

EESTI NSV TEADUSTE AKADEEMIA TOIMETISED.  
FÜÜSIKA \* MATEMAATIKA

ИЗВЕСТИЯ АКАДЕМИИ НАУК ЭСТОНСКОЙ ССР. ФИЗИКА \* МАТЕМАТИКА  
PROCEEDINGS OF THE ACADEMY OF SCIENCES OF THE ESTONIAN SSR.  
PHYSICS \* MATHEMATICS

1988, 37, 2

УДК 546.681 : 546.86 : 546.24 : 543.423.8.063

Х. КОППЕЛ, Т. КЮПЕРЕ, В. САММЕЛСЕЛЬГ, Я. ФРИДЕНТАЛ

### ИЗУЧЕНИЕ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ МЕЖДУ GaSb И ZnTe

H. KOPPEL, T. KOOPERE, V. SAMMELSELG, J. FRIEDENTHAL. GaSb JA ZnTe OMAVAHELISE  
VASTASTIKMOJU UURIMINE

H. KOPPEL, T. KOOPERE, V. SAMMELSELG, J. FRIEDENTHAL. THE STUDY OF INTERACTION  
BETWEEN GaSb AND ZnTe

(Представил К. К. Ребане)

Антимонид галлия и теллурид цинка — весьма перспективные материалы в полупроводниковой технике. Их постоянные решетки близки: 6,0959 Å у антимонида галлия и 6,1026 Å у теллурида цинка [1], что очень выгодно в случае использования этих веществ в одной гетеропаре. Это обстоятельство обуславливает большой интерес к изучению взаимодействия между GaSb и ZnTe. В [2] изучена раздельная и совместная растворимость легирующих элементов, в том числе Zn и Te в GaSb. Растворимость Te в GaSb изучена также в [3,4]. В [5] методом дифференциально-термического анализа исследовалось фазовое равновесие в квазибинарной системе GaSb—ZnTe. Было выяснено, что компоненты образуют эвтектическую систему с ограниченными твердыми растворами на основе обоих компонентов. По данным той же работы, эвтектическая температура системы, измеренная по кривым нагревания, составляет 680 °С. Косвенными методами определен состав первичных кристаллов.

В газовой эпитаксии в случае образования эвтектической системы между компонентами гетеропары выше эвтектической температуры рост монокристаллической эпитаксиальной пленки невозможен из-за образования жидкой фазы на поверхности подложки. Поэтому представляет большой практический интерес определение точной эвтектической температуры соответствующей системы. В настоящей работе методом дифференциально-термического анализа (ДТА) уточнена эвтектическая температура в системе GaSb—ZnTe. Температура изменялась как по кривым нагревания, так и по кривым охлаждения. Путем рентгеновского микроанализа (РМА) прямым химическим методом определен состав первичных кристаллов, выделенных из образцов, состав которых находился между составами эвтектики и теллурида цинка.

Для ДТА навески исходных веществ общей массой 0,5 г загружали в сосудики Степанова, которые эвакуировались и были запаяны. Для нагревания образцов до 1200 °С использовалась печь сопротивления. Скорость нагревания и охлаждения составляла ~10 град/мин. Тем-



пература исследуемого вещества и окиси алюминия в сосудах Степанова измерялись платино-платинородиевой дифференциальной термпарой. Сигналы десятых, сотых и тысячных долей миллivolта термоЭДС от термпары подавались на ампервольтметры Ф-30 и затем через цифро-аналоговые преобразователи Ф 4810/2 на многооточечный потенциометр КСП-4. Таким образом, каждое повышение или понижение температуры объекта записывалось на диаграммную ленту потенциометра КСП-4 многократным прохождением кареты. Каждое прохождение кареты (полная шкала потенциометра) соответствовало 1 мВ и каждое деление диаграммной ленты — приблизительно 1°C. Схема аппаратуры для записи термограмм приведена на рис. 1.

Таблица 1

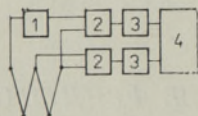


Рис. 1. Принципиальная схема аппаратуры для записи термограмм. 1 — добавочный источник напряжения; 2 — ампервольтметры Ф-30; 3 — цифро-аналоговые преобразователи Ф 4810/2; 4 — многооточечный потенциометр КСП-4.

Состав, ZnTe мол. %	Температура, °C	
	Нагревание	Охлаждение
0	712	Переохлаждение
10	710	703
20	708	706
40	708	703
50	709	697
60	711	701

GaSb полупроводниковой чистоты был использован в качестве одного из эталонных веществ для построения калибровочного графика. Его температура считалась равной 712°C. На его термограммах наблюдается один термический эффект. На термограммах сплавов GaSb и ZnTe наблюдаются два термических эффекта, которые соответствуют солидусу и ликвидусу. Для каждого состава было снято по три термограммы. Средние эвтектические температуры трех измерений приведены в табл. 1.

Как видно из полученных данных, эвтектическая температура системы GaSb—ZnTe, измеренная по кривым нагревания, равна  $709 \pm 2^\circ\text{C}$ , а по кривым охлаждения —  $702 \pm 5^\circ\text{C}$ . Полученная нами температура несколько выше, чем приведенная в [5].

Для определения состава первичных кристаллов, а также основной матрицы, применялся РМА названных двух фаз. Электронно-зондовый микроанализ исследуемых объектов проводился на установке JXA-50A.

