

ДИФФУЗИОННЫЕ p - n ПЕРЕХОДЫ НА ОСНОВЕ $Cd_xHg_{1-x}Te$ ($x = 0,2 \div 0,23$), ПОЛУЧЕННЫЕ ЛЕГИРОВАНИЕМ - Cu, Ag И Au.

А.А. РАДЖАБЛИ

Институт Фотозлектроники АН Азербайджана,
Баку, 370141, ул. Ф.Агаева, 555 квартал

В настоящей работе проведено исследование электрических и фотозлектрических свойств p - n переходов на основе $Cd_xHg_{1-x}Te$ ($x=0,2 \div 0,23$), полученных методом диффузии меди, серебра и золота.

На основе выполненного сравнительного анализа характеристик фотодиодов, полученных при разных примесях, выбран оптимальный вариант для получения высококачественных приборов диффузионным методом.

1. ВВЕДЕНИЕ

Узкозонное полупроводниковое соединение $Cd_xHg_{1-x}Te$ является базовым материалом для изготовления приемников инфракрасного излучения. Рабочий диапазон длин волн приборов, изготовленных на основе этих материалов, перекрывает полосы поглощения большинства газов, имеющих в атмосферных окнах инфракрасной области спектра $3 \div 5$ и $8-14$ мкм.

С научной точки зрения значительный интерес представляет исследование диффузионных p - n -переходов и фотодиодов на их основе, полученных при различных примесях. К настоящему времени накоплен значительный экспериментальный материал по изучению характеристик этих фотодиодов [1]. Представляется интересным на наш взгляд изучить влияние различных примесей на характеристики p - n -переходов и проведение сравнительного анализа этих результатов.

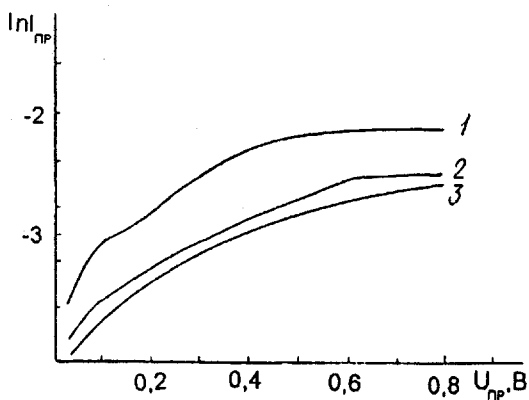


Рис. 1. Вольт-амперная характеристика фотодиода (прямая ветвь): 1 - Au; 2 - Ag; 3 - Cu;

В настоящей работе проведено исследование электрических и фотозлектрических свойств p - n переходов на основе $Cd_xHg_{1-x}Te$, полученных методом диффузии меди, серебра и золота, а также выполнен сравнительный анализ характеристик этих фотодиодов.

2. ЭКСПЕРИМЕНТ

В качестве подложек для формирования p - n -переходов использовались пластины n - $Cd_xHg_{1-x}Te$ ($x=0,2 \div 0,23$) с концентрацией носителей $n = 4 \cdot 10^{15} \div 5 \cdot 10^{18} \text{ см}^{-3}$ и подвижностью $\mu = 3 \cdot 10^{4+1}, 2 \cdot 10^5 \text{ см}^2/\text{Вс}$ при 300 К.

Для получения p - n -переходов диффузией меди (Cu) и серебра (Ag) на поверхность пластины $Cd_xHg_{1-x}Te$ напылялись, соответственно, слои Cu или Ag, толщиной 1500 Å; для диффузии Au на свежेत्रавленную поверхность пластины $Cd_xHg_{1-x}Te$ проводилось осаждение $AuCl_3$ из раствора золотохлористоводородной кислоты. В большинстве опытов перед термической обработкой на поверхность подложки с нанесенным слоем Cu, Ag или Au напылялся слой ZnS толщиной до 100 нм, маскирующий источник диффузии от ртути.

