

# Многокомпонентные алмазоподобные полупроводники на основе системы $\text{InB}^V\text{—CdS}$ . Объемные и поверхностные свойства

© И.А. Кировская, Т.Н. Филатова, П.Е. Нор

Омский государственный технический университет,  
644050 Омск, Россия

E-mail: Kirovskaya@omgtu.ru

Поступила в Редакцию 19 октября 2020 г.

В окончательной редакции 24 октября 2020 г.

Принята к публикации 24 октября 2020 г.

По разработанным методикам, в областях взаимной растворимости исходных бинарных соединений ( $\text{InP}$ ,  $\text{InSb}$ ,  $\text{CdS}$ ) получены твердые растворы систем  $\text{InP—CdS}$ ,  $\text{InSb—CdS}$ , аттестованные как твердые растворы замещения с кубической структурой сфалерита. С использованием комплекса методов изучены их объемные (кристаллохимические, структурные) и поверхностные (химический состав поверхностей, кислотно-основные) свойства. Показано относительное влияние на таковые исходных бинарных соединений в различных проявлениях. Обогащены сведения о многокомпонентных алмазоподобных полупроводниках. Установлены закономерности и корреляции в изменениях изученных свойств твердых растворов. Даны практические рекомендации по использованию полученных материалов для изготовления сенсоров-датчиков на микропримеси аммиака, а также по использованию установленных корреляций для менее затратного поиска новых материалов.

**Ключевые слова:** многокомпонентные алмазоподобные полупроводники, твердые растворы, кристаллохимические, структурные, поверхностные свойства, закономерности, корреляции, предложенные новые материалы, сенсоры-датчики.

DOI: 10.21883/FTP.2021.02.50505.9539

## 1. Введение

При решении актуальной проблемы современной техники — гетерогенного катализа, поиске новых материалов одним из перспективных направлений является получение и исследование многокомпонентных алмазоподобных полупроводников — твердых растворов на основе сравнительно изученных, обладающих уникальными свойствами (электрофизическими, фото-, пьезоэлектрическими, оптическими) бинарных алмазоподобных полупроводников (особенно типа  $\text{A}^{\text{III}}\text{B}^{\text{V}}$ ,  $\text{A}^{\text{IV}}\text{B}^{\text{VI}}$ ) [1,2].

Здесь, за счет изменения состава, возможны как предсказуемые изменения свойств, так и обнаружение экстремальных эффектов, представляющих особый научный и практический интерес. Возможности таковых обусловлены сложностью еще непознанных внутренних процессов, сопровождающих образование твердых растворов [1,3].

В данной работе речь пойдет о твердых растворах систем  $\text{InP—CdS}$ ,  $\text{InSb—CdS}$ , отличающихся бинарными компонентами типа  $\text{A}^{\text{III}}\text{B}^{\text{V}}$  ( $\text{InP}$ ,  $\text{InSb}$ ), при общем бинарном компоненте типа  $\text{A}^{\text{IV}}\text{B}^{\text{VI}}$  ( $\text{CdS}$ ).

В соответствии с более ранними нашими работами (например, [1,3]) на характере зависимостей свойств твердых растворов от состава может отразиться степень различия в значениях основных объемных свойств и, в частности, ширины запрещенной зоны ( $\Delta E$ ) бинарных компонентов  $\text{InB}^{\text{V}}$  ( $\text{InP}$ ,  $\text{InSb}$ ) и общего бинарного компонента ( $\text{CdS}$ ).

Проверкой высказанных соображений должны быть изложенные далее результаты выполненных исследо-

ваний объемных и поверхностных свойств полученных твердых растворов  $(\text{InP})_x(\text{CdS})_{1-x}$ ,  $(\text{InSb})_x(\text{CdS})_{1-x}$  в сравнении с исходными бинарными соединениями ( $\text{InP}$ ,  $\text{InSb}$ ,  $\text{CdS}$ ) и между собой.

