

## КРАТКИЕ СООБЩЕНИЯ

ЭКСИТОННЫЕ, ВНУТРИЦЕНТРОВЫЕ И СТРУКТУРНО-ДЕФЕКТНЫЕ ПЕРЕХОДЫ В КВАЗИДВУМЕРНЫХ КРИСТАЛЛАХ  $TiGaS_2 : Nd_2S_3$ 

Г. И. Абуталыбов, С. З. Джафарова, Н. А. Рагимова, Э. И. Мехтиев

Институт физики Академии наук Азербайджана, 370143, Баку, Азербайджан  
(Получено 28.01.1991. Принято к печати 16.01.1992)

Недавно обнаруженный в кристаллах  $TiSe$ ,  $TiGaS_2$  ЭПР [1, 2], связанный с собственными дефектами решетки, и предложенная модель парамагнитного центра двухвалентного таллия послужили импульсом к интенсивному детальному исследованию и в итоге — к обнаружению взаимного влияния экситонного, внутрицентрового и собственного структурно-дефектного переходов в монокристаллах  $TiGaS_2$ , активированных соединением сесквисульфида неодима  $Nd_2S_3$ .

В настоящем сообщении выявлены особенности спектральной и температурной характеристик сопротивления для высокоомных, широкозонных, прозрачных монокристаллов  $TiGaS_2$  и  $TiGaS_2 : Nd_2S_3$ .

Согласно [3],  $TiGaS_2$  принадлежит к непрямозонным полупроводникам; рентгеновские измерения дают два варианта для симметрии решетки  $TiGaS_2$ : моноклинную  $C_3^2$  с параметрами  $a = b = 10.7$ ,  $c = 15.6$  Å,  $z = 16$  и близкую к тетрагональной  $C_{4h}^2$  [4, 5] с периодами ячейки:  $a = b = 7.29$ ,  $c = 29.9$  Å,  $z = 16$ . Основной структурной единицей кристалла является двумернопериодический слой, состоящий из групп тетраэдров, каждый из которых представляет собой объединение четырех элементарных  $GaS_4$ -тетраэдров.

Эксперименты проведены на монокристаллах  $TiGaS_2 : Nd_2S_3$ , выращенных модифицированным методом Бриджмена—Стокбаргера с привлечением термографического и рентгеноструктурного анализа для контроля однофазности и определения параметров решетки. Редкоземельное соединение  $Nd_2S_3$  вводилось в процессе роста кристаллов, концентрация которого варьировалась в пределах  $10^{16} \div 10^{19}$  см<sup>-3</sup>. Симметричные омические контакты к образцам создавались вдоль слоев из эвтектической смеси In—Ga, освещение направлялось перпендикулярно слоям. Для исследования брались образцы размером  $3 \times 3 \times 1$  мм, а межконтактные расстояния составляли  $0.1 \div 0.01$  мм.

Исчерпывающая информация об особенностях кривых может быть получена из представленных на рис. 1 и 2 зависимостей сопротивления от температуры и энергии фотонов.

В силу этого представлялось интересным подчеркнуть лишь следующие экспериментально полученные факты.

1. Введение соединения  $Nd_2S_3$  обнаруживает резкий скачок сопротивления (от  $10^9$  до  $10^{14}$  Ом), сужение экситонной линии ( $E_1 = 2.61$  эВ), а также полное исчезновение фазового перехода I рода, обнаруженного нами при 75 К, и особенности, связанные с собственными структурными дефектами ( $E_2 = 1.92$  эВ). Это однозначно свидетельствует в пользу того, что качество монокристаллов повышается.

2. Определены тесная взаимосвязь и сильная концентрационная зависимость фотосопротивлений при возбуждении в области экситона, внутрицентровых и структурно-дефектных переходов ( $E_3 = 0.8$  эВ).

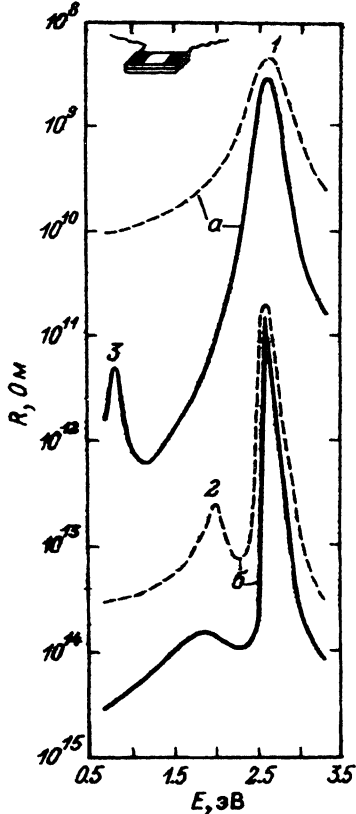


Рис. 1. Спектральная зависимость фотосопротивлений при возбуждении в области экситона ( $E_1 = 2.61$  эВ), внутрицентрового ( $E_2 = 1.92$  эВ) и собственного структурно-дефектного переходов ( $E_3 = 0.87$  эВ) кристаллов  $\text{TiGaS}_2$  (а) и  $\text{TiGaS}_2 : \text{Nd}_2\text{S}_3$  (б) при 300 (штриховые кривые) и 77 К (сплошные).

