

**ПРИМЕНЕНИЕ МНОГОКАНАЛЬНОГО СПЕКТРОМЕТРА SL-40  
ДЛЯ КОНТРОЛЯ И УПРАВЛЕНИЯ ПРОЦЕССОМ  
МАГНЕТРОННОГО НАНЕСЕНИЯ  $\text{TiO}_2$**

**С. Л. Прокопьев, В. Н. Кулешов**

Магнетронные технологии нашли широкое применение для модификации свойств поверхностей твердых тел, в частности, для нанесения пленочных покрытий различного назначения. Однако без систем динамического управления ходом магнетронного нанесения пленок не удастся достичь воспроизводимости свойств покрытий и высоких скоростей нанесения [1].

Настоящая работа посвящена исследованию возможностей применения многоканального спектрометра SL-40 для управления процессом нанесения пленок  $TiO_2$  и одновременного контроля вредных примесей воздуха и паров воды в плазменной технологической среде.

Для решения указанной задачи магнетронная установка была дополнена устройствами и в итоге позволяла регистрировать эмиссионные оптические спектры разряда в процессах нанесения пленок  $Ti$  (или  $TiO_2$ ) с возможностью регулируемого внесения в рабочий газ  $Ar$  (или смесь  $Ar$  и  $O_2$ ) примесей воздуха и паров воды.

Эмиссионные спектры разряда регистрировались спектрометром SL-40 при времени накопления не более 0.1 сек. Это обусловлено тем, что для использования SL-40 в качестве датчика системы управления, сигнал с него должен поступать с частотой не ниже 10 Гц.

Результаты обработки спектров представлены на рис.1, где изображены зависимости интенсивности ряда элементов спектра от степени реактивности процесса при постоянной мощности разряда и давлении рабочего газа. Каждая точка рис.1 есть результат осреднения по 10-ти спектрам. Выбор элементов кислорода (атомная линия  $O I$  777.4 нм и участок молекулярной полосы  $O_2^+$  (584±1) нм) обусловлен их максимальной интенсивностью по сравнению с другими элементами кислорода. Выбор элементов титана (атомные линии 399.8 нм и 521.0 нм) обусловлен близостью их интенсивности к интенсивности указанных элементов кислорода, что позволяет исключить влияние нелинейности ПЗС линейки SL-40 на результаты измерений. Как видно из рис.1, атомная линия  $O I$  и линии  $Ti I$ , а также их отношение однозначно определяют степень реактивности процесса нанесения оксида титана. Крутизна зависимости отношения интенсивности линии  $O I$  777.4 нм к

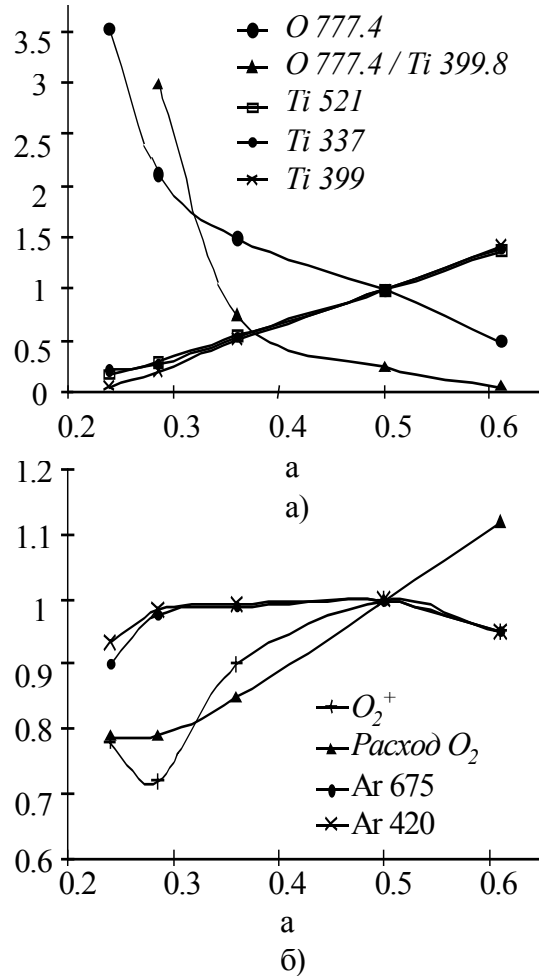


Рис. 1. Зависимости нормированной интенсивности  $I$  для различных элементов спектра от степени реактивности  $a$

