

рактически характеризующие динамику движения. Здесь  $\psi$  – коэффициент апериодичности колебаний,  $\sigma$  – перерегулирование, а  $\eta = \psi^{-1} \sqrt{1 - \psi^2}$  – коэффициент колебательности. В случае  $\psi = 1$  уравнение (9) соответствует апериодическому звену второго порядка.

Соответствующее уравнению эталонного движения характеристическое уравнение:

$$p^2 + 2\psi\omega_0 p + \omega_0^2 = 0$$

имеет действительный корень  $p_1 = -\psi\tau_x^{-1}$  кратности 2. Показатель колебательности  $\eta = 0$ , а время переходного процесса  $t_x \approx 5\tau_x$ .

При уменьшении коэффициента затухания показатель колебательности  $\eta$  увеличивается, что приводит к перерегулированию и увеличению длительности переходных процессов  $t_x$ .

При  $\psi = \sqrt{2}/2 \approx 0,707$  показатель колебательности  $\eta = 1$ , а величина перерегулирования  $\sigma = 5\%$ . При этом длительность переходного процесса оказывается равной  $t_x \approx 3\tau_x$ . Такой переходный процесс в технике автоматических систем считают наилучшим. В случае  $\psi < \sqrt{2}/2$  показатели переходного процесса ухудшаются: увеличиваются  $\eta$ ,  $\sigma$  и  $t_x$ .

Таким образом, по заданным требованиям к управляемой системе можно указать (с помощью данных, аналогичных таблице 1) параметры уравнения эталонной системы.

Далее считают, что задана длительность  $t_x$  переходных процессов в замкнутой системе. Наряду с этим принимается, что эталонная система (8) должна обладать такими динамическими свойствами, при которых коэффициент затухания, или коэффициент демпфирования колебаний,  $\psi = \sqrt{2}/2$ . В таком случае переходный процесс  $x^*(t) \rightarrow \bar{x}$  в системе (8) будет иметь перерегулирование  $\sigma \approx 5\%$ . Параметры  $\beta_0, \beta_1$  находят из зависимости:

$$2\psi\omega_0 = \beta_1, \quad \omega_0^2 = \beta_0. \quad (11)$$

Принимая  $\psi = \sqrt{2}/2$ , формулы (11) можно записать с учетом (10) в следующем виде:

$$\beta_0 = \frac{1}{\tau_x^2}, \quad \beta_1 = \frac{\sqrt{2}}{\tau_x}. \quad (12)$$

Таким образом, параметры эталонного управления  $\beta_0, \beta_1$  вычисляются непосредственно по величине  $t_x$ , характеризующей качество переходных процессов в проектируемой системе управления.

УДК 621.306

## ОЦЕНКА КАЧЕСТВА СТРУКТУРЫ ИЗОЛЯЦИОННЫХ ИЗДЕЛИЙ

Сычик В.А., Уласюк Н.Н., Глухманчук В.В.

Белорусский национальный технический университет, Минск, Республика Беларусь

Для контроля качества структуры изоляционных изделий широко используются радиотехнический, ультразвуковой и методы, базирующиеся на интенсивности поглощения либо отражения от образцов высокоэнергетических частиц. Эффективным методом контроля целостности изоляционных изделий, например изделий из кожи, является электрический метод, базирующийся на измерении электрических полей и их градиентов [1].

Способ точного измерения электростатических полей [2] основан на периодическом экспонировании и экранировании помещенного в электростатическое поле металлического электрода и измерении информационного сигнала в нагрузке-затворе МДП-триодной структуры с индцированным каналом. В случае, если время экспонирования  $t_{es} = \tau_1$ , а время экранирования  $t_{ec} = \tau_2$ , где  $\tau_1$  – постоянная времени индукции на измерительном электроде максимально достижимого заряда  $q_m$ ;  $\tau_2$  – время стекания  $q_m$  через входное сопротивление МДП-структур, выходное напряжение, выделяемое

в истоковой цепи МДП-транзистора, максимальное и составляет:

$$U_{вых.} = K_1 SR_H E_x \quad (1)$$

где  $K_1$  – коэффициент, учитывающий площадь электрода  $S_e$  и свойства окружающей среды;  $K_1 = \epsilon_a S_e / C$ ,  $C$  – суммарная емкость системы измерительный электрод–МДП-структура. Поскольку контролируемая напряженность  $E_x = q / (4\pi\epsilon r^2)$ , то для снижения систематической погрешности необходимо обеспечить  $r = \text{const}$  и стабилизировать  $\epsilon_a$ . Реализация этих условий заложена в конструкции преобразователя электрических полей.

Контроль качества структуры и выявление дефектов в изоляционных материалах и изделиях базируется на методике, связанной с выявлением локальных участков повышенной напряженности электрического поля, излучаемого заряженной плоскостью металлических поверхностей. Механизм выявления областей нарушения целостности структуры изоляционных материалов следующий.

