ОСОБЕННОСТИ ФОТОЧУВСТВИТЕЛЬНОСТИ N-(GAAS) – P-$(GAAS)_{1-X-Y}(ZNSE)_X(GE_2)_Y$ ГЕТЕРОСТРУКТУР

С.З.Зайнабидинов, А.С.Саидов, А.Й.Бобоев, А.Ж.Акбаров

n-(GaAs) – p-$(GaAs)_{1-x-y}(ZnSe)_x(Ge_2)_y$ гетеротузилмаларининг фотосезгирлик спектрлари уларни фотонлар энергияси 1.1 дан 2.7 эВ гача бўлган фототокли қуёш нурланишларида қўллаш мумкинлигини кўрсатади. Фотонлари 1.38 ва 2.62 эВ энергияларида фотосезгирлик чўққилари аниқланди.

Калит сўзлар: *монокристалл, гетеротузилма, юпқалар, фотогенерация, фотосезгирлик, фотон энергияси, қуёш энергияси спектри.*

Спектральная фоточувствительность n-(GaAs) – p-$(GaAs)_{1-x-y}(ZnSe)_x(Ge_2)_y$ гетероструктуры показывает возможность ее применения в области энергии фотонов от 1,1 до 2,7 эВ спектра солнечного излучения. Обнаружены два пика фоточувствительности при энергии фотонов 1,38 и 2,62 эВ.

Ключевые слова: *монокристалл, гетероструктура, пленка, фотогенерация, фоточувствительность, энергия фотонов, спектр солнечного излучения.*

The spectral photosensitivity of the n-(GaAs) – p-$(GaAs)_{1-x-y}(ZnSe)_x(Ge_2)_y$ is shown work possibility in the photon energy area from 1.1 to 2.7 eV of the solar radiation spectrum. Two peaks of photosensitivity of these samples at the photon energy of 1.38 and 2.62 eV are detected.

Key words: *single crystal, heterostructure, films, fotogeneration, photosensitivity, photon energy, solar radiation spectrum.*

1. Введение

Анализ исследований последних лет показывает, что прогресс развития солнечной энергетики во многом связан с созданием новых многокомпонентных полупроводниковых материалов для солнечных элементов (СЭ). Наряду с традиционными элементарными полупроводниками IV группы, двойными полупроводниковыми соединениями типа $A^{II}B^{VI}$, $A^{III}B^{V}$ и их тройные твердые растворы (ТР), представляют особый интерес для солнечной энергетики. Поскольку ширина запрещенной зоны (E_g) таких ТР может варьироваться в широком интервале, то на их основе могут быть разработаны оптоэлектронные приборы, работающие как в инфракрасной, так и в видимой областях спектра излучения [1-4]. В связи с этим, разработка технологии получения тонких совершенных эпитаксиальных пленок $(GaAs)_{1-x-y}(ZnSe)_x(Ge_2)_y$ на GaAs подложках и исследование их фотоэлектрических характеристик представляют несомненный интерес.

В данной работе приводятся результаты экспериментальных исследований широкозонных ТР $(GaAs)_{1-x-y}(ZnSe)_x(Ge_2)_y$, выращенных методом жидкофазной эпитаксии из ограниченного объема раствора–расплава по технологии, описанной в работе [5].

2. Методика эксперимента и образцы

Эпитаксиальные слои выращивались на монокристаллических GaAs подложках n – типа проводимости, имеющих кристаллографическую ориентацию (100). Состав раствора-расплава был определен на основе результатов предварительно проведенных экспериментальных исследований жидкофазной системы GaAs – Ge – ZnSe и литературных данных [6-8]. Рост слоев осуществлялся принудительным охлаждением из оловянного раствора-расплава в атмосфере очищенного палладием водорода. Скорость принудительного охлаждения в оптимальном режиме составляла 1÷1,5 град/мин. Кристаллизация слоев твердых растворов $(GaAs)_{1-x-y}(ZnSe)_x(Ge_2)_y$ осуществлялась в интервале температур 730 – 640°C. Эпитаксиальные слои имели p – тип проводимости, а толщина слоев составляла ~ 20 мкм.

