]. Так, в кремнии радиационно-стимулированная диффузия примесей происходит уже при температурах  $\sim 600$  °С, что на несколько сотен градусов ниже температуры термодиффузии. Следует ожидать, что и в кристаллах  $Hg_{1-x}Cd_xTe$  воздействие облучения должно уменьшить температуру диффузии индия ( $300\div 500$  °С для термодиффузии) до более низких значений, вплоть до комнатной. Одновременно радиационно-стимулированная диффузия в  $Hg_{1-x}Cd_xTe$  при пониженных температурах позволит избежать нежелательных последствий, связанных с длительной высокотемпературной обработкой, неизбежной при проведении термодиффузии.

В настоящей работе представлены результаты экспериментального исследования радиационно-стимулированной диффузии индия в  $Hg_{1-x}Cd_xTe$  под воздействием облучения кристаллов ионами  $H^+$  и  $Ag^+$  при комнатной температуре.

Исследования проведены на монокристаллических образцах  $Hg_{1-x}Cd_xTe$  с составом  $x=0.2$ , подвергнутых химико-механической полировке и последующему травлению в спиртовом растворе брома. В качестве источников диффузии использовались напыленные на поверхность слой индия толщиной не более 200 Å, а также предварительно имплантированный в  $Hg_{1-x}Cd_xTe$  индий. Доза имплантации ионов индия составляла  $10^{14}$  см $^{-2}$  при энергии внедряемых ионов 40 кэВ. Образцы с напыленным слоем индия облучались ионами  $H^+$  с энергией 200 кэВ дозой  $\Phi=10^{15}$  см $^{-2}$ . Потерями энергии ионов  $H^+$  в тонком напыленном слое практически можно пренебречь. Образцы с имплантированным индием облучались ионами  $Ag^+$  с энергией 160 кэВ дозами  $10^{14}$  и  $10^{15}$  см $^{-2}$ . В обоих случаях облучение проводилось при комнатной температуре, причем плотность тока ионов  $H^+$  и  $Ag^+$  составляла 0.1 мкА/см $^2$ , что исключало возможность нагрева образцов в процессе облучения. Распределения атомов индия по глубине

полупроводника после воздействия облучений ионами определялось масс-спектрометрическим методом.

На рис. 1 приведено распределение атомов индия  $C_{In}(x)$  по глубине полупроводника после облучения ионами  $H^+$ . Видно, что облучение приводит к диффузии атомов индия из напыленного слоя в глубь полупроводника на расстояние свыше 2 мкм. Это свидетельствует о генерации дефектов, ответственных за радиационно-стимулированную диффузию не только в области, соответствующей длине среднего проецированного пробега  $\bar{R}_p$ , равной 1.4 мкм для ионов  $H^+$  с энергией  $E=200$  кэВ [8], но и на всем протяжении от поверхности до окончания их пробега. В распределении  $C_{In}(x)$  наблюдается выраженный максимум вблизи  $\bar{R}_p$ . С учетом того, что за время облучения индий проникает в глубь

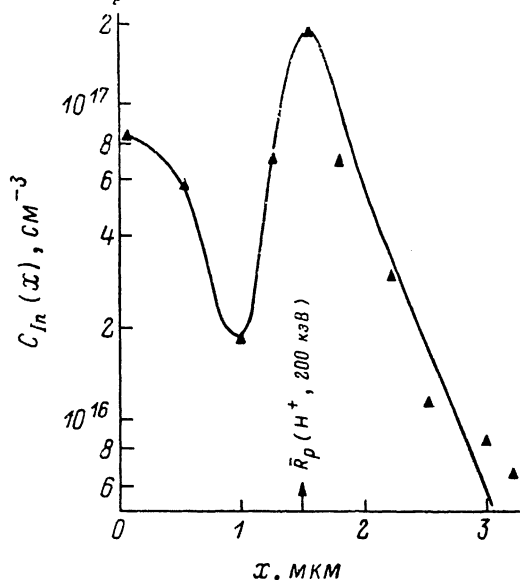


Рис. 1. Распределение концентрации индия по глубине после облучения ионами  $H^+$ .  
 $E=200$  кэВ,  $\Phi=10^{16}$  см $^{-2}$ .

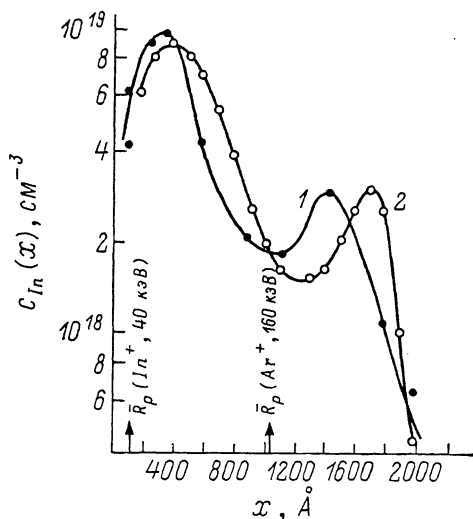


Рис. 2. Распределение концентрации имплантированного индия после облучения ионами  $Ag^+$  с энергией  $E=160$  кэВ.  
 $\Phi$ , см $^{-2}$ : 1 —  $10^{14}$ , 2 —  $10^{15}$ .

полупроводника на расстояние более 2 мкм, коэффициент диффузии индия  $D_{In}$  составляет величину не менее  $2.5 \cdot 10^{-11}$  см $^2$ /с. Для сравнения следует указать, что при термодиффузии индия в  $Hg_{1-x}Cd_xTe$  при 300 °C величина  $D_{In}$  имеет значительно меньшие значения и составляет, по различным данным [1, 2],  $(1-5) \cdot 10^{-13}$  см $^2$ /с.

