

## ВЫСОКОЭФФЕКТИВНЫЙ ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЙ ФОТОДИОД НА ОСНОВЕ РТУТНО-ИНДИЕВОГО ТЕЛЛУРИДА

А. И. Малик, Г. Г. Грушка, Н. Р. Тевс

Интенсивное развитие оптоэлектроники для спектрального диапазона 1.0—1.6 мкм обуславливает широкий поиск новых полупроводниковых материалов для создания высокоэффективных излучателей и фотоприемников для этого диапазона спектра. Проблема разработки измерительных фотоприемников на этот спектральный диапазон представляет собой отдельную задачу, далекую от своего решения в настоящее время. Изготовление измерительных фотодиодов большой площади из прямозонных полупроводниковых изопериодических многокомпонентных соединений  $A^{III}B^V$  связано с целым рядом технологических сложностей получения совершенных гетероструктур с высокой однородностью, малой плотностью дефектов и малой удельной емкостью структур.

Известно [1] применение германиевых фотодиодов большой площади с барьером Шоттки, изготовленных из германия высокой чистоты с собственной проводимостью при комнатной температуре. Эти фотодиоды обладали малой удельной емкостью, высокой равномерностью чувствительности на площадке, высоким уровнем темновых токов, связанным с большой концентрацией неосновных носителей в подложке. Авторами работы [2] показано, что квантовая эффективность поверхностно-барьерных фотодиодов золото—германий зависит от толщины пленки золота (рис. 1), а также что для обеспечения стабильности диодов во времени

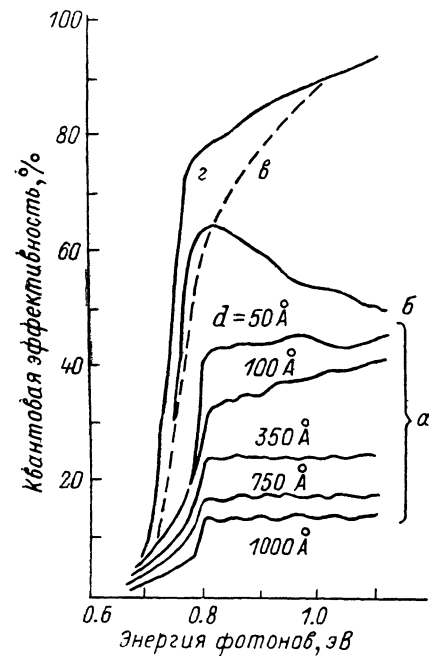


Рис. 1. Зависимость квантовой эффективности от энергии фотонов вблизи длинноволнового края поглощения для фотодиодов на основе барьера Шоттки Au—Ge [2] с различной толщиной золотого электрода (а), для германиевого p—n-перехода (б), для исследованных структур при напряжении смещения 5 и 24 В (в, г).

необходимо увеличивать толщину слоя золота до 300 Å, что в свою очередь приводит к значительному уменьшению квантовой эффективности. Нестабильность диодов связана с высоким значением коэффициента диффузии кислорода через слой золота [3] ( $D \approx 9.6 \cdot 10^{-16} \text{ см}^2/\text{с}$ ). Диффундирующий кислород, накапливаясь на границе раздела, может приводить к изменению характера токопереноса через барьер. Для обеспечения стабильности во времени в качестве прозрачного проводящего электрода лучше использовать металлы с высоким значением энергии образования оксида [3] или же тонкие пленки выращенного широкозонного полупроводникового соединения  $\text{In}_2\text{O}_3$ , легированного оловом (так называемые слои ИТО) [4].

В настоящей работе представлены результаты исследования новых фотодиодов, изготовленных на основе ртутно-индиевого теллурида (РИТ)  $\text{Hg}_3\text{In}_2\text{Te}_6$ , обладающего прямой структурой энергетических зон. Соединение  $\text{Hg}_3\text{In}_2\text{Te}_6$  соответствует составу  $x=0.5$  системы  $(\text{In}_2\text{Te}_3)_x - (\text{Hg}_3\text{Te}_3)_{1-x}$  и кристаллизуется в структуре цинковой обманки, в которой 1/6 часть катионных узлов вакантна. Наличие вакантных узлов (стехиометрических вакансий) с концентрацией  $\sim 10^{21} \text{ см}^{-3}$  обуславливает целый ряд особых свойств данного соединения [5]. Его электрические свойства не изменяются при воздействии высоких доз ионизирующей проникающей радиации, во много раз превышающей пороговые дозы изменения электрических параметров материалов, не содержащих в кристаллической решетке стехиометрических вакансий [6]. Введение в кристаллы РИТ целого ряда примесей вплоть до концентраций  $5 \cdot 10^{19} \text{ см}^{-3}$  не изменяет электрические свойства материала в диапазоне температур

200—410 К. Поэтому при получении высококачественных кристаллов РИТ не требуется глубокой очистки исходных компонентов, что является технологическим преимуществом перед высокочистым германием.

