

## Methods creations contact metallization with In bump to silicon matrix MOS multiplexers

V. M. Akimov, L. A. Vasilieva, N. B. Kagan, E. A. Klimanov, I. U. Kjurbet, V. P. Liseykin, A. R. Michertumeynz, M. V. Sednev, N. N. Seregina, S. V. Shuckin  
Orion Research-and-Production Association, Moscow, Russia

*Information about multi-film metallization of silicon multiplexers with indium bump is given. In the report is grounded every film of metal for achievement necessary electric characteristics and good adhesion in bump to upper metallic surface.*

УДК 621.383

## *P-n*-переходы на основе $Cd_xHg_{1-x}Te$ , полученные облучением низкоэнергетичными ионами индия и аргона

Н. Д. Исмаилов, Э. К. Гусейнов, И. С. Гасанов, С. А. Гейдаров  
Институт физики НАН Азербайджана, г. Баку, Республика Азербайджан

*Приведены результаты экспериментального исследования свойств фотодиодных структур на основе  $Cd_xHg_{1-x}Te$  ( $0,2 \leq x \leq 0,3$ ), изготовленных методом обработки поверхности материала *p*-типа ионами индия с энергией 1—5 кэВ и ионами аргона с энергией 250 эВ. На основе анализа электрических и фотоэлектрических свойств полученных структур сделан вывод о более качественных структурах, полученных при обработке ионами индия, чем при обработке ионами аргона. Сделано предположение, что это связано с меньшими на два порядка дозами облучения ионами индия, необходимыми для формирования инверсного слоя, чем дозами облучения ионами аргона.*

В настоящее время узкозонные материалы  $Cd_xHg_{1-x}Te$  сохраняют свое лидирующее место в ИК-оптоэлектронике. Основное развитие ИК-фотоприемников происходит в направлении создания большеформатных фотодиодных матриц [1]. В большинстве случаев формируют фотодиоды  $n^+$ -*p*-типа с использованием ионной имплантации элементов Hg, В, Н, Ве, Al, In, Ag с энергией 30—200 кэВ и дозами  $10^{12}$ — $10^{15}$  см<sup>-2</sup> в вакансионно-легированный материал [2, 3]. При этом *p-n*-переход формируется на глубине 1—3 мкм, которая значительно превышает субмикронную область имплантированных ионов, а уровень легирования инверсного  $n^+$  слоя намного выше, чем доза имплантации. Необходимости в посимплантационном отжиге не появляется, особенно при малых дозах облучения, хотя в некоторых случаях при имплантации донорных примесей указывается на улучшение параметров перехода [4].

Метод низкоэнергетичной ионной обработки (НИО), широко используемый в технологии изготовления ИК-фотоприемников, выступает в качестве альтернативы традиционной ионной имплантации для изготовления *p-n*-переходов в основе

$Cd_xHg_{1-x}Te$  [5]. В отличие от имплантации ионами больших энергий НИО позволяет получать слои *n*-типа проводимости с низкой концентрацией электронов, высокой их подвижностью и высокими значениями времени жизни носителей заряда. Глубина залегания *p-n*-перехода зависит от исходных параметров материала (состава  $x$ , исходной концентрации вакансий или примесей) и параметров процесса НИО. При одинаковых параметрах подложки для получения глубины залегания перехода в несколько микрон необходимая доза ионов при НИО на несколько порядков превышает их значения при ионной имплантации. При этом происходят распыление и удаление части верхних слоев. Вопрос формирования инверсного слоя в *p*-типе  $Cd_xHg_{1-x}Te$  как при НИО, так и при ионной имплантации остается еще предметом обсуждений.

В этом смысле представляет определенный интерес исследование свойств инверсного слоя, полученного обработкой поверхности *p*- $Cd_xHg_{1-x}Te$  низкоэнергетичными ионами донорных примесей.

