

УДК. 621.315.592

СОЗДАНИЕ ФОТОПРИЕМНИКОВ СОЛНЕЧНОГО УФ-ИЗЛУЧЕНИЯ
ДЛЯ ЭКОЛОГИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ

К. ф.-м. н. Д. Мелебаев, М. К. Овлякулова, С. Т. Абаев, Д. Худайназаров

Физико-математический институт АНТ,
Туркменистан, г. Ашхабад
dmelebay@yandex.ru

Разработаны высокоэффективные фотоприемники видимого и УФ-излучения на основе наноструктур Au—оксид(Ga_2O_3)— $n\text{-GaAs}_{0,6}\text{P}_{0,4}$. Использование фильтра УФС-2 вместо сапфирового окна, в стандартном корпусе существенно смещает максимум спектра fotocувствительности коротковолновой УФ-области ($h\nu_m \approx 3,65$ эВ). Такой фотоприемник чувствителен только к УФ-излучению экологического диапазона ($h\nu=3,1\text{—}4,43$ эВ). Установлено, что при прямом солнечном освещении фотоприемника с фильтром УФС-2 зависимость фототока от плотности потока излучения в интервале $P=10^{-2}\text{—}10^2$ Вт/м² линейная.

Ключевые слова: УФ-фотоприемники, $\text{GaAs}_{0,6}\text{P}_{0,4}$, МДП-структура, fotocувствительность, УФС-2 фильтр, экологические исследования.

В последнее время усилился интерес к полупроводниковым фотоприемникам (ФП) ультрафиолетового (УФ) диапазона спектра. Это связано с требованиями современной медицины, биотехнологии, экологии, в том числе и с проблемой «озоновой дыры» [1]. Наиболее перспективными приборами в этом спектральном диапазоне являются ФП на основе структур «металл—полупроводник» с тонким оксидным слоем (ОС) между полупроводником и металлом [2].

Целью данной работы является исследование фотоэлектрических свойств наноструктур Au—оксид— $n\text{-GaP}_{0,4}\text{As}_{0,6}$ с разной толщиной оксидного слоя (10—100 Å) в видимой и УФ-областях спектра, а также создание высокоэффективных фотоприемников солнечного УФ-излучения ($\lambda=280\text{—}400$ нм, $h\nu=3,1\text{—}4,43$ эВ) для целей экологических исследований.

В качестве исходного материала использованы эпитаксиальные структуры $n\text{-GaP}_{0,4}\text{As}_{0,6}/n^+\text{-GaAs}$ ($n \sim 6 \cdot 10^{16}$ см⁻³, $n^+ \sim 5 \cdot 10^{17}$ см⁻³); с толщиной n -слоя $\text{GaP}_{0,4}\text{As}_{0,6}$ 40—50 мкм. На подложке $n^+\text{-GaAs}$ создавался омический контакт вплавлением сплава 96% In+4% Te. На поверхности эпитаксиального слоя $n\text{-GaP}_{0,4}\text{As}_{0,6}$ сначала формировался оксидный (диэлектрический) слой (Ga_2O_3 , $E_{g \text{ окс}} \approx 5,1$ эВ), затем создавался барьерный контакт (БК) полупрозрачного слоя Pd+Au. ОС и БК создавались химическим методом [3]. Толщина барьерного слоя металла составляла 12—14 нм.

Исследовались вольт-амперные ($I-U$), вольт-фарадные ($C-U$) характеристики и спектр фототока короткого замыкания ($I_{f0}-h\nu$) в диапазоне энергий фотонов 1,5—5,5 эВ при 300 К. В исследованных $\text{GaP}_{0,4}\text{As}_{0,6}$ $m-s$ -структурах диэлектрические (Ga_2O_3) слои были разной толщины, наибольшая — 10 нм. Конструктивная схема представлена на рис. 1, а.

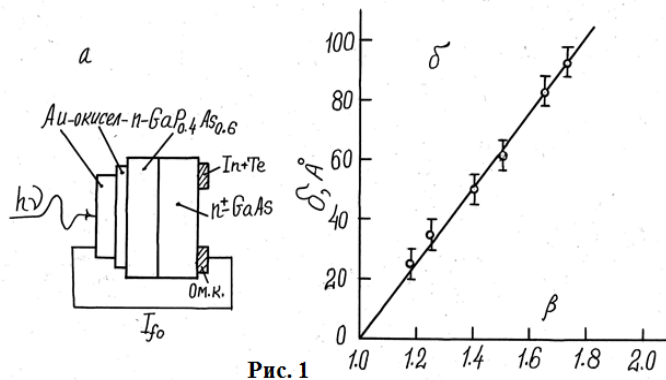


Рис. 1

Зависимость прямого темнового тока от напряжения ($I-U$) в интервале плотностей токов $10^{-7}\text{—}10^{-2}$ А/см² оказалось экспоненциальной $I=I_0 \exp(qU/\beta kT)$. Из этой зависимости определялся коэффициент идеальности структур β . В наших экспериментах коэффициент β зависел от толщины промежуточного диэлектрического слоя δ [4]. Из эллипсометрических, $I-U$ и $C-U$ экспериментальных данных была установлена эмпирическая зависимость δ от β . Эта зависимость оказалась ли-

