

УДК 541.135.5

Е.Н. Козырев, В.И. Алехин

**ОПРЕДЕЛЕНИЕ МАТЕМАТИЧЕСКИХ МОДЕЛЕЙ
МНОГОФАЗОВЫХ ПОЛУПРОВОДНИКОВЫХ
ПЛЕНОК, ИСПОЛЬЗУЯ СИНГУЛЯРНО
ВОЗМУЩЕННЫЙ ЭЛЕКТРОЛИЗ**

С помощью математического моделирования проведено изучение химической кинетики получения полупроводниковых пленок путем электролиза растворов солей проводников и методов ее управления.

Ключевые слова: математическое моделирование, полупроводниковые пленки, электролиз солей.

П остроенный класс асимптотических решений вида

$$I = Y\left(\frac{S}{\varepsilon}, x, y, z, t\right) \quad [1], \text{ является частным.}$$

Такие однофазовые решения существуют при достаточно малых t . В некоторый момент времени в технологических процессах получения мышьяка и галлия происходит переход к многофазовым состояниям.

Далее, покажем, что за критическими временами решение представляет собой нелинейную суперпозицию вида:

$$I = Y\left(\frac{S_1}{\varepsilon}, \frac{S_2}{\varepsilon}, \dots, \frac{S_m}{\varepsilon}, x, y, z, \varepsilon\right), \quad (1)$$

где $Y(\tau_1, \tau_2, \dots, \tau_m, x, y, z, \varepsilon)$ – гладкая функция своих аргументов, 2π – периодическая по аргументам $\tau = (\tau_1, \tau_2, \dots, \tau_m)$, $S_m(x, y, z, t)$ – гладкие вещественнозначные функции. Формула (1) определяет асимптотическое решение вне окрестности фокальных точек.

Далее, рассмотрим в качестве примера эталонное уравнение для функций

$$I_0 = Y_0\left(\frac{S_1}{\varepsilon}, \frac{S_2}{\varepsilon}, x, y, z, \varepsilon\right), \quad (m = 2), \quad (1)$$

Отвечающее одномерному уравнению Сине-Гордона с переменными коэффициентами.

$$\varepsilon^2 \left(\frac{\partial^2 U}{\partial t^2} - U_{xx} \right) - \text{Sin}U = 0. \quad (2)$$

Эталонное уравнение в обозначениях $V_j = \frac{\partial S_j}{\partial t}$, $U_j = \frac{\partial S_j}{\partial x}$, $j = 1, 2$

будет иметь вид:

$$\begin{aligned} (V_1^2 - U_1^2) \frac{\partial^2 I_0}{\partial \tau_1^2} + 2(V_1 V_2 - U_1 U_2) \frac{\partial^2 I_0}{\partial \tau_1 \partial \tau_2} + \\ + (V_2^2 - U_2^2) \frac{\partial^2 I_0}{\partial \tau_2^2} - \text{Sin}I_0 = 0 \end{aligned} \quad (3)$$

Далее, сделаем замену переменных $\tau_j = \tau_j(\xi, \eta) = (V_j \xi + U_j \eta)$; $j = 1, 2$ в уравнении (3), тогда в новых переменных уравнение запишется в следующей форме

$$W_{\xi\xi} - W_{\eta\eta} - \text{Sin}W = 0, \quad (4)$$

где $W(\xi, \eta)$, есть функция I_0 в переменных ξ, η .

Решение данного уравнения впервые было найдены С.П. Новиковым, В.А. Дубровиным, В.Б. Матвеевым [2].