В данной работе приводятся результаты экспериментального исследования свойств фотодиодных структур, полученных обработкой поверхно-

сти  $p\text{-Cd}_x\text{Hg}_{1-x}\text{Te}$  низкоэнергетичными ионами индия и для сравнения ионами аргона.

Для изготовления фотодиодных структур использовались объемные монокристаллы  $\text{Cd}_x\text{Hg}_{1-x}\text{Te}$  составов  $x = 0,19\text{—}0,2$  и  $x = 0,27\text{—}0,3$  как вакансионнолегированные, так и легированные медью и серебром, с концентрацией дырок  $p = 10^{15}\text{—}5 \cdot 10^{16} \text{ см}^{-3}$  и подвижностями  $\mu_p = 400\text{—}700 \text{ см}^2/(\text{В}\cdot\text{с})$  при 77 К. Фотодиоды площадью  $S_f = 10^{-4} \text{ см}^2$  и  $S_f = 2,5 \cdot 10^{-3} \text{ см}^2$  формировали методом фотолитографии как планарного, так и мезоструктурного исполнения. Для получения инверсного слоя образцы подвергали облучению пучком нейтрализованных ионов индия с энергиями 1—5 кэВ при плотности тока 4 мкА/см<sup>2</sup> и нейтрализованных ионов аргона с энергией 250 эВ при плотности тока 0,3 мА/см<sup>2</sup>. Доза облучения варьировалась в зависимости от исходных параметров материала. В качестве пассивирующего покрытия использовались термически напыленные слои ZnSe толщиной 0,3 мкм. После процесса НИО отжиг не проводился.

Качество перехода и механизм прохождения тока в полученных структурах определялись по измерениям температурной зависимости ВАХ в интервале  $T = 77\text{—}300 \text{ К}$ , а также параметров фоточувствительности и их спектральных зависимостей. Анализ температурных зависимостей ВАХ показывает, что основными механизмами, определяющими ток в полученных структурах, являются: для  $x \approx 0,2$  при  $T > 90 \text{ К}$  и для  $x \approx 0,28$  при  $T > 110 \text{ К}$  термоактивационные механизмы, а при  $T < 90 \text{ К}$  для  $x \approx 0,2$  и при  $T < 110 \text{ К}$  для  $x \approx 0,28$  — межзонное туннелирование и туннелирование через локальные центры в запрещенной зоне. Лучшими характеристиками обладали  $p\text{-}n$ -переходы, полученные НИО ионами индия.

На рис. 1 приведена ВАХ планарного  $p\text{-}n$ -перехода на основе  $p\text{-Cd}_x\text{Hg}_{1-x}\text{Te}$  с  $x \approx 0,2$  при концентрации дырок  $p = 3 \cdot 10^{15} \text{ см}^{-3}$ , полученной НИО ионами индия дозой  $D_I = 4 \cdot 10^{14} \text{ см}^{-2}$ . Как видно из рис. 1, обратные токи имеют характер насыщения до  $U \approx 0,3 \text{ В}$ , что указывает на термоактивационный механизм прохождения тока. Величина дифференциального сопротивления  $R_d A \geq 100 \text{ Ом}/\text{см}^2$  до  $U \approx 0,2 \text{ В}$ , что сравнимо с наилучшими результатами на объемных монокристаллах. Для сравнения приведена также ВАХ для структуры, полученной обработкой ионами аргона, которая имеет максимальное  $R_d$  при  $U \approx 0,05 \text{ В}$ . Следует отметить, что формирование инверсного слоя наблюдается при НИО ионами индия при дозах, на два порядка меньших, чем при НИО ионами аргона. Так, например, для  $x \approx 0,2$  и  $p = 3 \cdot 10^{15} \text{ см}^{-3}$  необходимая доза ионов аргона  $D_A = 3 \cdot 10^{16} \text{ см}^{-2}$ , а ионами индия —  $D_I = 4 \cdot 10^{14} \text{ см}^{-2}$ ; при  $p = 2 \cdot 10^{16} \text{ см}^{-3}$   $D_A = 2 \cdot 10^{17} \text{ см}^{-2}$ , а  $D_I = 3 \cdot 10^{15} \text{ см}^{-2}$ . Для  $x \approx 0,28$  эти

величины имели в несколько раз большие значения. Как известно, при НИО, на самом деле, образуется не  $n^+\text{-}p$ -тип, а  $n^+\text{-}n\text{-}p$ -тип перехода, причем переход расположен в области  $n$  с концентрацией носителей заряда, на порядок меньшей, чем в исходном образце до обработки. Об этом свидетельствуют значения концентраций, полученных из  $C\text{—}V$ -измерений.