## 2. Методика эксперимента

Твердые растворы  $(\text{InP})_x(\text{CdS})_{1-x}$  ( $x = 93, 95, 97$  мол%),  $(\text{InSb})_x(\text{CdS})_{1-x}$  ( $x = 20, 40, 65, 95$  мол%) получали по методикам, разработанным применительно к выбранным системам на основе метода изотермической диффузии исходных бинарных соединений ( $\text{InP}$  и  $\text{CdS}$ ,  $\text{InSb}$  и  $\text{CdS}$ ), с учетом их физических и физико-химических свойств и областей взаимной растворимости. Синтез осуществляли в вакуумированных, запаянных кварцевых ампулах, по созданным программам температурного нагрева [3].

О завершении синтеза, образовании, структуре твердых растворов судили по результатам рентгенографических исследований, с привлечением результатов термографических, электронно-микроскопических и КР-спектроскопических (спектры комбинационного рассеяния) исследований.

Продукты синтеза представляли собой поликристаллические слитки на дне ампул. Для проведения исследований образцы твердых растворов и бинарных компонентов готовили в форме тонкодисперсных порошков ( $S_{\text{sp}} = 0.3\text{--}1.2\text{ м}^2/\text{г}$ ) и тонких пленок ( $d = 20\text{--}100$  нм). Последние получали дискретным термическим напылением в вакууме ( $T_{\text{cond}} = 298\text{ К}$ ,  $P = 1.33 \cdot 10^{-3}$  Па) на

электродные площадки пьезокварцевых резонаторов, с последующим гомогенизирующим отжигом [4,5].

Заданные мольные составы сверяли с элементными, найденными по результатам электронно-микроскопических исследований [3].

Рентгенографические исследования выполняли на дифрактометре D8 Advance фирмы „Bruker“ AXS (Германия) в  $\text{CuK}\alpha$ -излучении ( $\lambda = 0.15406$  нм,  $T = 293$  К), по методике большеугловых съемок [6–8], с использованием высокочувствительного детектора Лунхеуе, а также базы данных ICDDIPDF-2 и программы TOPAS 3,0 (Bruker) соответственно для расшифровки полученных рентгенограмм (дифрактограмм) и уточнения параметров решеток; термографические (дифференциальный термический и гравиметрический анализы) — на дифференциальном термическом анализаторе DTG-60, Shimadzu в интервале температур 303–1273 К [9]; электронно-микроскопические — на сканирующем электронном микроскопе JSM–5700, снабженном приставкой для энергодисперсионного анализа JED–2300 [10]; КР-спектроскопические — на фурье-спектрометре RFS-100, с разрешением  $1 \text{ см}^{-1}$  [11].

Поверхностные свойства (химический состав, кислотно-основные свойства поверхностей) изучали методами ИК-спектроскопии, МНПВО [1], гидролитической адсорбции (определение рН изоэлектрического состояния —  $\text{pH}_{\text{iso}}$ ) [12], механохимии [13], неводного кондуктометрического титрования [14].

ИК-спектры снимали на фурье-спектрометре инфракрасном ИнфраЛюм ФТ-02 с приставкой многократного нарушенного полного внутреннего отражения (МНПВО) (материал кристалла — германий, спектральный диапазон —  $400\text{--}4000 \text{ см}^{-1}$ ) и спектрометре Shimadzu фурье-преобразователе [1].

Воспроизводимость и точность экспериментальных данных проверяли по результатам параллельных измерений с использованием методов математической статистики и обработки результатов количественного анализа, а также компьютерных программ Stat-2, MicrosoftExcel и Origin.

### 3. Обсуждение результатов

Согласно результатам рентгенографических исследований, в системах  $\text{InP}\text{--}\text{CdS}$ ,  $\text{InSb}\text{--}\text{CdS}$  (при заданных составах) образуются твердые растворы замещения с кубической структурой сфалерита. Конкретно на это указывают относительное положение и распределение по интенсивностям основных линий на рентгенограммах (дифрактограммах), сдвиг линий, отвечающих твердым растворам, относительно линий бинарных соединений при постоянном их числе, отсутствие дополнительных линий, отвечающих непрореагировавшим бинарным соединениям, размытости основных линий (свидетельство о полном завершении процесса синтеза) (рис. 1), плавный характер зависимостей от состава, рассчитанных на основе рентгенограмм.

