Вестник Харьковского университета, серия "Физика", 1998, № 1, с. 87-89

Концентрационные зависимости составов трёхкомпонентных вакуумных конденсатов на плоской подложке

В.М Андронов, И П Гребенник, С В Дукаров*

Харьковский государственный университет.

Украина, 310077 Харьков, пл. Свободы 4.

**Научный физико-технологический центр, г. Харьков.*

Представлен способ описания концентрационных зависимостей трехкомпонентных вакуумных конденсатов в ортогональных координатах. Рассмотрены случаи получения сплавов при различных вариантах размещения трех испарителей и конденсации слоев на плоской подложке. Для определенных вариантов размещения испарителей показана возможность получения квазибинарных сечений трехкомпонентных сплавов широкого интервала составов.

Наводиться спосіб описування концентраційних залежностей трьохкомпонентних вакуумних конденсатів в ортогональних координатах. Разглянуто випадки одержання сплавів при різних варіантах розташування трьох випарників і конденсації шарів на плоскій підкладці. Для певних варіантів розташування випарників показано можливість одержання квазібінарних перетинів трьохкомпонентних сплавів широкого интервалу складів.

УДК 539.216.2

Известно, что концентрации трехкомпонентных вакуумных конденсатов, как и двойных сплавов переменного состава, определяются законами распределения на подложке толщин компонентов, которые в свою очередь зависят от типа испарителей, геометрии испарения и массы испаряемых веществ [1,2]. Эти данные позволяют рассчитывать концентрации c_i (i = 1,2,3) компонентов в любой точке подложки (x,y). Однако, при построении концентрационных зависимостей в концентрационном треугольнике используемые косоугольные координаты c_i иногда бывает целесообразно заменить на декартовы z,t, как это сделано в работе [3]. Здесь показано, что при получении тройных сплавов путем испарения и конденсации из двух испарителей соответствующие концентрации укладываются на прямые линии $z = At + B$ и представляют собой квазибинарные сечения тройной диаграммы. При этом параметры прямых A и B не зависят от законов распределения толщины конденсатов и могут быть заранее заданы массами испаряемых веществ.

Представляет интерес распространить способ описания концентрационных зависимостей в ортогональной системе на другие варианты получения трехкомпонентных вакуумных конденсатов. В работе рассматриваются случаи использования трех испарителей при различных вариантах их размещения.

Пусть тройные сплавы получены путем испарения из k испарителей (k = 1,2,3) компонентов i = 1,2,3 с массами m_{ik} и конденсации на плоскую протяженную подложку Тогда в точке M на подложке, отстоящей от проекций испарителей на ее плоскость на расстояниях r_k, концентрации c_i тройных сплавов могут быть рассчитаны из выражений

$$c_i = \frac{\sum_k \rho_i l_{ik}}{\sum_k \sum_i \rho_i l_{ik}} \qquad (1)$$

Здесь $l_{ik} = \frac{1}{\rho_i} m_{ik} L_k(r)$ — толщины пленки компонента i, испаренного из испарителя k и сконденсированного в точке (x,y), m_{ik}, ρ_i массы и плотности компонентов, $L_i(r)$ функции распределения, конкретный вид которых зависит от типа испарителя и геометрии напыления.

Для анализа концентрационных зависимостей введем, как в [3], декартову систему координат $z - t$ (рис.1). разместив ее так, чтобы начало координат совпадало с одной из вершин концентрационного треугольника (например, 1). Тогда координаты z,t точки N внутри концентрационного треугольника связаны с концентрациями c_i соответствующего этой точке тройного сплава формулами

$$z = c_2 \sin 60°, \quad t = 1 - c_1 \quad c_2 \cos 60° \qquad (2)$$

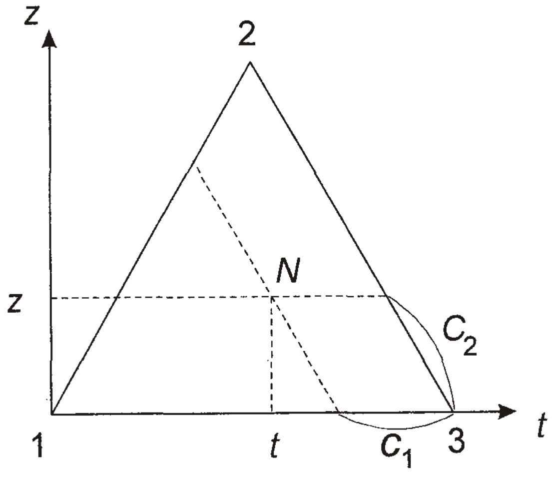

Рис 1 Взаимное расположение декартовых $z - t$ и косоугольных c_i координат концентрационного треугольника.

