

УДК 621.382

## ФОТОЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ И ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА НАНОСТРУКТУР Au—Ga<sub>2</sub>O<sub>3</sub>(Fe)—*n*-GaP С БАРЬЕРОМ ШОТТКИ

К. ф.-м. н. Д. Мелебаев<sup>1</sup>, к. ф.-м. н. И. Н. Туджанова<sup>1</sup>,  
Д. Э. Исмаилов<sup>1</sup>, А. Х. Мухамедоразова<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Институт солнечной энергии АН Туркменистана,

<sup>2</sup>Технологический центр АН Туркменистана

Туркменистан, г. Ашхабад

dmelebay@yandex.ru

*Фотоэлектрические и электрические свойства наноструктур Au—Ga<sub>2</sub>O<sub>3</sub>(Fe)—*n*-GaP с барьером Шоттки исследовались в широком диапазоне энергии фотонов — от 1,5 до 6,2 эВ (300 К). Спектральные, вольт-емкостные и вольт-амперные характеристики показывают наличие атомов железа в оксидном слое, что позволяет получить атомарно чистую поверхность полупроводника.*

*Ключевые слова: наноструктура, барьер Шоттки, железо, оксиды Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, Ga<sub>2</sub>O<sub>3</sub>(Fe), атомарно чистая поверхность.*

В последние годы в связи с требованиями экологии, медицины, биологии и других областей науки и техники интенсивно исследуются полупроводниковые фотоприемники для ультрафиолетового (УФ) диапазона спектра [1]. Наиболее перспективными приборами в УФ-диапазоне являются фотоприемники на основе наноструктур «металл — диэлектрик — полупроводник с барьером Шоттки» [2]. В [3, 4] при исследовании фотоэлектрических свойств наноструктур Au—оксид—*n*-GaP в широкой области спектра ( $h\nu=1,5—6,1$  эВ) были обнаружены новые закономерности. Однако электрические свойства таких наноструктур практически не исследованы. В настоящей работе приведены результаты исследований как фотоэлектрических, так и электрических свойств наноструктур Au—Ga<sub>2</sub>O<sub>3</sub>(Fe)—*n*-GaP и определены их основные параметры.

В качестве исходного материала использовались пластины фосфида галлия *n*-типа ФГЧТ-3-17 с ориентацией (100) толщиной около 370 мкм. На одной поверхности GaP создавался омический контакт, на другой — диэлектрический (оксидный) слой и барьерный контакт. Процесс проведения химической обработки поверхности GaP и технология изготовления исследуемой структуры подробно описаны в [4].

Было создано несколько наноструктур Au—Ga<sub>2</sub>O<sub>3</sub>(Fe)—*n*-GaP с разной толщиной оксидного слоя. Площадь барьерного контакта в разных структурах составляла от 0,1 до 0,3 см<sup>2</sup>. Присутствие атомов ферромагнитного железа в оксидном слое Ga<sub>2</sub>O<sub>3</sub>(Fe) было установлено с помощью растрового электронного микроскопа (РЭМ).

Исследовались вольт-амперные (ВАХ) и вольт-фарадные (ВФХ) характеристики и спектр фототока короткого замыкания  $I_{f0}$ .

Морфология и состав наноструктурированных окисных слоев определялись на аналитическом комплексе на базе растрового электронного микроскопа MIRA 2LMU. На рис. 1 показан EDX-спектр структуры Au—Ga<sub>2</sub>O<sub>3</sub>(Fe)—*n*-GaP, покрытой кремнием (в нашей структуре тонкий слой золота, находящийся на поверхности оксидного слоя, оказался непроводящим, поэтому на поверхность слоя золота напылялся тонкий проводящий слой кремния). Микроанализ проводился энергодисперсионным методом с использованием системы INCA Energy 350. При выбранных режиме измерений и расположении образца по отношению к электронному пучку область генерации рентгеновского характеристического излучения по глубине составляла 1 мкм. Площадь исследуемого участка поверхности 5×6 мкм. Характеристические пики Fe подтверждают наличие железа в оксидном слое.

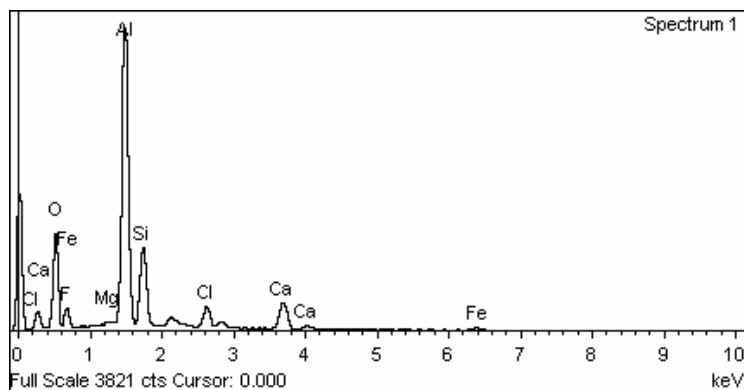


Рис. 1. EDX-спектр структуры Au—Ga<sub>2</sub>O<sub>3</sub>(Fe)—n-GaP, покрытой кремнием

На рис. 2 приведены типичные спектральные характеристики двух наноструктур Au—Ga<sub>2</sub>O<sub>3</sub>(Fe)—n-GaP, которые в оксидном слое содержат атомы железа.