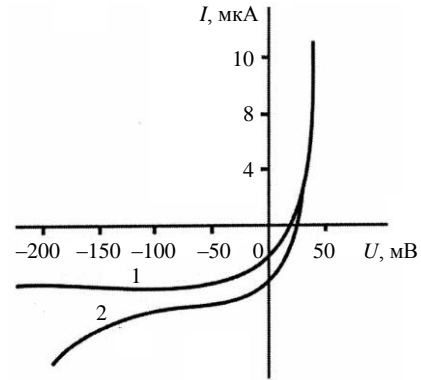


Рис. 1. ВАХ фотодиодов на основе  $p\text{-Cd}_{0,2}\text{Hg}_{0,72}\text{Te}$  при 77 К, полученных НИО ионами индия (1) и ионами аргона (2)

На рис. 2 приведена емкостная характеристика для  $x \approx 0,28$  с  $N_A - N_D = 10^{16} \text{ см}^{-3}$  в исходной подложке,  $C^2(U)$  — характеристика — прямая, указывающая на ступенчатый характер распределения примесей. Величина отсечки на оси абсцисс дает значение высоты диффузионного барьера  $U_b \approx 130 \text{ мВ}$ , совпадающее со значениями полученными из ВАХ и с величиной фотоЭДС насыщения. С использованием данных измерений рассчитана величина концентрации  $N_D - N_A = 10^{15} \text{ см}^{-3}$  в  $n$ -слое. Верхний  $n^+$ -слой характеризуется большой степенью радиационных нарушений и скоростью поверхностной рекомбинации, что может существенно влиять на фотоэлектрические характеристики прибора.

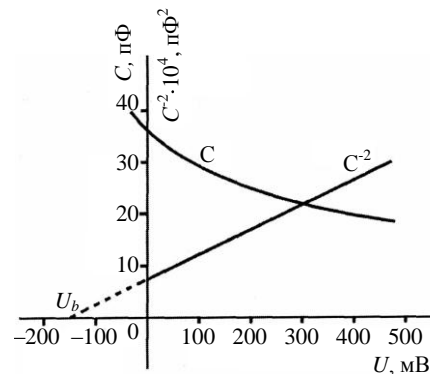


Рис. 2. Емкостные характеристики фотодиодных структур на основе  $p\text{-Cd}_{0,2}\text{Hg}_{0,72}\text{Te}$  с  $N_A - N_D = 10^{16} \text{ см}^{-3}$  при  $T = 77 \text{ К}$

На рис. 3 приведена спектральная характеристика фотодиода для  $x \approx 0,28$  до и после химического травливания слоя толщиной 3—4 мкм. До

травления спектральная характеристика имеет спад в коротковолновой области спектра; после травления фоточувствительность возросла более чем в 2 раза, а спектральная характеристика в коротковолновой области увеличилась на 40 %. При этом емкостная характеристика не изменилась. Это объясняется удалением при химическом травлении радиационно-нарушенного  $n^+$ -слоя с повышенной скоростью поверхностной рекомбинации, где погибает значительная часть фотогенерированных носителей заряда. Влияние нарушенного слоя на фотоэлектрические характеристики проявлялось до глубины 3 мкм для структур, полученных НИО ионами аргона и на порядок меньше — для структур, полученных НИО ионами индия.

