



# Beynəlxalq Konfrans "Fizika-2005" International Conference "Fizika-2005" Международная Конференция "Fizika-2005"

7 - 9  
İyun  
June 2005  
Июнь

№232  
səhifə  
page 872-874  
стр.

Bakı, Azərbaycan

Baku, Azerbaijan

Баку, Азербайджан

## ВОЗДЕЙСТВИЕ ВНЕШНИХ ФАКТОРОВ НА ФИЗИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА НИЗКОРАЗМЕРНЫХ ПОЛУПРОВОДНИКОВЫХ СОЕДИНЕНИЙ ТИПА $A^{III}B^{III}C_2^{VI}$ И ТВЕРДЫХ РАСТВОРОВ НА ИХ ОСНОВЕ, ВКЛЮЧАЮЩИХ ПЕРЕХОДНЫЕ МЕТАЛЛЫ И РЕДКОЗЕМЕЛЬНЫЕ ЭЛЕМЕНТЫ

КЕРИМОВА Э.М., ПАШАЕВ А.М.

*Институт физики Национальной АН Азербайджана  
Аз 1143 проспект Г. Джавида 33  
E-mail: [ekerimova@physics.ab.az](mailto:ekerimova@physics.ab.az)*

Разработаны режимы синтеза и технология выращивания слоисто-цепочечных монокристаллов типа  $A^{III}B^{III}C_2^{VI}$ . Изучены электрофизические свойства полученных низкоразмерных полупроводников и влияние на них различных внешних факторов. На основе полученных полупроводников предложены эффективные приемники видимого и ИК –излучения, нейтронные детекторы, тензо- и пьезофоторезисторы.

Непрерывно растущий научный интерес и нужды современной техники не удовлетворяются известными материалами и требуют создания новых материалов. Поиск новых полупроводниковых материалов является одной из основных проблем сегодняшней физики твердого тела. Создание новых материалов открывает новые перспективы и позволяет решать новые технические задачи.

Цикл представленных работ (1994-2004 гг.) посвящен разработке эффективных методов роста новых полупроводниковых материалов и изучению их физических свойств с целью создания на их основе новых полупроводниковых приборов.

Ниже приведены результаты исследований, полученные в результате проведенного цикла научных исследований.

Разработана технология выращивания совершенных цепочечных и слоистых монокристаллов типа  $A^{III}B^{III}C_2^{VI}$  (A-Tl, B-In, Ga, Ag, Cu, Co, Mn, Ni, Fe, Sb, PЗЭ; C-S, Se, Te) и твердых растворов на их основе и их легирование.

Изучены электрические, фотоэлектрические, тепловые, магнитные и оптические свойства полученных кристаллов под воздействием различных внешних факторов (электрические и магнитные поля, температура, давление, лазерное излучение, рентгеновское и  $\gamma$ - облучение, электронная и нейтронная бомбардировка).

Созданы рентген, гамма и нейтронные датчики, тензо-и вибродатчики, датчики давления, преобразо-

ватели электромагнитного излучения на основе полученных кристаллов.

На протяжении многих лет в лаборатории «Кристаллофизики» проводятся работы по разработке режимов синтеза и технологии выращивания слоисто-цепочечных монокристаллов. [1, 2, 21]

Исследованием влияния интеркаляции, температуры и деформации на спектры экситонного поглощения монокристаллов типа  $A^{III}B^{III}C_2^{VI}$  установлено, что температурная зависимость максимума экситонной полосы поглощения в этих соединениях имеет сложный характер. В частности, для  $TlGaS_2$  температурный коэффициент зависимости основного состояния прямого экситона имеет положительный знак, в то время как для  $TlGaS_2$ - отрицательный; при этом температурный и барический коэффициенты сдвига в них претерпевают скачкообразные изменения при структурнофазовых перестройках, характерных для кристаллов этого типа. Интеркаляция литием монокристалла  $TlGaS_2$  приводит к смещению экситонного пика  $E'_{EX}$  в сторону малых энергий во всем изученном интервале температур; уменьшается также по абсолютной величине коэффициент температурного сдвига, причем в областях  $T \leq 20K$  и  $90K \leq T \leq 110K$  это изменение происходит скачкообразно. Вторая, низкоэнергетическая полоса экситонного поглощения  $E''_{EX}$  наблюдаемая при  $T \leq 120K$ , с понижением температуры смещается в сторону больших энергий,

а величина  $\partial E_{EX}'' / \partial T$  претерпевает скачки при температурах около 90, 50 и 20 К [3, 13, 22].

