

ФОТОЧУВСТВИТЕЛЬНОСТЬ ГЕТЕРОПЕРЕХОДОВ $n\text{-Cd}_{0.8}\text{Zn}_{0.2}\text{S}$ — $p\text{-CuInSe}_2$

Н. Н. Константинова, М. А. Магомедов, Ю. В. Рудь

Физико-технический институт им. А. Ф. Иоффе Российской академии наук
194021, Санкт-Петербург, Россия
(Получено 13 ноября 1992 г. Принято к печати 18 ноября 1992 г.)

Гетеропереходы на основе CuInSe_2 , одного из представителей широкого класса полупроводников с кристаллической решеткой типа халькопирита I—III—VI₂, представляют реальные возможности для применения в фотопреобразователях солнечного излучения [1, 2]. Среди широкозонных материалов в качестве одной из компонент гетеропереходов на основе CuInSe_2 наиболее часто применяются CdS и $\text{Cd}_{0.8}\text{Zn}_{0.2}\text{S}$ [2]. В настоящей работе сообщаются результаты исследований фотовольтаического эффекта в гетеропереходах, полученных нанесением пленок $\text{Cd}_{0.8}\text{Zn}_{0.2}\text{S}$ на подложки из объемных кристаллов CuInSe_2 . Для получения поликристаллических пленок твердого раствора исследуются возможности широко распространенного метода вакуумного термического напыления из одного источника вещества, включающего три летучие компоненты твердого раствора.

Гетеропереходы создавались методом вакуумного термического распыления смеси порошков CdS и ZnS , взятых в соотношении $\text{Cd}_{0.8}\text{Zn}_{0.2}\text{S}$. В качестве подложек применялись поликристаллические пластины $p\text{-CuInSe}_2$ [$\rho = 3.5 \cdot 10^{17} \text{ см}^{-3}$, $\rho = 0.6 \text{ Ом} \cdot \text{см}$, $U_p = 30 \text{ см}^2/(\text{В} \cdot \text{с})$ при $T = 300 \text{ К}$] с химически полированной поверхностью. Напыление производилось при температуре подложек $T < 200 \text{ }^\circ\text{C}$. В результате были получены однородные пленки n -типа проводимости с толщинами 2—2.5 мкм ($\rho = 10^5 \text{ Ом} \cdot \text{см}$ при $T = 300 \text{ К}$), обнаружившие устойчивую к термоциклированию в диапазоне 80—400 К адгезию к поверхности пластин CuInSe_2 и обладающие зеркальной поверхностью. В качестве омических контактов к $\text{Cd}_{0.8}\text{Zn}_{0.2}\text{S}$ применялся чистый индий, а к CuInSe_2 — золото.

На рис. 1 представлена стационарная вольт-амперная характеристика типичного полупроводящего гетероперехода $n\text{-Cd}_{0.8}\text{Zn}_{0.2}\text{S}$ — $p\text{-CuInSe}_2$. Видно, что такие гетеропереходы обладают ярко выраженным выпрямлением (рис. 1, *a*) причем пропускное направление отвечает отрицательной полярности внешнего смещения на пленке. Прямые токи превышают обратные при $T = 300 \text{ К}$ и $U = 1 \text{ В}$ в 10^3 — 10^4 раз и с понижением температуры это отношение увеличивается. Для выяснения механизма прохождения тока через гетеропереходы изучался характер зависимости прямого тока от напряжения и температуры. Как видно из рис. 1, *a* (кривые 1—3), в интервале температур 80—300 К при напряжениях ниже $U_0 = 0.35$ — 0.4 В в координатах $\ln I = f(U)$ наблюдается прямолинейный участок, что свидетельствует об экспоненциальной зависимости тока от напряжения, которая может быть описана

$$I = I_3 [\exp(eU/\eta kT) - 1].$$

При 80 К коэффициент η в показателе экспоненты равен 1.87 и увеличивается с ростом температуры (рис. 1, *b*, кривая 4), так что при 300 К достигает 2.9. При малых прямых смещениях логарифм тока пропорционален температуре образцов (рис. 1, *b*, кривые 1—3), что отвечает модели Рибена и Фойхта [3, 4]. Таким образом, для полученных гетеропереходов характерным является то, что в области температур ниже 140 К величина прямого тока имеет диффузионную природу, а с ростом температуры выше 150 К уже определяется рекомбинацией

