

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, TiO₂, Al, Al₂O₃ с возможностью регулируемого внесения в рабочий газ Ar (или смесь Ar и O₂) примесей воздуха, паров воды и паров масла.

Наличие примеси воздуха в Ar и Ar+O₂ 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 N₂⁺ 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 Н₂О 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 TiO₂.

Контроль примеси паров масла можно производить по спектральным линиям Н и СI, молекулярным полосам Н₂ и радикалов С_nН_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 α в вакуумной камере. В качестве количественной меры α содержания примесей взята величина их расхода (поступления) в камеру относительно расхода кислорода в процессах нанесения оксидов.

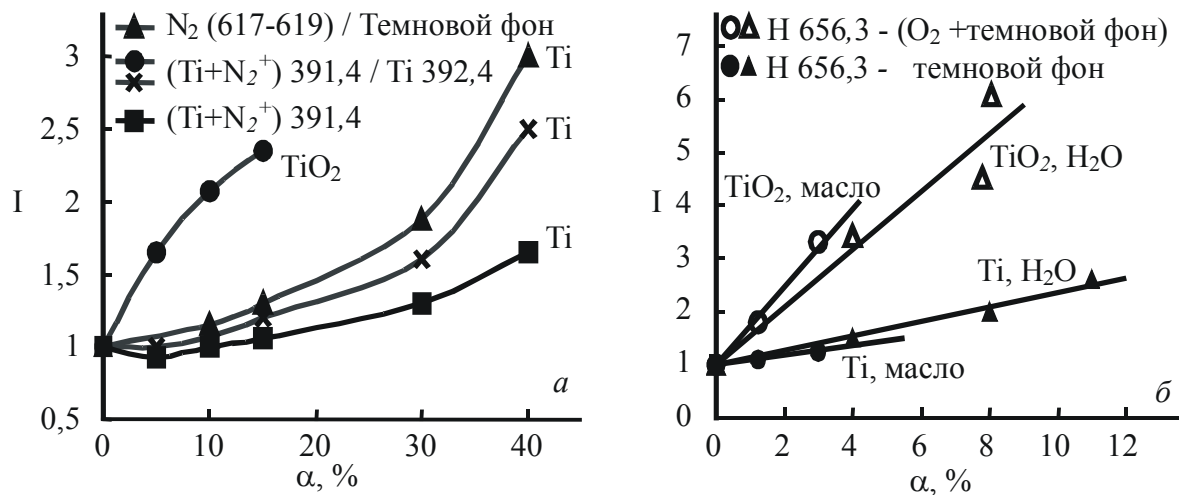


Рис. 1. Зависимости нормированных интенсивностей I контрольных элементов спектра от содержания α примесей воздуха (а), паров воды или масла (б) в вакуумной камере в процессах нанесения Ti и TiO₂

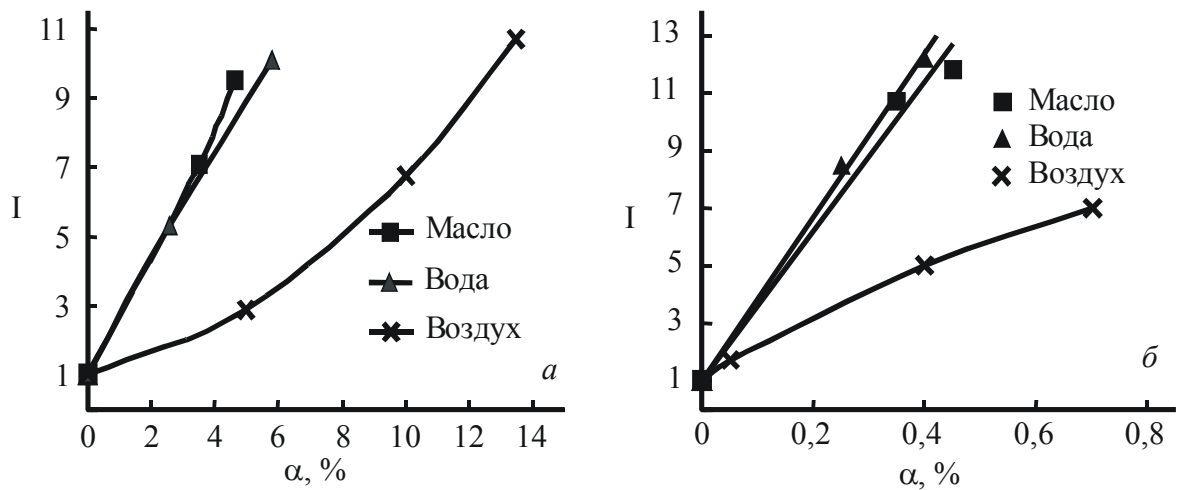


Рис. 2. Зависимости нормированных интенсивностей I контрольных элементов спектра N_2^+ 391,4 нм для примеси воздуха и H 656,3 нм для примесей паров воды и масла от содержания α примесей в вакуумной камере в процессах нанесения Al (а) и Al_2O_3 (б)

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 α^* 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 α^* и p^* для процессов нанесения Ti , определяя различие (3-7 раз) α^* и p^* в процессах нанесения Ti и TiO_2 . Более высокие значения α^* 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 α^* и соответствующие им парциальные давления примесей p^*

		Ti	TiO ₂	Al	Al ₂ O ₃
Воздух	α^* , %	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	α^* , %	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	α^* , %	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.
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