Фототок  $I_{f0}$  в структурах при энергиях фотонов  $h\nu=2,0\text{--}2,3$  эВ обусловлен фотоэмиссией электронов из металла в оксид Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (рис. 1), и его зависимость от  $h\nu$  описывается выражением [5]:  $I_{f0} \approx (h\nu - E_{gox})^2$ , где  $h\nu > 2$  эВ,  $E_{gox}$  — ширина запрещенной зоны. С использованием зависимости  $(I_{f0})^{1/2}$  от  $h\nu$  была определена ширина запрещенной зоны оксида железа:  $E_{gox}=2,1$  эВ, которая для обеих структур оказалась одинаковой (рис. 2, a). Фототок  $I_f$  при  $h\nu > 2,35$  эВ обусловлен генерацией электронно-дырочных пар в GaP и разделением их в поле объемного заряда (рис. 2).

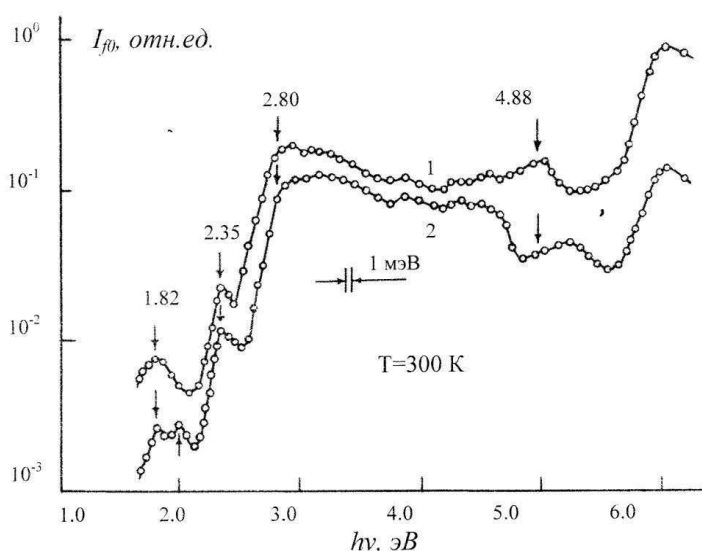


Рис. 2. Типичные спектральные характеристики двух наноструктур Au—Ga<sub>2</sub>O<sub>3</sub>(Fe)—n-GaP, содержащих атомы железа в оксидном слое

Ультрафиолетовая часть спектра ( $h\nu=3,1\text{--}6,2$  эВ) также несет важную информацию о физической природе границы раздела «полупроводник — диэлектрик Ga<sub>2</sub>O<sub>3</sub>(Fe)». В оксидном слое под действием внутреннего электрического поля барьера на зависимости  $I_{f0}$  от  $h\nu$  в интервале 3,5—5,5 эВ наблюдалась осцилляция фототока, что свойственно наноразмерным структурам. Минимум коротковолновой фоточувствительности наблюдался в области  $h\nu=5,1\text{--}5,6$  эВ. При дальнейшем увеличении  $h\nu$  в интервале 5,2—6,2 эВ начинается процесс лавинного роста числа носителей заряда и происходит резкий рост коротковолновой фоточувствительности. Значение токовой фоточувствительности вблизи  $h\nu=6,0$  эВ достигает 0,21—0,25 А/Вт.

Зависимость  $I_{f0}$  от  $h\nu$  в интервале 5,2—6,1 эВ оказалась экспоненциальной. Важно отметить, что экспериментальная зависимость  $I_{f0}$  от  $h\nu$  в интервале 5,6—6,1 эВ оказалась линейной (рис. 3, a), что соответствует концепции Спитцера, Мида, предложенной в [5]:  $I_{f0} \approx (h\nu - E_{gox})^2$  при  $h\nu > 5,2$  эВ. Это позволило определить по методике, описанной в [3], ширину запрещенной зоны оксида Ga<sub>2</sub>O<sub>3</sub>(Fe), образованного на поверхности GaP:  $E_{gox} = 5,5$  эВ (рис. 3, b).