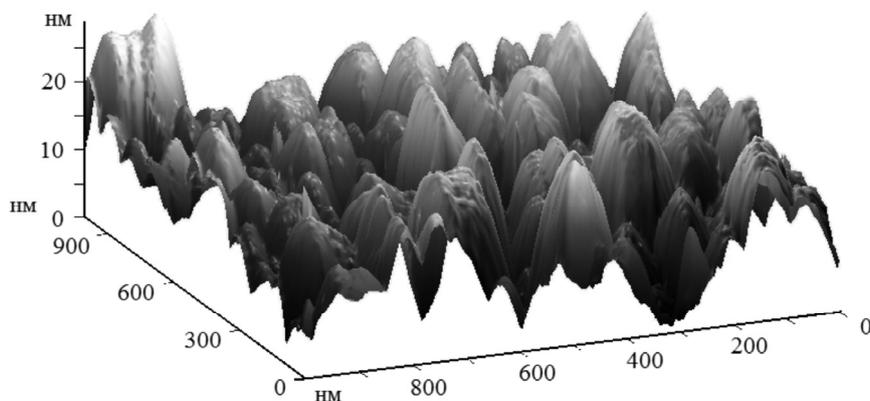


Рис. 1. Морфология поверхности двухслойной пленки Sn/Cu по данным АСМ

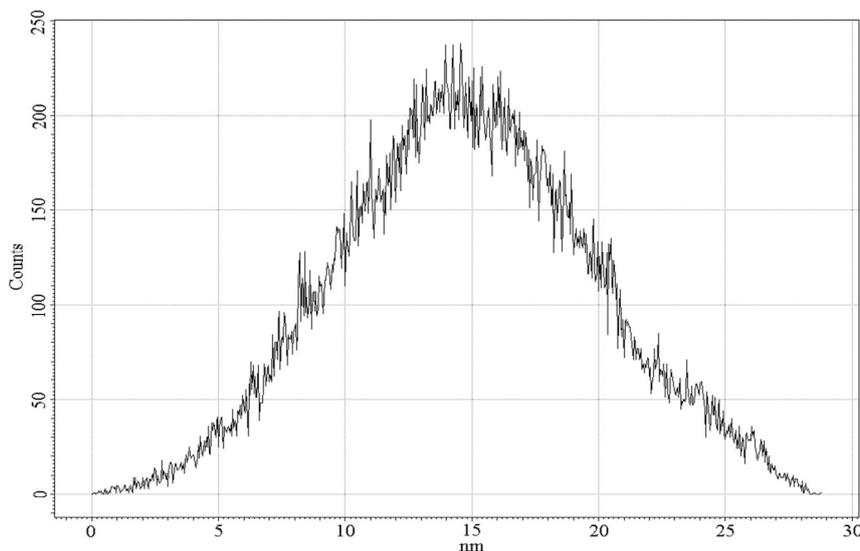


Рис. 2. Гистограмма распределения неровностей поверхности по размерам для двухслойной пленки Sn/Cu

Таким образом, в некоторый критический момент времени технологический процесс осаждения полупроводников A_3B_5 может, имеет двухфазовый (многофазовый) характер.

Итак, в случае многофазовых решений мы получим пленку со сложной морфологией разрыхленности ее поверхности.

Также как и в однофазовом случае разрыхленностью можно пренебречь в случае, если эта пленка получена при помощи регулярно возмущенного электролиза.

В случае, когда пленка получена при помощи сингулярно возмущенного электролиза разрыхленностью, пренебречь уже нельзя.

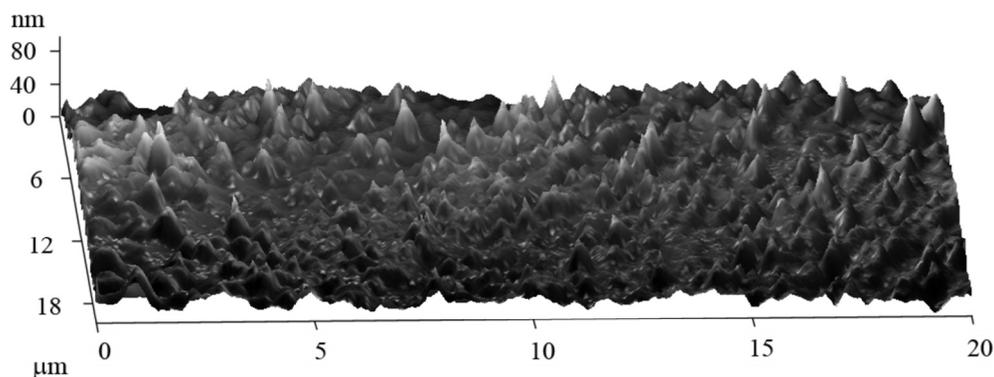


Рис. 3. Скан поверхности чистого Sn

Процесс определения пленки в таком случае строится следующим образом.

Первоначально необходимо регуляризовать сингулярно возмущенную задачу, которая описывает

электролиз (является моделью электролиза).

В результате сингулярно возмущенная задача приведет к рекуррентной цепочке уравнений, которые решаются уже известными методами.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Козырев Е.Н., Алехин В.И. Построение математических моделей однофазовых полупроводниковых пленок при помощи сингулярно возмущенного электролиза. Горный информационно-аналитический бюллетень, № 10, 2011, с.

2. Дубровин Б.А., Матвеев В.Б., Новиков С.П. Нелинейное уравнение типа Кортевега-де Фриза, конечнозонные операторы и абелевы многообразия. Успехи мат. Наук, 1976, 31, №1, с. 55-136.

ИИЭБ

КОРОТКО ОБ АВТОРАХ

Козырев Евгений Николаевич – доктор технических наук, профессор, зав. каф. Электронных приборов,

Алехин Вадим Иванович – кандидат технических наук, старший научный сотрудник, докторант, кафедра теории и автоматизации металлургических процессов и печей, Северо-Кавказский горно-металлургический институт (Государственный технологический университет), skgtu@skgtu.ru