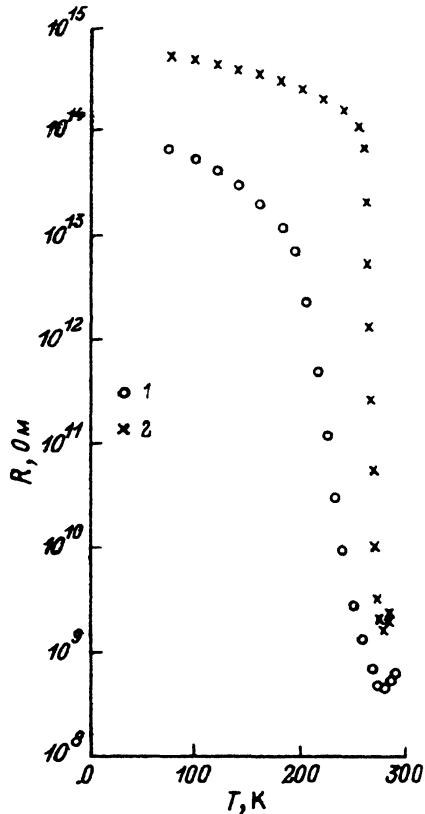


Рис. 2. Зависимость темнового сопротивления от температуры для  $\text{TiGaS}_2$  (1) и  $\text{TiGaS}_2 : \text{Nd}_2\text{S}_3$  (2).

3. Установлено, что в зависимости от уровня легирования ионами редких земель можно управлять и контролировать фотосопротивлением при возбуждении экситона, внутрицентрового и собственного структурно-дефектного переходов.

4. Наблюдается резкое изменение темнового сопротивления (более чем на 5 порядков) в диапазоне температур  $260 \div 280$  К ( $190 \div 280$  К) для  $\text{TiGaS}_2 : \text{Nd}_2\text{S}_3$  ( $\text{TiGaS}_2$ ). Этот результат весьма важен, поскольку позволяет утверждать, что при соответствующем выборе редкоземельного иона и концентрации, а также других внешних воздействий возможны наибольшее уменьшение сопротивления и сужение температурного интервала.

Вся совокупность представленных данных является хорошим экспериментальным доказательством справедливости ранее предложенной модели локальных образований РЗ иона в квазидвумерных кристаллах [6].

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- [1] Г. И. Абутальбов, И. Л. Лихолит, В. Ф. Мастеров, Э. Ю. Салаев, К. Ф. Штельмах, В. Ф. Агекян. Письма ЖЭТФ, 45, 434 (1987).
- [2] Г. И. Абутальбов, В. Ф. Агекян, С. П. Погоров, Э. Ю. Салаев. ФТТ, 29, 1436 (1987).
- [3] А. Э. Бахышев, А. А. Лебедев, З. Д. Халафов, М. А. Якобсон. ФТП, 12, 555 (1978).

[4] D. Müller, E. E. Poltman H. E. Hahn. Zs. Naturforsch., 29B, 117 (1974).

[5] I. Isaacs, R. H. Hofkins. J. Cryst. Growth., 29, 121 (1975).

[6] С. З. Джафарова, Н. А. Рагимова, Г. И. Абуталыбов. Письма ЖТФ, 52, 691 (1990).

Редактор В. В. Чалдышев

ФТП, том 26, вып. 9, 1992

## ФЛУКТУАЦИОННЫЕ ПОГРАНИЧНЫЕ СОСТОЯНИЯ В ГЕТЕРОПЕРЕХОДЕ

Н. В. Зыков

Научно-исследовательский институт физических проблем им. Ф. В. Лукина, 103460, Москва, Россия  
(Получено 18.11.1991. Принято к печати 4.03.1992)

*Введение.* Исследованию процессов, протекающих на границе раздела гетероперехода, образованного широкозонным и узкозонным полупроводниками, посвящено большое количество работ (см., например, [1]). Это связано с развитием метода молекулярно-лучевой эпитаксии, созданием транзисторов с высокой подвижностью электронов и наблюдением в таких структурах ряда интересных физических эффектов [2].

Однако лишь в немногих работах (см., например, [3]) анализируется влияние флуктуаций концентрации положительно заряженных доноров, расположенных в широкозонном полупроводнике, на спектр локализованных состояний и транспорт электронов вдоль границы раздела. Хорошо известно [4], что в структурах металл—диэлектрик—полупроводник (МДП) флуктуации захваченного в диэлектрике у границы раздела с полупроводником заряда приводят к флуктуациям потенциала в полупроводнике, в минимумах которого локализованы носители заряда, формирующие квазинепрерывный спектр поверхностных состояний. Плотность таких состояний экспоненциально убывает при удалении от краев зон подвижных носителей.

В транзисторе на основе гетероперехода ионизованные доноры расположены в широкозонном полупроводнике, а электроны локализованы на границе раздела гетероперехода. Такая структура во многом аналогична МДП, однако отличается тем, что ионизованные доноры, как правило, отделены от электронов тонким слоем нелегированного широкозонного полупроводника, так называемым спейсером.

Цель работы — анализ влияния флуктуаций концентрации положительно заряженных доноров в слое широкозонного полупроводника на спектр пограничных состояний в гетеропереходе и проводимость электронов вдоль границы раздела. Далее будет показано, что флуктуационные состояния в гетеропереходе имеют гауссов спектр, причем плотность состояний убывает при удалении от краев зон подвижных носителей. Характерная энергия, на которой уменьшается плотность пограничных состояний, зависит от толщины слоя широкозонного полупроводника, ширины спейсера, а также от концентраций ионизованных доноров и электронов, которые определяют характерный радиус нелинейного экранирования флуктуаций потенциала. Будет проанализирована подпороговая проводимость транзистора на основе гетероперехода и проведено сравнение с характеристиками МДП транзистора.

### 1. Плотность флуктуационных пограничных состояний

Рассмотрим гетеропереход, расположенный при  $x=0$ , в треугольной потенциальной яме которого локализованы носители заряда (электроны), отде-