



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

7 - 9
Iyun
June 2005
Июнь

№65
səhifə
page 240-242
стр.

Bakı, Azərbaycan

Baku, Azerbaijan

Баку, Азербайджан

**УСЛОВИЯ ВЫРАЩИВАНИЯ ПОЛНОСТЬЮ ОДНОРОДНЫХ МОНОКРИСТАЛЛОВ
Ga_{1-x}In_xSb МЕТОДОМ ДВОЙНОЙ ПОДПИТКИ РАСПЛАВА**

АЖДАРОВ Г.Х., БАГИРОВА С.М., ГУСЕЙНОВА Э.С., МИР-БАГИРОВ В.В.

*Институт Физики НАН Азербайджана,
AZ-1143, Баку, пр. Г. Джавида, 33
AZ-1143, Baku-143, E-mail: zangi@physics.ab.az*

В пфанновском приближении определены условия получения однородных монокристаллов твёрдых растворов InSb-GaSb методом Чохральского с использованием подпитывающих слитков составных компонентов. Получено соотношение, определяющее операционные параметры (скорости кристаллизации и подпитки расплава, стартовый состав расплава) для выращивания кристаллов с заданной однородной композицией.

Основной целью технологии кристаллов твёрдых растворов является обеспечение однородности состава и монокристалличности материала. Одним из прогрессивных и наиболее распространённых технологических приёмов для получения крупных и совершенных монокристаллов является метод выращивания из расплава по Чохральскому. В случае твёрдых растворов бинарных систем задача получения однородных монокристаллов из расплава осложняется явлением сегрегации компонентов при кристаллизации. Существует несколько методов, исключающих влияние сегрегации на состав расплава и растущего кристалла бинарной системы [1-6]. Сущность всех этих методов заключается в непрерывной подпитке расплава с целью поддержания её состава постоянным в процессе всего цикла кристаллизации.

Известно, что алмазоподобные полупроводниковые соединения InSb и GaSb образуют непрерывный ряд твёрдых растворов [7]. Интерес к этой квазибинарной системе определяется возможностью прецизионного управления параметрами решётки и шириной запрещённой зоны путём изменения состава матрицы. Выращиванию монокристаллов Ga_{1-x}In_xSb методом Чохральского посвящён ряд работ [7-12]. Отмечаются трудности, связанные с существенной сегрегацией компонентов и концентрационным переохлаждением расплава у фронта кристаллизации.

В настоящей работе, в пфанновском приближении, показана возможность получения полностью однородных монокристаллов Ga_{1-x}In_xSb методом Чохральского при непрерывной двойной

подпитке расплава составными компонентами системы. Определены оптимальные соотношения скоростей кристаллизации и подпитывания расплава для выращивания однородных монокристаллов твёрдых растворов

Ga_{1-x}In_xSb с заданным составом. Подобная задача была решена ранее для системы Si-Ge [13], результаты которого продемонстрировали перспективность использования метода двойной подпитки для выращивания однородных кристаллов этой системы.

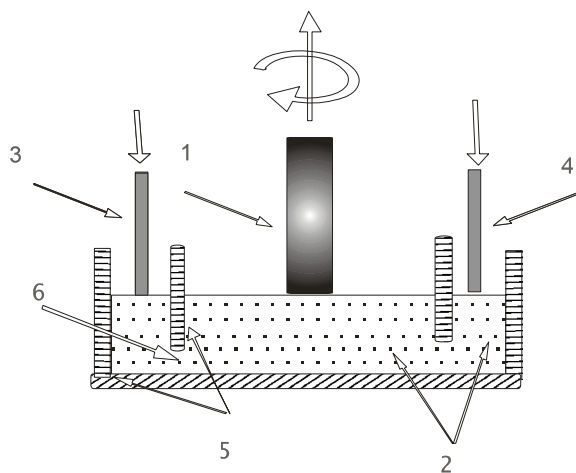


Рис.1. Схема выращивания монокристаллов твёрдых растворов Ga_{1-x}In_xSb методом двойной подпитки расплава. 1 – растущий монокристалл; 2 – расплав; 3, 4 – подпитывающие стержни из первого и второго компонентов; 5 – тигель, 6 – щель.

На рис.1 представлена схема выращивания монокристаллов твёрдых растворов бинарных систем методом двойной подпитки расплава. С момента роста монокристалла (1) из расплава (2) в него вводятся стержни из составных компонентов (3) и (4). В течении всего цикла выращивания монокристалла скорости кристаллизации и подпитывания расплава первым и вторым компонентами поддерживаются постоянными.

Задачу решали при выполнении следующих стандартных условий [1,4]: В расплаве отсутствует испарение компонентов; диффузия компонентов в растущем монокристалле пренебрежимо мала; скорости диффузии компонентов в расплаве достаточно высоки и обеспечивают равномерность его состава по всему объёму; фронт кристаллизации плоский; на фронте кристаллизации существует равновесие между твёрдой и жидкой фазами, определяемое диаграммой состояния системы.