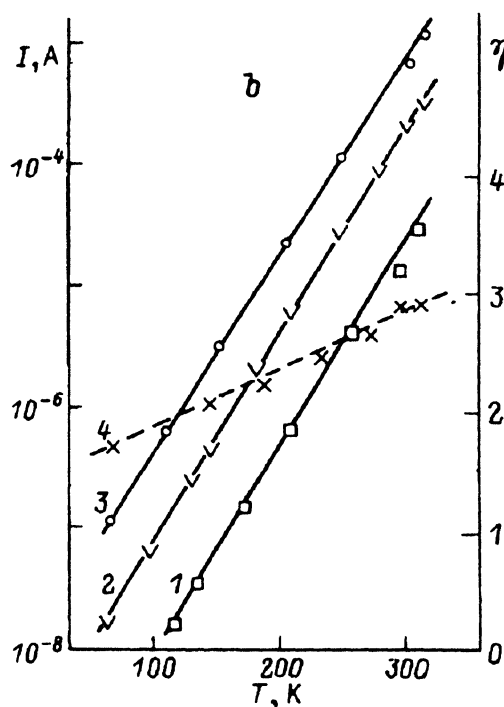
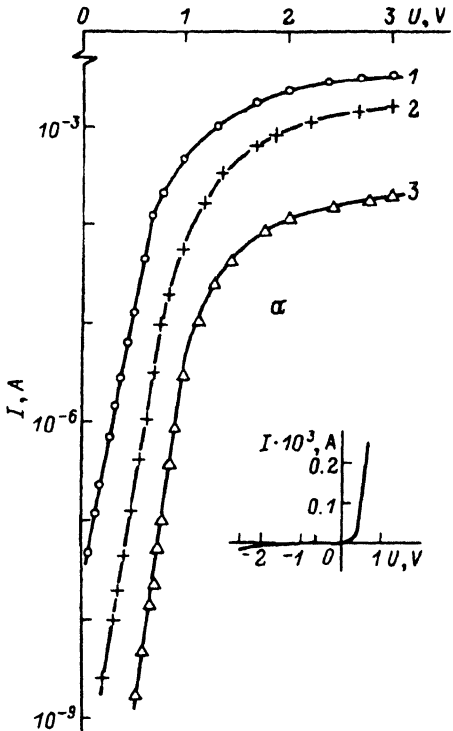


Рис. 1. Стационарная вольт-амперная характеристика $n\text{-Cd}_{0.8}\text{Zn}_{0.2}\text{S}-p\text{-CuInSe}_2$ (a). Зависимость прямого тока от напряжения при разных значениях температуры. T , К: 1 — 300, 2 — 200, 3 — 77. На вставке — зависимость тока от напряжения при $T = 300$ К; пропускное направление отвечает отрицательной полярности внешнего смещения на $\text{Cd}_{0.8}\text{Zn}_{0.2}\text{S}$. Температурная зависимость показателя η и прямого тока при разных значениях напряжения смещения на гетеропереходе (b). U , В: 1 — 0.4, 2 — 0.6, 3 — 0.7.

на заряженных центрах в области пространственного заряда. При напряжениях $U > U_0$ реализуется омическая зависимость тока от напряжения (рис. 1, a), из которой следует, что остаточное сопротивление полученных гетеропереходов достаточно высокое и составляет $R_0 = 10^3 - 10^4$ Ом при $T = 300$ К.

