

УДК 621.315.592

## ОСОБЕННОСТИ ОПТИЧЕСКИХ СВОЙСТВ МОНОКРИСТАЛЛОВ ТВЕРДЫХ РАСТВОРОВ $TiGa_{1-x}Co_xS_2$

Н.З.ГАСАНОВ, Э.М.КЕРИМОВА, А.И.ГАСАНОВ, П.М.ИСКЕНДЕРОВА

*Институт Физики НАН Азербайджана  
370143, Баку, пр. Г.Джавида, 33*

Изучены особенности края оптического поглощения новых полупроводников, полученных замещением в слоистом кристалле  $TiGaS_2$  атомов Ga на атомы Co до 1%. Измерения проводились в интервале температур 110÷285K. Обнаружено наличие не прямых оптических переходов на краю поглощения твердых растворов  $TiGa_{1-x}Co_xS_2$ , а также изменение знака температурного коэффициента их ширины запрещенной зоны. Исследовано влияние состава твердых растворов на энергию краевых переходов.

Изучение физических свойств твердых растворов на основе тройных слоистых полупроводников типа  $TiGaS_2$  имеет важное практическое значение для установления закономерностей состав-свойство и управления их оптическими и фотоэлектрическими параметрами.

Синтезированные согласно стехиометрии твердые растворы  $TiGa_{1-x}Co_xS_2$  контролировались на однофазность методами дифференциально-термического и рентгено-фазового анализов, которые показали, что кобальт замещает галлий в кристаллической структуре. Монокристаллы твердых растворов  $TiGa_{1-x}Co_xS_2$  ( $x=0$ ; 0,001; 0,005; 0,01) были выращены из расплава методом Бриджмена-Стокбаргера. Образцы для изучения спектров оптического поглощения слоистых полупроводниковых кристаллов  $TiGa_{1-x}Co_xS_2$  скалывались от монокристаллического слитка и имели форму тонких пластинок толщиной от 30 до 150мкм. Свет направлялся на образцы параллельно кристаллографической оси «С», т.е. перпендикулярно слоям. Исследования спектров оптического пропускания проводились при помощи разработанной нами установки на основе КСВУ-6М и азотного криостата с возможностью стабилизации температуры в интервале 100÷380K (точность стабилизации составляла  $\pm 0,5K$ ). В качестве монохроматора использовался МДР-6, приемника излучения – ФЭУ-100. Разрешение установки было не хуже 2Å. Оптическая система была построена исключительно из алюминиевых зеркал с подобранными фокусными расстояниями.

Большинство авторов [1-3] сходятся на том, что кристалл  $TiGaS_2$  прямозонный, хотя есть работы, в которых указывается на возможность существования не прямых переходов в этих кристаллах [4,5]. Известно также [6], что  $TiGaS_2$  обладает весьма редко встречающейся у полупроводников температурной зависимостью ширины запрещенной зоны, имеющей положительный коэффициент.

Как показали наши эксперименты, структура края поглощения монокристаллов  $TiGaS_2$  и твердых растворов  $TiGa_{1-x}Co_xS_2$  при  $x=0,001$ ; 0,005; 0,01 существенно отличается. Кроме отличия в величине коэффициента поглощения, который заметно растет с повышением концентрации кобальта, что легко можно объяснить потемнением исходного монокристалла  $TiGaS_2$  наблюдаемым визуально, в исследуемых твердых растворах не наблюдался краевой экситон, а также обнаружено наличие не прямых оптических переходов на краю поглощения.

Концентрация кобальта оказывает влияние на энергетическое положение этих переходов.

Проведенный нами анализ спектров поглощения, а именно зависимостей  $(\alpha\hbar\omega)^2$  и  $(\alpha\hbar\omega)^{0,5}$  от энергии фотона  $\hbar\omega$  ( $\alpha$  - коэффициент поглощения), позволил определить энергии прямых и непрямых переходов в изучаемых кристаллах. В интервале температур от 110 до 285К нами были прослежены температурные зависимости положения прямого и непрямого краев поглощения для твердых растворов  $TiGa_{1-x}Co_xS_2$ . На Рис.1. показаны вышеуказанные зависимости для монокристаллов состава  $TiGa_{0,99}Co_{0,01}S_2$  и  $TiGa_{0,995}Co_{0,005}S_2$ .