Анализ результатов изучения влияния состава твердых растворов на их физические свойства показал, что по мере увеличения  $x$  ширина запрещенной зоны и энергия экситонного пика линейно увеличиваются, рентгенопроводимость увеличивается в 2÷3 раза, а температуры фазовых переходов заметно смещаются в сторону низких температур. Исследованы спектры поглощения экситонной люминесценции и комбинационного рассеяния (КР) света в монокристаллах  $TlGaS_2$  при температуре 1,8К. Обнаружена многополостная фотолюминесценция в области 2,48- 2,54 эВ, обусловленная излучательной рекомбинацией непрямого экситона с эмиссией фононов. Найдены энергетические положения прямого (2,606 эВ) и непрямого (2,540 эВ) экситонов и их энергии [4, 26]. В результате исследования  $\lambda$ -модуляционных фотоэлектрических спектров монокристаллов  $TlGa_{1-x}Fe_xS_2$  в области экситонного поглощения установлено, что замещение  $Ga \rightarrow Fe$  (1-2ат.%) приводит к существенному сдвигу экситонной полосы; при увеличении концентрации Fe экситонный пик на краю поглощения исчезает. Последнее связывается с сильным изменением межслоевых связей в монокристалле [25].

Анализ результатов изучения влияния частичного замещения атомов индия железом в монокристаллах  $TlIn_{1-x}Fe_xS_2$  ( $x=0 \div 0.01$ ) на их физические свойства показал, что по мере увеличения  $x$  длинноволновой край фотопроводимости смещается в сторону более длинных волн от 1,5 до 11 эВ (826 нм до 1127нм), фоновый спектр в области частот  $250 \div 350 \text{ см}^{-1}$  перестраивается, а температура сегнетоэлектрического фазового перехода смещается в сторону низких температур (с 200 до 185 К) [5, 6]. Изучены особенности рентгенопроводимости и рентгенодозиметрических характеристик монокристаллов типа  $A^3B^6$ ,  $A^3B^3C_2^6$  и их твердых растворов [ $TlGaSe_2$ ,  $Tl(GaS_2)_{1-x}(InSe_2)_x$ ;  $Tl(InS_2)_{1-x}(FeSe_2)_x$ ;  $TlGa_{1-x}Fe_xS_2$ ]. Выявлены перспективы их практического использования в качестве активных элементов для детекторов рентгеновского излучения [7, 9].

На основе экспериментальных измерений выявлено, что монокристаллы  $TlGaS_2$  проявляют высокую рентгеночувствительность при всех фиксированных значениях ускоряющего потенциала в области 25-50кэВ и "эффективной жесткости" излучения; зависимость рентгенопроводимости от интенсивности дозы ( $E$ ) носит степенной характер:  $\Delta\sigma_{E,0} \sim E^{0.5 \div 1}$  [7]. Проведены экспериментальные исследования влияния жестких излучений на фотоэлектрические свойства трехкомпонентных полупроводников типа  $A^3B^3C_2^6$  ( $TlInSe_2$ ,  $TlGaSe_2$ ) и фотодиодов на их основе.

Исследовалось влияние предварительного гамма (источник кобальт-60) (104-108Р), импульсного нейтронного с энергией  $E \geq 0,1 \text{ МэВ}$  ( $\Phi = 10^{12} - 10^{14} \text{ н/см}^2$ ) и электронного с энергиями 6 и 25МэВ ( $\Phi = 10^{13} - 10^{16} \text{ э/см}^2$ ) облучения на спектральные характеристики и интегральную фоточувствительность монокристал-

лов  $TlInSe_2$ ,  $TlGaSe_2$  р-типа проводимости и фоточувствительных структур на их основе [10].

Выявлено, что в результате облучения нейтронами до  $5 \cdot 10^{13} \text{ н/см}^2$  элементов на основе  $TlGaSe_2$  фоточувствительность в максимуме спектральной характеристики (0,56-0,58мкм) практически не меняется, одновременно наблюдается незначительное увеличение фоточувствительности в примесной области до 1,2 мкм. В отличие от указанной области в диапазоне более коротких волн (0,34-0,55мкм) изменение спектральной фоточувствительности вследствие указанного нейтронного облучения носит обратный характер. Величина интегральной фоточувствительности (к источнику "А") монокристаллов  $TlGaSe_2$  под действием нейтронного (до  $5 \cdot 10^{13} \text{ н/см}^2$ ) и гамма-облучения (до  $10^8 \text{ р}$ ) при прочих равных условиях зависит от величины приложенного напряжения.