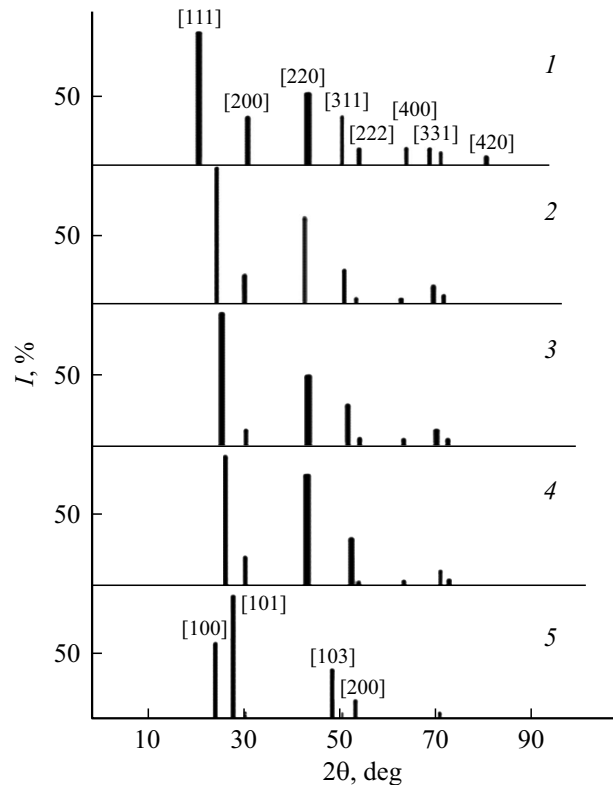


Рис. 1. Штрих-рентгенограммы компонентов систем  $\text{InP}\text{--}\text{CdS}$ : 1 —  $\text{InP}$ , 2 —  $(\text{InP})_{0.97}(\text{CdS})_{0.03}$ , 3 —  $(\text{InP})_{0.95}(\text{CdS})_{0.05}$ , 4 —  $(\text{InP})_{0.93}(\text{CdS})_{0.07}$ , 5 —  $\text{CdS}$  и  $\text{InSb}\text{--}\text{CdS}$ .

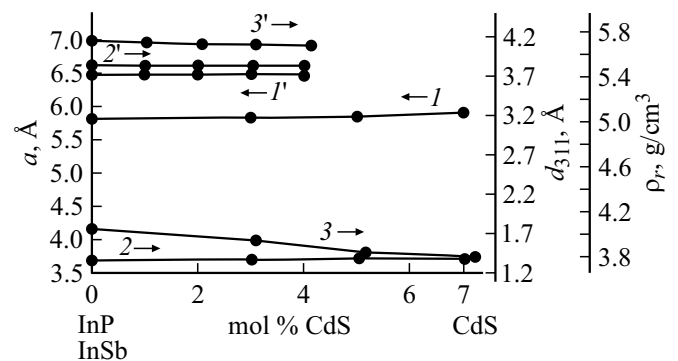


Рис. 2. Зависимости от составов компонентов систем  $\text{InP}\text{--}\text{CdS}$  и  $\text{InSb}\text{--}\text{CdS}$ : значение параметра —  $a$  (1, 1'), межплоскостное расстояние —  $d_{311}$  (2, 2'), рентгеновской плотности —  $\rho_r$  (3, 3') кристаллических решеток.

Отклонение в системе  $\text{InP}\text{--}\text{CdS}$  зависимости  $\rho_r = f(x_{\text{CdS}})$  от закона Вегарда (экстремальный характер) допустимо (рис. 2). Его можно объяснить неравномерным распределением катион-анионных комплексов, как следствием, вытекающим из сложности внутренних процессов, сопровождающих формирование твердых растворов [15].

В пользу таких соображений говорят результаты анализа свойств и взаимодействий элементных составляю-