Характерной особенностью обратных ветвей исследованных переходов является отсутствие участка насыщения и наличие мягкого прогиба. Зависимость обратного тока от напряжения следует степенному закону $I \sim U^m$, в котором показатель принимает значения от $m \approx 1$, когда преобладающими являются токи утечки при $U < 0.5$ В, до $m \approx 2.5$ в области $m \approx 2.5$. Указанное позволяет высказать предположение о туннельном прохождении тока при обратных смещениях.

Полученные гетеропереходы обнаруживают широкополосный фотовольтаический эффект в диапазоне между ширинами запрещенных зон контактирующих полупроводников, если освещение естественным излучением производилось со стороны широкозонного слоя (рис. 2). Длинноволновая граница фоточувствительности определяется прямыми межзонными переходами в CuInSe_2 . Об этом свидетельствует энергетическое положение излома в спектре $i(\hbar\omega)$ при $\hbar\omega = 1.0$ эВ и величина крутизны длинноволнового экспоненциального края фотоактивного поглощения $S = 90$ эВ $^{-1}$. Коротковолновая граница фоточувствительности определяется границей

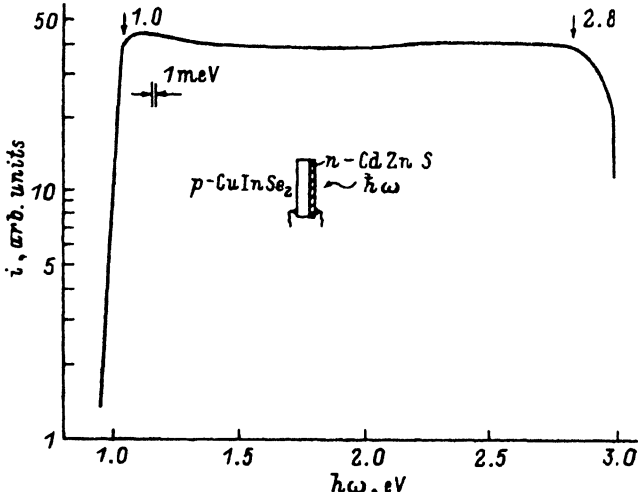


Рис. 2. Спектральная зависимость тока короткого замыкания гетероперехода $n\text{-Cd}_{0.8}\text{Zn}_{0.2}\text{S}-p\text{-CuInSe}_2$ при $T = 300$ К (освещение со стороны пленки).

оптического пропускания веществом пленки. Независимо от длины волны падающих фотонов и геометрии освещения гетеропереходов пленки всегда заряжаются отрицательно. Фоточувствительность гетеропереходов достигает в лучших образцах $S_1 = 3 \cdot 10^{-5}$ А/Вт при 300 К и максимальная при освещении со стороны широкозонной пленки. Поляризационная фоточувствительность при освещении гетеропереходов вдоль нормали к гетерогранице во всей области фоточувствительности отсутствует, что обусловлено поликристаллическостью вещества пленки и отсутствием способствующей проявлению анизотропии текстуры.

Полученные результаты свидетельствуют о возможностях использования системы $\text{Cd}_{0.8}\text{Zn}_{0.2}\text{S}-\text{CuInSe}_2$ для создания широкополосных фотопреобразователей, а дальнейшее повышение квантовой эффективности фотопреобразования требует решения вопроса о получении легированных тонких широкозонных пленок.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- [1] Физико-химические свойства полупроводниковых веществ. Справочник. М. (1978).
- [2] Copper indium diselenide for photovoltaic applications (ed. by T. J. Kontts, L. L. Kazmerskii, S. Wagner), 640. Amsterdam (1986).
- [3] А. Милнс, Г. Д. Фойхт. Гетеропереходы и переходы металл—полупроводник. М. (1975).
- [4] Б. Л. Шарма, Р. К. Пурохит. Полупроводниковые гетеропереходы. М. (1979).

Редактор В. В. Чалдышев