

## ИССЛЕДОВАНИЕ ЗОННОЙ СТРУКТУРЫ ПОЛУПРОВОДНИКОВЫХ ТВЕРДЫХ РАСТВОРОВ $Ga_{1-x}Al_xP$ ФОТОЭЛЕКТРИЧЕСКИМ МЕТОДОМ

К. ф.-м. н. Д. Мелебаев, О. Ч. Аннаев

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

*Исследованы спектры fotocувствительности полученных химическим методом барьеров Шоттки  $Au-n-Ga_{1-x}Al_xP$  в спектральной области 2,0 – 3,8 эВ при 300 К. С использованием контактного фотоэлектрического метода получена новая возможность определения с высокой точностью и надежностью ширины запрещенной зоны и пороговой энергии прямых оптических переходов в зависимости от состава твердого раствора  $Ga_{1-x}Al_xP$ .*

*Ключевые слова: fotocувствительность, барьеры Шоттки, фотоэлектрический метод,  $Ga_{1-x}Al_xP$ , зонная структура.*

Полупроводниковые твердые растворы  $Ga_{1-x}Al_xP$  широко используются в оптоэлектронике для создания источников спонтанного излучения и фотоприемников в коротковолновой области спектра [1, 2]. В этих твердых растворах при изменении состава ( $x$ ) ширина запрещенной зоны ( $E_g$ ) изменяется слабо – от 2,26 эВ ( $GaP$ ) до 2,45 эВ ( $AlP$ ), тогда как пороговая энергия прямых оптических переходов ( $E_0$ ) изменяется существенно – от 2,80 эВ ( $GaP$ ) до 3,6 эВ ( $AlP$ ). Это позволяет перенести область их применения в ультрафиолетовую (УФ) часть спектра. Эти данные были получены при исследовании оптических и люминесцентных свойств эпитаксиальных слоев  $Ga_{1-x}Al_xP/GaP$  при  $0 \leq x \leq 0,85$  [3, 4]. Однако установление зависимостей  $E_g=f(x)$  и  $E_0=f(x)$  для твердых растворов  $Ga_{1-x}Al_xP$  фотоэлектрическим методом с использованием барьера Шоттки остается практически не реализованным.

Настоящая работа посвящена исследованию зонной структуры твердого раствора  $Ga_{1-x}Al_xP$  ( $0,2 \leq x \leq 0,8$ ) с использованием модернизированного контактного фотоэлектрического метода [5, 6].

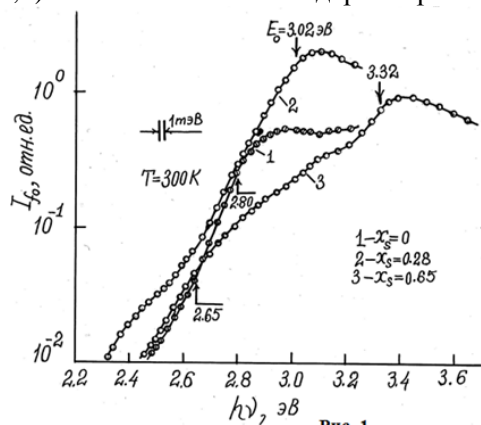


Рис. 1

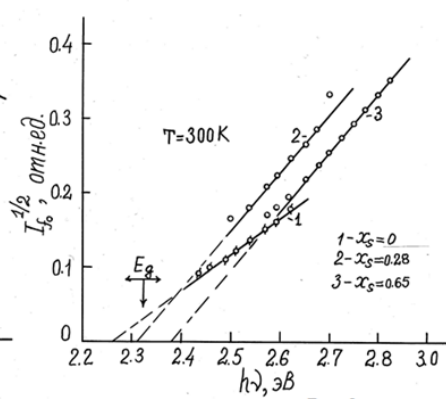


Рис. 2

Объектом исследования служили гетероэпитаксиальные поверхностно-барьерные структуры (барьеры Шоттки)  $Au-n-Ga_{1-x}Al_xP/n-GaP$ , а также  $n-Ga_{1-x}Al_xP/GaP$  (111)-структура с буферными и активными варизонными слоями, которые выращивались методом жидкофазной эпитаксии [2]. Состав  $Ga_{1-x}Al_xP$ , по данным измерений на рентгеновском микроанализаторе, был варизонным — содержание  $AlP$  в слоях убывало от границы «слой—подложка» ( $x_0=0,35-0,80$ ) к поверхности слоя ( $x_s=0,03-0,53$ ). Градиент активного варизонного слоя  $\nabla \vec{E}_0$  по минимальной энергии прямых оптических переходов для разных структур составлял 20—120 эВ/см.

