

ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ И ФОТОЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА МОНОКРИСТАЛЛОВ GaS: Er, Yb

Б.Г. ТАГИЕВ, О.Б. ТАГИЕВ, С.А. АБУШОВ, Г.Ю. ЭЙЮБОВ
*Институт Физики Национальной Академии Наук Азербайджана,
Баку AZ1143, Азербайджан, пр. Г.Джавида, 33*

Er və Yb ionları cütünü ilə aşqarlanmış GaS monokristalında statik volt-ampere xarakteristikaları (VAX), elektrik keçiriciliyinin temperatur asılılığı $\sigma(T)$, stasionar fotokeçiriciliyin spektral paylanması və fotocərəyanın temperatur asılılığı ($I_f \sim 10^3/T$) 77÷420 K temperatur intervalında və $2,2 \cdot 10^3 \div 5 \cdot 10^4$ V/sm elektrik sahəsində tədqiq edilmiş, cərəyankeçmənin, fotokeçiriciliyin mexanizmləri və qadağan olunmuş zonada lokal səviyyələrin energetik vəziyyətləri müəyyən edilmişdir.

В монокристаллах GaS, активированных парой редкоземельных ионов Er и Yb исследованы статические вольтамперные характеристики (ВАХ), температурная зависимость электропроводности $\sigma(T)$, спектральное распределение стационарной фотопроводимости и температурная зависимость фототока $I_f \sim 10^3/T$ в области температур и электрических полей 77÷420 K и $2,2 \cdot 10^3 \div 5 \cdot 10^4$ В/см соответственно. Определены механизмы токопрохождения, фотопроводимости и энергетическое положение локальных уровней в запрещенной зоне GaS: Yb, Er.

In the single crystals GaS activated by pair rare earths of ions Er and Yb were investigated static current-voltage characteristics (CVC), temperature dependence electroconductivity $\sigma(T)$, spectral distribution of stationary photoconductivity and temperature dependence of photocurrent $I_f \sim 10^3/T$ in the temperature region 77÷420 K and electric field $2,2 \cdot 10^3 \div 5 \cdot 10^4$ V/cm. Mechanisms of photoconductivity and energy position of local levels in the band gap were determined.

ВВЕДЕНИЕ

В последнее время интенсивно исследуются халькогенидные полупроводники, активированные редкоземельными элементами (РЗЭ). Легирование полупроводниковых материалов редкоземельными элементами придает им фотопроводящие и люминесцентные свойства, повышает их радиационную стойкость [1-3]. В работах [4] показано, что добавление РЗЭ иттербия (Yb) в слоистые монокристаллы GaS увеличивает его фоточувствительность. Влияние пар РЗЭ на электрические и фотоэлектрические свойства, как показывает анализ литературы, не исследовано. Поскольку введение пары редкоземельных ионов Er^{3+} и Yb^{3+} в GaS существенно изменяет его спектр фотолуминесценции [5]. Введение этой пары может влиять и на электрические и фотоэлектрические свойства этих кристаллов. Для выяснения влияния пар редкоземельных ионов на электрические и фотоэлектрические свойства GaS нами получены монокристаллы GaS, активированные парой РЗЭ Er^{3+} и Yb^{3+} .

МЕТОДИКА ЭКСПЕРИМЕНТА

Соединение GaS: Er, Yb синтезировалось из отдельных компонентов (Ga, S, Er и Yb), взятых в стехиометрических соотношениях в графитизированных кварцевых ампулах откачанных до 10^{-4} мм. рт. ст. в одноступенчатой печи при 1030 °С. Монокристаллы выращивались видоизмененным методом Бриджмена и обладали проводимостью р-типа. Удельное сопротивление их в зависимости от содержания примеси (0,01÷0,5 ат. %) при 300К составляло $\sim 10^9 \div 10^{11}$ Ом·см.

Электрические и фотоэлектрические свойства образцов с планарными и «сэндвич» индиевыми контактами исследовались на установке, собранной на базе монохроматора МДР-2, электрометра В7-30 и наномикроамперметра Ф-95.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

На рис. 1 представлены статические ВАХ кристаллов GaS: 0,01% Yb, 0,03% Er температурах 205 (крив. 1), 297

(крив. 2), 346 (крив. 3) и 426 К (крив. 4). Образцы имели «сэндвича» контактов. Видно, что при высоких температурах на ВАХ наблюдаются, в основном, участки: $J \sim U^{3/2}$, $J \sim U^2$ и участок резкого роста тока ($J \sim U^n$, где $n > 3$). С понижением температуры до 205 К в степенной зависимости $J \sim U^n$ степень n увеличивается.