Введём следующие обозначения: V_m^0 и V_m – объёмы расплава в тигле в начальный и текущий моменты; V_c – объём кристаллизующегося расплава в единицу времени; V_1 и V_2 – объёмы подпитывающих слитков из первого (InSb) и второго (GaSb) компонентов соответственно, вводимые в расплав в единицу времени; C_{2m} и C_{2c} – концентрации (молярные доли) второго компонента в расплаве и кристалле соответственно; C – общее количество второго компонента в расплаве; $K=C_{2c}/C_{2m}$ – равновесный коэффициент сегрегации второго компонента; t – время.

В рамках вышепринятых обозначений имеем:

$$C_{2m} = \frac{C}{V_m}$$

и

$$\frac{dC_{2m}}{dt} = \frac{\dot{C}V_m - \dot{V}_m C}{V_m^2} = \frac{\dot{C} - \dot{V}_m C_{2m}}{V_m} \quad (1)$$

По условию задачи считаем, что V_c , V_1 и V_2 не зависят от времени и в этом случае справедливы следующие уравнения:

$$\begin{aligned} \dot{V}_m &= V_m^0 - (V_c - V_1 - V_2)t, \\ \dot{C} &= -V_c C_m K + V_2 \end{aligned} \quad (2)$$

Рост кристаллов твёрдых растворов с однородным составом требует выполнения условия неизменности состава расплава со временем. Тогда из (1) и (2) имеем:

$$\frac{dC_{2m}}{dt} = 0, \quad \dot{C} - \dot{V}_m C_{2m} = 0$$

$$\begin{aligned} \text{и } C_{2m}^* &= \frac{\alpha}{K-1+\alpha+\beta}, \\ C_{2c}^* &= \frac{K\alpha}{K-1+\alpha+\beta} \end{aligned} \quad (3)$$

Здесь введены обозначения $\alpha = V_2/V_c$ и $\beta = V_1/V_c$, определяющие соотношения скоростей подпитывания и кристаллизации расплава.

Условием роста полностью однородного по составу кристалла твёрдого раствора является удовлетворение в начальный момент концентрации второго компонента в расплаве C_{2m}^* уравнению (3). В отличие от метода подпитки расплава вторым компонентом, когда рост однородных кристаллов возможен только при $K>1$ [3,4], в случае двойной подпитки расплава выращивание таких кристаллов может быть обеспечено как при $K>1$, так и при $K<1$. Согласно уравнению (3) определение зависимостей C_{2m}^* и C_{2c}^* от α и β требует знания K во всём интервале концентраций компонентов. Рис.2 демонстрирует зависимость коэффициента распределения GaSb от состава кристалла, вычисленную из диаграммы состояния системы $Ga_{1-x}In_xSb$.

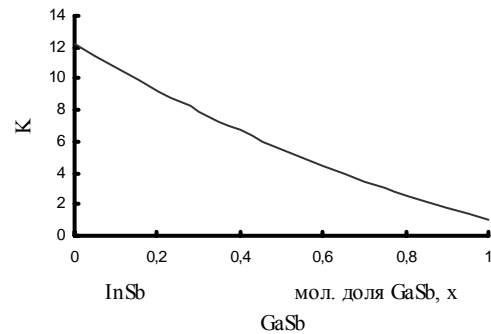


Рис. 2. Зависимость коэффициента сегрегации GaSb (K) от состава кристалла $Ga_{1-x}In_xSb$.

Как видно из рис.2 коэффициент сегрегации GaSb изменяется весьма существенно с составом от 12,2 при $x \rightarrow 0$ до 1 при $x \rightarrow 1$. Изначально задав значение $\alpha + \beta$, для конкретного C_{2c}^* из данных рис.2 определяем соответствующее значение K . Затем с помощью уравнения (3) находим α и β . Рассчитанные таким образом значения α и β для различных заданных C_{2c}^* в интервале $0 < x < 1$ определяют график зависимости равновесной концентрации кристалла C_{2c}^* (или $C_{2m}^* = C_{2c}^*/K$) от α и β . На рис.3, для примера приведены такие графики для трёх различных значений $\alpha + \beta$. Графики определяют стартовый состав расплава и соотношение скоростей подпитывания и

кристаллизации расплава для выращивания однородного кристалла $Ga_{1-x}In_xSb$ с заданным составом (x). Как видно, варьированием значений α , β и $\alpha + \beta$ можно в различных режимах получать полностью однородные кристаллы твёрдых растворов во всём ряду концентраций. Очевидно, что оптимальные режимы, для выращивания однородного монокристалла конкретного состава той или иной бинарной системы, будут устанавливаться экспериментальным путём. Отметим, что практическая реализация получения однородных монокристаллов $Ga_{1-x}In_xSb$, может быть реализована на установке, описанном в работе [14].