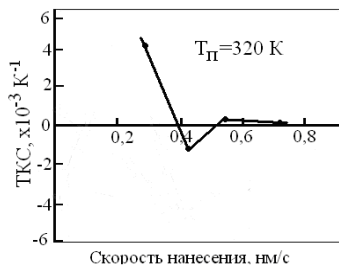


Рисунок 4 – Зависимость ТКС пленок TiBN от температуры подложки

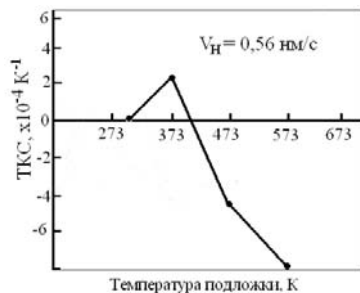


Рисунок 5 – Зависимость ТКС пленок TiB<sub>2</sub>+20% TiC от температуры подложки

Измерение температурного коэффициента сопротивления (TKC) пленок показало, что повышение  $V_n$  способствует снижению ТКС до  $3,7 \cdot 10^{-5} \text{ K}^{-1}$  (рисунок 4). Покрyтия наносились при  $T_n = 313 \text{ K}$ .

В тоже время повышение  $T_n > 373 \text{ K}$  приводит к переходу к отрицательным значениям ТКС (рисунок 5). Это можно связать с окислением поверхности кристаллитов и образованием пленок из оксидов титана и бора, наличие которой способствует

механизму токопереноса путем туннелирования электронов через диэлектрический барьер.

На рисунке 6 представлена зависимость микротвердости пленок от температуры подложки.

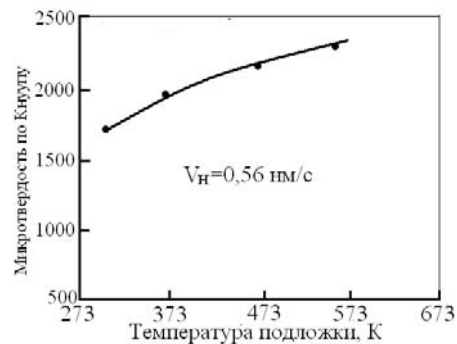


Рисунок 6 – Зависимость микротвердости пленок TiB<sub>2</sub>+20% TiC от температуры подложки

Установлено, что высокая  $T_n$  способствует получению покрытий с более плотной структурой, что повышает их твердость.

### Литература

1. Shu, S. Fabrication of  $\text{TiC}_x\text{-TiB}_2/\text{Al}$  composite for application as a heat sink / S. Shu, H. Yang, C. Tong, F. Qiu // *Materials*. – 2016. – № 9. – P. 642–672.
2. Sundgren, J.E. Growth, structural characterization and properties of hard and wear-protective layered materials // J.E. Sundgren, J. Brich, G. Hakansson, I. Haltman, U. Helmersson // *Thin Solid Films*. – 1990. – V. 193–194. – P. 818–831.

УДК 681.5

## КРИТЕРИИ КАЧЕСТВА УПРАВЛЕНИЯ СИСТЕМОЙ

Уласюк Н.Н., Сычик В.А.

*Белорусский национальный технический университет, Минск, Республика Беларусь*

Критерий качества управления является краеугольным камнем при построении управляющих функций и всей системы управления в целом.

При проектировании управляемых систем, необходимо, прежде всего, конкретизировать:

- критерий качества управления и способ его минимизации (максимизации);
- ограничения системы и способ их удовлетворения;
- средства, обеспечивающие адаптивность управления;
- способы идентификации ненаблюдаемых координат и коррекции ошибок наблюдаемых координат, чтобы исключить автоколебательные процессы;
- способ выбора оптимальных значений параметров алгоритма управления;
- средства, гарантирующие устойчивость управляемой системы.

Без корректного ответа на эти вопросы не может быть корректно сформулирована и решена задача управления системой.

Пусть желаемые свойства движения управляемой системы для выходных координат

$x = (x_1, \dots, x_n)^T$  заданы в виде многообразия

$$\Omega: w_\mu(x, t) = C_\mu, \mu = 1, \dots, m \quad (1)$$

где  $w_\mu(\cdot)$  – заданные операторы;  $C_\mu$  – константы;  $C_\mu > 0$ ;  $t$  – время.

Форма представления желаемых свойств движения системы в виде (1) не является единственно возможной. Свойства движения могут быть заданы в дифференциальной форме, например уравнениями эталонного движения:

$$\begin{aligned} \dot{x} &= f(\bar{x}, x, t), \\ t &\geq t_o: x(t_o) = x_o, \end{aligned} \quad (2)$$