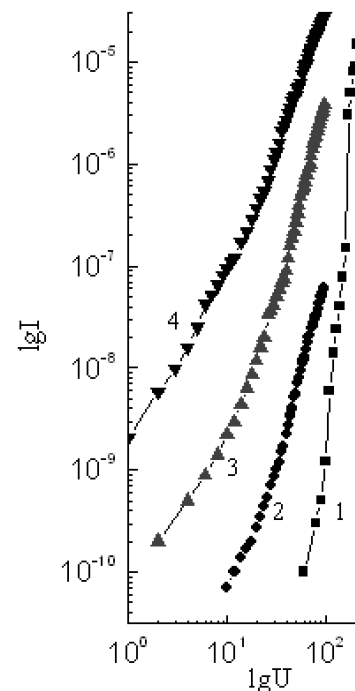


Рис.1. Темновые ВАХ монокристаллов GaS:Er,Yb при различных температурах: 1-205К;2-297К;3-346К;4-420К

Температурная зависимость электропроводности GaS: 0,01% Yb, 0,03% Er представлена на рис.2. Как видно из этого рисунка, зависимость проводимости от температуры, построенная в координатах $\lg \sigma \sim 10^3/T$ носит линейный характер.

Кривые спектрального распределения фототока в монокристаллах GaS:Yb, Er при 95 К и различных напряжениях представлены на рис. 3.

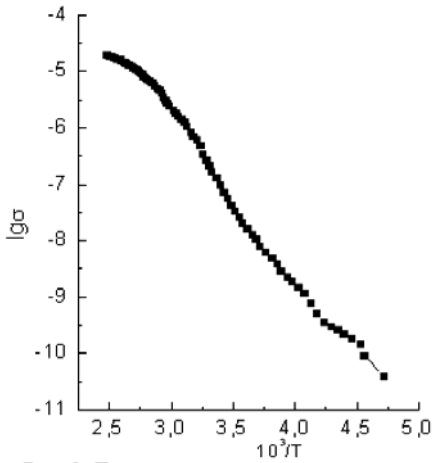


Рис.2 Температурная зависимость электропроводности GaS:Er, Yb при 30В

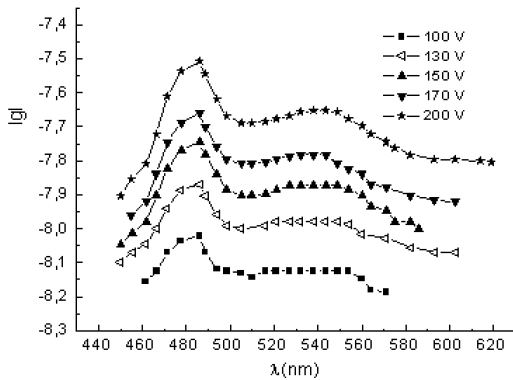


Рис.3 Спектральное распределение фотопроводимости GaS:Er, Yb при 95К и при различных напряжениях

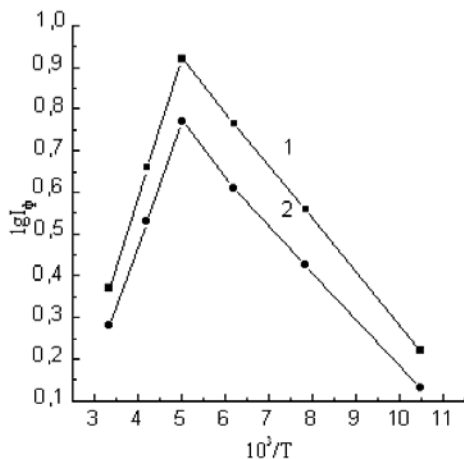


Рис.4 Зависимость фототока от температуры монокристаллов GaS:Yb, Er: 1-собственный и 2-примесный максимумы

Как видно из этого рисунка эти кривые охватывают спектральную область 450÷630 нм. На спектре наблюдается одно плечо при 463 нм, один интенсивный максимум при длине волны 486 нм и относительно слабый максимум при 543 нм.