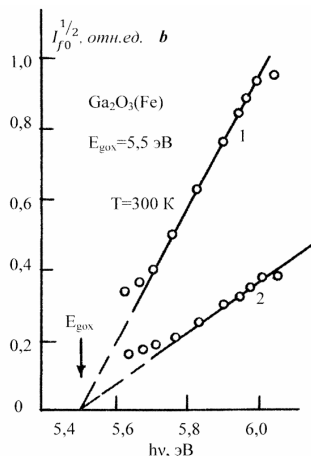
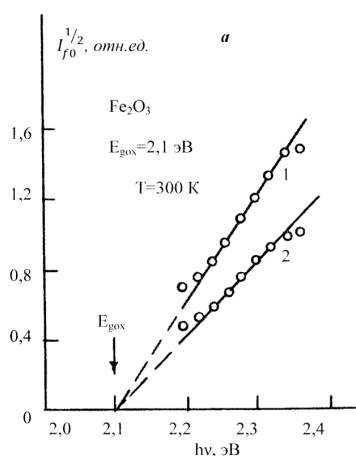


Рис. 3

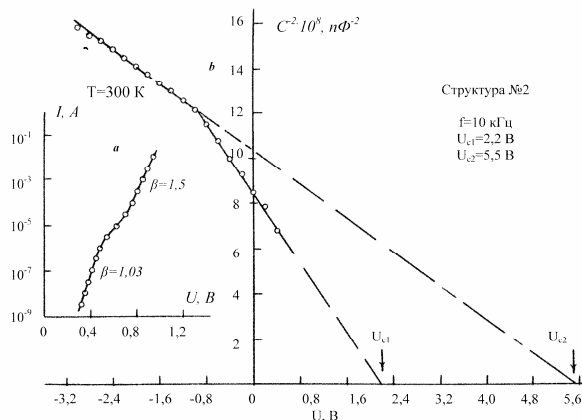


Рис. 4

Новые закономерности, обнаруженные фотоэлектрическим методом, также неожиданно проявляются в ВАХ и ВФХ наноструктур Au—Ga<sub>2</sub>O<sub>3</sub>(Fe)—n-GaP (рис. 4). Выяснилось, что оксидный слой состоит из двух составляющих: Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> и Ga<sub>2</sub>O<sub>3</sub>(Fe). Таким образом, подтверждено присутствие атомов железа на границе раздела структур, что способствует созданию атомарно чистой поверхности, что подтверждено экспериментально (рис. 4, а, коэффициент идеальности  $\beta=1,03$ ).

#### ИСПОЛЬЗОВАННЫЕ ИСТОЧНИКИ

1. Бланк Т.В., Гольдберг Ю.А. Полупроводниковые фотопреобразователи для ультрафиолетовой области спектра // ФТП.– 2003.– Т. 37, №9.– С. 1025–1055.
2. Melebayev D. The ultraviolet radiation photodetectors based on nanostructures Au–oxide–n-GaP // Proceeding of the International Scientific and Technical Conference "Nanotechnologies of functional materials (NFM"10)".— S.-Peterburg, 2010. – P. 115–116.
3. Мелебаев Д., Ташлиева А.М., Рудь Ю.В., Рудь В.Ю. Исследование спектра фоточувствительности Au–Ga<sub>2</sub>O<sub>3</sub>–n-GaP для определения ширины запрещенной зоны оксида Ga<sub>2</sub>O<sub>3</sub> // Труды XIII МНПК «Современные информационные и электронные технологии» («СИЭТ-012»).– Украина, г. Одесса. – 2012.– С. 288.
4. Мелебаев Д., Ташлиева А.М., Туджанова И.Н., Айкутлу Дана, Буржуев С. Фоточувствительность наноструктур Au–Ga<sub>2</sub>O<sub>3</sub>(Fe)–n-GaP в УФ-области спектра // Труды XV МНПК «Современные информационные и электронные технологии» («СИЭТ-2015»).– Украина, г. Одесса. – 2014.–С. 159–160.
5. Spitzer W.G., Mead C.A. Conduction Band Minima of Ga(As<sub>1-x</sub>P<sub>x</sub>) // Phys.Rev.– 1964.– Vol. 133, N 3A.– P. A872–875.

D. Melebayev, I. N. Tujanova, D. E. Ismailov, A. H. Muhamedorazova

#### Photoelectric and electric properties of Au-Ga<sub>2</sub>O<sub>3</sub>(Fe)-n-GaP nanostructures with Schottki barrier

Photoelectric and electric properties of Au-Ga<sub>2</sub>O<sub>3</sub>(Fe)-n-GaP nanostructures with Schottki barrier were researched in a broad band of photon energies (1.5—6.2 eV, 300 K). Spectral, capacity-voltage and volt-ampere characteristics indicate the presence of atoms of iron in the oxide layer, which makes it possible to atomically obtained clean semiconductor surface.

Keywords: *nanostructure, Schottky barrier, iron, oxides, Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, Ga<sub>2</sub>O<sub>3</sub>(Fe), atomically clean surface.*