

ISSN 0015-3222

АКАДЕМИЯ
НАУК
СССР

Физика и Техника Полупроводников

ИЮНЬ
1981

ТОМ 15
ВЫП. 6



· НАУКА ·
ЛЕНИНГРАДСКОЕ
ОТДЕЛЕНИЕ

ПЕРЕВІРЕНО

2015 P

ПЕРЕ ВІ.

2008 P

КАТОДОЛЮМИНЕСЦЕНЦИЯ ЛЕГИРОВАННЫХ КРИСТАЛЛОВ ДИФОСИДА КАДМИЯ

И. С. Горбань, В. С. Коваль, Н. С. Корец,
М. Теннакун, М. В. Чукичев

Спектры люминесценции кристаллов дифосфида кадмия исследовались рядом авторов [1-6]. Настоящее сообщение посвящено систематическому исследованию влияния легирующих примесей на энергетический спектр центров излучательной рекомбинации кристаллов дифосфида кадмия и установлению природы центров, образованных этими примесями. Для измерений использовались легированные монокристаллы, полученные из паровой фазы и стехиометрического расплава. Все исследованные кристаллы имели дырочную проводимость с удельным сопротивлением $10^3 \div 10^{11}$ Ом·см. Исследования проводились на электронно-лучевой установке, описанной в [7], при плотности пучка электронов $(0.1 \div 1.0) \cdot 10^4$ А/м², длительности импульса $0.3 \div 3.0$ мкс и энергии электронов 40 кэВ.

Изоэлектронное легирование цинком, концентрация которого в исходной навеске составляла 0.5 вес.%, приводит к размытию тонкой структуры спектра излучения (рис. 1). При 6 К сильно возрастает по сравнению с краевым излучением свечение с максимумом 1.86 эВ, которое, по данным работы [8], объясняется рекомбинацией на центрах акцепторного типа, представляющих собой комплекс дважды ионизированной вакансии кадмия и однократно ионизированного донора. Дальнейшее повышение концентрации цинка (до 1 вес.%) приводит к исчезновению этой полосы и проявлению тонкой структуры краевого излучения. Кроме того, удельное сопротивление кристаллов возросло от $1.5 \cdot 10^3$ до $1.2 \cdot 10^7$ Ом·см, что можно объяснить уменьшением вакансий кадмия в кристалле вследствие заполнения их атомами цинка.

Вполне возможно, что цинк вначале при незначительной концентрации связывает другие примеси в комплексы, изымая их из рекомбинационных процессов, а затем, когда его концентрация достаточно велика, начинает заполнять вакансии кадмия. Мы полагаем, что повышение интенсивности краевого излучения в случае сильного легирования цинком вызвано уменьшением конкуренции со стороны канала рекомбинации, связанного с полосой 1.86 эВ. Однако при комнатной температуре вместе с краевым излучением эффективным оказывается свечение с максимумом 1.95 эВ, которое обусловлено рекомбинацией на медком акцепторе ($E_a = 0.1$ эВ), проявляющем себя и в спектрах поглощения [9].

Висмут и сурьма являются изоэлектронными примесями в дифосфиде кадмия по отношению к фосфору. Однако более выгодным будет замещение висмутом и сурьмой атомов кадмия вследствие близости их тетраэдрических радиусов. Кристаллы, легированные Bi и Sb, обладают интенсивным излучением в ИК области, которое проявляется в виде широких полос

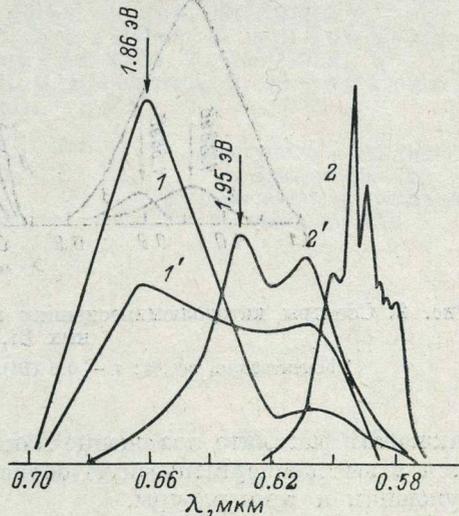


Рис. 1. Спектр краевого излучения кристаллов CdP_2 , легированных Zn, при одинаковой интенсивности возбуждения.