Рассчитав значения c_1, c_2 по (1) в различных точках подложки и определив из (2) соответствующие им величины z,t можно затем построить зависимость $z=f(t)$.

Расчеты c_1, c_2 целесообразно производить, преобразовав выражения (1) к виду

$$c_1 = \frac{1}{1+\alpha+\beta}, \quad c_2 = \frac{\alpha}{1+\alpha+\beta}, \qquad (3)$$

$$\text{где } \alpha = \frac{\sum m_{2k} L_k}{\sum m_{1k} L_k}, \quad \beta = \frac{\sum m_{3k} L_k}{\sum m_{1k} L_k} \qquad (4)$$

В этих обозначениях формулы (2) для z,t приобретают вид

$$z = \frac{\sqrt{3}}{2} \frac{\alpha}{1+\alpha+\beta}, \quad t = \frac{\alpha + 2\beta}{2(1+\alpha+\beta)}. \qquad (5)$$

Как видно из (5), $z=f(t)$ весьма сложным образом зависит от L_k. В первом приближении можно аппроксимировать зависимость $z = f(t)$ для близких точек M' и M' на подложке линейной функцией. Тогда записав соответствующие этим точкам на подложке выражения для (z',t'),$(z'' t'')$, получим параметры A, B прямой $z = At + B$ в виде

$$A = \sqrt{3} \frac{(\alpha'' - \alpha') + (\alpha''\beta' - \alpha'\beta'')}{(\alpha'' - \alpha') + 2(\beta'' - \beta') - (\alpha''\beta' - \alpha'\beta'')},$$
$$B = -\sqrt{3} \frac{(\alpha''\beta' \quad \alpha'\beta'')}{(\alpha'' - \alpha') + 2(\beta'' - \beta') - (\alpha''\beta' - \alpha'\beta'')} \qquad (6)$$

Таким образом, в отличие от [3], в общем случае при использовании трех испарителей распределение концентрации трехкомпонентного сплава уже не описывается прямой в координатах $z - t$, а параметры A,B аппроксимированных участков функции $z = f(t)$ существенно зависят от L_k.

Рассмотрим конкретные варианты концентрационных зависимостей при различных схемах расположения испарителей и подложки.

1 Испарители размещены в вершинах равностороннего треугольника, $m_{ik} = 0$ при $i \neq k$ (случай испарения чистых компонентов).

При использовании плоских направленных испарителей малой площади [2], расположенных на расстояниях R от подложки, выражения (4) преобразуются к виду

$$\alpha = \frac{m_{22}}{m_{11}} \frac{L_2}{L_1}, \quad \beta = \frac{m_{33}}{m_{11}} \frac{L_3}{L_1}, \qquad (7)$$

где $L_k = \dfrac{R^2}{\pi\left(R^2 + r_k^2\right)^2}$

При аппроксимации концентрационной зависимости трехкомпонентного сплава прямой $z = At + B$ параметры прямой описываются формулами

$$A = \sqrt{3} \frac{m_{11}m_{22}(\bar\alpha'' - \bar\alpha') + m_{22}m_{33}(\bar\alpha''\bar\beta' - \bar\alpha'\bar\beta'')}{m_{11}m_{22}(\bar\alpha'' - \bar\alpha') + 2m_{11}m_{33}(\bar\beta'' - \beta') - m_{22}m_{33}(\bar\alpha''\beta' \quad \bar\alpha'\beta'')},$$
$$B = -\sqrt{3} \frac{m_{22}m_{33}(\alpha''\beta' - \bar\alpha'\bar\beta'')}{m_{11}m_{22}(\bar\alpha'' - \bar\alpha') + 2m_{11}m_{33}(\bar\beta'' \quad \bar\beta') - m_{22}m_{33}(\bar\alpha''\bar\beta' - \alpha'\bar\beta'')} \qquad (8)$$

Здесь введены обозначения $\bar\alpha = L_2/L_1$, $\bar\beta = L_2/L_1$

Как видно из (8), постоянство величин A и B можно обеспечить, если $\alpha = \beta$ Этому условию отвечают трехкомпонентные сплавы, расположенные вдоль прямых на подложке, совпадающих с медианами равностороннего треугольника 1-2-3 со стороной D (рис. 2). Так, например, если 1,2,3 - точки, в которые проектируются испарители, а ось x совпадает с медианой треугольника 1-2-3, то в этом случае для точки M на подложке имеем

$$r_1 = x,\ r_2 = r_3 = \sqrt{\frac{D^2}{4} + \left(\frac{D\sqrt{3}}{4} - x\right)^2},\ \alpha = \beta$$

Получающиеся вдоль этого направления сплавы, как и в случае [3], представляют собой квазибинарные сечения тройной диаграммы, причем прямая в координатах z t характеризуется параметрами

$$A = \sqrt{3}\,\frac{m_{11}m_{22}}{m_{11}m_{222} + 2m_{11}m_{33}},\quad B = 0. \qquad (9)$$

Таким образом вдоль трех медиан треугольника можно получить сплавы, концентрационные зависимости которых в координатах $z - t$ линейны.

