

**ВЛИЯНИЕ МЕТАЛЛА И СТЕПЕНИ КОМПЕНСАЦИИ ПРИМЕСИ НА  
СВОЙСТВА КОНТАКТОВ МЕТАЛЛ- $Cd_xHg_{1-x}Te$  ( $0.45 \leq x \leq 0.5$ )**

**А.А.АЛИЕВ, Э.К.ГУСЕЙНОВ, Н.Д.ИСМАЙЛОВ, Ш.М.КУЛИЕВ**

*Институт Физики НАН Азербайджана  
AZ 1143, г.Баку, ул. Г.Джавида 33*

Исследованы ВАХ, ВФХ, фотоэлектрические характеристики контактов Al, Ag, Au, Cu, Ni, Cr, Sn, Pb, In с  $Cd_xHg_{1-x}Te$  ( $0.45 \leq x \leq 0.5$ ) с различной концентрацией примесных носителей заряда. Установлено, что высота барьера, определенная различными методами, составляет  $\sim 2/3E_g$  как для n-, так и для p-типов проводимости и слабо зависит от работы выхода металла. Диффузия металлов Au, Cu, Ag, In в приповерхностную область приводит к ухудшению качества контакта. Для контактов с сильнокомпенсированным  $Cd_{0.5}Hg_{0.5}Te$  ( $N_D - N_A = 10^{12} - 10^{13} \text{ cm}^{-3}$ ) определяющую роль в свойствах структур металл-полупроводник играют концентрационные неоднородности распределения примеси в объеме полупроводника.

**ВВЕДЕНИЕ**

Твердые растворы  $Cd_xHg_{1-x}Te$  – основной материал для изготовления фотоприемников в широком диапазоне ИК спектра, наиболее перспективными из которых являются матрицы и линейки фотоприемников на основе МДП-структур и барьеров Шоттки. Хотя изучению основных физических характеристик  $Cd_xHg_{1-x}Te$  посвящено огромное количество работ, исследования свойств контакта металл- $Cd_xHg_{1-x}Te$  занимают среди них незначительное место. Основная причина этого заключается в плохом качестве контакта с барьером Шоттки (БШ), что в свою очередь, как показано в [1,2], обусловлено нарушениями поверхности  $Cd_xHg_{1-x}Te$ , подверженной дефектообразованию при нанесении металлов и взаимодиффузией компонентов полупроводника и металла, приводящей к изменению морфологии приповерхностной области  $Cd_xHg_{1-x}Te$ . Вместе с тем, различного рода структурные дефекты в сочетании с узкой шириной запрещенной зоны приводят к уменьшению пробивных напряжений, обуславливают значительные генерационно-рекомбинационные и туннельные процессы в области пространственного заряда. Ограниченные модельные представления и ряд предположений принятых в работах [3-6] приводят к противоречивым выводам, а некоторые результаты, например, причины отсутствия выпрямляющего контакта на структуре металл-n- $Cd_xHg_{1-x}Te$  остаются неясными, хотя в ряде работ [7-10] нами сообщались некоторые свойства БШ на таких структурах.

Целью данной работы является выявление причин, обуславливающих плохое качество БШ, образующихся при контакте Al, Ag, Au, Cu, Ni, Cr, Sn, Pb, In с  $Cd_xHg_{1-x}Te$  различного типа проводимости и степени компенсации.

Для этого приводятся результаты проведенных экспериментальных исследований электрофизических и фотоэлектрических свойств структур металл- $Cd_xHg_{1-x}Te$  ( $0.45 \leq x \leq 0.5$ ) с учетом влияния степени компенсации примесных носителей в  $Cd_xHg_{1-x}Te$  и материала металла на качество контакта. Выбор данного состава сделан ввиду отсутствия работ по БШ на этом составе, а также относительно широкой запрещенной зоной ( $E_g = 0.45 - 0.5 \text{ eV}$ ), практически не зависящей от температуры. Последнее обстоятельство позволяет пренебречь туннельными переходами в запрещенной зоне и компонентами тока, связанными с температурной зависимостью  $E_g$  при анализе экспериментальных данных, что было недопустимо для узкозонных составов  $0.2 < x < 0.3$  и значительно усложняло картину

явлений в контакте металл- $\text{Cd}_x\text{Hg}_{1-x}\text{Te}$ . Исходя из этого, при анализе экспериментальных данных мы будем проводить сопоставление с данными для узкозонных составов  $0.2 < x < 0.3$ .