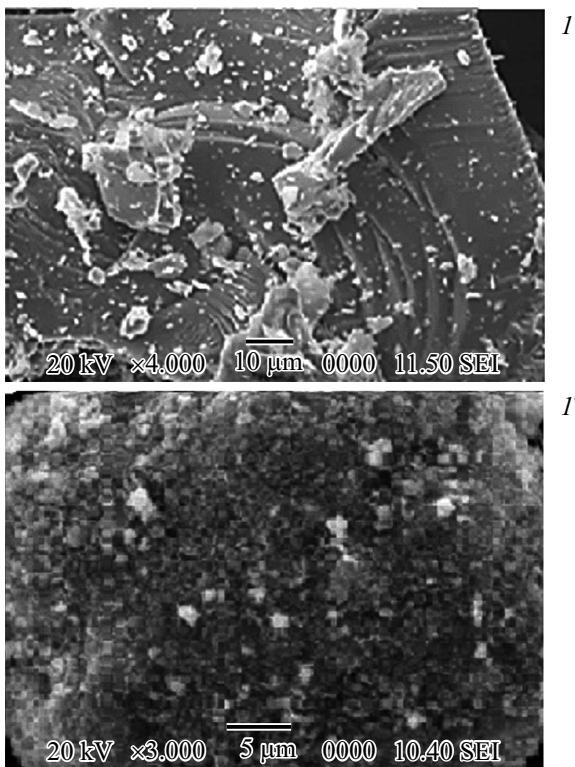


Рис. 3. SEM-изображения порошков InP (I) и CdS (I') в режиме фазового контраста.

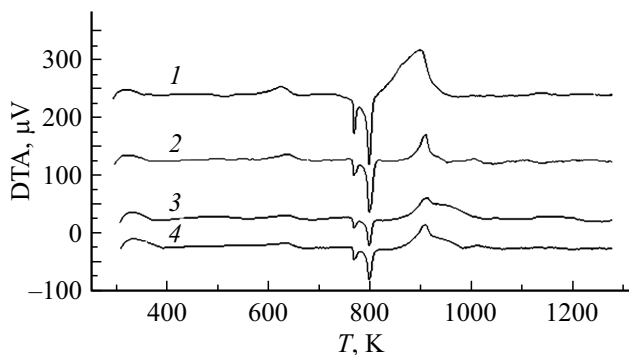


Рис. 4. Кривые дифференциального термического анализа: 1 — InSb, 2 —  $(InSb)_{0.99}(CdS)_{0.01}$ , 3 —  $(InSb)_{0.98}(CdS)_{0.02}$ , 4 —  $(InSb)_{0.97}(CdS)_{0.03}$ .

ших компонентов систем [15] и результаты электронно-микроскопических исследований (рис. 3): пленки компонентов систем поликристалличны, с неоднородным распределением кристаллитов, ассоциирующихся в агломераты с объединением зерен различных размеров. Здесь уместно упомянуть и о работе [16]. Ее авторы связывают отклонения от линейной зависимости  $a = f(c)$  с возможной потерей при синтезе твердых растворов системы InSb–CdTe некоторого количества кадмия, обладающего по сравнению с другими элементами системы (In, Sb, Te) наиболее низкой температурой кипения и наиболее высокой упругостью пара.

Для однозначности аттестации полученных твердых растворов, расширения информации об их физико-химических свойствах полезными оказались результаты термографических, КР- и ИК-спектроскопических исследований.

Термограммы компонентов систем (см., например, рис. 4) содержат эндо- и экзотермические эффекты, сопровождающиеся ростом массы в исследованном интервале температур и отличающиеся интенсивностью [17]. Эндотермические эффекты отвечают температурам плавления компонентов систем, экзотермические эффекты обусловлены, скорее всего, образованием продуктов окисления, так как при этих температурах происходит значительный прирост массы.

Изложенные выше факты существенно дополняют спектры комбинационного рассеяния (КР-спектры). Они подтверждают образование в рассматриваемых системах твердых растворов замещения, указав на отсутствие в областях характеристических частот пиков, типичных для бинарных компонентов (рис. 5).

Что касается относительного влияния исходных бинарных соединений систем InP–CdS, InSb–CdS на объемные свойства твердых растворов (кристаллохимические, структурные), то, согласно диаграммам состояния „свойство–состав“ (рис. 2), в разных проявлениях определенный вклад вносят и общий бинарный компонент (CdS), и первые бинарные компоненты (InP, InSb), заметно отличающиеся по свойствам от общего бинарного компонента и между собой. Например, температура плавления ( $T_{mel}$ ), разность электроотрицательностей ( $\Delta\chi$ ), ширина запрещенной зоны ( $\Delta E$ ) составляют [11]:

для InP и CdS — 1070 и 1750°С; 0.4 и 0.8; 1.35 и 2.42 эВ;  
для InSb и CdS — 525 и 1750°С; 0.1 и 0.8; 0.18 и 2.42 эВ.