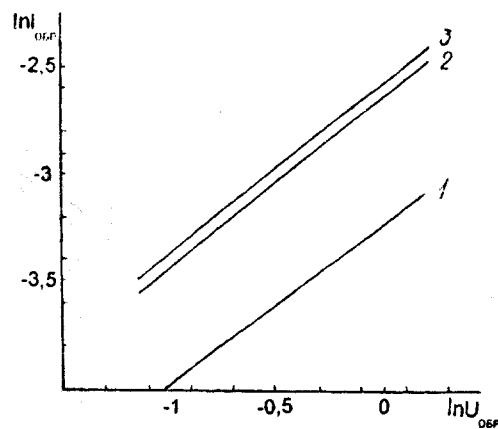


Рис. 2. Вольт-амперная характеристика фотодиода (обратная ветвь): 1 - Au; 2 - Ag; 3 - Cu;

Подложка, подготовленная к диффузии, помещалась в кварцевую ампулу, содержащую ртуть в количестве, обеспечивающем насыщенность паров при температуре диффузионного отжига, после чего ампула откачивалась и отпаивалась. Режимы температурного отжига для каждого типа легирующей примеси и геометрические размеры областей p - n перехода показаны в Таблице 1.

Таблица 1

Тип примеси	Температура отжига (К)	Время отжига (мин)	Глубина залегания (мкм)	Ширина зоны смешанной проводимости (мкм)
Cu	573-597	8 - 10	80 - 150	40 - 60
Ag	573-597	6 - 10	80 - 130	25 - 30
Au	593-595	5 - 6	80 - 120	10 - 15

ВАХ фотодиодов, сформированных на основе полученных p - n -структур измерялись при 80 К. Кроме того,

проводились измерения температурных зависимостей напряжения фотосигнала и шума, на основе чего рассчитывалась температурная зависимость отношения сигнал/шум этих фотодиодов при напряжении смещения $U_{см}=150$ мВ в температурном диапазоне 80 - 220К.

3. РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

В таблице 1 представлены температурно-временной режим отжига, глубина залегания диффузионного слоя p - типа проводимости и толщина области смешанной проводимости в пластине.

На пробном образце, отрезанном от основной пластины с p - n -переходом, со стороны p -слоя создавалась ступенчатая структура. Отделяли каждую ступеньку от пробной линейки и проводили измерение высоты каждой ступеньки. Измерением фотоответов от каждой из ступеней структуры (фактически, "элементарных" фотодиодов), по величине максимального значения отношения сигнал/шум выявляли оптимальную глубину залегания чувствительного слоя. С учетом полученных данных на пластине с p - n -переходом осуществлялись, мезотехнологические операции для выделения фоточувствительных элементов.

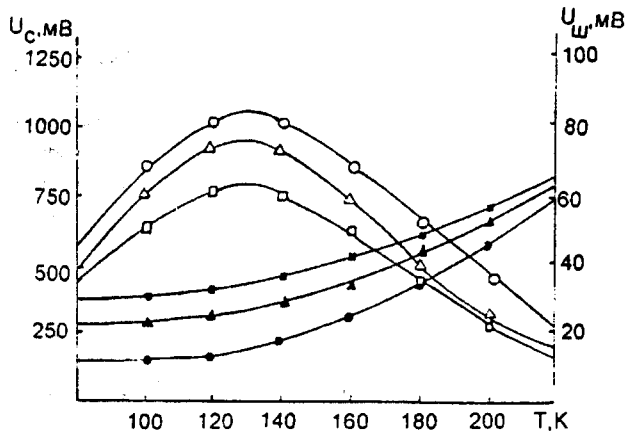


Рис. 3. Температурная зависимость напряжения фото сигнала \circ - Au; Δ - Ag; \square - Cu и шума, \bullet - Au; \blacktriangle - Ag; \blacksquare - Cu - напряжении смещения 150 мВ

Необходимо учесть, что в $Cd_xHg_{1-x}Te$ ($x=0,2\div 0,23$) золото имеет более низкий коэффициент диффузии ($D_{Au}=7\cdot 10^{-7}$ м²/с), чем серебро ($D_{Ag}=1,6\cdot 10^{-5}$ м²/с) и медь ($D_{Cu}=5\cdot 10^{-4}$ м²/с). Золото имеет сравнительно низкое значение энергии активации ($E_{акт(Au)}=0,6$ эВ) и диффундирует по межузельному механизму, а серебро ($E_{акт(Ag)}=1,2$ эВ) и медь ($E_{акт(Cu)}=1,4$ эВ) - по вакансионному. Поэтому диффузионные профили Au могут быть достаточно резкими. В результате экспериментов получены соответствующие данные по толщине области смешанной проводимости. Так как при диффузии Au толщина области смешанной проводимости, как правило, меньше ($l_{см}=10\div 15$ мкм), чем у Ag ($l_{см}=25\div 30$ мкм) и Cu ($l_{см}=40\div 60$ мкм), применение этой примеси позволяет получить резкий p - n -переход в $Cd_xHg_{1-x}Te$. Таким образом, p - n -переходы на основе $Cd_{0,2}Hg_{0,8}Te$, полученные диффузией Au характеризуются более слабым диффузионным размытием, чем в случае примеси Ag и Cu. Механизмы переноса заряда исследовались путем измерений

вольтамперных характеристик (ВАХ), температурных зависимостей напряжений сигнала ($U_c(T)$), шума ($U_{ш}(T)$), а также отношения сигнал/шум ($U_c/U_{ш}(T)$).