Точность определения концентраций элементов в системе GaSb—ZnTe сильно зависит от выбранной аналитической линии, а также от режима анализа (от величины энергии электронов зонда  $E_0$ , тока зонда  $i_0$ , времен счета импульсов  $t_i$ ). Проведен анализ величин ошибок определяемых весовых концентраций, оценивая статистические ошибки определения относительных интенсивностей аналитических линий  $k_i$ , а также учитывая теоретические ошибки, вводимые при расчете весовых концентраций  $c_i = c_i(k_i)$  [6]. Данный анализ показал, что, используя аналитические линии  $\text{GaK}\alpha$ ,  $\text{ZnK}\alpha$  ( $20 \leq E_0 \leq 25$  кэВ) и  $\text{SbL}\alpha$ ,  $\text{TeL}\alpha$  ( $15 \leq E_0 \leq 20$  кэВ) для определения содержания Ga, Zn, Sb и Te соответственно, а также общее время счетов в точке  $t = 600$  с, можно эти концентрации определить с точностью  $\Sigma(c) \leq 6$  отн.% для преобладающих компонентов и с  $\Sigma(c) \leq 10$  отн.% для компонентов твердого раствора, содержание которых мало. С такой же точностью определены в настоящей работе молекулярные и атомные концентрации элементов. При использовании длинноволнового излучения ( $\text{GaL}\alpha$ ,  $\text{ZnL}\alpha$ )



неточности, вызванные только вычислениями весовых концентраций, могут превышать 35 отн. % для элементных эталонов сравнения и 11 отн. % для бинарных эталонов. Сюда добавляются ошибки измерения. Поэтому в данной работе для проведения количественных анализов использованы коротковолновые излучения.

Количественный рентгеноспектральный анализ проведен для некоторых первичных кристаллов, а также для эвтектики. Результаты анализа образца с исходным составом 60 мол. % GaSb и 40 мол. % ZnTe показаны в табл. 2.

Таблица 2

Элемент	Эвтектика		Первичные кристаллы	
	Вес. доля с	Атомн. доля х, у	Вес. доля с	Атомн. доля х, у
Zn	0,0360	0,1052	0,3284	0,9693
Ga	0,3429	0,9424	0,0149	0,0413
Te	0,0207	0,0401	0,6468	0,9782
Sb	0,5944	0,9353	0,0100	0,0158

Из приведенных данных видно, что эвтектика состоит в основном из GaSb и содержит в небольших количествах Zn и Te. Первичные кристаллы представляют собой твердый раствор на основе ZnTe, содержащий в небольших количествах Ga и Sb. При этом состав центральных частей разных первичных кристаллов в пределах ошибок определения совпадает.

Определены также концентрационные профили Zn, Ga, Te и Sb около границы между первичными кристаллами и эвтектикой в области первичной кристаллизации ZnTe. Данные (см. рис. 2) получены сканированием объекта с шагом 1 мкм и проведением в каждой точке количественного рентгеноспектрального микроанализа. Видно, что в глубине каждой области состав относительно постоянный. В переходной области концентрационные профили несколько искажены из-за конечных размеров области возбуждения рентгеновского излучения. В результате математической обработки данных профилей [6] можно показать, что в действительности границы между двумя областями гораздо более резкие. С целью иллюстрирования величин ошибок измерения на рис. 2 показана также зависимость суммы катионов  $X_{Ga}$  и  $X_{Zn}$  от места определения. Теоретически эта величина должна везде равняться единице.

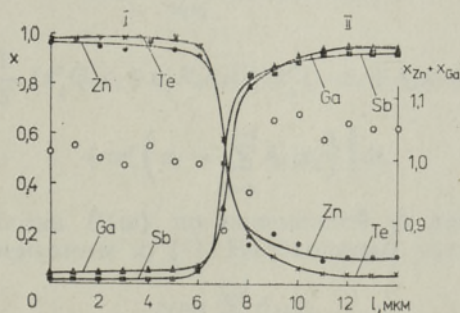


Рис. 2. Концентрационные профили Zn, Ga, Te и Sb около перехода между первичным кристаллом и эвтектикой. I — первичный кристалл, II — эвтектика.

С помощью дифференциально-термического анализа уточнена эвтектическая температура в квазибинарной системе GaSb—ZnTe. Она составляет  $709 \pm 2^\circ\text{C}$  по кривым нагревания и  $702 \pm 5^\circ\text{C}$  по кривым охлаждения. Путем количественного рентгеноспектрального микроанализа прямым методом определен состав первичных кристаллов в области между эвтектикой и ZnTe той же системы. Первичные кристаллы представляют собой твердый раствор галлия и сурьмы в теллуриде цинка.

Авторы благодарны П. Лыуку за поддержку этой работы.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Физико-химические свойства полупроводниковых веществ. М., «Наука», 1979.
2. Глазов В. М., Глаголева Н. Н., Грязева Н. Л. Изв. АН СССР. Неорган. материалы, 11, № 11, 1913—1917 (1975).
3. Дашевский М. Я., Кукуладзе Г. В., Чихадзе Г. Г. Изв. АН СССР. Неорган. материалы, 16, № 8, 1374—1379 (1980).
4. Миргаловская М. С., Комова Э. М., Ильченко Л. Н., Карпинский О. Г. Изв. АН СССР. Неорган. материалы, 13, № 9, 1574—1577 (1977).
5. Глазов В. М., Павлова Л. М., Грязева Н. Л. Изв. АН СССР. Неорган. материалы, 11, № 3, 418—423 (1975).
6. Аарик Я., Бергманн Я., Келле Х., Лыук П., Саммелсельг В., Фриденгал Я. Изв. АН ЭССР. Физ. Матем., 33, № 1, 14—31 (1984).

Институт физики  
Академии наук Эстонской ССР

Поступила в редакцию  
16/III 1987