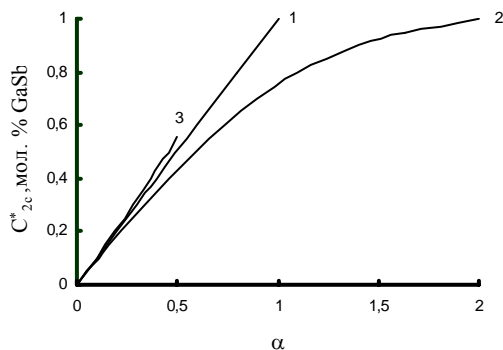


Рис.3. Зависимость состава (C_{2c}^*) однородного кристалла $Ga_{1-x}In_xSb$ от α при выращивании методом двойной подпитки расплава. 1) $\alpha + \beta = 1$; 2) $\alpha + \beta = 2$; 3) $\alpha + \beta = 0.5$

Сравним предложенный метод двойной подпитки расплава с известными методами Петрова [2] и подпитки расплава вторым компонентом [3] для выращивания однородных монокристаллов твёрдых растворов. Суть метода Петрова заключается в том, что изменение состава расплава, происходящее в процессе роста кристалла по Чохральскому,

непрерывно компенсируется введением в него подпитывающего слитка со скоростью и с диаметром и составом равным таковым для растущего монокристалла твёрдого расплава. Существенным недостатком этого метода является необходимость предварительного изготовления гомогенных подпитывающих поликристаллических стержней различного состава, что составляет довольно сложную задачу. Кроме этого в процессе изготовления в подпитывающие стержни неминусово вводятся неконтролируемые примеси. В случае двойной подпитки расплава стержнями составных компонентов однородность материала, вводимого в расплав полностью гарантируется. Состав растущего однородного монокристалла управляется простым изменением скоростей введения подпитывающих стержней в расплав. Очевидно, что метод подпитки расплава вторым компонентом может быть рассмотрен как частный случай метода двойной подпитки. Последний обладает более широкими возможностями для управления как составом и массой растущего монокристалла твёрдого раствора, так и расплава в тигле.

Резюмируя вышеприведенные данные и результаты, можно сделать следующее заключение. Метод выращивания монокристаллов твёрдых растворов $Ga_{1-x}In_xSb$ с использованием непрерывной двойной подпитки расплава слитками составных компонентов, обеспечивает получение полностью однородных кристаллов во всём непрерывном ряду композиций. Установленные теоретические зависимости C_{2m}^* и C_{2c}^* от α и β определяют стартовый состав расплава и соответствующие значения соотношения скоростей подпитывания и кристаллизации расплава для получения однородного кристалла с заданной композицией.

- [1]. Глазов В.М., Земсков В.С. Физико-химические основы легирования полупроводников. М.: Наука, 1967, 371 с.
- [2]. Петров Д.А. Изв. АН СССР, Отд. Тех. наук 1956,11, 82.
- [3]. Агаев Н.А., Мир-Багиров В.В., Аждаров Г.Х. Изв. АН СССР. Неорган. Материалы. 1989, т.25, № 7, 11 31.
- [4]. Azhdarov G Kh., Kucukomeroglu T., Varilci A., Altunbas M., Kobya A., Azhdarov P.G. Journal of Crystal Growth 2001, v. 226, 437.
- [5]. Campbell T.A., Schweizer M., Dold P. Croll A., Benz K.W. Journal of Crystal Growth 2001, v. 226, 231.
- [6]. Nakajima K., Kusunoki T., Azuma Y., Usami N, Fujima K., Ujihara T., Sazaki G., Shishido T. Journal of Crystal Growth 2002, v. 240, 373.
- [7]. Tsaor S.C. Journal of Crystal Growth 2003, v. 249, 470.
- [8]. Micklethwaite W. F., Fines R.G., Freschi D.J. 1995, SPIE 2554, 167.
- [9]. Bachmann K.J., Thiel F.A., Schreiber H., Rubin J.J. Journal Electron. Matter. 1980, 9, 445.
- [10]. Kozhemyakin G.N. Journal of Crystal Growth 2000, v. 220, 39.
- [11]. Tanaka A., Watanabe A., Kimura M., Sukegawa T. Journal of Crystal Growth 1994, v.135,269.
- [12]. Tanaka A., Shintani J., Kimura M., Sukegawa T., Journal of Crystal Growth 2000, v.209, 625.
- [13]. Аждаров Г.Х., Багирова С.М., Мамедов К.Н. Известия НАН Азербайджана, 2003, т.13, №2, 35.
- [14]. Abrosimov N.V., Rossolenko S.N., Thieme W., Gerhardt A., Schroeder W. Journal of Crystal Growth 1997, v. 174, 182.