### ЭКСПЕРИМЕНТ

Исследуемые структуры были изготовлены на основе монокристаллов  $\text{Cd}_x\text{Hg}_{1-x}\text{Te}$  ( $0.45 \leq x \leq 0.5$ ) p-типа с  $N_A = 10^{15} \div 10^{16} \text{ см}^{-3}$ , слабокомпенсированного n-типа с  $N_D - N_A \approx 10^{14} \text{ см}^{-3}$  и сильнокомпенсированного n-типа с  $N_D - N_A \approx 10^{12} \div 10^{13} \text{ см}^{-3}$  при  $T = 80 \text{ К}$ . Пластины площадью  $5 \cdot 10 \text{ мм}^2$  утоньшались до толщины  $d = 0.3 \div 0.5 \text{ мм}$  химико-механической полировкой. Омические контакты формировались путем электрохимического осаждения на всю тыльную поверхность подложки индия для n-типа и меди для p-типа с последующим термическим прогревом в вакууме. Полупрозрачные или непрозрачные слои металлов Al, Ag, Au, Cu, Ni, Cr, Sn, Pb, In размерами  $0,4 \cdot 0,4 \text{ мм}^2$  напылялись через маску термическим испарением в вакууме непосредственно после химического травления поверхности пластины. Методика проведения измерений подробно описана в [7-11].

Исследования вольтамперных характеристик (ВАХ) структур металл (Al, Cr, In, Pb, Sn)-p- $\text{Cd}_{0,5}\text{Hg}_{0,5}\text{Te}$  показывают, что за исключением контакта с In, легко диффундирующим в полупроводник, остальные являются выпрямляющими контактами с воспроизводимыми и стабильными параметрами.

Контакты Al, Ag, Au, Cu, Ni, Cr, Sn, Pb со слабо компенсированным p- $\text{Cd}_{0,5}\text{Hg}_{0,5}\text{Te}$  также образуют выпрямляющий контакт, однако ВАХ этих контактов менее воспроизводимы и стабильны, чем с p- $\text{Cd}_{0,5}\text{Hg}_{0,5}\text{Te}$ . Так например, ВАХ контактов Cu, Au, Ag с p- $\text{Cd}_{0,5}\text{Hg}_{0,5}\text{Te}$  через несколько дней после изготовления структур показывают увеличение обратного тока и уменьшение напряжения пробоя (Рис.1). Высота барьера, найденная из анализа ВАХ и ВФХ, слабо зависит от работы выхода металла. Для ВФХ наблюдается частотная зависимость (Рис.2), которая ослабевает с уменьшением температуры. Для контактов с Al характерны малые, по сравнению с другими металлами, обратные токи. ВФХ этих контактов оказалась более полой. Зависимость обратного тока от температуры в области  $80 \div 120 \text{ К}$  оказалась слабее, чем предсказывает диодная теория термоэлектронной эмиссии.

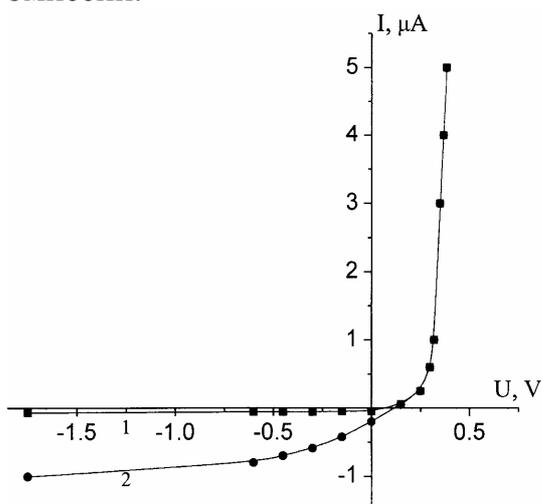


Рис.1.

ВАХ структур Cu-n- $\text{Cd}_{0,5}\text{Hg}_{0,5}\text{Te}$  при  $T = 80 \text{ К}$ : 1– через 2 часа, 2– через 5 дней.