Ширина запрещенной зоны РИТ при 300 К составляет величину 0.74 эВ, подвижность электронов до  $400 \text{ см}^2/\text{В}\cdot\text{с}$ , отношение подвижностей электронов и дырок 14, концентрация носителей заряда близка к собственной  $(0.5\text{--}2)\cdot 10^{13} \text{ см}^{-3}$  [5].

Исследованные фотодиоды представляли собой трехслойную поверхностно-барьерную структуру ИТО— $\text{Al}_2\text{O}_3$ —РИТ. Тонкие слои ИТО ( $\sim 800 \text{ \AA}$ ) и  $\text{Al}_2\text{O}_3$  ( $\sim 150\text{--}200 \text{ \AA}$ ) наносились на подложку из РИТ методом магнетронного вакуумированного напыления. Толщина слоев ИТО выбиралась из условия оптимального просветления. Фоточувствительная площадь составляла величину  $3\cdot 10^{-2} \text{ см}^2$ . Окись алюминия была выбрана в качестве диэлектрика с «утечкой», так как обладает на 5 порядков большей проводимостью, чем слои двуокиси

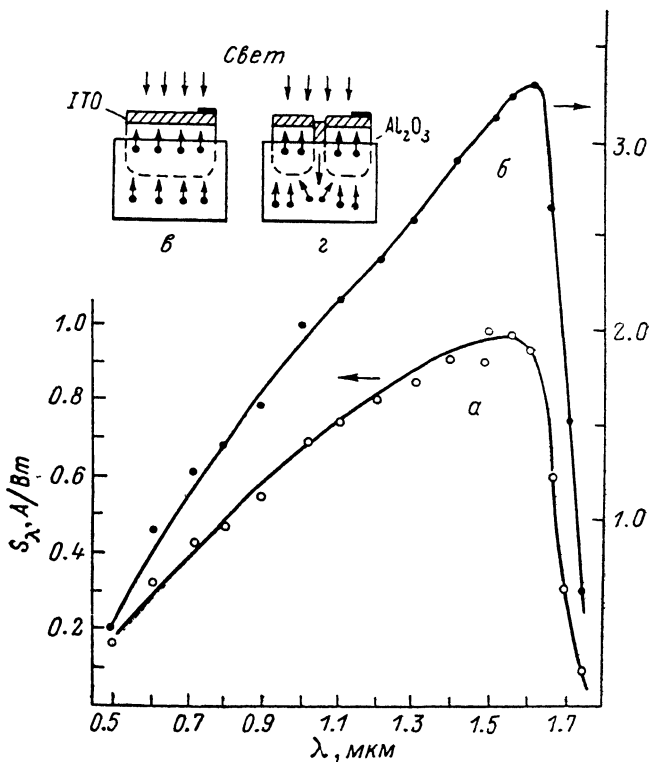


Рис. 2. Зависимость абсолютной монохроматической токовой чувствительности от длины волны при напряжении смещения 10 В.

Кривая *a* соответствует структуре фотодиода, представленной на вставке *a*; кривая *б* соответствует вставке *б*.

кремния [7]. Роль диэлектрика с «утечкой» в структуре фотодиодов, с одной стороны, сводилась к возможности создания поверхностного потенциального барьера в РИТ за счет эффекта поля, а с другой — к достаточно высокой проводимости для фотовозбужденных неосновных носителей заряда. Необходимо отметить, что «тесный» контакт пленки ИТО с РИТ в большинстве случаев давал квазиомический контакт.

На рис. 2 приведены спектральные зависимости токовой монохроматической чувствительности исследованных фотодиодов (кривая *a*) и токовой чувствительности, которая наблюдалась на ряде образцов (кривая *б*). Наличие эффекта усиления фототока (кривая *б*) можно объяснить, используя результаты работ [8, 9] и предположив наличие в слое  $\text{Al}_2\text{O}_3$  микроскопических сквозных каналов (структура *з* на вставке к рис. 2). Эффект усиления обусловлен модуляцией сечения канала прилегающими к нему областями пространственного заряда, размер которых изменяется при освещении. Для кремниевых структур такой же площади при создании специально большого числа микроскопических каналов ( $\sim 10^8$ ) было получено очень высокое значение коэффициента усиления фототока ( $\sim 2\cdot 10^3$ ) [9]. Кроме того, более высокому усилению в случае кремниевых структур способствовал более «плотный» диэлектрик из двуокиси кремния. Таким образом, получение большого значения коэффициента

усиления в структурах на основе РИТ требует специального создания каналов и выбора материала диэлектрика. В качестве измерительных фотодиодов целесообразно использовать изученные структуры, обладающие высокой квантовой эффективностью (рис. 2, а, в). Значение темнового тока для таких структур при напряжении смещения 10 В не превышало  $5 \times 10^{-6}$  А. Концентрация основных носителей заряда, определенная из анализа вольт-емкостных характеристик, составляла величину  $1.3 \cdot 10^{13}$  см<sup>-3</sup>.