С ростом приложенного к образцам напряжения максимумы фототока растут. На рис. 4 показана

зависимость максимума фототока от температуры в координатах $\lg I_{\phi} \sim 10^3/T$. Видно, что эта зависимость носит линейный характер и состоит из двух участков: 95÷200 К и 200-300 К. На первом участке фототок от температуры растет, а во втором – уменьшается.

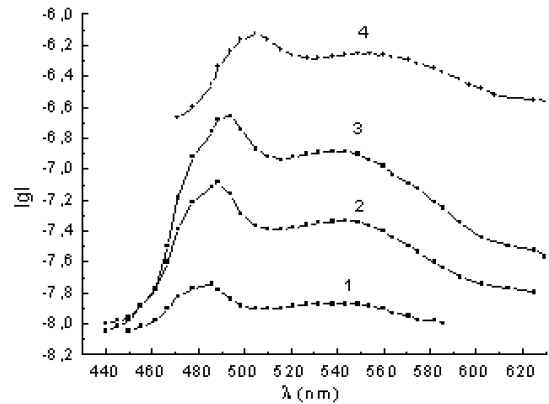


Рис.5 Спектральное распределение фотопроводимости GaS:Er, Yb при 150В и при различных температурах: 1-95К; 2-160К; 3-200К; 4-300К

На рис.5 представлены спектры фототока GaS: Yb, Er при температурах 95 К (крив. 1), 160 К (крив. 2), 200 К (крив. 3) и 300 К (крив. 4) и значения приложенного напряжения 150 В. Как видно, из рис. с ростом температуры до 160К фототок растет, а дальнейший рост температуры приводит к уменьшению его. Максимумы спектра с ростом температуры смещаются в длинноволновую сторону.

На рис.6 представлена зависимость спектрального распределения фототока от приложенного напряжения при 161 К. При значениях напряжения 100 и 130 В спектре фототока наблюдаются коротковолновое плечо при 460 нм, ярко выраженный максимум при 488 нм и относительно слабый максимум при 543 нм. С ростом напряжения ярко выраженный максимум при 488 нм уширяется, исчезает коротко волновое плечо при 460 нм и на спектре появляется длинноволновое плечо при 612 нм.

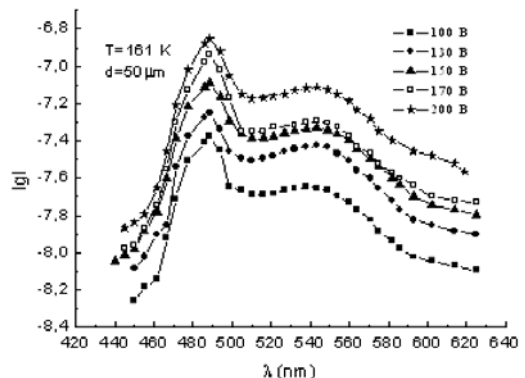


Рис.6 Спектральное распределение фотопроводимости GaS:Er, Yb при 161К и при различных напряжениях

На рис. 7 представлена зависимость спектрального распределения фототока от приложенного напряжения при 300 К.

Видно, что при значении напряжения 10 В спектр охватывает область длин волн 450÷630 нм и состоит из одного ярко выраженного максимума при 505 нм и относительно слабого максимума при 550 нм. Дальнейший рост напряжения от 25 до 150 В приводит к появлению коротковолнового плеча при 475 нм, а при U=200 В, как и в случае T=95 К, ярко выраженный максимум уширяется и коротковолновое «плечо» исчезает.

Наличие на ВАХ квадратичного участка и выполнение условия $J \sim L^{-3}$, $U_{ПЗЛ} \sim L^2$, $\theta \ll 1$, а также наличие остаточного заряда после воздействия электрического поля из нелинейной области ВАХ показывает, что перенос носителей заряда в области сильных электрических полей для образцов GaS: Yb, Er обусловлен токами, ограниченными пространственным зарядом, соответствующим двум дискретным уровням.