Поскольку параметры кристаллических решеток GaAs (5,646 Å), Ge (5,6576) и ZnSe (5,661 Å) [9] отличаются незначительно, то эти компоненты изовалентны и суммы валентностей атомов молекул компонентов равны между собой. В работе [10] были представлены условия образования ТР замещения в многокомпонентной системе типа A_2, AB, CD в следующем виде:

$$\Delta Z_i = (Z_A + Z_B) - (Z_C + Z_D) = 0 \quad (1)$$

$$\Delta r_i = (r_A + r_B) - (r_C + r_D) < 0,1(r_A + r_B) \quad (2)$$

где Z_i – валентность, r_i – ковалентный радиус атомов компонента *i.* Условие (1) показывает изовалентность компонентов, что выполняется для системы GaAs-Ge_2, GaAs-ZnSe, и Ge_2-ZnSe, а условие (2) предусматривает рекомбинационную пассивность примесей. При таком механизме взаимное замещение атомов молекул компонентов ТР не приводит к сильной деформации кристаллической решетки. Компоненты такой системы могут образовать непрерывный твердый раствор замещения в виде $(GaAs)_{1-x-y}(ZnSe)_x(Ge_2)_y$, который является стабильной твердой фазой. Следует отметить, что период кристаллической решетки GaAs имеет промежуточное значение между Ge и ZnSe. Переходная область представляет собой варизонный слой с изменяющимся составом. На рис.1 представлена пространственная конфигурация тетраэдрических связей молекул переходного слоя, состоящего из парной молекулы германия и молекулы селенида цинка, окруженных молекулами арсенида галлия.

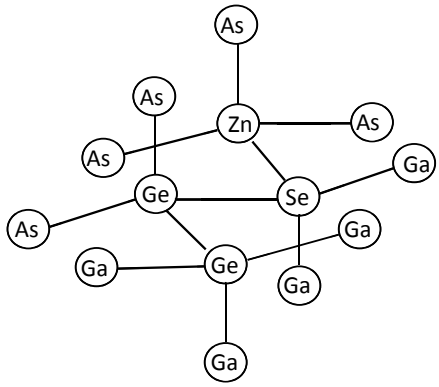

Рис. 1. Пространственная конфигурация тетраэдрических связей молекул непрерывного твердого раствора замещения –$(GaAs)_{1-x-y}(Ge_2)_x(ZnSe)_y$.

Исследование некоторых электрофизических свойств пленок, выращенных на высокоомных подложках, определялось методом Холла, в частности, удельное сопротивление, концентрации и подвижности неосновных носителей заряда при температуре 300 К составили: ρ =1 Ом·см, n =7,86 ·10^{16} $см^{-3}$ и μ_p = 378 $см^2/В·с$ и μ_n = 4800 $см^2/В·с$. Также вычислено удельное сопротивление *ρ* переходного слоя подложки и пленки, которое составило 4,6·10^7 Ом·см при комнатной температуре.

Спектральная зависимость фоточувствительности n(GaAs)–p$(GaAs)_{1-x-y}(ZnSe)_x(Ge_2)_y$ структур была измерена оптическим спектрометром, оснащенным зеркальным монохроматором фирмы CARL ZEIS JENA с кварцевой оптикой, что дало возможность исследовать образцы в диапазоне энергии фотонов от 1 до 2,73 эВ.

3. Экспериментальные результаты и их обсуждение

Для определения роли компонентов твердых растворов в наблюдаемых процессах были исследованы спектральные зависимости фоточувствительности изготовленных структур

На рис.2 представлена спектральная зависимость фоточувствительности n(GaAs)–p$(GaAs)_{1-x-y}(ZnSe)_x(Ge_2)_y$ структур при комнатной температуре. Видно, что начало фотоответа наблюдается при энергии фотонов 1,07 эВ. Возможно, он обусловлен узкозонной компонентой Ge_2 в твердом растворе $(GaAs)_{1-x-y}(ZnSe)_x(Ge_2)_y$ (рис.1). В работе [11] показано, что Ge_2 в запрещенной зоне GaAs, создает энергетическую зону шириной 0,1 эВ и расположенной на ~ 0,28 эВ над потолком валентной зоны ТР $(GaAs)_{1-x}(Ge_2)_x$.

Максимальная фоточувствительность наблюдается при энергии фотонов 1,38 эВ (рис. 2), которая, возможно, обусловлена шириной запрещенной зоны, выращенного ТР $(GaAs)_{1-x-y}(ZnSe)_x(Ge_2)_y$. Однако рост спектральной чувствительности не очень резкий, что, возможно, связано с толщиной слоя твердого раствора $(GaAs)_{1-x-y}(ZnSe)_x(Ge_2)_y$, который эффективно поглощает низкоэнергетические кванты. Спад фоточувствительности при энергиях фотонов больше чем 1,38 эВ, что, по нашему мнению, обусловлено глубиной залегания разделяющего барьера p−n-перехода, которая определяется толщиной эпитаксиального