Концентрация Zn, вес. %: 1, 1' — 0.5, 2, 2' — 1.0. Т, К: 1, 2 — 6, 1', 2' — 300.

с максимумами 1.29 и 1.28 эВ соответственно (рис. 2). Полосы 1.86 и 1.82 эВ, очевидно, ответственны за излучательную рекомбинацию на одном и том же центре, а их энергетическое смещение вызвано влиянием дополнительно введенной примеси.

Полосы 1.29 и 1.28 эВ связаны с рекомбинацией на донорно-акцепторных парах. Так, при изучении спектров в послесвечении наблюдаются сужение и сдвиг полос в длинноволновую сторону. Температурная зависимость исследуемых полос, представленная в координатах $\ln \frac{I_0 - I}{I} = f(10^3/T)$, характеризуется двумя энергиями активации, что является характерным для донорно-акцепторной излучательной рекомбинации. Об участии в рекомбинации электронно-дырочных пар свидетельствует

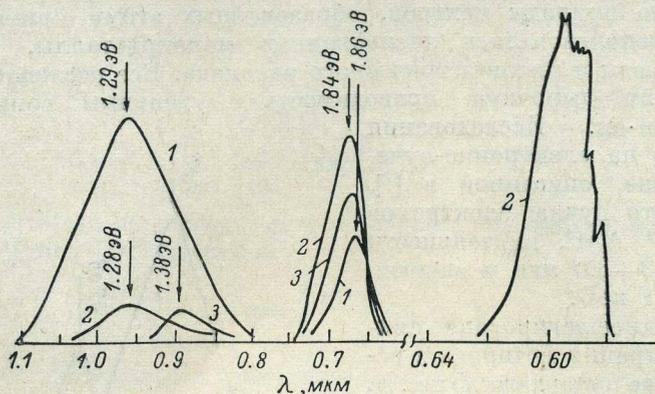


Рис. 2. Спектры катодoluminesценции кристаллов дифосфида кадмия, легированных Bi, Sb и Ga.

Концентрация, вес. %: 1 — 0.5 (Bi), 2 — 1.0 (Sb), 3 — 1.0 (Ga). $T=6$ К.

также тот факт, что положение максимумов этих полос в спектрах смещается в высокоэнергетическую область с повышением интенсивности возбуждения и температуры.

То, что при легировании сурьмой полоса 1.28 эВ менее интенсивная, чем соответствующая полоса при легировании висмутом, свидетельствует о менее эффективном замещении атомов кадмия сурьмой, чем висмутом. Сильное изменение свечения в краевой области, в частности, увеличение интенсивности, изменение перераспределения и энергетического положения азотных полос, которые ранее нами исследовались [3], по-видимому, обусловлено возможным замещением в некоторой степени сурьмой атомов фосфора наряду с более активным замещением атомов кадмия.

Примесь галлия в кристаллах CdP_2 должна вести себя как донор, замещая при этом атомы кадмия. Спектр люминесценции для этих кристаллов в области края поглощения не имеет никаких дополнительных особенностей по сравнению с исходными кристаллами, как и в случае кристаллов $\text{CdP}_2 : \text{Bi}$, поэтому они не приводятся на рис. 2. Однако наряду с красной полосой обнаружена новая полоса излучения с максимумом 1.38 эВ (рис. 2). При исследовании кинетики излучения этой полосы было установлено, что она ответственна за рекомбинацию донорно-акцепторных пар, где доноры образуются за счет примеси галлия. Слабая интенсивность полосы указывает на незначительное легирование кристалла галлием, несмотря на то, что концентрация введенной примеси в исходные компоненты составляла 1 вес. %.