На рис.1 и 2 представлены ВАХ чувствительных элементов, полученных легированных примесей Cu, Ag и Au, измеренных при 80К. Как видно из рисунков, они являются типичными для диодных структур [2,3].

Сравнение кривых показывает, что с уменьшением ширины области смешанной проводимости диодный характер структуры проявляется более заметно. При $T=80$ К прямые ветви ВАХ фотодиодов для спектрального диапазона $\lambda \sim 10,5\div 11,5$ мкм описывались выражением:

$$I = I_0 \left[\exp \left(\frac{qU}{\beta KT} \right) - 1 \right]$$

причем β меняется в зависимости от типа примеси, таким образом, что $\beta_{Au}=1,8$, $\beta_{Ag}=1,4$, $\beta_{Cu}=1,2$. Такая зависимость свидетельствует о преобладании генерационно-рекомбинационного механизма переноса заряда в этих p - n - переходах [4]

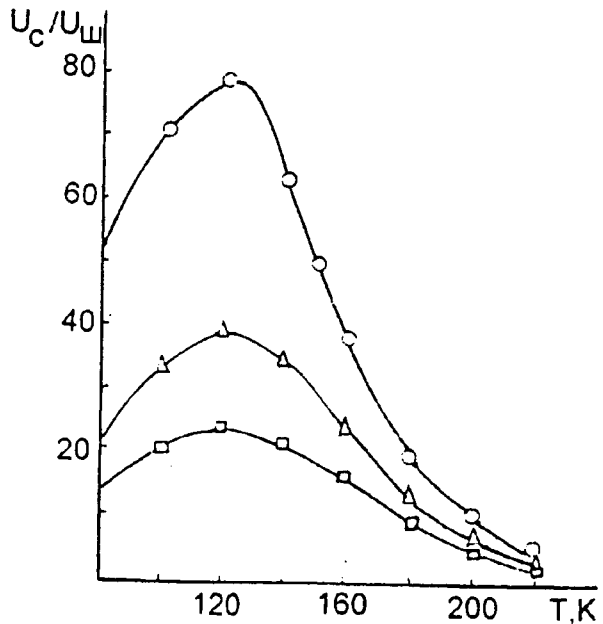


Рис. 4. Температурная зависимость отношения сигнал/шум фотодиодов \circ - Au; Δ - Ag; \square - Cu при напряжении смещения 150 мВ.

На обратных ветвях (рис.2) наблюдаются линейные участки в диапазоне 30-200 мВ. Согласно теории Саа-Нойса-Шокли, для p - n -переходов зависимость обратного тока от напряжения подчиняется закону $J \sim U^n$. На линейном участке обратной ветви ВАХ для использованных примесей получены $n_{Au}=0,5$; $n_{Ag}=0,8$; $n_{Cu}=0,76$, что не противоречит предположению об основной роли тока рекомбинации в области пространственного заряда. Поэтому, можно полагать, что в результате термического отжига образуется плавный p - n - переход с распределением концентрации активных центров, близким к линейному, что характерно для диффузионного метода.

Для подтверждения полученных данных, вообще говоря, необходимы исследования емкостных характеристик фотодиодов. Однако, ввиду очень малой емкости

p-n - переходов этих фотодиодов такие исследования нам провести не удалось.

Для диодов, работающих в длинноволновой области, генерационно-рекомбинационный механизм был преобладающим во всем исследованном интервале температур.

На рис.3 проведенные результаты измерения температурных зависимостей напряжений сигнала и шума для фотодиодов, изготовленных путем диффузии примесей Au, Ag, Cu. Для всех диодов с ростом напряжения смещения зависимость фотосигнала обретает выраженный максимум, который соответствует температуре 130К. Затем следует экспоненциальный спад фотосигнала и резкое увеличение напряжения шума. При T>100-120К отношение U_c/U_ш монотонно уменьшается с ростом температуры. Для всех фотодиодов оптимальное значение напряжения смещения, при котором достигается максимальное отношение U_c/U_ш составляет 140-160 мВ. С ростом напряжения смещения на переходе это отношение уменьшается за счет преобладающего роста напряжения шума.