слоя, составляющего в данном случае ~ 20 мкм. Оцененная диффузионная длина неосновных носителей в ТР составила ~ 4,8 мкм, что намного меньше глубины залегания разделяющего барьера. Такое положение усиливает

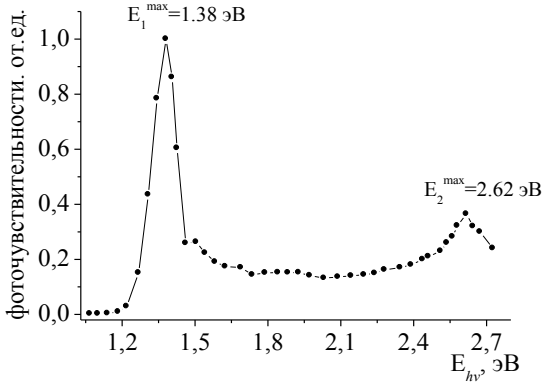

Рис. 2. Спектр фоточувствительности nGaAs – $p(GaAs)_{1-x-y}(ZnSe)_x(Ge_2)_y$ гетероструктур при комнатной температуре.

рекомбинации фотоиндуцированных неосновных носителей заряда со стороны ловушки по пути к p − n - переходу. Кроме того, эффекту рекомбинации способствуют атомы Sn, частично внедренные в решетку ТР из оловянного раствора расплава, которые создают мелкие донорные энергетические уровни, т.е. положительные рекомбинационные центры в эпитаксиальных пленках.

На спектре фоточувствительности исследованной структуры в интервале энергии фотонов от 2,4 до 2,7 эВ явно проявляется пик чувствительности при 2,62 эВ (рис. 2), который, возможно, обусловлен широкозонной компонентой ZnSe. Известно, что ковалентная связь атомов молекул ZnSe в чистом полупроводниковом материале селенида-цинка, составляет $E_{g,ZnSe}$ = 2.7 эВ и прочнее, чем связь атомов молекулы GaAs и Ge_2, $E_{g,GaAs}$ = 1.4 эВ и $E_{g,Ge}$= 0,7 эВ, соответственно. Но, когда молекула ZnSe замещает молекулы GaAs или Ge_2 в тетраэдрической решетке ТР, связь Zn-Se ослабевает под влиянием окружающих ее атомов Ga, As и Ge (рис. 1).

4. Заключение

Фоточувствительность гетероструктур nGaAs - $p(GaAs)_{1-x-y}(ZnSe)_x(Ge_2)_y$ охватывает диапазон энергии фотонов от 1,1 до 2,7 эВ. Показаны возможности селективного выбора диапазона измерений в видимой области спектра солнечного излучения. Исследованный многокомпонентный твердый раствор, как фоточувствительный полупроводниковый материал, представляет интерес для разработки эффективных фотоэлементов в современной оптоэлектронике.

Работа выполнена по гранту № ФА-Ф2-Ф120 Комитета по координации и развитию науки и технологии при Кабинете Министров Республики Узбекистан.

Литература:

1. Каленик Д.В. Технология материалов электроники.- Челябинск: ЮУрГУ, 2001.- С.119.
2. Брызгалов А.Н. и др. 2004. ФТП. 38. 3. 322-324.
3. Андреев В.М. и др. 2004. ФТП. 38. 3. с.369-373
4. K.Takahashi at el. 1998. Solar Energy Materials and Solar Cells. V.50. pp.273-280.
5. Saidov A.S. et al. 2001. Materials chemistry and physics. V. 68, pp.1-6.
6. Андреев В.М. и др. Жидкостная эпитаксия в технологии полупроводниковых приборов.- М.: Сов. радио, 1975.- С.328.
7. Хансен М., Андерко К. Структуры двойных сплавов.- М.: Металлургиздат, 1962.- С.608.
8. Саидов А.С. и др. Жидкостная эпитаксия компенсированных слоев арсенида галлия и твердых растворов на его основе.- Т.: Фан, 1986.- С.127.

9. Шулпина И.Л. и др. ЖТФ. 2010. Т.80 №4. с.105-114.

10. Саидов М.С. Гелиотехника. 2001. №3. с.4-10.

11. Саидов А.С. 2009. Многокомпонентний твердый раствор $(ZnSe)_{1-x-y}(Si_2)_x(GaP)_y$.- Припринт.- Ташкент. ИЯФ АН РУз. С.14.

Андижон давлат университети,
ЎзФА "Физика-Қуёш" ФТИ,
Ўзбекистон Миллий университети
2017 йил 5 январда қабул қилинган
(Тақризчи: проф. И.Каримов)