

- [1] Милнс Л. Примеси с глубокими уровнями в полупроводниках. М., 1977. 512 с.
 [2] Hall R. N., Racette J. H. // J. Appl. Phys. 1964. V. 35. N 2. P. 379—397.
 [3] Weiser K. // Phys. Rev. 1962. V. 126. N 4. P. 1427—1436.
 [4] Блекмор Д. Статистика электронов в полупроводниках. М., 1964. 392 с.
 [5] Алиева Б. С., Таиров В. И. // ФТП. 1970. Т. 4. В. 11. С. 2182—2186.
 [6] Агаев Н. А., Мир-Багиров В. В., Аждаров Г. Х. // Матер. VII координационного совещания по исследованию и применению твердых растворов германий—кремний. Баку, 1988.
 [7] Аждаров Г. Х. // Автореф. докт. дис. Баку, 1980.
 [8] Samuelson L. // Proc. of the XIII Int. Conf. on Def. in Semicond. California, 1984.
 [9] Srinivasan K., Sher A., Chen A. // Phys. Rev. (B). 1986. V. 33. N 2. P. 1026—1035.

Институт физики
 АН Азербайджана
 Баку

Получено 19.06.1991
 Принято к печати 22.10.1991

ФТП, том 26, вып. 3, 1992

ПОЛУЧЕНИЕ И СВОЙСТВА ИЗОТИПНЫХ ГЕТЕРОСТРУКТУР НА ОСНОВЕ n -CuInSe₂

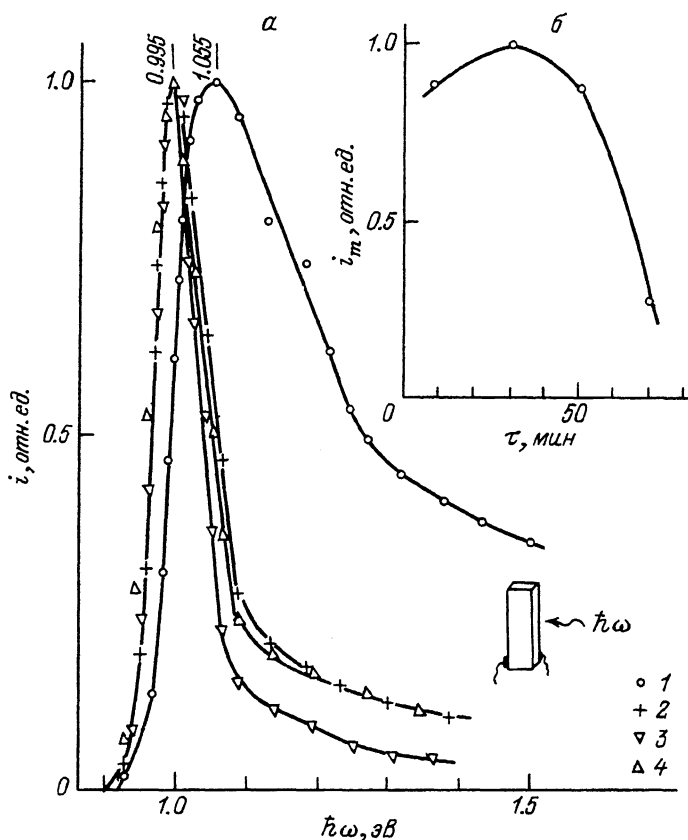
Магомедов М. А., Медведкин Г. А., Рудь В. Ю., Рудь Ю. В.

В настоящий период признана перспективность использования тройного соединения CuInSe₂ в преобразователях солнечной энергии и ведется разработка методов создания эффективных потенциальных барьеров на его основе [1]. Недавно была открыта новая возможность создания гетероструктур из CuInSe₂ за счет взаимодействия вещества с кислородом воздушной среды при температурах 400—600 °С [2]. Таким методом были получены и исследованы анизотипные гетероструктуры, представляющие собой контакт p -CuInSe₂ со слоем широкозонного окисла In₂O₃ n -типа проводимости [3]. В данной работе представлены первые результаты по получению на основе монокристаллов n -CuInSe₂ изотипных структур и изучению их фотоэлектрических параметров.

В качестве исходного для окисления вещества использовали ориентированные в плоскости {112} монокристаллические однородные пластины CuInSe₂ с концентрацией свободных электронов $n \approx 10^{17}$ см⁻³ при 300 К, поверхность которых перед окислением подвергали механической и химической полировке. Процесс термообработки пластин проводили при постоянной температуре ≈ 550 °С на воздухе и времени окисления от 10 до 70 мин. После завершения процесса образцы охлаждали до комнатной температуры со скоростью ≈ 300 град/мин. В результате такого процесса на поверхности пластины образовывались однородно окрашенные слои, цвет которых контролировался временем термообработки t_{0x} и изменялся от желтого до темно-синего. После завершения процесса окисления образовавшиеся слои удалялись со всех сторон пластин, за исключением одной. На полученных структурах, представлявших собой с учетом результатов [4] контакт слоя n -In₂O₃ с n -

Фотоэлектрические свойства изотипных гетероструктур на основе n -CuInSe₂ при $T=300$ К

№ образца	t_{0x} , мин	Тип проводимости слоя	P=20 мВт/см ²		K	ω_m , эВ	$i_m/i_{1.2}$ эВ	$\Delta\omega_{1/2}$, мЭВ	S_j , мА/Вт
			$U_{ХХ}$, мВ	$I_{КЗ}$, мкА					
1	10	n	0.6	45	1.1	1.05	0.66	290	8
2	30	n	0.6	60	1.2	0.99	0.16	100	10
3	50	n	0.2	50	1.2	0.99	0.16	70	8
4	70	n	0.4	20	1.1	0.99	0.08	90	2



Спектральные зависимости фототока короткого замыкания изотипных структур на основе $n\text{-CuInSe}_2$ в зависимости от времени термообработки ($T = 300$ К, номера у кривых отвечают используемым в таблице, спектральное разрешение не ниже 1 мэВ, схема освещения структур естественным светом приведена у кривых) (а); зависимость величины максимального фототока короткого замыкания структур из CuInSe_2 от времени термообработки (спектры сняты в идентичных условиях возбуждения и нормированы на максимум фоточувствительности образца 2, $T = 300$ К) (б).

