

# КОНТРОЛЬ ПРИМЕСЕЙ ПРИ МАГНЕТРОННОМ ОСАЖДЕНИИ ПЛЕНОЧНЫХ ПОКРЫТИЙ С ПОМОЩЬЮ МАЛОГАБАРИТНОГО СПЕКТРОМЕТРА

**В. Н. Кулешов**

Оперативный контроль нежелательных примесей (воздуха, паров воды, паров масла), наличие которых в газовой-плазменной технологической среде приводит к ухудшению качества покрытий или к браку, является актуальной проблемой. При постановке задачи следует учесть, что использование масс-спектрометрического анализа для ее решения сталкивается с техническими и методическими сложностями, а также с дороговизной аппаратной части этого метода. В данном случае целесообразно ориентироваться на эмиссионно-спектроскопический метод, как относительно простой в своей реализации.

Большой интерес в использовании эмиссионно-спектроскопического метода для контроля магнетронными технологиями представляют последние отечественные и зарубежные разработки малогабаритных спектрометров. Типичный представитель таких спектрометров – это спектрометр SL40-2 фирмы SOLAR, фотоприемником которого является ПЗС линейка с числом элементов (пикселей) 3648 [1].

Настоящая работа посвящена изучению возможностей применения малогабаритного спектрометра SL40-2 для оперативного спектрального контроля примесей (воздух, пары воды и масла) в процессах магнетронного напыления пленок Ti, Al, а также их оксидов.

Для решения указанной задачи магнетронная технологическая установка была дополнена устройствами, которые позволяли регистрировать эмиссионные оптические спектры разряда в процессах нанесения пленок Ti, TiO<sub>2</sub>, Al, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> с возможностью регулируемого внесения в рабочий газ Ar (или смесь Ar и O<sub>2</sub>) примесей воздуха, паров воды и паров масла.

Наличие примеси воздуха в Ar и Ar+O<sub>2</sub> среде целесообразно контролировать по спектральным элементам азота, т.к. они обладают максимальной интенсивностью в случае магнетронного распыления. Контроль воздуха по спектральным элементам кислорода производить нецелесообразно т.к. интенсивность самой яркой линии кислорода OI 777,3 нм на порядок ниже интенсивности канта полосы молекулярного иона азота N<sub>2</sub><sup>+</sup> 391,4 нм. Наличие воздуха по элементам аргона определить практически невозможно, т.к. аргон используется как технологическая среда в процессе напыления.

Для примеси паров воды наиболее яркими элементами спектра являются: спектральная линия водорода Н 656,3 нм, молекулярная полоса радикала ОН в интервале (306–318) нм и линия кислорода ОI 777,3 нм. Молекулярные полосы  $\text{H}_2\text{O}$  лежат в ИК-области спектра при  $\lambda > 1$  мкм и не регистрируются с помощью SL40-2. Самым чувствительным контрольным элементом спектра для паров воды является линия водорода Н 656,3 нм. Например, когда при напуске паров воды интенсивность на длине волны 656,3 нм возрастала в 5 раз, интенсивность на участке 306–318 нм возрастала на 40% относительно темнового сигнала, а на длине волны 777,3 нм – на 25% для процесса нанесения  $\text{TiO}_2$ .

Контроль примеси паров масла можно производить по спектральным линиям Н и СI, молекулярным полосам  $\text{H}_2$  и радикалов  $\text{C}_n\text{H}_m$ . В спектральной области работы SL40-2 для паров масла наиболее яркой является линия водорода Н 656,3 нм, за ней по интенсивности идет полоса СН с кантом 431,4 нм. Яркие линии углерода лежат в УФ-области при  $\lambda < 250$  нм и не регистрируются SL40-2. Молекулярные полосы водорода накладываются на молекулярные полосы кислорода и точность измерения их интенсивности низка.

На рис. 1 и 2 представлены зависимости нормированных интенсивностей  $I$  контрольных элементов спектра от содержания примесей  $\alpha$  в вакуумной камере. В качестве количественной меры  $\alpha$  содержания примесей взята величина их расхода (поступления) в камеру относительно расхода кислорода в процессах нанесения оксидов.