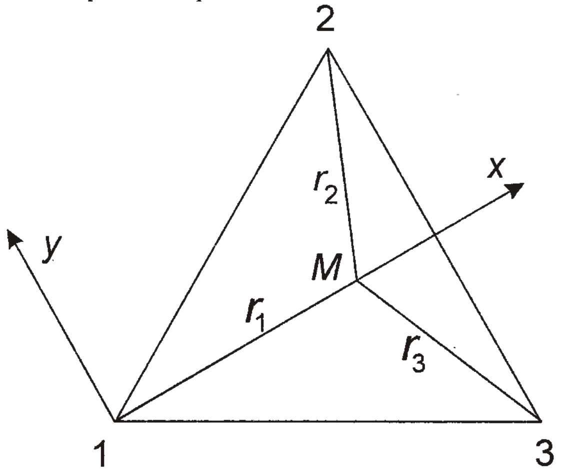

Рис. 2. Проекции испарителей (1,2,3) на плоскость подложки. Ось x совпадает с одной из медиан.

2. Испарители k=1,2,3 размещены в плоскости, перпендикулярной подложке.

Пусть испарители расположены на равных расстояниях от плоскости подложки R и на расстояниях $D/2$ друг от друга. В этом случае имеем $r_1 = x$, $r_2 = D\ 2 - x$, $r_3 = D - x$ (прямая проходит через проекции 1-2-3 испарителей в плоскости подложки, начало координат совпадает с точкой 1),

$$\alpha = \left[\frac{R^2 + x^2}{R^2 + (D\ 2 - x)^2}\right]^2,\quad \beta = \left[\frac{R^2 + x^2}{R^2 + (D - x)^2}\right]^2,$$

а выражения для A, B имеют тот же вид, что и (6).

Можно распространить такой же подход и к другим вариантам размещения испарителей и испаряемых материалов.

Выводы

При испарении чистых компонентов из трех испарителей в общем случае концентрационные зависимости трехкомпонентных сплавов весьма сложным образом зависят от функций распределения конденсатов на подложке. При использовании декартовой системы координат они могут быть аппроксимированы линейными функциями и представляют собой наборы квазибинарных сечений, положение которых определяется величинами $\alpha', \alpha'', \beta', \beta''$

Подбор экспериментальных параметров в $L_k(r)$ позволяет создать условия, когда $\beta'' - \beta' \cong \alpha''\beta'\ \ \alpha'\beta''$ и тогда, введя $p = \dfrac{\alpha'' - \alpha'}{\beta'' - \beta'}$, имеем

$$A = \sqrt{3}\,\frac{m_{22}(pm_{11} + m_{33})}{pm_{11}m_{22} + 2m_{11}m_{33} - m_{22}m_{33}},$$
$$B = -\sqrt{3}\,\frac{m_{22}m_{33}}{pm_{11}m_{22} + 2m_{11}m_{33} - m_{22}m_{33}}, \qquad (10)$$

т.е. $A \cong const$, $B \cong const$

Таким образом, подбирая экспериментальные условия можно получать линейные зависимости $z = f(t)$ для трехкомпонентных сплавов широкого интервала составов.

1 С.А. Векшинский. *Новый способ металлографического изучения сплавов,* ОГИЗ-Гостехиздат Москва Ленинград (1944).
2. *Технология тонких пленок.* Справочник, т 1 Советское радио, Москва (1997).
3. В.М. Андронов, И.П. Гребенник, С.В. Дукаров *Труды украинского вакуумного общества*, **т.2**, 55 (1996).

Concentration dependencies of contents of ternary vacuum condensates on flat substrates

V.M. Andronov, I.P Grebennik, S.V Dukarov

A method describing the concentration dependences of ternary vaccum condensates in orthogonal coordinates is outlined. Various mutual dispositions of three evaporators for condensation of layers on a flat substrate are discussed. With certain dispositions a possibility to obtain quasi-binary cross sections of ternary alloys in a broad range of contents is predicted.