Отсюда различия в свойствах твердых растворов  $(InP)_x(CdS)_{1-x}$  и  $(InSb)_x(CdS)_{1-x}$ . Так, присутствие в

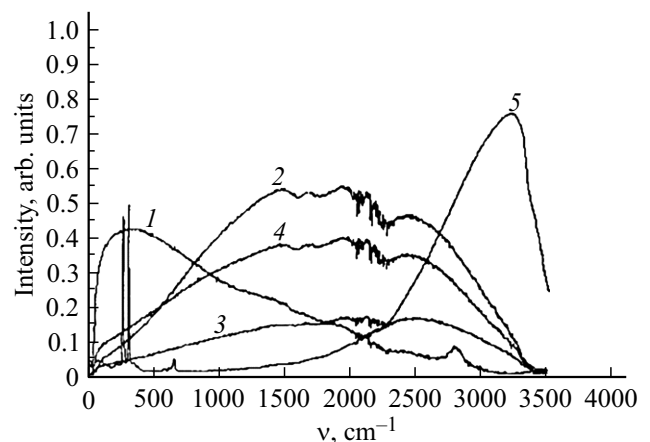


Рис. 5. Спектры комбинационного рассеяния в области антистоксового излучения компонентов системы InP–CdS: 1 — CdS, 2 —  $(InP)_{0.93}(CdS)_{0.07}$ , 3 —  $(InP)_{0.95}(CdS)_{0.05}$ , 4 —  $(InP)_{0.97}(CdS)_{0.03}$ , 5 — InP.

системе InP–CdS фосфида индия обусловило ярко выраженные люминесцентные свойства твердых растворов  $(\text{InP})_x(\text{CdS})_{1-x}$ : на их КР-спектрах наблюдается интенсивный пик с несколькими максимумами в области  $1500\text{--}2700\text{ см}^{-1}$  (рис. 5). Этому способствовало, скорее всего, само сочетание InP и CdS (подобное отсутствовало, в частности, в системе GaAs–CdS). Действительно, расположение In и Cd, P и S в Периодической системе Д.И. Менделеева и их уникальные свойства предполагают высокую излучательную способность твердых растворов  $(\text{InP})_x(\text{CdS})_{1-x}$ . Различаются твердые растворы  $(\text{InP})_x(\text{CdS})_{1-x}$ ,  $(\text{InSb})_x(\text{CdS})_{1-x}$  и по характеру зависимостей  $\rho_r = f(x_{\text{CdS}})$  (рис. 2).

Относительное влияние общего бинарного компонента — CdS проявилось в сходстве характеров зависимостей кристаллохимических свойств ( $a$ ,  $d_{hkl}$ ) твердых растворов обеих систем от состава. Они преимущественно плавные (рис. 2).

Как показали ИК-спектры МНПВО, химический состав исходных (экспонированных на воздухе) поверхностей компонентов систем InP–CdS, InSb–CdS (бинарных и твердых растворов) включает преимущественно адсорбированные молекулы воды, группы  $\text{OH}^-$  (полосы  $1650$ ,  $3650\text{--}3680\text{ см}^{-1}$ ), углеродсодержащие соединения (полосы  $1100\text{ см}^{-1}$  (CO),  $2340\text{--}2350\text{ см}^{-1}$  ( $\text{CO}_2$ )),  $2950\text{--}2970$ ,  $980\text{ см}^{-1}$  (C–H) и продукты окисления поверхностных атомов [1,18,19].

Термическая вакуумная обработка до  $10^{-4}$  Па сопровождается практически полным удалением адсорбированных примесей и в значительной мере собственных оксидов [13,20].

В результате комплексных исследований кислотно-основных свойств поверхностей компонентов систем InP–CdS, InSb–CdS определены средняя сила, природа, концентрация кислотных центров, избирательность поверхностей по отношению к газам определенной электронной природы.