Принимая эффективную энергию кулоновского взаимодействия пар порядка 0.04—0.05 эВ [5] и предполагая, что излучательные переходы осуществляются между донором примеси и акцептором в виде комплекса дважды ионизированной вакансии кадмия и однократно ионизированного

донора (0.22—0.25 эВ [5]), определили глубины залегания уровней, образованных висмутом, сурьмой и галлием, которые соответственно удалены на 1.49, 1.48 и 1.58 эВ от вершины валентной зоны.

Л и т е р а т у р а

- [1] W. Wardzynski, A. Wojakowski, W. Zdanowicz. Phys. Lett., 29A, 547 (1969).
- [2] V. S. Vavilov, V. S. Koval', V. D. Negrei, I. V. Potykevich, Yu. V. Potykevich, M. V. Chukichev. Phys. St. Sol. (b), 49, K107 (1972).
- [3] И. С. Горбань, Н. С. Корец, М. Теннакун, И. И. Тычина, М. В. Чукичев. ФТП, 15, 55 (1981).
- [4] В. С. Коваль, П. М. Кролевец, А. В. Любченко, И. В. Потыкевич, А. И. Федоров. ФТП, 6, 1142 (1972).
- [5] В. С. Коваль, А. В. Любченко, И. В. Потыкевич, А. И. Федоров. ФТП, 10, 41 (1976).
- [6] A. Lyubchenko, I. Potykevich, A. Fedorov, M. Sheinkman. Phys. St. Sol. (a), 44, 747 (1977).
- [7] В. С. Вавилов, В. С. Коваль, В. Д. Негрий, И. В. Потыкевич, Ю. В. Потыкевич, М. В. Чукичев. ФТП, 6, 281 (1972).
- [8] В. С. Вавилов, В. С. Коваль, В. Д. Негрий, И. В. Потыкевич, Ю. В. Потыкевич, М. В. Чукичев. ФТП, 7, 1148 (1973).
- [9] И. С. Горбань, В. П. Гришук, Н. С. Корец, А. В. Слободянюк, И. И. Тычина. ФТП, 15, 424 (1981).

Киевский государственный
педагогический институт
им. А. М. Горького

Поступило в Редакцию
9 июня 1980 г.
В окончательной редакции
15 сентября 1980 г.

Вып. 6

УДК 621.315.592

КОЭФФИЦИЕНТЫ УДАРНОЙ ИОНИЗАЦИИ ЭЛЕКТРОНОВ И ДЫРОК В ТВЕРДЫХ РАСТВОРАХ $GaAs_{1-x}Sb_x$

В. М. Андреев, М. З. Жингарев, О. О. Ивентьева,
В. И. Корольков, М. П. Михайлова

Среди твердых растворов соединений $A^{III}B^V$ система $GaAs_{1-x}Sb_x$ привлекает внимание исследователей как материал, пригодный для создания гетерофотоприемников для систем оптической связи в спектральном диапазоне 1—1.6 мкм [1-3]. Интерес к этой системе обусловлен не только сравнительно простой технологией ее получения, но и особенностями зонной структуры ее основных компонент [4, 5], позволяющими варьировать отношение коэффициентов ионизации электронов и дырок в зависимости от состава, ориентации, величины электрического поля и других факторов [6].

Однако до сих пор характеристики процесса ударной ионизации носителей тока в твердых растворах $GaAs_{1-x}Sb_x$ экспериментально исследованы довольно слабо, что сдерживает создание эффективных фотоприемников с лавинным умножением на их основе.

В данной работе проведено исследование лавинного умножения фототока и коэффициентов ударной ионизации электронов α и дырок β в гетероструктурах на основе $GaAs_{1-x}Sb_x$ при температурах 300 и 77 К. Гетероструктуры были получены методом жидкостной эпитаксии в открытой системе с горизонтальным расположением реактора в токе водорода. Вырашивание слоев твердого раствора проводилось на подложках $GaAs$ n -типа, ориентированных по $\langle 100 \rangle$, с концентрацией $n = (1-3) \cdot 10^{18} \text{ см}^{-3}$. Для уменьшения влияния рассогласования параметров решетки вводились буферные слои, и p - n -переход удалялся от гетерограницы. В качестве