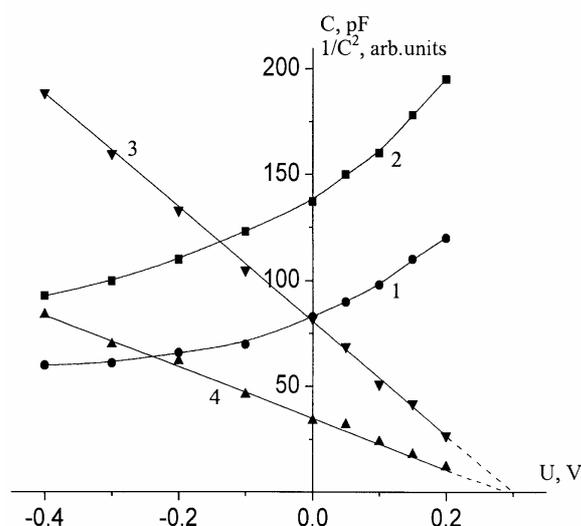
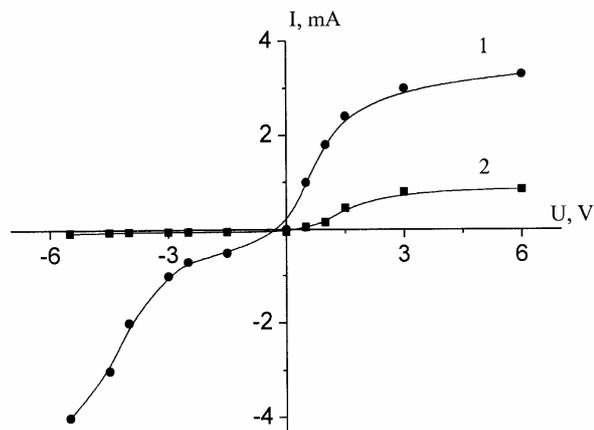


Рис.2.

ВФХ структур Cu-n- $\text{Cd}_{0,5}\text{Hg}_{0,5}\text{Te}$  при  $T = 80 \text{ К}$  и частоте  $\omega$ : 1–  $0,2 \text{ МГц}$ , 2–  $1 \text{ МГц}$ .

Наибольшее напряжение пробоя (при токе пробоя 100мкА) наблюдалось для контактов с Cr и достигало 50В. ВАХ хорошо описывается диодной теорией термоэлектронной эмиссии до  $U_{back}=10\div 15В$ , с коэффициентом качества  $n=1.1$ . На спектральной зависимости фоточувствительности при температурах  $80\div 120К$  за краем фундаментального поглощения в области  $\lambda=6\div 7\mu\text{м}$  наблюдается примесный максимум.

ВАХ структур, созданных на основе сильно компенсированного  $n\text{-Cd}_{0.5}\text{Hg}_{0.5}\text{Te}$  (Рис.3), сильно отличаются от диодных. В прямом направлении темновой ток слабо растет с увеличением напряжения, а затем выходит на насыщение. При освещении наблюдается



увеличение фототока как в прямом, так и в обратном направлениях, причем с увеличением приложенного напряжения фототок в прямом направлении растет и превышает величину фототока в обратном направлении.

**Рис.3.**

ВАХ структур Cu – сильно компенсированный  $n\text{-Cd}_{0.5}\text{Hg}_{0.5}\text{Te}$  при  $T=80К$ : 1, 3 – в темноте, 2, 4 – при освещении.

Постоянная времени фотоответа в прямом направлении на порядок выше, чем в обратном и при  $U < 5В$  не зависит от сопротивления нагрузки. Величина фототока при напряжениях  $U > 3В$  на два порядка превосходит величину фототока, рассчитанного для диода с БШ. При малой мощности ( $P=10^{-6}Вт$ ) падающего излучения амперваттная чувствительность  $S_A$  линейно растет с увеличением приложенного напряжения. В то же время, при  $P \geq 10^{-4}Вт$  зависимость  $S_A=f(U)$  носит характер кривой насыщения.

### ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

Рассмотрим полученные экспериментальные результаты в порядке их изложения в предыдущей части настоящей статьи.

Нестабильность во времени и плохая воспроизводимость ВАХ выпрямляющих контактов Ag, Au, Cu, Ni, Cr, Sn, Pb со слабокомпенсированным  $n\text{-Cd}_{0.5}\text{Hg}_{0.5}\text{Te}$ , по-видимому, обусловлена диффузией атомов металла в приповерхностную область полупроводника, как это ранее наблюдалось нами для  $\text{Cd}_x\text{Hg}_{1-x}\text{Te}$  ( $x=0.25\div 0.3$ ) в [11]. Слабая зависимость высоты барьера от работы выхода указывает на то, что при формировании барьера преимущественное значение имеет наличие промежуточного окисного слоя и поверхностных электронных состояний на границе раздела металл-полупроводник. Образование промежуточного слоя особенно существенно влияет на контакты с Al. Именно этим объясняется поведение ВАХ и ВФХ для таких структур. Аналогичные особенности ранее нами наблюдались и были подробно проанализированы для  $\text{Cd}_{0.28}\text{Hg}_{0.72}\text{Te}$  [9,11]. Малая крутизна ВФХ приводит к завышенным оценкам высоты барьера  $\phi_b$ . Истинное значение высоты барьера для полупрозрачных слоев металла определялось методом насыщенной фотоэдс или из температурной зависимости обратного тока ВАХ в области температур  $80\div 120К$  как для непрозрачных, так для полупрозрачных слоев металла. Полученные значения составляли  $2/3E_g$  как для n, так и для p-типа полупроводника.