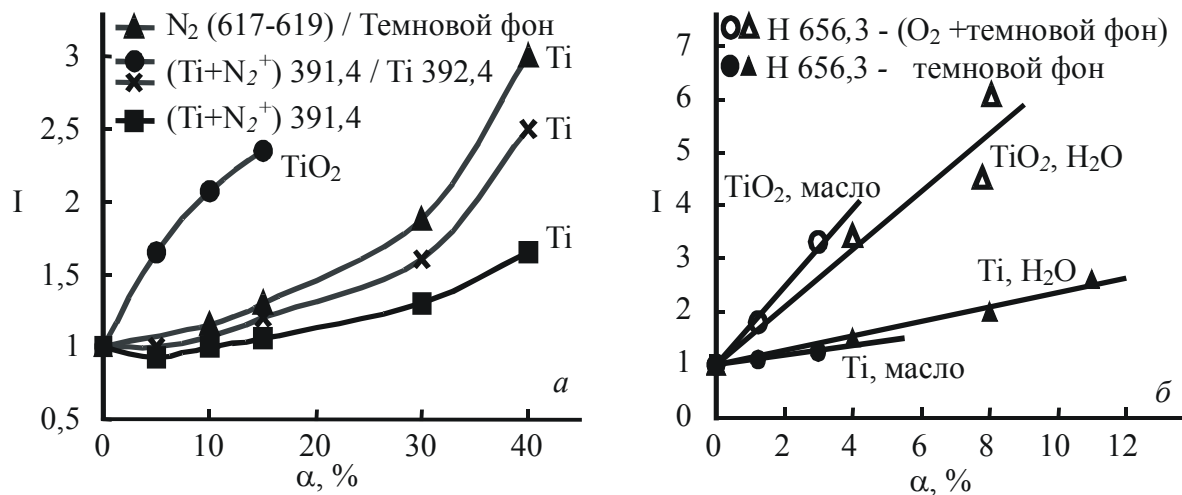


Рис. 1. Зависимости нормированных интенсивностей  $I$  контрольных элементов спектра от содержания  $\alpha$  примесей воздуха (а), паров воды или масла (б) в вакуумной камере в процессах нанесения  $\text{Ti}$  и  $\text{TiO}_2$

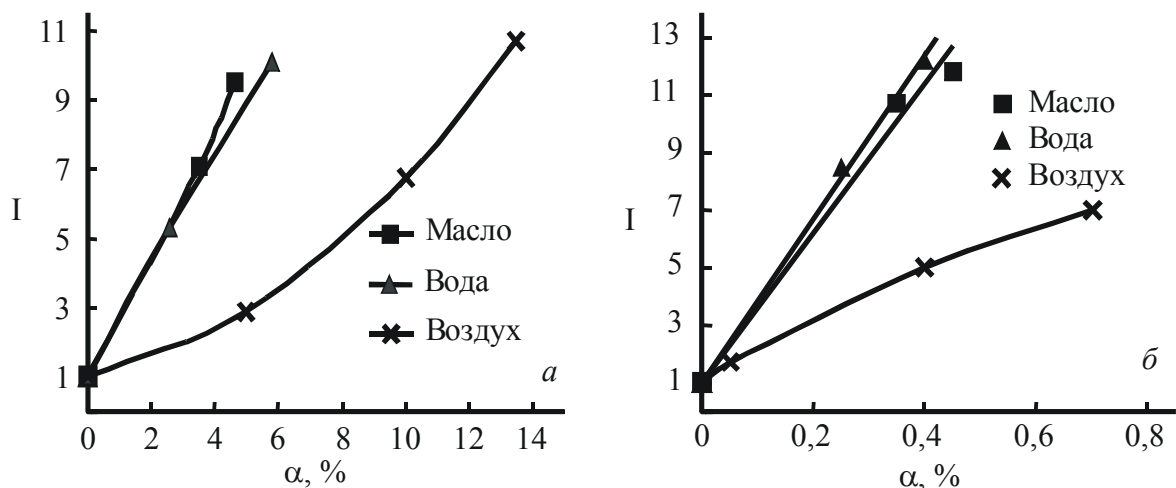


Рис. 2. Зависимости нормированных интенсивностей  $I$  контрольных элементов спектра  $N_2^+$  391,4 нм для примеси воздуха и  $H$  656,3 нм для примесей паров воды и масла от содержания  $\alpha$  примесей в вакуумной камере в процессах нанесения  $Al$  (а) и  $Al_2O_3$  (б)

В современных технологических процессах достигается нестабильность мощности и давления не хуже 10%, что соответствует максимально возможной нестабильности интенсивности элементов спектра равной 20%. Поэтому достоверно регистрируемое приращение контрольных элементов, обусловленное наличием примесей, является приращение в 20% и более. Величины минимально обнаружимых содержаний примесей определяются исходя из наклонов кривых рис. 1 и 2. В таблице представлены величины минимально обнаружимых относительных расходов примесей  $\alpha^*$  и соответствующих им парциальных давлений примесей  $p^*$  для различных процессов при условии изменения величины интенсивности контрольного сигнала на 20%.