На рис. 2 представлены распределения атомов индия  $C_{In}(x)$  по глубине после облучения ионами  $Ag^+$  дозами  $10^{14}$  см $^{-2}$  (кривая 1) и  $10^{15}$  см $^{-2}$  (кривая 2) в образцах, предварительно имплантированных ионами индия. Значение  $\bar{R}_p$  для имплантированных ионов индия использованной энергии не превышает 100 Å. В то же время последующее облучение ионами  $Ag^+$  приводит к перераспределению атомов индия на глубину до 2000 Å вследствие радиационно-стимулированной диффузии. Распределения  $C_{In}(x)$  характеризуются наличием максимума на расстоянии, несколько превышающем длину среднего проецированного пробега ионов  $Ag^+$  с энергией 160 кэВ в  $Hg_{1-x}Cd_xTe$  исследуемого состава. Кроме этого, уже при дозе  $10^{14}$  см $^{-2}$  происходит стабилизация распределения  $C_{In}(x)$ , и увеличение дозы облучения до  $10^{15}$  см $^{-2}$  приводит лишь к незначительному изменению формы «хвоста» распределения  $C_{In}(x)$ , что свидетельствует о «насыщении» процесса диффузии.

Таким образом, облучение ионами позволяет проводить диффузию индия в кристаллах  $Hg_{1-x}Cd_xTe$  из напыленных и имплантированных слоев при комнатной температуре. При этом формирование профилей распределения примеси по глубине определяется видом используемых ионов, а также их энергией и дозой. Следует отметить, что существенную роль в процессе ускоренной облу-

чением миграции примесных атомов могут играть радиационные нарушения в материале, оставшиеся после имплантации ионов индия.

### Л и т е р а т у р а

- [1] Shaw D. — Phys. St. Sol. (a), 1985, v. 89, N 1, p. 173.
- [2] Зайтов Ф. А., Исаев Ф. К., Горшков А. В. Дефектообразование и диффузионные процессы в некоторых полупроводниковых твердых растворах. Баку, 1984. 211 с.
- [3] Vudyanath H. R. — J. Electrochem. Soc., 1981, v. 128, N 12, p. 2619.
- [4] Гущина В. П., Лакеев В. М., Пелевин О. В. — В кн.: Полупроводники с узкой запрещенной зоной и полуметаллы. Львов, 1986, ч. 1, с. 48—50.
- [5] Masters B. J., Gorey E. F. — J. Appl. Phys., 1978, v. 49, N 5, p. 2717.
- [6] Емцев В. В., Машовец Т. В. Примеси и точечные дефекты в полупроводниках. М., 1981. 248 с.
- [7] Козловский Е. В., Ломасов В. Н. — В кн.: Обзоры по электронной технике. М., 1985, сер. 7, в. 9, с. 2—56.
- [8] Лилленко Ю. В., Шастов К. В., Кузнецов Н. В. — ФТП, 1986, т. 20, в. 10, с. 1907—1910.

Сибирский физико-технический институт  
им. В. Д. Кузнецова при ТГУ  
Томск

Получено 4.02.1988  
Принято к печати 26.07.1988

*ФТП, том 22, вып. 12, 1988*

## МОДИФИКАЦИЯ ОПТИЧЕСКИХ СВОЙСТВ InAs ПОД ДЕЙСТВИЕМ ИМПУЛЬСНОГО ЛАЗЕРНОГО ОБЛУЧЕНИЯ

Жданев В. В., Зарифьянц Ю. А., Кашкаров П. К.

Арсенид индия в ряду полупроводников группы  $A^{III}B^V$  наименее исследован с точки зрения влияния мощного импульсного лазерного облучения (ИЛО) на его фотоэлектрические и оптические свойства. Поскольку InAs, как и GaAs, относится к диссоциирующим в расплаве соединениям, то помимо образования точечных дефектов при умеренных уровнях воздействия можно ожидать значительных изменений свойств приповерхностного слоя при переходе через порог плавления [1, 2]. В настоящей работе мы исследовали красную фотолюминесценцию арсенида индия, подвергнутого ИЛО, а также спектры отражения его в области однофононного резонанса ( $40\div 50$  мкм).

Полированные образцы  $n$ -InAs с концентрациями электронов  $1.2\cdot 10^{16}$  и  $6.5\cdot 10^{17}$  см<sup>-3</sup> предварительно травили в кислотном травителе и выдерживали на воздухе не менее 2 суток, в течение которых происходила стабилизация излучательных способностей кристаллов. Фотолюминесценция в приповерхностной области InAs при 85 К возбуждалась He—Ne-лазером. Спектры отражения при 298 К измеряли с помощью приставки к спектрофотометру Перкин-Эльмер-577 при угле падения 6°. Облучение образцов проводили при комнатной температуре в вакууме импульсами рубинового лазера, работающего в режиме модулированной добротности. Длительность импульса 15 нс, плотность энергии изменялась от 0.05 до 0.25 Дж/см<sup>2</sup>. Для равномерного распределения потока по сечению применяли диффузор. В период воздействия ИЛО на поверхность кристалла контролировалось появление фазы повышенного отражения с временным разрешением 5 нс.

Как показали эксперименты, в результате роста мощности ИЛО происходило снижение интенсивности фотолюминесценции, при этом форма линии и положение максимума оставались постоянными. Наибольшие изменения в спектре наблюдали при переходе через порог плавления ( $0.13$  Дж/см<sup>2</sup>), когда интенсивность излучения падала в 6—8 раз, линия сужалась на 3 мэВ, а ее максимум сдвигался на 2 мэВ (рис. 1).

На рис. 2 представлены спектры отражения кристаллов InAs в области остаточных лучей. Для образца с небольшой концентрацией электронов это —