По средней силе кислотных центров (значениям pH изоэлектрического состояния) исходные (экспонированные на воздухе) поверхности компонентов систем InP–CdS, InSb–CdS следует отнести к слабокислым: значения  $\text{pH}_{\text{iso}}$  укладываются в пределах  $6.2\text{--}6.6$  и  $45.98\text{--}6.94$  соответственно, указывая вместе с тем на возможную повышенную активность к основным газам [1,20]. Подтверждением явились наблюдаемые изменения  $\text{pH}_{\text{iso}}$  при воздействиях основного ( $\text{NH}_3$ ) и кислотного ( $\text{NO}_2$ ) газов. В первом случае кислотность поверхностей снижается ( $\text{pH}_{\text{iso}}$  возрастает, в пределе на 0.9), во втором — кислотность поверхностей возрастает ( $\text{pH}_{\text{iso}}$  — снижается, в пределе на 0.6).

С изменением составов систем  $\text{pH}_{\text{iso}}$  изменяется экстремально (рис. 6), что можно объяснить конкуренцией между кислотными центрами, вполне вероятной при неизбежных сложных процессах, сопровождающих формирование твердых растворов [1,18].

Относительно природы активных центров: ответственными за них, как и на других алмазоподобных полупро-

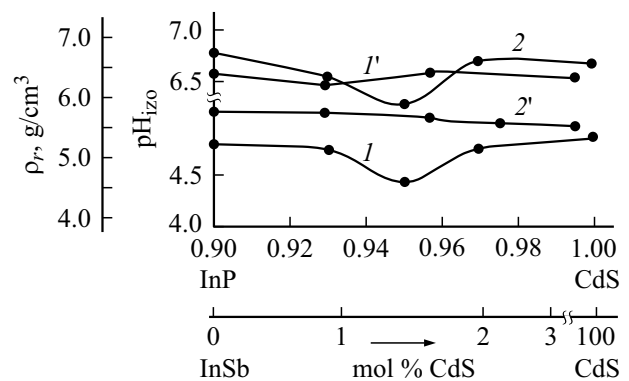


Рис. 6. Зависимости от состава: значение рентгеновской плотности —  $\rho_r$  (1, 1') и pH изоэлектрического состояния —  $\text{pH}_{\text{iso}}$  (2, 2'); компонентов систем InP–CdS (1, 2) и InSb–CdS (1, 2').

водниках [1,13,18], должны выступать координационно-ненасыщенные атомы (центры Льюиса), адсорбированные молекулы  $\text{CO}_2$ ,  $\text{H}_2\text{O}$ , гидроксильные группы (центры Бренстеда). Наличие таковых подтверждают ИК-спектры, содержащие полосы образующихся с ними связей, результаты механохимических исследований, неводного кондуктометрического титрования [18].

Результаты механохимических исследований, характеризующие изменения pH среды в зависимости от времени диспергирования в воде крупнодисперсных порошков компонентов систем InP–CdS, InSb–CdS, экспонированных на воздухе (дополняемые параллельными ИК-спектрами [13]), для разных составов, а также для определенных отрезков времени (при одном и том же составе) показали и подкисление (уменьшение pH), и подщелачивание (увеличение pH) среды.

Подкисление среды — следствие происходящей в системе „диспергируемый полупроводник–вода“ адсорбции воды с образованием на поверхностях (при участии атомов  $\text{B}^{\text{V}}$ ,  $\text{B}^{\text{VI}}$  — P, Sb, S) кислот  $\text{H}_3\text{PO}_4$ ,  $\text{H}_3\text{SbO}_4$ ,  $\text{H}_2\text{SO}_4$ ,  $\text{H}_2\text{SO}_3$ , переходящих в объем при механическом воздействии [13,20]. Подщелачивание среды, скорее всего, обусловлено гидролизом кислотных остатков слабых кислот ( $\text{H}_3\text{PO}_4$ ,  $\text{H}_3\text{SbO}_4$ ,  $\text{H}_2\text{SO}_3$ ) —  $\text{PO}_4^{2-}$ ,  $\text{SbO}_4^{3-}$ ,  $\text{SO}_3^{2-}$ .

Эти результаты дополняют результаты неводного кондуктометрического титрования, позволившие подтвердить природу, определить концентрацию кислотных центров ( $C_{\text{gen}}$ ) на поверхностях компонентов систем, оценить изменения  $C_{\text{gen}}$  под воздействием газов.

Внешний вид кривых  $\Delta\sigma/\Delta V\text{--}V$ , содержащих три и более пиков, свидетельствует о присутствии на поверхностях различных типов кислотных центров, подтверждая образование в твердых растворах катион-анионных комплексов, распределенных неравномерно.