CuInSe_2 , проводили исследования фотоэлектрических параметров, которые приведены в таблице. Основные результаты этих измерений заключаются в следующем.

Использованные режимы термического окисления приводят к образованию на поверхности пластин $n\text{-CuInSe}_2$ слоев n -типа проводимости, удельное сопротивление которых в 2—2.5 раза выше по отношению к исходному веществу. Как показали измерения стационарных вольт-амперных характеристик, полученные структуры обладают незначительным выпрямлением K . Все полученные структуры обнаруживают фоточувствительность, которая доминирует при освещении со стороны слоя в спектральной области около 1 эВ. В таблице приведены значения при освещении структур интегральным светом. Независимо от длины волны, интенсивности и места попадания излучения на структуры слой всегда заряжается положительно, что отражает характер изменения состава приповерхностной области кристалла в результате термообработки. Поскольку роль собственных дефектов акцепторного типа в CuInSe_2 играют вакансии в подрешетке меди V_{Cu} , а вводимый в ходе термообработки кислород приводит к снижению концентрации донорных уровней (V_{Se} , In_i , In_{Cu}) [5], в результате исследованных режимов термообработки достигается увеличение степени компенсации CuInSe_2 в приповерхностной области, которое и вызывает образование изотипного $n\text{-}n^+$ -перехода.

Спектральные зависимости фототока короткого замыкания для полученных изотипных структур приведены на рисунке, *а*. Видно, что с увеличением $t_{0x} > 10$ мин происходит трансформация спектрального контура фоточувствительности. Длинноволновый край экспоненциальный и описывается урбаховским параметром $\sigma = 1.3-1.7$ (300 К), что отвечает прямой структуре энергетических зон кристалла. Смещение длинноволнового края и абсолютного максимума фоточувствительности в длинноволновую область, усиление коротковолнового спада фототока $i_m/i_{1.2\text{эВ}}$ и снижение ширины спектрального контура фоточувствительности на полувысоте $\Delta h\nu_{1/2}$ с ростом t_{0x} (см. рисунок, *а* и таблицу) связаны с удалением активной области структур от освещаемой поверхности, в результате чего возрастает роль поверхностной рекомбинации возбуждаемых коротковолновым светом неравновесных носителей заряда.

Влияние времени термообработки на фоточувствительность изотипных структур представлено на рисунке, *б*. Главной закономерностью установленной зависимости является быстрый спад фоточувствительности при временах термообработки более 50 мин. Аналогичная особенность имеет место и при получении анизотипных структур. Поэтому в случае структур с изотипным переходом она может быть также связана с увеличением концентрации собственных дефектов типа V_{Cu} и, собственно, степени компенсации доноров в активной области структур, что и сопровождается понижением фоточувствительности.

Таким образом, метод термического окисления кристаллов *n*-типа проводимости позволяет получить $n-n^+$ -структуры с максимальной абсолютной токовой фоточувствительностью до 10 мА/Вт при столь низких выпрямлении и фотонапряжении холостого хода (см. таблицу). Очевидно, что оптимизация процесса может вскрыть технологические возможности существенного улучшения выпрямляющих свойств изотипных структур на основе CuInSe_2 .

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- [1] Mitchell K. W. // Proc. IX E. C. Photovolt. Solar Energy Confer. Freiburg, 1989. P. 292—293.
- [2] Медведкин Г. А., Бекимбетов Р. Н., Макарова Т. Л., Смирнова А. Д., Соколова В. И. // ЖТФ. 1987. Т. 57. В. 5. С. 960—964.
- [3] Медведкин Г. А., Рудь Ю. В., Таиров М. А. // ФТП. 1989. Т. 23. В. 5. С. 869—872.
- [4] Медведкин Г. А., Амбразьявичус Г. А., Яковенко А. А. // Поверхность. Физика, химия, механика. 1987. № 2. С. 81—87.
- [5] Cahen D., Noufi R. // Appl. Phys. Lett. 1989. V. 54. N 6. P. 558—560.

Физико-технический институт
им. А. Ф. Иоффе РАН
Санкт-Петербург

Получено 22.07.1991
Принято к печати 22.10.1991

ФТП, том 26, вып. 3, 1992

ОПТИЧЕСКИЕ ГЕТЕРОКОНТАКТЫ НА ОСНОВЕ ПЛЕНОК CuInSe_2

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

Одним из эффективных приемов в создании фоточувствительных структур утвердился в последние годы метод посадки на прямой оптический контакт двух различных полупроводников $[1-4]$. При этом оптический контакт формируют между двумя сколотыми или сколотой и полированной механически, а затем химически плоскостями монокристаллов. Наиболее высокие параметры достигаются в структурах на основе слоистых полупроводников, у которых поверхности скола обладают низкой концентрацией поверхностных состояний $[1,2]$. Физические свойства