В кристаллах  $TlInSe_2$  обнаружен акустофотovoltaический эффект, заключающийся в наличии управляемой звуком э.д.с. в направлении распространения продольных звуковых волн вдоль тетрагональной оси (001) [1]. В широком диапазоне температур (300÷900) изучены зонная структура и фотолюминесценция в цепочечных монокристаллах  $TlGaTe_2$  [11]. Исследованы электрофизические свойства тройных соединений со слоистой и цепочечной структурой  $TlInC_2^6$  (С-S, Se, Te). Выявлено что доминирующим механизмом рассеяния носителей тока в них является рассеяние на акустических колебаниях решетки. На основе стандартной модели зонного спектра определены основные характеристические параметры: эффективная масса, плотность состояний носителей, отношение подвижностей, температурный коэффициент ширины запрещенной зоны. Исследованием явлений переноса тепла при различных температурах (77-650К) в монокристаллах  $TlInC_2^6$  установлено, что основным механизмом рассеяния фононов являются трехфононные процессы [1, 23,24].

Исследован пьезорезистивный эффект в полупроводниковых монокристаллах  $(TlInSe_2)_x(TlInS_2)_{1-x}$  ( $0 \leq x \leq 1$ ). Изучено влияние одноосного напряжения (сжатия и растяжения) на электропроводность указанных кристаллов. Установлено, что зависимость тензочувствительности монокристалла от деформации имеет нелинейный характер. При изменении деформации от  $4 \cdot 10^{-4}$  до  $24 \cdot 10^{-4}$  тензочувствительность уменьшается от 1386 до 435 [12]. Изучено влияние гидростатического давления на оптические спектры монокристаллов  $TlInSe(S)_2$ . Увеличение проводимости с давлением описывалось линейным законом. Установлено, что с увеличением содержания Se в системе  $TlInSe_2$ - $TlInS_2$  давление, при котором имеет место фазовый переход, смещается в сторону более высоких давлений [13].

Синтезированы соединения  $TlCoS_2$ ,  $TlCoSe_2$  и  $TlGa_{1-x}Co_xS_2$  и в интервале температур 70-300К исследованы их магнитные свойства. На основе рентгенографического анализа установлено, что данные соединения обладают гексагональной структурой. Исследования намагниченности и парамагнитной восприимчивости показали, что  $TlCoS_2$  и  $TlCoSe_2$  являются ферромагнетиками. Температура Кюри  $TlCoS_2$  равна 112К, для  $TlCoSe_2$  ТК расположена

ниже 77К. Эффективный магнитный момент равен 4.6 (TiCoS<sub>2</sub>) и 4.85μБ (TiCoSe<sub>2</sub>) и хорошо согласуется с теоретическим значением [14, 17].

Изучена магнитная восприимчивость монокристаллов TiFeS<sub>2</sub> и TiFeSe<sub>2</sub> [15]. Показано, что магнитные моменты монокристаллов ориентированы попеременно цепей. Оба кристалла имели полупроводниковый ход зависимости сопротивления, а высокотемпературная зависимость восприимчивости носила металлический характер.

Получен и исследован новый класс магнитных полупроводников – халькогенидов Fe-Tl; Co-Tl; Ni-Tl и Mn-Tl [15, 16, 17] и изучены их электрические и термоэлектрические и магнитные свойства.

Изучение спектров поглощения монокристаллов твердых растворов Tl<sub>1-x</sub>Cu<sub>x</sub>InS<sub>2</sub> (x=0;0.005;0.010;0.015) показало, что вблизи края собственного поглощения наблюдалась четко выраженная полоса поглощения, связанная с переходами в прямое экситонное состоя-

ние и имеющая отрицательный температурный коэффициент (так например, для Tl<sub>0.985</sub>Cu<sub>0.015</sub>InS<sub>2</sub>  $dE^{exc}/dT = -1.8 \cdot 10^{-4}$  эВ/К при  $10 \leq T \leq 60$ К и  $-5.9 \cdot 10^{-4}$  эВ/К при  $60 \leq T \leq 200$ К). При низких температурах (5÷50К) в спектрах поглощения изученных кристаллов наряду с основной экситонной полосой наблюдалась вторая полоса, соответствующая n=2, что позволило определить энергию связи экситона:  $E_{CB}^{exc} = 20$  мэВ для TlInS<sub>2</sub>; 31 мэВ для Tl<sub>0.995</sub>Cu<sub>0.005</sub>InS<sub>2</sub> и 54 мэВ для Tl<sub>0.985</sub>Cu<sub>0.015</sub>InS<sub>2</sub> [18].

На основе полученных низкоразмерных полупроводников типа A<sup>III</sup>B<sup>III</sup>C<sub>2</sub><sup>VI</sup> предложены эффективные приемники видимого и ИК-излучения, детекторы рентгеновского и гамма-излучения, нейтронные детекторы, тензо-и пьезофоторезисторы [19, 20].

