

$$x_{\text{норм.лин}} = \frac{x}{I_0 + 0,5D_{\text{от}}}, \quad (2)$$

где  $x$  – перемещение наконечника в абсолютных значениях.

Анализируя влияние на погрешность нелинейности зависимости  $\frac{U_{\text{вых}}}{U_m}$  от

$x_{\text{норм.лин}}$ , Определим погрешность определяем относительно прямых:

$$\begin{aligned} \left( \frac{U_{\text{вых}}}{U_m} \right)_{11} &= 0,61x_{\text{норм.лин}} \quad \text{для } \chi = 0; \\ \left( \frac{U_{\text{вых}}}{U_m} \right)_{12} &= 0,4027x_{\text{норм.лин}} \quad \text{для } \chi = 45^\circ. \end{aligned} \quad (3)$$

Как видно из рисунков 2, 3 значения приведённой погрешности нелинейности, определённые таким образом, не превышают 8%. При этом годограф вносимых напряжений имеет вид, показанный на рисунке 3. Из анализа годографа видно, что погрешность в последнем варианте не превышает  $\pm 2,5\%$ .

#### Список использованных источников

1. Ухлинов Д.И. Двухкоординатные вихретоковые преобразователи механических величин с микропроцессорной коррекцией функции преобразования. – Самара: Самарский научный центр РАН, 2006. – 142 с., ил.

## МОДЕЛИРОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА РОСТА ТОНКИХ ПЛЕНОК ЗАДАННОЙ СТРУКТУРЫ

А.Н.Осипов, А.В. Архипов

Самарский государственный аэрокосмический университет, г. Самара

В работе рассматривается компьютерное моделирование технологических процессов роста тонких поликристаллических алюминиевых пленок на диэлектрическом основании. Целью работы является создание программного продукта, позволяющего прогнозировать параметры растущей тонкой алюминиевой пленки в зависимости от параметров технологического процесса.

Структурное совершенствование тонких пленок позволяет решать вопросы, возникающие вследствие микроминиатюризации электронных изделий и, в том числе, позволяет достичь существенного увеличения плот-

ности тока, протекающего по пленочной металлизации. Все это, в конечном итоге, приводит к увеличению надежности изделий микроэлектроники.

Для построения модели был выбран метод вероятностных клеточных автоматов, который обладает рядом преимуществ по сравнению с другими методами, это:

- Возможность рассмотрения широкого спектра физико-химических процессов с единой методологической позиции.
- Естественный (без привлечения дополнительных средств) учет флуктуации параметров моделируемой системы.
- Наглядность результатов моделирования.
- Большая информационная емкость результатов моделирования.

Для моделирования был взят процесс осаждения тонкопленочных структур в вакууме при использовании метода термического испарения металла.

Была разработана физико-математическая модель. При этом считаем, что пленка растет по островковому механизму Фольмера-Вебера. Рассматриваются вопрос определения ориентации зародышей новой фазы на поверхности подложки, физические процессы роста тонких пленок, такие как; термодинамика адсорбированного слоя, процессы зародышеобразования, поверхностная миграция островков и их коалесценция. Также было уделено внимание стадии остальдовского созревания, поскольку именно на этой стадии в большей степени возможно управление структурой тонких пленок.

Рассматриваются базовые принципы, методика построения и программное обеспечение вероятностного клеточного автомата.

Проводится численное моделирование технологического процесса роста тонких пленок заданной структуры. В результате проведенных численных экспериментов получены следующие результаты: значения неравномерностей толщины пленки и плотностей границ зерен, полученные из численных экспериментов, колебались, в зависимости от условий роста, от  $\pm 14,1\%$  до  $\pm 28,85\%$  и от  $0,037$  до  $0,071$  соответственно.

Уделяется внимание вопросам экстраполяции результатов моделирования и оценки адекватности модели. Показано, что результаты моделирования носят неслучайный характер, поэтому данная модель применима для моделирования технологического процесса роста тонких пленок заданной структуры.

Использование клеточного автомата действительно позволяет наглядно представить результаты моделирования, что вкупе с численными величинами, характеризующими результат, поможет эффективно управлять технологическим процессом и структурой тонких пленок.

Стоит сказать, что проблема широкого производственного распространения метода вероятностного клеточного автомата связана не с трудно-

стями его построения как такового, а со сложностями определения количественных значений параметров, входящих в используемые им модели физико-химических процессов.

Аппарат клеточных автоматов в силу своей чрезвычайной наглядности и простоты восприятия результатов моделирования может быть с успехом применен в учебной практике для более глубокого изучения технологии микроэлектроники.

## **МЕТОДИКА ИНДИВИДУАЛЬНОГО ПРОГНОЗИРОВАНИЯ НАДЕЖНОСТИ КОСМИЧЕСКИХ РАДИОЭЛЕКТРОННЫХ СРЕДСТВ**

С.В. Тюлевин

Самарский государственный аэрокосмический университет, г. Самара

Для повышения надежности космической техники в последние годы широко используют различные методы индивидуального прогнозирования (ИП).

В данной работе предлагается методика ИП надежности космических радиоэлектронных средств. Она включает в себя следующие этапы:

1. Анализ методов индивидуального прогнозирования.
2. Предварительный выбор информативных параметров и параметров ИП.
3. Разработка методики исследовательских испытаний.
4. Обучающий эксперимент для выборки исследуемых изделий.
5. Окончательный выбор информативных параметров.
6. Выбор метода прогнозирования.
7. Разработка алгоритма индивидуального прогнозирования.
8. Разработка программы ИП.
9. Оценка качества программного продукта.
10. Разработка оператора индивидуального прогнозирования.
11. Оптимизация оператора ИП.
12. Разработка или выбор новых информативных параметров.
13. Оценка качества оператора ИП.
14. Разработка и аттестация рабочей методики прогнозирования.
15. Рабочее прогнозирование изделий исследуемого класса.

Кроме того, в ряде случаев, например при изменении конструктивно-технологического варианта изделий или при изменении условий их экс-