Отклонение температурной зависимости обратного тока от диодной теории

термоэлектронной эмиссии объясняется двумя причинами. Во-первых, даже для непрозрачных контактов в ток насыщения вносит вклад фототок, генерированный в периферийной области контакта фоновым излучением. Для полупрозрачных контактов такая фотоэдс достигает значений  $\sim 120$  мВ. Во-вторых, также как и для более узкозонных составов  $x=0.22 \div 0.3$  необходимо учитывать характерные для  $\text{Cd}_x\text{Hg}_{1-x}\text{Te}$  термо- и туннельногенерированные токи через глубокие центры в запрещенной зоне, образуемые двухзарядными вакансиями ртути. Именно они ответственны за частотную зависимость ВФХ и обуславливают уменьшение пробивных напряжений. Примесный максимум fotocувствительности также связан с этими глубокими центрами.

Теперь подробнее рассмотрим результаты, полученные для сильно компенсированного  $n\text{-Cd}_{0.5}\text{Hg}_{0.5}\text{Te}$ . Как известно, в сильнокомпенсированных полупроводниках случайный потенциал, вызванный неоднородным распределением примеси, может коренным образом изменить их фотоэлектрические свойства [12]. Разделение носителей внутренними случайными электрическими полями приводит к резкому увеличению времени жизни и ряду других особенностей фотопроводимости. Исследования ВАХ структур металл- $\text{Cd}_x\text{Hg}_{1-x}\text{Te}$  с концентрацией свободных носителей заряда  $10^{12} \div 10^{13} \text{ см}^{-3}$  показывает, что проявление некоторых особенностей обусловлено высокой степенью компенсации и существованием высокоомных включений в низкоомной матрице. В частности, полученная слабая зависимость прямого темнового тока от напряжения с дальнейшим выходом на насыщение указывает на значительное ограничение протекающего тока внутренними барьерами, а не барьером, созданным контактной разностью потенциалов металла с полупроводником. Характер и величина фототока, а также независимость постоянной времени от сопротивления нагрузки указывают на то, что в данном случае структуру металл- $\text{Cd}_x\text{Hg}_{1-x}\text{Te}$ , как и в [13], нужно рассматривать как фоторезистор с вертикальной геометрией. В то же время, зависимость  $S_A=f(U)$  при малых и больших мощностях падающего излучения существенно отличается от аналогичных характеристик однородного полупроводника. Эти особенности являются следствием экранировки потенциального рельефа зоны проводимости фотогенерированными носителями заряда, то есть уменьшением дрейфового барьера  $\varepsilon_d$ . При этом начало роста чувствительности соответствует мощностям падающего излучения и, соответственно, концентрациям неосновных носителей заряда, при которых появляются каналы протекания по низкоомной матрице ( $\varepsilon_d \approx kT$ ). Таким образом, при больших мощностях падающего излучения зависимость  $S_A=f(U)$ , подобно однородному полупроводнику, насыщается, что объясняется достижением носителями заряда скорости насыщения при протекании в каналах между высокоомными областями. Коэффициент усиления фоторезистора определяется отношением времени жизни неравновесных носителей заряда к времени их пролета между контактами. Следовательно, в данном случае имеет место увеличение дрейфовой подвижности и, тем самым, уменьшение времени пролета между контактами.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом, проведенные исследования показали, что с увеличением состава твердого раствора  $\text{Cd}_x\text{Hg}_{1-x}\text{Te}$  ( $x > 0.3$ ), качество контактов с БШ улучшается, причем высота барьера близка к  $2/3E_g$  как для  $n$ -, так и для  $p$ -типа полупроводника и слабо зависит от работы выхода металла, что объясняется наличием промежуточного окисного слоя и поверхностных электронных состояний

на границе раздела металл-полупроводник. Ухудшение характеристик контактов с Cu, Au, Ag, In связано с диффузией атомов этих металлов в приконтактную область полупроводника. Также установлено, что наличие концентрационной неоднородности примесей в сильнокомпенсированных  $Cd_xHg_{1-x}Te$  приводит к аномальному поведению ВАХ, ВФХ и фотоэлектрических свойств структур металл- $Cd_xHg_{1-x}Te$ .

