

УКРАИНСКИЙ  
ФИЗИЧЕСКИЙ  
ЖУРНАЛ

ПЕРЕВІРНО  
2015 P

ТОМ 28  
№ 1  
ЯНВАРЬ  
1983

ПЕРГ ПІД  
2008 P



Н. С. Корец, И. В. Потыкевич, З. В. Янушкявичюс

## ВЛИЯНИЕ ПРИМЕСЕЙ НА ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА КРИСТАЛЛОВ ДИФОСИДА КАДМИЯ

В настоящее время имеется несколько работ, в которых исследованы легированные кристаллы  $\text{CdP}_2$  [1–5]. Однако полученные экспериментальные результаты исследования влияния вводимых примесей на электрические свойства кристаллов не всегда ясны, а в некоторых случаях и противоречивы [4, 5].

Исследуемые нами образцы были получены из паровой фазы и методом Бриджмена. Легирующие элементы вводились в процессе роста в количестве 0,1–0,2 вес.%. Из монокристаллических блоков в виде призм вырезались образцы, на которые напылением In наносились контакты. Температурные измерения холловской подвижности носителей заряда и их концентрации проводились пятizonдовым методом [6]. Модельные представления о поведении примеси в матрице  $\text{CdP}_2$  вырабатывались исходя из экспериментальных результатов, а также валентности и тетраэдрических радиусов легирующей добавки. Основные электрические параметры исходных и легированных образцов приведены в таблице.

Легирование кристаллов медью приводит к увеличению концентрации дырок, а следовательно, и к понижению уровня Ферми, что позволяет наблюдать центр  $E_v + 0,47$  эВ, который согласно [7] обусловлен вакансиями Cd. Поэтому нет оснований связывать наблюдаемую энергию активации  $E_a$  с локальным энергетическим уровнем, обусловленным примесью Cu, тем более, что этот центр наблюдался и в образцах, легированных другими элементами, а Cu образует в  $\text{CdP}_2$  акцептор [3], который находится глубже данного уровня. В процессе легирования возможно как замещение Cu атомов Cd, так и заполнение Cu вакансий Cd. Поскольку примесь Cu в  $\text{CdP}_2$  — акцептор, а возможное заполнение вакансий Cd атомами Cu будет способствовать уменьшению концентрации собственных дефектов, являющихся тоже акцепторами, то, судя по повышению концентрации дырок в кристаллах  $\text{CdP}_2$ , можно заключить, что преобладающим будет первый механизм.

Примесь	$p, n, \text{см}^{-3}$	$E_a, \text{эВ}$
отсутствует	$p=4,7 \cdot 10^8$	$0,83 \pm 0,03$
Cu	$p=3,0 \cdot 10^{15}$	$0,47 \pm 0,03$
Hg	$n=1,0 \cdot 10^{14}$	$0,50 \pm 0,03$
Ga	$n=2,0 \cdot 10^{11}$	$0,48 \pm 0,03$
Bi	$n=4,0 \cdot 10^{14}$	$0,53 \pm 0,03$
As	$p=4,0 \cdot 10^{16}$	—

Введение в кристаллы примеси Hg приводит к инверсии типа проводимости ( $p \rightarrow n$ ). Отжиг кристаллов в парах Hg также позволяет получать образцы  $n$ -типа [4]. Однако в [5] наблюдается совершенно иная картина, т. е. отжиг в парах Hg обуславливает изменение типа проводимости ( $n \rightarrow p$ ). Это объясняется испарением P во время отжига. Следует отметить, что вакансии P для  $\text{CdP}_2$  являются донорами [7] и тем самым могут быть ответственными за  $n$ -тип проводимости. Поскольку Hg является изовалентной примесью по Cd, то энергетически выгоднее замещение атомов Cd. Поведение Hg в  $\text{CdP}_2$ , по-видимому, аналогично поведению Zn в кристаллах [2], когда его атомы заполняют вакансии Cd, являющиеся акцепторами, ввиду чего концентрация дырок уменьшается. Инверсия типа проводимости свидетельствует о более высокой активности заполнения вакансий Cd атомами Hg, поскольку концентрации этих примесей в исходных компонентах были одинаковыми.

Введение Ga в кристаллы  $\text{CdP}_2$ , в свою очередь, обеспечивает инверсию типа проводимости. Галлий является донором по отношению к Cd и, судя по тетраэдрическим радиусам Cd, Ga, P, а также по полученным экспериментальным данным, замещает Cd в  $\text{CdP}_2$ .