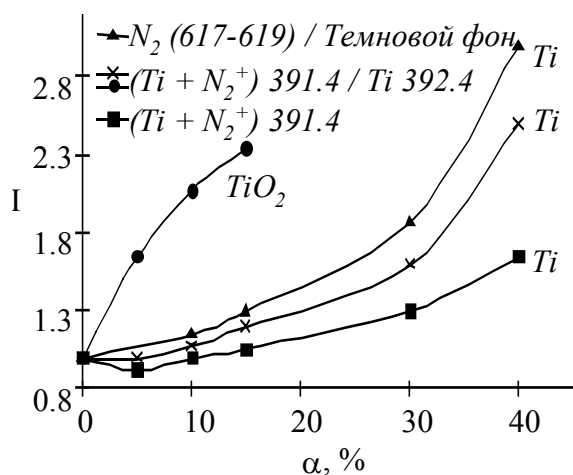


Рис. 2. Зависимости нормированной интенсивности  $I$  для различных элементов спектра от относительного расхода воздуха  $\alpha$

интенсивности  $TiI$  399.8 нм значительно превышает крутизну линий  $TiI$  (399.8 нм и 521.0 нм) в диапазоне  $\alpha=0.35\pm 0.02$ , где наносятся пленки стехиометрического оксида  $TiO_2$ . Это указывает на возможность более точного поддержания степени реактивности процесса по сравнению с одноканальным алгоритмом. По интенсивности рассматриваемые линии  $OI$  и  $TiI$  превышают темновой фон ПЗС линейки в 7–10 раз, что позволяет надежно их регистрировать. Сложный вид поведения молекулярной полосы  $O_2^+$  не позволяет ее использовать

в системах управления расходом кислорода.

В технологии нанесения пленок  $TiO_2$  возможны два варианта для регистрации спектральных элементов примеси. Первый вариант – это стадия введения разряда в стационарный режим в среде  $Ar$  (стадии нанесения пленки  $Ti$ ). Второй вариант – это стадия нанесения  $TiO_2$ , т. е. контроль во время процесса, когда рабочей газовой средой является смесь  $Ar$  и  $O_2$ .

На рис. 2 представлено поведение интенсивности контрольных элементов на стадиях нанесения  $Ti$  и  $TiO_2$  в зависимости от содержания воздуха в вакуумной камере. В качестве количественной меры  $\alpha$  содержания воздуха взята величина его расхода (поступления) в камеру относительно расхода кислорода в процессе нанесения  $TiO_2$  при одинаковой мощности разряда и давлении в вакуумной камере. Выбор такой количественной меры обусловлен тем, что она сохраняет свою величину с изменениями параметров процесса нанесения  $Ti$  и  $TiO_2$ .

Как видно из рис. 2, максимальную чувствительность к примеси воздуха имеет спектральный элемент 391.4 нм для варианта нанесения  $TiO_2$ . Особенностью этого элемента является то, что он представляет наложение максимума линии  $TiI$  (391.4 нм) и канта полосы  $N_2^+$  (391.4 нм).

В магнетронных технологических процессах нестабильность интенсивности элементов спектра не хуже 20 %, т.е. достоверно регистрируемое приращение контрольных элементов в наихудших условиях составляет эту величину. Как видно из рис. 2, минимальное достоверно измеренное значение  $\alpha$  составляет 1.2 % для процесса нанесения  $TiO_2$ . Для

процесса нанесения Ti эта величина равна 12 % и 15 % при контроле по N<sub>2</sub> и элементу 391.4 нм соответственно. Указанный результат можно объяснить тем, что геттерные свойства пленки Ti значительно выше таких свойств пленок TiO<sub>2</sub>. При малых расходах примеси она эффективно поглощается растущей пленкой Ti и ее содержание в вакуумной камере снижается.

При проведении исследований с напуском паров воды установлено, что по чувствительности контрольные элементы располагаются в следующем порядке: H (656.3 нм), OH (306–318 нм), OI (777.4 нм). Например, при напуске паров H<sub>2</sub>O интенсивность на длине волны  $\lambda = 656.3$  нм возрастала в 5 раз, в то время как при таком же расходе паров H<sub>2</sub>O интенсивность на участке 306–318 нм возрастала на 40 %, а на длине волны  $\lambda = 777.4$  нм на 25 % для процесса нанесения TiO<sub>2</sub>.

При регистрации зависимостей интенсивности линии H от величины  $\alpha$  при напуске паров воды установлено, что минимальное достоверно измеренное значение  $\alpha$  составляет 0,3 % и 1,6 % для процессов нанесения TiO<sub>2</sub> и Ti соответственно. Более низкие значения  $\alpha$  для паров воды по сравнению с воздухом обусловлены меньшим поглощением водорода растущими пленками TiO<sub>2</sub> и Ti по сравнению с поглощением азота.

#### Литература

1. Бурмаков А. П., Зайков В. А., Лабуда А. А., Черный В. Е. Неустойчивость процесса реактивного магнетронного распыления // Журнал прикладной спектроскопии. – 1996. – Т. 63, № 6. – С. 1049–1053.