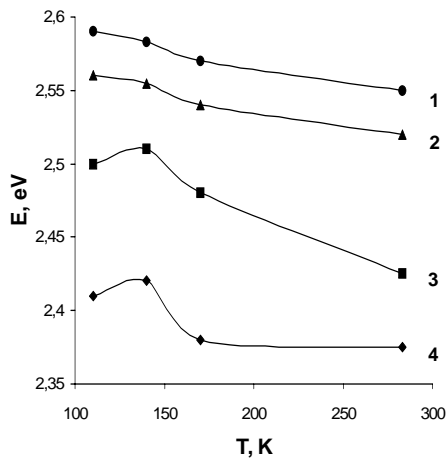


Рис. 1.

Температурная зависимость энергии прямых (кривые 1 и 2) и непрямых (кривые 3 и 4) оптических переходов в монокристаллах  $TiGa_{1-x}Co_xS_2$  (1 и 3 соответствуют  $x=0,005$ , а 2 и 4 –  $x=0,01$ ).

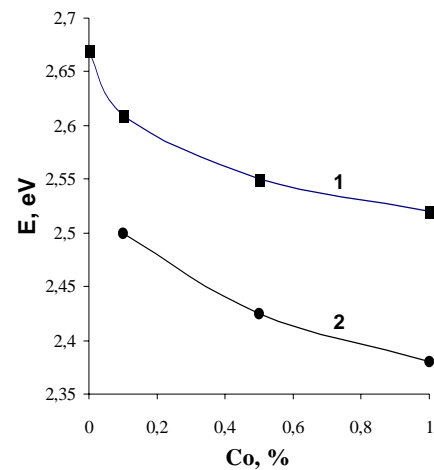


Рис. 2.

Зависимость энергии прямого и непрямого края оптического поглощения для твердых растворов  $TiGa_{1-x}Co_xS_2$  от концентрации Co при комнатной температуре (1–прямой край, 2–непрямой).

Как видно из рисунка, в отличие от  $TiGaS_2$ , температурный коэффициент ширины запрещенной зоны твердых растворов  $TiGa_{1-x}Co_xS_2$  имеет, в основном, отрицательный знак. Подобные исследования, ранее проведенные нами для твердых растворов  $TiGa_{1-x}Fe_xS_2$  [7], такой результат не дали, т.е. при частичном замещении галлия железом ( $x=0,001\div 0,01$ ) в исходном кристалле  $TiGaS_2$  температурный коэффициент ширины запрещенной зоны этих полупроводниковых соединений не менял свой знак. Кроме того, наши измерения показали, что для состава  $TiGa_{0,999}Fe_{0,001}S_2$  при достаточно низких температурах можно наблюдать краевой экситонный пик, присущий  $TiGaS_2$ . Правда, при повышении концентрации железа этот пик исчезает, однако для всех изученных нами составов сохраняется рост ширины запрещенной зоны с ростом температуры. Вышесказанное свидетельствует о весьма существенных изменениях, происходящих в зонной структуре полупроводникового кристалла  $TiGaS_2$  при частичной замене Ga на Co. Энергии оптических фононов, участвующих в непрямых переходах, как показали расчеты, оказались равными  $55\pm 1$ мэВ в  $TiGa_{0,99}Co_{0,01}S_2$  и  $25\pm 1$ мэВ в  $TiGa_{0,995}Co_{0,005}S_2$ . Надо заметить, что из спектров КРС для  $TiGaS_2$  [5] были

получены значения энергий фононов 48,8 и 23,4мэВ, достаточно близкие к указанным выше.