Совсем непонятно, почему одни примеси одной и той же V группы таблицы Менделеева играют роль доноров (Sb), а другие — роль акцепторов (Bi) (их тетраэдрические радиусы примерно одинаковы [1]). В работе [2] предполагалось, что возможно замещение Bi и Sb атомов Cd. При введении в кристаллы Bi их тип проводимости изменяется ( $p \rightarrow n$ ), что возможно в том случае, когда Bi, будучи изовалентной примесью по P,



тем не менее будет замещать Cd и тем самым создавать донорные центры. Это является следствием большого различия тетраэдрических радиусов Bi и P (1,46 и 1,10 Å соответственно), ввиду чего замещение P атомами Bi будет маловероятным.

Совершенно иная картина наблюдается при легировании  $\text{CdP}_2$  элементом этой же группы — As. В данном случае концентрация дырок существенно возрастает, поскольку тетраэдрический радиус атомов As (1,18 Å) меньше радиусов Bi, Sb, а As занимает вакантные узлы аниона, хотя радиус примеси и превышает радиус P. Тогда концентрация донорных центров уменьшается, следовательно, концентрация нескомпенсированных дырок увеличивается. Подобное поведение As в  $\text{CdP}_2$  предполагалось в [8].

Из полученных результатов следует, что монокристаллы, легированные Hg, Ga и Bi, обладают электронной проводимостью, а энергия термической активации темновых носителей тока во всех случаях находится в области  $0,53 \pm 0,05$  эВ. Это позволяет заключить, что данная энергия активации обусловлена не уровнями, соответствующими конкретным примесям, а либо собственными дефектами (скорее всего, вакансиями P, которые являются донорами), либо комплексами, в состав которых входят собственные дефекты.

1. Примесная фотолюминесценция  $\text{CdP}_2$  / В. С. Коваль, П. М. Кролевец, А. В. Любченко и др. — ФТП, 1972, 6, 6, 1142—1143.
2. Катодолюминесценция легированных кристаллов дифосфида кадмия / И. С. Горбань, В. С. Коваль, Н. С. Корец и др. — ФТП, 1981, 15, 6, 1213—1215.
3. Межпримесная рекомбинация носителей тока в дифосфиде кадмия, легированного медью / В. С. Коваль, А. В. Любченко, И. В. Потыкевич, А. И. Федоров. — ФТП, 1976, 10, 1, 41—46.
4. Диффузионные p—n-переходы на основе  $\text{CdP}_2$  / И. В. Потыкевич, В. С. Коваль, А. В. Любченко, Н. С. Болтовец. — ФТП, 1972, 6, 2, 1142—1143.
5. Легирование монокристаллов  $\text{CdP}_2$  ртутью и исследование фотодиодов на их основе / С. И. Радауцан, Н. Н. Сырбу, В. К. Кносев и др. — Изв. АН МССР. Сер. физ.-техн. и мат. наук, 1980, 2, 57—61.
6. Жилинскас Ю., Сакалас А. Измерение эффекта Холла в высокоомных образцах. — ПТЭ, 1972, 3, 238—241.
7. Electrical properties of  $\text{CdP}_2$  single crystals / Z. Januskevičius, N. Korez, A. Sakalas, I. Tychina. — Phys. status solidi A, 1981, 65, 2, 149—151.
8. Легированное излучение кристаллов дифосфида кадмия при возбуждении электронным пучком / И. С. Горбань, Н. С. Корец, М. Теннакун и др. — ФТП, 1981, 15, 1, 55—60.

Киевский пединститут им. А. М. Горького;  
Вильнюсский госуниверситет им. В. Капсукаса

Поступило в редакцию  
7.VI 1982 г.

#### Нестандартные сокращения

ВАНТ	Вопросы атомной науки и техники
ДАН	Доклады Академии наук
Дон ФТИ	Донецкий физико-технический институт
ЖОХ	Журнал органической химии
ЖПС	Журнал прикладной спектроскопии
ЖТФ	Журнал технической физики
ЖЭТФ	Журнал экспериментальной и теоретической физики
ИТФ	Институт теоретической физики
ИФА	Институт физики и астрономии
ЛИЯФ	Ленинградский институт ядерной физики
ОИЯИ	Объединенный институт ядерных исследований
Опт. и спектр.	Оптика и спектроскопия
ПТЭ	Приборы и техника эксперимента
УФЖ	Украинский физический журнал
УФН	Успехи физических наук
ФТП	Физика и техника полупроводников
ФТТ	Физика твердого тела
ХФТИ	Харьковский физико-технический институт
ЭЧАЯ	Элементарные частицы и атомное ядро
ЯФ	Ядерная физика