1. F D.J.riedman, G.P.Carey, J. Lindon, W.F. Spicer, *Phys. Rev. B*, **34** (1986) 5329.
2. D.J.Friedman, G.P.Carey, J. Lindon, W.F. Spicer, *J. Vac. Sci. A*, **5** (1987) 3190.
3. J.M.Pawlikowsky, P.Becla, T.Labowsky, *Acta Physica Polonica A*, **49** (1976) 563.
4. D.L.Polla, A.K.Sood, *J.Appl.Phys.* **51** (1980) 4908.
5. P.W.Leech, M.N.Kibel, *J.Vac.Sci. Technol. B*, **9** (1991) 1770.
6. В.В.Завьялов, В.Ф.Раданцев, Т.И.Дерябина, *ФТП*, **26** (1992) 691.
7. Э.И.Курбанова, Э.К.Гусейнов, Н.Д.Исмаилов, Х.Д.Джалилова, *ФТП*, **20** (1986) 2150.
8. Н.Д.Исмаилов, Э.И.Курбанова, Х.Д.Джалилова, Э.К.Гусейнов, *Доклады АН Азерб.ССР*, **11** (1988) 21.
9. К.А.Алиев, Э.К.Гусейнов, Н.Д.Исмаилов, Э.И.Курбанова, *Доклады АН Азерб.ССР*, **11** (1988) 18.
10. Н.Д.Исмаилов, Э.К.Гусейнов, Э.И.Курбанова, *ФТП*, **22** (1988) 1493.
11. E.K.Guseinov, N.D.Ismailov. *Tr. J. of Physics*, **18** (1994) 669.
12. Б.И.Шкловский, *ФТП*, **13** (1979) 93.
13. Л.Я.Вуль, С.В.Кидалов, *ФТП*, **17** (1987) 804.

**METALIN VƏ AŞQARIN KOMPENSASIYA DƏRƏCƏSİNİN  
METAL- $Cd_xHg_{1-x}Te$  ( $0.45 \leq x \leq 0.5$ ) KONTAKTLARIN XASSƏLƏRİNƏ TƏSİRİ**

**Ə.Ə.ƏLİYEV, E.K.HÜSEYNOV, N.C.İSMAYILOV, Ş.M.QULİYEV**

Al, Ag, Au, Cu, Ni, Cr, Sn, Pb, In-un aşqar yükdaşıyıcıların müxtəlif konsentrasiyalı  $Cd_xHg_{1-x}Te$ -la ( $0.45 \leq x \leq 0.5$ ) kontaktlarının VAX, VFX və fotoelektrik xassələri tədqiq edilmişdir. Müəyyən edilmişdir ki, həm n, həm də p-tip üçün müxtəlif üsullarla qiymətləndirilmiş baryerin hündürlüyü  $\sim 2/3E_g$ -dir və metalın çıxış işindən zəif asılıdır. Au, Cu, Ag, In-un səth laya diffuziyası, kontaktın keyfiyyətinin aşağı düşməsinə gətirir. Yüksək dərəcədə kompensasiya olunmuş  $Cd_{0.5}Hg_{0.5}Te$ -da ( $N_D - N_A = 10^{12} - 10^{13} \text{ sm}^{-3}$ ) metal-yarımkeçirici strukturlarda əsas rolu aşqarların yarımkeçiricinin həcmində paylanmasının konsentrasiya qeyri-bircinsliyi oynayır.

**INFLUENCE OF THE METAL AND IMPURITY COMPENSATION LEVEL ON THE  
METAL- $Cd_xHg_{1-x}Te$  ( $0.45 \leq x \leq 0.5$ ) CONTACTS PROPERTIES**

**A.A.ALIYEV, E.K.HUSEYNOV, N.J.ISMAILOV, S.M.KULIYEV**

The V-A, C-V and photoelectric characteristics of the Al, Ag, Au, Cu, Ni, Cr, Sn, Pb, In contacts with the various charge carriers concentration  $Cd_xHg_{1-x}Te$  ( $0.45 \leq x \leq 0.5$ ) have been investigated. It was established that height of the barrier determined by the various methods makes  $\sim 2/3E_g$  for both n- and p-type conductivity and weakly depends from the metal's work function. The diffusion of Au, Cu, Ag and In into surficial region reduces to deterioration of contact. The concentration's heterogeneousness of impurities dispersion in the volume of semiconductor have a defining influence on the metal-semiconductor structure properties for the contacts with the heavily compensated  $Cd_{0.5}Hg_{0.5}Te$  ( $N_D - N_A = 10^{12} - 10^{13} \text{ cm}^{-3}$ ).

Редактор: С.Мехтиева