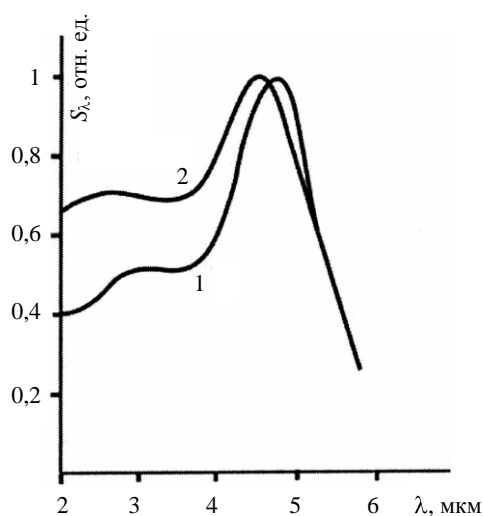


Рис. 3. Спектральная характеристика фоточувствительности фотодиодных структур на основе  $p\text{-Cd}_{0.2}\text{Hg}_{0.72}\text{Te}$  при 72 К до (1) и после (2) химического травления

Анализ полученных результатов позволяет сделать предположение, что значительное уменьшение энергии ионов индия, который является донорной примесью в  $\text{Cd}_x\text{Hg}_{1-x}\text{Te}$ , позволяет существенно снизить степень радиационной нарушенности поверхностных слоев по сравнению с имплантацией ионами высоких энергий (100—200 кэВ). Значительно меньшая степень нарушенности кристаллической решетки, возможно, создает условия для электрической активации атомов индия, что позволяет для получения инверсного слоя на два порядка снизить дозу облучения по сравнению с НИО ионами аргона, при которых происходят распыление и удаление верхних слоев.

#### Л и т е р а т у р а

1. Filachev A. M., Ponomarenko V. P., Taubki I. I., Ushakova M. B. Infrared focal plane arrays: state of the art and development trends// Proceeding of SPIE. 2003. № 5126. P. 52—85.
2. Pitcher P. G., Hemmet PL. F., Davis Q. V. Formation of shallow photodiodes by implantation of boron into mercury cadmium telluride// Electron. Lett. 1980. V. 18. № 18. P. 1090—1092.
3. Kozlowski L. J., Bailey R. B., Cabelli S. C., Cooper D. E., Comas G. Mc., Vural K., Tennant W. E. 640×480 PACE  $\text{Cd}_x\text{Hg}_{1-x}\text{Te}$  FPA// Proceeding SPIE. 1992. № 1735. P. 163—174.
4. Андрюхив М. Г., Белотелов С. В., Вирт И. С., Шкумбатюк П. С. Шум дефектов обратномещенных  $n^+$ - $p$ -переходов на основе  $\text{Cd}_x\text{Hg}_{1-x}\text{Te}$ // ФТП. 1992. Т. 26. Вып. 2. С. 393, 394.
5. Мынбаев К. Р., Иванов-Омский В. И. Модифицирование свойств  $\text{Cd}_x\text{Hg}_{1-x}\text{Te}$  низкоэнергетичными ионами// Там же. 2003. Т. 37. Вып. 10. С. 1153—1178.

Статья поступила в редакцию 10 октября 2006 г.

## ***P-n-junctions on the basis of $\text{Hg}_{1-x}\text{Cd}_x\text{Te}$ received with an irradiation by low-energy ions of indium and argon***

*N. D. Ismayilov, E. K. Guseyinov, I. S. Gasanov, S. A. Geyidarov*

Institute of Physics of the National Academy of Sciences of Azerbaijan, Baku, Azerbaijan

*Results of an experimental research of properties of photodiode structures on the  $\text{Hg}_{1-x}\text{Cd}_x\text{Te}$  basis ( $0.2 \leq x \leq 0.3$ ) made with a method of processing a surface of a  $p$ -type material by 1—5 keV ions of indium and by 250 eV ions of argon are resulted. On the basis of the analysis of electric and photoelectric properties for received structures it is drawn a conclusion about higher quality of the structures received at processing by indium ions, than at processing by argon ions.*