Чтобы проследить влияние внедренных в  $TlGaS_2$  атомов кобальта на энергию краевых оптических переходов, нами построены зависимости энергий прямых и непрямых переходов в монокристаллах  $TlGa_{1-x}Co_xS_2$  от их состава при комнатной температуре (Рис.2.). Из рисунка видно, что указанные зависимости имеют монотонно убывающий характер, т.е. с ростом концентрации кобальта энергии обоих переходов закономерно уменьшаются.

Таким образом, замена в небольших концентрациях Ga на Co в полупроводниковом соединении  $TlGaS_2$  позволяет контролируемо управлять его оптическими свойствами, что создает перспективу его практического применения.

1. Г.И.Абуталыбов, В.Ф.Агекян, А.А.Алиев, Э.Ю.Салаев, Ю.А.Степанов, *ФТП*, **19** (1985) 351.
2. S.G.Guseinov, G.D.Guseinov, N.Z.Gasanov, S.B.Kyazimov, *Phys. Stat. Sol. (b)*, **133** (1986) K25.
3. Г.И.Абуталыбов, Э.Ю.Салаев, *ФТТ*, **28** (1986) 2201.
4. А.Э.Бахышов, А.А.Лебедев, З.Д.Халафов, М.А.Якобсон, *ФТП*, **12** (1978) 555.
5. G.D.Guseinov, S.B.Kyazimov, E.M.Kerimova, I.S.Gorban, V.A.Gubanov, N.M.Belyi, A.V.Bobyr, *Tr. J. of Physics*, **18** (1994) 721.
6. С.Г.Абдуллаева, Н.А.Абдуллаев, Г.Л.Беленький, Н.Т.Мамедов, Р.А.Сулейманов, *ФТП*, **17** (1983) 2068.
7. E.M.Kerimova, S.N.Mustafaeva, S.I.Mekhtieva, S.M.Bidzinova, N.Z.Gasanov, A.I.Gasanov, *7-th Workshop on Electronics for LHC Experiments, Stockholm, Sweden, 10-14 Sept*, (2001) 73.

#### **$TlGa_{1-x}Co_xS_2$ BƏRK MƏHSUL MONOKRİSTALLARININ OPTİK XASSƏLƏRİNİN XÜSUSİYYƏTLƏRİ**

**N.Z.HƏSƏNOV, E.M.KƏRİMOVA, A.İ.HƏSƏNOV, P.M.İSKƏNDƏROVA**

$TlGaS_2$  laylı kristalda Ga atomlarının 1%-dək Co atomları ilə əvəz edilməsilə alınmış yeni yarımkeçiricilər üçün optik udulma sərhədinin xüsusiyyətləri öyrənilmişdir. Ölçmələr 110÷285K temperatur intervalında aparılmışdır.  $TlGa_{1-x}Co_xS_2$  bərk məhlulu üçün udulma sərhədində düz olmayan optik keçidlər aşkar edilmiş, həmçinin onların qadağan olunmuş zonasının temperatur əmsalının işarəsinin dəyişməsi müşahidə olunmuşdur. Bərk məhlul tərkibinin sərhəd keçid enerjilərinə təsiri tədqiq olunmuşdur.

#### **FEATURES OF OPTICAL PROPERTIES OF SOLID SOLUTIONS $TlGa_{1-x}Co_xS_2$ SINGLE CRYSTALS**

**N.Z.GASANOV, E.M.KERIMOVA, A.I.GASANOV, P.M.ISKENDEROVA**

Features of optical absorption edge of new semiconductors, obtained by replacement of Ga atoms with Co atoms up to 1% in layer crystal  $TlGaS_2$ , have been researched. Measurements were carried out within 110÷285K temperature range. Presence of indirect optical transitions on the  $TlGa_{1-x}Co_xS_2$  solid solutions absorption edge, and also change of sign of their forbidden gap width temperature coefficient was observed. Influence of solid solutions composition on the energies of edge transitions has been researched.

Редактор: Т.Мамедов