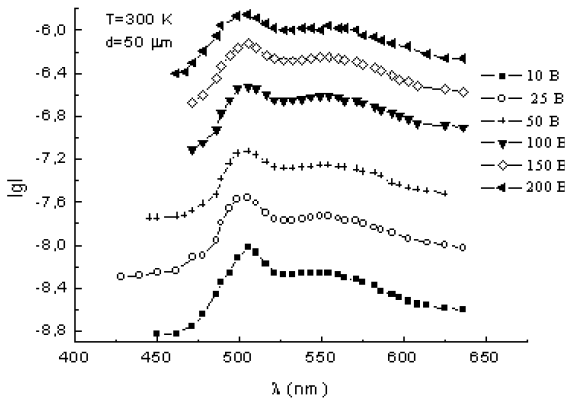


Рис.7 Спектральное распределение фотопроводимости GaS:Er,Yb при 300K и при различных напряжениях

Поскольку для исследуемых образцов GaS: Yb, Er выполняется режим токов, ограниченных пространственным зарядом, параметры ловушек вычислялись из кривых ВАХ применением модели Лампертовской теории токов монополярной инжекции, соответствующей дискретным уровням в запрещенной зоне. Концентрация, глубина залегания, фактор захвата ловушек вычислялись по формулам [6]:

$$j = \frac{8}{9} \theta \epsilon \epsilon_0 \mu \frac{U^2}{L^3} \quad (1)$$

$$N_t = 1,1 \cdot 10^6 \chi \frac{U_{ПЗЛ}}{L^2} \quad (2)$$

$$\theta = \frac{N_v}{gN_t} \exp\left(\frac{E_t - E_c}{kT}\right), \quad (3)$$

где j- плотность тока, θ - фактор захвата, ϵ - диэлектрическая постоянная кристалла, ϵ_0 -диэлектрическая проницаемость вакуума носителей заряда, μ - подвижность носителей заряда, N_t -концентрация ловушек, χ - относительная диэлектрическая проницаемость среды, N_v - эффективная плотность состояний в валентной зоне, E_t - глубина залегания ловушек, $g=2$ (g-фактор спинового вырождения). Параметры ловушек, определенные из ВАХ имеют значения: $E_t=0,32$ eV, $N_t=5,8 \cdot 10^{18}$ см⁻³, $\theta=7,1 \cdot 10^{-8}$.

Коротковолновое плечо, наблюдаемое на кривой спектрального распределения фототока (рис.5) при 460 нм связано с межзонными переходами и фотоактивным распадом экситона, т. е. с собственной фотопроводимостью [7]. Второй интенсивный максимум с длиной волны 503 нм при 300 К, возможно связан с фотоактивным распадом не прямых экситонов [8, 9, 10]. Такой максимум в спектрах фототока наблюдался в монокристаллах GaS, активированных переходными элементами Re, Mn редкоземельных элементов Yb [11-13]. Фототок в области широкой полосы фоточувствительности с максимумом при 543 нм сильно зависит от содержания примесей Yb и Er в GaS, т. е. с ростом процентного содержания компонентов пары РЗИ от 0.01 ат.% до 0.1 ат.% фототок в этой области спектра растет, а дальнейший рост примесей приводит к уменьшению фоточувствительности. В отличие от кристаллов GaS, активированных отдельными переходными элементами Re, Mn редкоземельным элементом Yb температурная зависимость фототока $I_{\Phi} \sim 10^3/T$ GaS: Yb, Er имеет особенность. Так, в кристаллах GaS, активированных указанными выше активаторами собственная фотопроводимость с ростом температуры растет, а в монокристаллах GaS, активированных парой РЗЭ Yb и Er с ростом температуры фототок сначала растет до определенной температуры (рис.4.) а затем уменьшается. Это, по видимому, связано с образованием в запрещенной зоне новых s-центров быстрой рекомбинации которые активизируются после определенной температуры и приводят к гашению фототока. Из температурной зависимости фототока, построенной в координатах $I_{\Phi} \sim 10^3/T$ определены энергии активации g-центров и s- центров рекомбинации, которые составляют 0.2 эВ и 0.8 эВ соответственно. Подобная температурная зависимость фототока наблюдается авторами работы [14] в слоистых монокристаллах GaTe: Ge и установлено, что температурное гашение фототока связано с увеличением времени жизни дырок. Поскольку нами не исследована кинетика фототока, мы предполагаем возможности действия механизма гашения фототока в GaS: Yb, Er как и в монокристалле GaTe: Ge [14]. Появление на кривой спектрального распределения нового длинноволнового плеча при 612 нм при значении напряжения 200 В, которая соответствует области резкого роста тока на ВАХ GaS: Yb, Er (рис.7) возможно, связано с фотопроводимостью индуцированной монополярной инжекцией.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом, исследование статических ВАХ, их температурных зависимостей, температурной зависимости электропроводности, спектрального распределения фотопроводимости, температурной и полевой зависимостей фототока показывает, что в монокристаллах GaS, легированных парой редкоземельных элементов Yb и Er механизмом токопрохождения, в основном, является монополярная инжекция. В отличие от кристаллов, легированных только одним редкоземельным элементом Yb в кристаллах GaS: Yb, Er наблюдается фотопроводимость индуцированная монополярной инжекцией. Определение энергии локальных уровней в запрещенной зоне этих кристаллов.