Прослеживая относительное влияние исходных бинарных соединений (InP, InSb, CdS) на поверхностные (кислотно-основные) свойства твердых растворов систем InP–CdS, InSb–CdS, отмечаем тенденцию, аналогичную

применительно к их объемным свойствам: на фоне влияния общего бинарного компонента —  $CdS$  (рис. 2) заметно влияние первых бинарных компонентов. Так, поверхности твердых растворов  $(InP)_x(CdS)_{1-x}$  оказались более кислыми (с меньшими значениями  $pH_{iso}$ ) по сравнению с поверхностями твердых растворов  $(InSb)_x(CdS)_{1-x}$ . Отличаются по характеру и зависимости  $pH_{iso} = f(x_{CdS})$  (рис. 6).

При анализе диаграмм состояния „объемное свойство–состав“, „поверхностное свойство–состав“ (рис. 2, 6) прослеживаются корреляции между объемными и поверхностными свойствами. Так, при одинаковых составах в системе  $InP-CdS$  минимуму на кривой  $\rho_r = f(x_{CdS})$  отвечает минимум на кривой  $pH_{iso} = f(x_{CdS})$ , в системе  $InSb-CdS$  нисходящему участку на кривой  $\rho_r = f(x_{CdS})$  отвечает нисходящий участок на кривой  $pH_{iso} = f(x_{CdS})$ .

Такой факт, с одной стороны, дополнительно подтверждает определяющий вклад в поверхностные свойства центров Льюиса — преимущественно координационно-ненасыщенных атомов, активность которых возрастает с уменьшением плотности ( $\rho_r$ ), с другой — свидетельствует об общности между „системами“, которая обеспечивается влиянием общего бинарного компонента —  $CdS$ .

Установленные корреляции, связь между объемными и поверхностными свойствами, представляющие несомненный научный интерес, весьма полезны и в практическом плане, так как облегчают поиск новых, запрашиваемых материалов для сенсорной техники. Здесь появляется возможность предварительной оценки поверхностной активности новых материалов уже по более доступным объемным свойствам (в частности, по  $\rho_r$ ), оставляя за кислотно-основными и адсорбционными роль контрольных.

## 4. Заключение

По методикам, разработанным на базе метода изотермической диффузии и учета известных объемных физических и физико-химических свойств исходных бинарных соединений ( $InP$ ,  $InSb$ ,  $CdS$ ), получены твердые растворы систем  $InP-CdS$ ,  $InSb-CdS$ , аттестованные по результатам рентгенографических исследований с привлечением результатов термографических, электронно-микроскопических, КР-спектроскопических исследований, как твердые растворы замещения с кубической структурой сфалерита.

Комплексно изучены объемные (кристаллохимические, структурные) и поверхностные (химический состав поверхностей, кислотно-основные) свойства полученных твердых растворов в сравнении с исходными бинарными соединениями ( $InP$ ,  $InSb$ ,  $CdS$ ) и между собой.

Показан относительный вклад в свойства твердых растворов как бинарных компонентов  $InB^V$ , так и общего бинарного компонента ( $CdS$ ). Влияние бинарных компонентов  $InB^V$  проявилось в ярко выраженных люминес-

центных свойствах твердых растворов  $(InP)_x(CdS)_{1-x}$  и повышенной кислотности их поверхностей; влияние общего бинарного компонента — в сходе закономерностей изменений свойств твердых растворов (объемных и поверхностных) от состава, которые носят как статистический (плавный), так и экстремальный характер. Установлены корреляции между ними и соответственно связь между объемными и поверхностными свойствами.

Определены природа, сила, концентрация кислотных центров, избирательная чувствительность поверхностей к газам различной электронной природы.

Компоненты систем с повышенной кислотностью поверхностей рекомендованы в качестве материалов для изготовления сенсоров-датчиков на микропримеси основных газов, в частности аммиака, а установленные корреляции между концентрационными зависимостями объемных и поверхностных свойств — для облегченного поиска новых эффективных материалов сенсорной техники.

## Конфликт интересов

Авторы заявляют, что у них нет конфликта интересов.