На рис 4 проведен сравнительный анализ (рис.4) при U_{см} = 150 мВ, при котором достигается максимальное значение отношения U_c/U_ш для фотодиодов полученных легированием Au, Ag и Cu. Как видно из рисунка, с ростом атомной массы примесей фотосигнал обретает выраженный максимум, а шум уменьшается. Повидимому, такой характер зависимости связан с температурной зависимостью времени жизни неосновных носителей тока Cd_{0,2}Hg_{0,8}Te. Для фотодиодов, полученных диффузией золота численное значение U_c/U_ш почти в два раза превосходит таковое для фотодиодов, полученных легированием Ag, а для фотодиодов, полученных диффузией серебра, отношение U_c/U_ш также в два раза превосходит этот параметр для фотодиодов, полученных леги-

рованием Cu. Для всех фотодиодов изменения (увеличение и уменьшение значений U_c/U_ш), наблюдаемые на экспериментальной кривой в температурном интервале 120 - 140К, означают смену механизма рекомбинации неравновесных носителей заряда от рекомбинации по Шокли - Риду на Оже - рекомбинацию.

Вольтовая чувствительность, удельная обнаружительная способность полученных фотодиодов приведены в таблице 2.

Таблица 2

Примесь	Вольтовая чувствительность S _{УД, max} (В / Вт)	Удельная обнаружительная способность D _{λ, max} * (см·Гц ^{1/2} /Вт)
Au	400	(1 + 1,5) · 10 ¹⁰
Ag	250	(1 + 4) · 10 ⁹
Cu	200	(7 + 9) · 10 ⁸

Таким образом, основными механизмами, определяющими токи в исследованных p-n переходах, полученных методом диффузии, являются: при T<130К в области примесной проводимости преобладает механизм Шокли-Ридовской рекомбинации через примесные уровни в запрещенной зоне и туннелирование через локальные центры, а в области собственной проводимости при T>130К преобладает термоактивационные механизмы, т.е. межзонный ударный Оже-механизм рекомбинации.

Показано, что по значениям основных параметров лучшие фотодиоды получаются легированием золота.

[1] P. Gapper. J. Vac. Sci. Technol. B, 9, 1667, 1991
 [2] A.B. Горшков, И.Н. Петров, О.В. Горшкова и др. Получение Cd_{0,2}Hg_{0,8}Te p - типа диффузией золота. Научно - технический сборник. Серия 11 - 1986. Вып. 2 (103) с. 20 - 25

[3] A.B. Горшков, Ф.А. Заитов, Ф.К. Исаев, Г.М. Шалыпина. Известия АН Азерб. ССР сер. физ. техн. и мат. наук., 1982, №6., с.97
 [4] В.В. Тетеркин, С.Я. Сточанский, Ф.Ф. Сизов. ФТП, №3, том 31, 1997.

A.A. RƏCƏBLİ

Cd_x Hg_{1-x} Nt (x=0,2-0,23) ƏSASINDA Au, Ag VƏ Cu AŞQARLARININ DİFFUZİYASI İLƏ ALINMIŞ p-n - KEÇİDLƏRİ

Əsasında diffuziya üsulu ilə qızıl, gümüş və mis aşqarlarının vasitəsilə alınmış p-n keçidləri elektrofiziki və fotoelektrik xassələrinin nəticələri verilmişdir.

Bu p-n - keçidləri əsasında alınmış fotodiodların xassələrinin müqayisəli analizi nəticəsində, yüksəkkeyfiyyətli cihazların hazırlanması üçün optimal texnoloji üsullar tövsiyə edilmişdir.

A.A.Radjabli

p-n JUNCTIONS FORMED IN Cd_x Hg_{1-x} Te BY DIFFUZION OF Au, Ag AND Cu.

The electrical and photoelectrical properties of junction photodiodes formed in Cd_x Hg_{1-x} Te (x = 0,2-0,23), Te by diffusion of Au, Ag and Cu have been discussed. By means of carried out characteristics comparative analysis of photodiodes formed by diffusion of different impurities the optimal variant for properly devices fabricating have been choose.

Дата поступления: 31.03.2000

Редактор: Дж.Ш. Абдинов