- [1]. Керимова Э.М., Мустафаева С.Н. Fizika. 1999, Т.5, №2, с.5-7.
- [2]. Керимова Э.М., Мустафаева С.Н., Магеррамов А.Б. Неорган. Материалы, 1997, Т.33, №11, с.1325-1327.
- [3]. Kerimova E.M., Mustafaeva S.N., Abbasova A.Z. High pressure semiconductors physics, 1998, p.78-79.
- [4]. Guseynov G.D., Kazimov S.B., Kerimova E.M., Gorban I.S., Gubanov V.A., Belyi N.M., Bobyr A.V. Turkish Journal of Physics, Т.18, 1994, p.721-725.
- [5]. Керимова Э.М., Гусейнов Г.Г., Исмаилзаде Л.А., Заманова А.К. Неорган. Материалы, 1997, Т.33, №9 с.1060-1062.
- [6]. Керимова Э.М., Мустафаева С.Н., Исмаилзаде Л.А., Наджафов А.Ю. Fizika 1998, Т.4, №1, с.28-29.
- [7]. Керимова Э.М., Мустафаева С.Н., Керимов Р.Н., Гаджиева Г.А. Неорган. материалы, 1999, Т.35, №11 с.1313-1314.
- [8]. Alekberov O.Z., Aldjanov M.A., Kerimova E.M. Turkish Journal of Physics, v.22, 1998, p.1053-1056
- [9]. Керимова Э.М., Мустафаева С.Н., Мамедбейли С.Д., Гасанов А.И., Бидзинова С.М. Fizika, 2001, v.7, №2, с. 64-68.
- [10]. Abbasova A.Z., Kerimova E.M., Muradova G.A., Pashayev A.M. Inst. Phys. Conf. Ser. № 152, 1998, p.983-988.
- [11]. K. Okazaki, K. Tanaka, J. Matsuno, Fujimori, L.F. Mattheiss, S. Lida, E. Kerimova, N. Mamedov. Physical Review B, Vol. 64, pp. (045210) 1-5 (2001)
- [12]. Керимова Э.М., Мамедбейли С.Д., Аббасова А.З., Исмаилова П.Г. Fizika, 1996, Т.2, №2, с.30-32.
- [13]. Kerimova E., Mustafaeva S., Guseynova D., Efendieva I., Babaev S., Mamedov G., Mamedov T., Salaeva Z., Allahverdiev K. Phys Stat. Sol.(a), 2000, p.199.
- [14]. Садыхов Р.З., Керимова Э.М., Асадов Ю.Г., Велиев Р.К. Физика твердого тела 2000, т 42, №8, с.1449-1450.
- [15]. Kerimova E.M., Mustafaeva S.N., Jabbarly A.I., Sultanov G., Gasanov A.I., Kerimov R.N. Physics of Spin in Solids 2004, p.195-206.
- [16]. Мустафаева С.Н., Керимова Э.М., Джаббарлы А.И. Физика твердого тела 2000, т. 42, №12, с.2132-2135.
- [17]. Велиев Р.К., Мир-Гасан Ю. Сеидов, Сеидов Ф.М., Керимова Э.М., Мамедов Т.Г. Неорган. Материалы, 2003, Т.39, №7 с.805-807.
- [18]. Seidov Z., Krug von Nidda H.A., Henberger J., Loidl A., Sultanov G., Kerimova E., Panfilov A. Physical Review, v.65, 014433-1-7
- [19]. Мустафаева С.Н., Керимова Э.М., Гасанов Н.З. Физика твердого тела 2001, т. 43, №3, с.427-430.
- [20]. Kerimova E.M., Mustafaeva S.N., Huseynova D.A. Presentation of I Eurasia conf. On Nuclear Science and its applications. Ankara, Turkey. 2001, v.2., p.932-933.
- [21]. Керимова Э.М., Асадов Ю.Г., Велиев Р.К., Гасанов А.И. Известия НАН Азербайджана. Серия физ.-мат. наук. 2002, №2, с.60-63.
- [22]. Керимова Э.М., Мустафаева С.Н., Мамедбейли С.Д. Знание, физика математика науки о земле. 2004, №2, p. 48-50.
- [23]. Абдуллаев Н.А., Алджанов М.А., Керимова Э.М. Физика твердого тела 2002, т. 44, №2, с.213-214.
- [24]. Абдуллаев А.М., Керимова Э.М., Заманова А.К. Неорган. Материалы, 1994, Т.30, №7, с.887-890.
- [25]. Керимова Э.М., Мустафаева С.Н., Мехтиева С.И. Прикладная физика 2004, №4, с.81-84.
- [26]. A. Kato, M. Nishigaki, N. Mamedov, M. Yamazaki, S. Abdullayeva, E. Kerimova, H. Uchiki, S. Iida. Journal of Physics and Chemistry of Solids 64 (2003) 1713-1716.