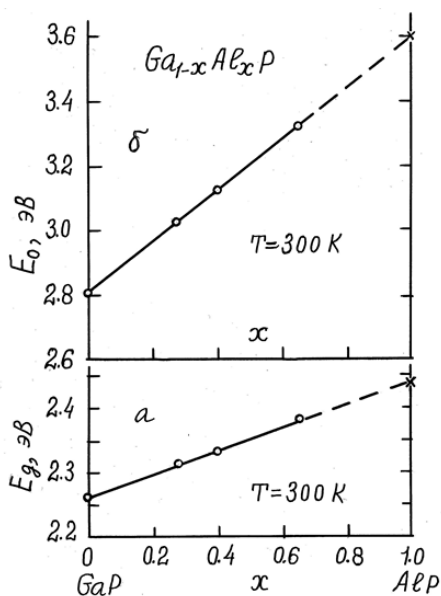


Рис. 3

Мида [6]:  $I_{f0} \approx (h\nu - E_g)^2$ . Из этой зависимости определена величина  $E_g$  для разных структур ( $x=x_s=0-65$ ) (рис. 2). Сопоставлением спектра поглощения  $\text{Ga}_{1-x}\text{Al}_x\text{P}$  со спектром фототока  $\text{Au}-n\text{-Ga}_{1-x}\text{Al}_x\text{P}$  структур разного состава по методике [7] определена величина  $E_0$  (рис. 1). Изменение содержания Al ( $x=x_s$ ) в области  $m-s$ -перехода приводит к закономерному изменению  $E_0$  и, соответственно,  $E_g$ . На рис. 3 также представлены полученные нами зависимости  $E_g=f(x)$  и  $E_0=f(x)$  для слоев  $\text{Ga}_{1-x}\text{Al}_x\text{P}$ , которые хорошо согласуются с известными данными [4, 5], определенными другими методами.

Таким образом, контактный фотоэлектрический метод [6, 7] дает возможность определить параметры зонной структуры полупроводников непосредственно на готовом фотоприемнике без его разрушения. Использование контактного фотоэлектрического метода, основанного на измерениях спектра фототока короткого замыкания  $m-s$ -структур с барьером Шоттки при освещении  $m-s$ -перехода со стороны полупрозрачного барьерного контакта позволило получить новые данные о зонной структуре твердого раствора фосфидов галлия и алюминия  $n$ -типа (рис. 3).

#### ИСПОЛЬЗОВАННЫЕ ИСТОЧНИКИ

1. Алферов Ж. И. Физика и жизнь — Москва: Спб.: Наука, 2001, 288 с.
2. Шуберт Ф. Светодиоды / Пер. с англ. под ред. А. Э. Юновича. — Москва: ФИЗМАТЛИТ, 2008, 496 с.
3. Мелебаев Д., Аннаев О. Ч. Фоточувствительность наноструктурированных барьеров Шоттки Ау-окисел- $n\text{-Ga}_{1-x}\text{Al}_x\text{P}$  в УФ области спектра // Тр. XIII МК «Опто-, наноэлектроника, нанотехнологии и микросистемы». — Россия, г. Ульяновск, 2011. — С. 217—218.
4. Sonamura H., Nanmori T., Miyauchi T. Composition dependences of the energy gap and the green-band emission peak for the  $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{P}$  ternary system // Appl. Phys. Lett. — 1974. — Vol. 24, N 2. — P. 77—78.
5. Onton A., Chicotka R. J. Conduction bands in  $\text{In}_{1-x}\text{Al}_x\text{P}$  // J. Appl. Phys. — 1970. — Vol. 41, N 10. — P. 4205—4207.
6. Spitzer W. G., Mead C. A. Conduction band minima of  $\text{Ga}(\text{As}_{1-x}\text{P}_x)$  // Phys. Rev. — 1964. — Vol. 133, N 3A. — P. A872—A875.
7. Беркелиев А., Гольдберг Ю. А., Именков А. Н. и др. Фотоэлектрический метод определения параметров варизонных полупроводников // Известия АН ТССР. Сер. физ.-тех., хим. и геол. наук. — 1986, № 1. — С. 8—14.

D. Melebayev, O. Ch. Annayev

#### Investigation of the band structure of $\text{Ga}_{1-x}\text{Al}_x\text{P}$ semiconductor solid solutions by a photoelectric method.

The authors have studied the photosensitivity spectra obtained by the chemical method of  $\text{Au}-n\text{-Ga}_{1-x}\text{Al}_x\text{P}$  ( $0 \leq x \leq 0,8$ ) Schottky barriers in the spectral range of 2,0—3,8 eV at 300 K. By using the contact photoelectric method the new possibility of defining band gap  $E_g$  and the threshold energy of direct optical transitions  $E_0$  depending on the composition of  $\text{Ga}_{1-x}\text{Al}_x\text{P}$  solid solution is shown with high accuracy and reliability.

Keywords: photosensitivity, Schottky barrier, photoelectric method,  $\text{Ga}_{1-x}\text{Al}_x\text{P}$ , band structure.