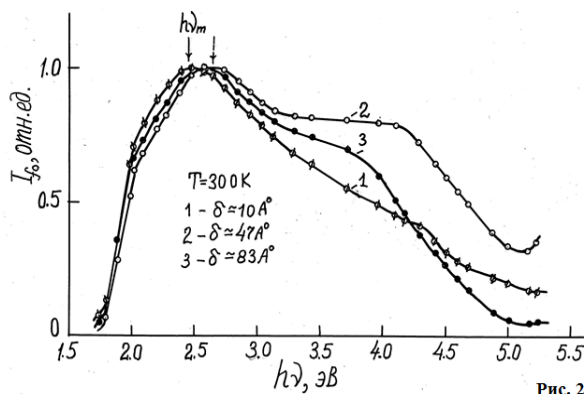


Рис. 2

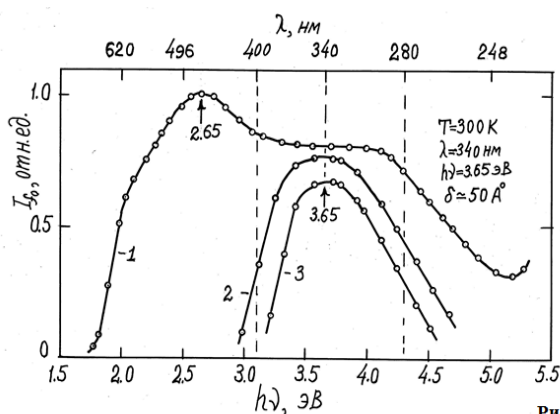


Рис. 3

нейной (рис. 1, б): $\delta = a(\beta - 1)$, где эмпирический коэффициент $a = 125 \text{ \AA}$. Данное эмпирическое соотношение использовалось для определения δ и в других структурах по измеренным для них значениям β .

В результате были разработаны ФП УФ-излучения на основе $\text{Au-Ga}_2\text{O}_3\text{-}n\text{-GaAs}_{0,6}\text{P}_{0,4}$ наноструктур с оптимальной толщиной оксидного слоя $\delta = 30\text{--}60 \text{ \AA}$ (рис. 2, кривая 2). Их можно использовать в экологическом диапазоне УФ-части солнечного спектра $\lambda = 280\text{--}400 \text{ нм}$ ($h\nu = 3,1\text{--}4,43 \text{ эВ}$). ФП в указанном диапазоне УФ-излучения имеют практически постоянную ФЧ $S_f \approx 0,15 \text{ А/Вт}$, (рис. 3, кривая 1).

Для применения ФП в качестве основного элемента интенсиметра и дозиметра спектр его токовой фоточувствительности корректируется светофильтрами УФС-1 ($d = 3 \text{ мм}$, рис. 3, кривая 2) или УФС-2 ($d = 2 \text{ мм}$, рис. 3, кривая 3). Использование фильтра УФС-2 вместо кварцевого окна в стандартном корпусе существенно смещает максимум спектра ФЧ в коротковолновую УФ-область ($h\nu_{\text{max}} = 3,65 \text{ эВ}$, рис. 3, кривая 3). Такой фотоприемник чувствителен только к УФ-излучению экологического диапазона $\lambda = 280\text{--}400 \text{ нм}$ (рис. 3, кривая 3). Установлено, что при прямом солнечном освещении ФП с фильтром УФС-2, зависимость I_0 от плотности потока излучения P в интервале $P = 10^{-3}\text{--}10^2 \text{ Вт/м}^2$ ли-

нейная, т. е. $I_0 = \alpha \cdot P$, где α — коэффициент пропорциональности, для каждого ФП постоянная величина. Созданный ФП на основе $\text{Au-оксид-}n\text{-GaAs}_{0,6}\text{P}_{0,4}$ наноструктур использован для измерения интенсивности УФ-излучения Солнца, достигающего земной поверхности, и его дозы.

Таким образом, созданные наноструктурированные фотоприемники по конструкции и технологии выгодно отличается от известных $\text{GaP}_x\text{As}_{1-x}$ фотоприемников и имеют более высокую ФЧ в коротковолновой УФ-области спектра.

ИСПОЛЬЗОВАННЫЕ ИСТОЧНИКИ

1. Бланк Т. В., Гольдберг Ю. А. Полупроводниковые фотопреобразователи для ультрафиолетовой области спектра // ФТП.— 2003.— Т. 37, Вып. 9.— С. 1025—1055.
2. Патент №16344065 РФ. Фотоприемник // Мелебаев Д., Гольдберг Ю. А., Овлякулова М. Г., Царенков Б. В.— 25.03.1993.
3. Мелебаев Д. Фотоприемники УФ-излучения на основе наноструктур Au-окисел-n-GaP // Тр. Междунар. науч.-техн. конф. «Нанотехнологии функциональных материалов».— СПб.— 2010.— С. 114—115.
4. Card H. C., Rhoderick E. H. Studies of tunnel MOS diodes. I. Interface effects in silicon Schottky diodes // J. Phys. D.: Appl. Phys.—1971.— Vol. 4.— P.1589—1601.

D. Melebayev, M. K. Owlyakulova, S. T. Abayev, D. Hudaynazarov

Creation of photodetectors of solar UV radiation for ecological investigations.

Highly efficient photodetectors of the visible and UV radiation were developed on the basis of $\text{Au-oxide (Ga}_2\text{O}_3\text{)-}n\text{-GaAs}_{0,6}\text{P}_{0,4}$ nanostructures. Using УФС-2 (ultraviolet glass) filter instead of the sapphire window in the standard case essentially shifts the spectrum maximum of photosensitivity shortwave UV region ($h\nu_m \approx 3,65 \text{ eV}$). This detector is sensitive only to the UV radiation of ecological range ($h\nu = 3,1\text{--}4,43 \text{ eV}$). It has been established that at direct solar radiation of the photodetector with a УФС-2 filter, dependence of the photocurrent on the flux density in the range of $P = 10^{-2}\text{--}10^2 \text{ W/m}^2$ is linear.

Keywords: UV photodetectors, $\text{GaAs}_{0,6}\text{P}_{0,4}$, MDS-structure, photosensitivity, УФС-2 filter, environmental study.