Как видно из таблицы, чувствительность рассматриваемой методики к примесям существенно зависит от типа процесса (нанесение металла или оксида), а также от материала мишени магнетрона. В случае алюминиевой мишени величины минимально обнаружимых расходов примесей ниже на порядок и более по сравнению с мишенью из титана. Это, скорее всего, связано с высокими геттерными свойствами пленок  $Ti$ . Высокие геттерные свойства  $Ti$  также способствуют росту  $\alpha^*$  и  $p^*$  для процессов нанесения  $Ti$ , определяя различие (3-7 раз)  $\alpha^*$  и  $p^*$  в процессах нанесения  $Ti$  и  $TiO_2$ . Более высокие значения  $\alpha^*$  и  $p^*$  для случая нанесения  $Al$  по сравнению с  $Al_2O_3$  (различие в 10–20 раз), возможно, объясняется более высокими геттерными свойствами пленок  $Al$  относительно пленок  $Al_2O_3$ .

Сравнение полученных в работе данных с чувствительностью масс-спектрометрического анализа выявляет более высокую чувствительность масс-спектрометрии (до  $10^{-10}$  Па) [2]. Хотя чувствительность предлагае-

**Минимально обнаружимые относительные расходы примесей  $\alpha^*$  и соответствующие им парциальные давления примесей  $p^*$**

		Ti	TiO <sub>2</sub>	Al	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>
Воздух	$\alpha^*$ , %	5	1,5	0,3	0,025
	$p^*$ , Па	$2,5 \cdot 10^{-3}$	$7,5 \cdot 10^{-4}$	$1,8 \cdot 10^{-4}$	$1,5 \cdot 10^{-5}$
Пары воды	$\alpha^*$ , %	1,5	0,35	0,15	0,007
	$p^*$ , Па	$7,5 \cdot 10^{-4}$	$1,8 \cdot 10^{-4}$	$9 \cdot 10^{-5}$	$4 \cdot 10^{-6}$
Пары масла	$\alpha^*$ , %	2,2	0,3	0,1	0,008
	$p^*$ , Па	$1,1 \cdot 10^{-3}$	$1,5 \cdot 10^{-4}$	$6 \cdot 10^{-5}$	$5 \cdot 10^{-6}$

мой методики контроля примесей лежит в пределах  $\sim(10^{-3}-10^{-6})$  Па в зависимости от типа процесса, эти значения вполне удовлетворяют современные магнетронные технологии, в которых обычно используют диффузионные паромасляные насосы, обеспечивающие давление остаточной атмосферы в вакуумной камере в этих же пределах.

### Литература

1. Интернет-адрес: [http://solartii.com/rus/spectral\\_instruments/sl40-2.htm](http://solartii.com/rus/spectral_instruments/sl40-2.htm).
2. Технология тонких пленок / Под ред. Л. Майселла, Р. Гленга; пер. с англ. М., 1977. (Советское радио).

## НЕЧЕТКАЯ ЛОГИКА И НЕЙРОСЕТЕВЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В ЗАДАЧАХ УПРАВЛЕНИЯ

**А. В. Лазовский**

Задачи управления возникают абсолютно во всех технологических процессах и системах. Вследствие технического прогресса увеличивается сложность и размеры систем, что, соответственно, чрезвычайно усложняет применение математических моделей для описания не только алгоритма управления, но и целей и задач управления. Таким образом, разработка систем управления сложными динамическими объектами требует привлечения новых современных информационных и интеллектуальных технологий [1], позволяющих описывать поведение и функционирование системы на качественном уровне. В настоящей работе подробно рассмотрены и исследованы возможности нечеткой логики в задачах управления с привлечением нейросетевых [2] моделей для синтеза параметров нечеткого регулятора.

В качестве объекта исследований (рис. 1) была рассмотрена система управления движением автомобиля с 2-х ступенчатой механической коробкой передач на автостраде в заданном скоростном интервале с учетом