## Список литературы

- [1] И.А. Кировская. *Физико-химические свойства бинарных и многокомпонентных алмазоподобных полупроводников* (Новосибирск, Изд-во СО РАН, 2015).
- [2] X. Fang, T. Zhai, U.K. Gautam, L. Li, L. Wu, Y. Bando, D. Golberg. *Progr. Mater. Sci.*, **56** (2), 175 (2011).
- [3] И.А. Кировская, П.Е. Нор, Е.В. Миронова, Т.А. Кировская. *Адсорбенты на основе система типа  $A^{II}B^{VI}-A^{II}B^{VI}$  — материалы полупроводникового газового анализа* (Новосибирск, Изд-во СО РАН, 2018).
- [4] И.Л. Калинин, В.Б. Алесковский, А.В. Симашкевич. *Эпитаксиальные пленки соединений  $A^{II}B^{VI}$*  (Л., ЛГУ, 1978).
- [5] В.А. Касьян, П.И. Кетруш, Ю.А. Никольский, Ф.И. Пасенчик. *Тонкие пленки антимонида индия. Получение, свойства, применение*, под ред. Н.И. Сырбу (Кишинев, Штиинца, 1989).
- [6] С.Е. Миркин. *Справочник по рентгеноструктурному анализу* (М., Гос. Изд-во физ.-мат. лит., 1961).
- [7] С.С. Горелик, Л.Н. Расторгуев, Ю.А. Скаков. *Рентгенографический и электронно-оптический анализ* (М., Металлургия, 1970).
- [8] Е.Ф. Смыслов. *Завод. лаб. Диагностика мат.*, **72** (5), 33 (2006).
- [9] И.А. Кировская, Т.Н. Филатова. *Динамика систем, механизмов и машин*, **3**, 46 (2004).
- [10] J.N. Coldstein, D.E. Newbury, D.C. Joy, C.E. Lyman, P. Echlin, E. Lifshin, L. Sawyer, J.R. Michael. *Scanning Electron Microscopy and X-ray Microanalysis* (Plenum Publishers, N.Y., 2003).
- [11] М.М. Сушинский. *Комбинационное рассеяние света. Строение вещества* (М., Наука 1981).
- [12] Л.Г. Майдановская. В сб.: *Каталитические реакции в жидкой среде* (Алма-Ата, АН КазССР, 1963).

- [13] И.А. Кировская. *Поверхностные явления* (Омск, Изд-во ОмГТУ, 2001).
- [14] А.П. Крешков. *Кислотно-основное титрование в неводных растворах* (М., Химия, 1967).
- [15] A.R. West. *Solid Chemistry and Its Applications* (Chichester, John Wiley, 1984).
- [16] В.А. Бродовой, Н.Г. Вялый, Л.М. Кнорозок. Неорг. матер., **33** (3), 303 (1997).
- [17] И.А. Кировская, Т.Н. Филатова. ЖФХ, **86** (3), 503 (2012).
- [18] И.А. Кировская, П.Е. Нор, Т.Н. Филатова, Л.В. Колесников. Динамика систем, механизмов и машин, **6** (2), 145 (2018).
- [19] Л. Литтл. *Инфракрасные спектры адсорбированных молекул* (М., Мир, 1969).
- [20] И.А. Кировская. *Поверхностные свойства бинарных алмазоподобных полупроводников* (Омск, ОмГТУ, 2012).

Редактор Г.А. Оганесян

## **Multicomponent diamond-like semiconductors on the basis of the system $\text{InB}^{\text{V}}-\text{CdS}$ . Volume and surface properties**

*I.A. Kirovskaya, T.N. Filatova, P.E. Nor*

Omsk State Technical University,  
644050 Omsk, Russia

**Abstract** According to the developed methods, in the fields of mutual solubility of the initial binary compounds (InP, InSb, CdS), solid solutions of systems InP–CdS, InSb–CdS certified as solid substitution solutions with a cubic sphalerite structure. Their bulk (crystal-chemical, structural) and surface (chemical composition of surfaces, acid-base) properties were studied using a set of methods. The relative influence of the initial binary compounds in various manifestations on them is shown. Information about multicomponent diamond-like semiconductors is enriched. Regularities and correlations in changes in the studied properties of solid solutions are established. Practical recommendations are given on the use of the obtained materials for the manufacture of sensors-sensors based on ammonia micro-impurities, as well as on the use of established correlations for less costly search for new materials.