Лучшие образцы измерительных фотодиодов сохраняли работоспособность при повышенных температурах (до +85 °С) и характеризовались следующими параметрами при нормальных условиях и напряжении смещения 120 В: темновой ток не превышал значения  $9 \cdot 10^{-6}$  А, емкость — значения  $8 \cdot 10^{-12}$  Ф, время нарастания фотоответа при длине волны 1.3 мкм — значения  $2.4 \cdot 10^{-9}$  с, а время спада — значения  $4 \cdot 10^{-9}$  с. При диаметре фоточувствительной площадки 2 мм неравномерность интегральной чувствительности (источник типа А) по площадке не превышала 1 % при сканировании световым зондом с диаметром  $6 \cdot 10^{-3}$  см.

Таким образом, описанная конструкция фотодиода на основе нового полупроводникового соединения ргунто-индиевого теллурида является перспективной для разработки на ее основе измерительных высокоэффективных быстродействующих фотоприемников для диапазона спектра 0.8—1.6 мкм, а также специальных фотоприемников, использующих некоторые уникальные свойства данного материала.

### Список литературы

- [1] *Вербицкая Е. М., Еремин В. К., Строкан Н. Б., Тархин Д. В.* // ПТЭ. 1984. № 5. С. 158—160.
- [2] *Chan E. J., Card H. C.* // IEEE Trans. Electron. Devices. 1980. Vol. 27. N 1. P. 78—83.
- [3] *Ponpon J. P., Siffert P.* // J. Appl. Phys. 1978. Vol. 49. N 12. P. 6004—6011.
- [4] *Goodric S. M., Wager J. F., Wilmsen C. W.* // J. Appl. Phys. 1980. Vol. 51. N 1. P. 528—531.
- [5] *Грушка Г. Г., Грушка Э. М., Гавалешко Н. П.* // УФЖ. 1985. Т. 30. № 12. С. 304—307.
- [6] *Бакуменко В. Л., Бонаков А. К., Грушка Г. Г.* // Электронная техника. Материалы. 1983. Вып. 2 (175). С. 75—76.
- [7] *Зи С.* Физика полупроводниковых приборов. М.: Мир, 1984. Т. 1. 455 с.
- [8] *Нагин А. П., Никитин И. О., Гюлькин В. М.* // Микроэлектроника. 1983. Т. 12. Вып. 6. С. 535—539.
- [9] *Малик А. И.* // ЖТФ. 1989. Т. 59. Вып. 5. С. 119—120.

Черновицкий  
государственный университет

Поступило в Редакцию  
6 февраля 1989 г.

06

Журнал технической физики, т. 60, в. 6, 1990

© 1990 г.

## АНОДНЫЙ ЭЛЕКТРОДНЫЙ ПРОЦЕСС В ХАЛЬКОГЕНИДНЫХ СТЕКЛООБРАЗНЫХ ПОЛУПРОВОДНИКАХ, СТИМУЛИРОВАННЫЙ ВНЕШНИМИ ВОЗДЕЙСТВИЯМИ

*А. М. Андриеш, В. И. Нефедов, Д. И. Циуляну, А. Н. Соколов,  
Г. М. Тридун, Л. В. Гринштун*

Физические свойства структур металл—халькогенидный стеклообразный полупроводник (ХСП) во многом определяются электродными процессами, протекающими на границе раздела. Эти процессы имеют место при активном участии внешней среды и сопровождаются появлением темновой электродвижущей силы [1], изменением кинетики фотоответа [2], электропроводности [3] и других параметров. На рис. 1, а показано типичное изменение спектра пропускания структур металл (Al)—ХСП (As<sub>2</sub>S<sub>3</sub>Ge<sub>2</sub>) в процессе хранения, которое иллюстрирует расход металлического электрода (рост прозрачности) на электродный процесс. Примечательно, что интенсивность электродного процесса может быть увеличена в десятки тысяч раз путем приложения к структуре внешнего электрического поля [4] (эффект электро-стимулированных химических превращений (ЭСХП)), освещения [5] или увеличения влаж-