- [1]. *W.I.Dovrov, R.A. Burchanan* Photoconductivity and luminescence in lanthanum oxysulfide. *Appl. Phys. Lett.*, 1972, v.21, N 5, p. 201-203.
- [2]. *А.А. Каминский, С.Э. Саркисов, Нгах Чан и др.* Фотоллюминесценция ионов Nd^{+3} в широкозонном сульфиде $\gamma-Ln_2S_3$. *Изв. АН СССР. Сер. Неорганические материалы*, 1980, т.16, №8, с. 1333-1345.
- [3]. *Г.П.Скворняков, А.А.Камарзин, Ю.Н.Маловицкий, Л.В. Астадоева.* Фотопроводимость полупрозрачного сульфида лантана. *ФТТ*, 1982, т. 24, №2, с. 647-649.
- [4]. *П.Г.Рустамов, О.М.Алиев, Т.Х. Курбанов* Тройные халькогениды редкоземельных элементов. Баку, ЭЛМ, 1981, 227 с.
- [5]. *Б.Г.Тагиев, О.Б.Тагиев, З.А.Ибрагимов, С.А. Абушов, Г.Ю.Эйюбов.* Люминесценция слоистых кристаллов GaS: Er и GaS: Er, Yb. *Fizika 2007*, т. XIII, №1-2, с. 292-294.
- [6]. *М.Ламперт, П.Марк* Инжекционные токи в твердых телах. М., Мир, 1973.
- [7]. *В.П.Мушинский, М.И. Караман* Фотоэлектрические и люминесцентные свойства халькогенидов галлия и индия. Кишинев, 1975, 79 с.
- [8]. *A.Mercier, E.Mooser, J.P.Voitchovsky,* Near edge absorption and luminescence of GaSe, GaS and mixed crystals, *J. Luminescence*, 1973, No.7, p. 241-266.
- [9]. *H.Serzava, V.Sasaki, V.Nishina,* Politypes and exition in $GaSe_{1-x}S_x$ mixed crystals. *J. Phys. Soc. Jap.*, 1980, v.48, N 2, p. 490-495.
- [10]. *Г.Л.Беленкий, М.О.Годжаев, Э.Ю.Салаев* Непрямые экситоны в сульфиде галлия. *Письма в ЖЭТФ*, 1977, т. 26, №5, с. 385-388.
- [11]. *А.М. Пацаев, О.Б. Тагиев, З.А., Ибрагимов, У.Ф. Фараджева* Фотоэлектрическая и люминесцентная спектроскопия локальных уровней в монокристаллах GaS: Re. *Материалы международной конференции. "Fizika- 2005"*. Баку, 7-9 май 2005, с. 775-780.
- [12]. *Б.Г. Тагиев, Г.М. Нифтиев, С.А. Абушов.* Уровни прилипания в монокристаллах GaS: Yb. *Электрическая техника, серия 6 материалы*, 1984, вып. 2, с. 29-31.
- [13]. *Б.Г. Тагиев, Г.М. Niftiev, and S.A. Abushov.* Recombination and trapping levels in GaS: Mn single crystals. *Phys. Stat. Sol. (a)* 1983, 78, k183.
- [14]. *Т.И. Алиев, М.Х. Алиева, Н.М. Кролевец, М.К.Шейнкман.* Определение параметров рекомбинационных г-центров в монокристаллах GaTe легированных германием. *Док. АН Азерб. ССР*, 1972, т. XXVIII, № 6-7, с. 8-15

Daxil olunub: 01.07.2007