

Рис. 3. Результаты аппроксимации:
а) многослойный персептрон; б) машина Больцмана

ческих сигналов, т.к. свойство обобщения обученной НС отрицательно сказывается на результатах аппроксимации, не позволяя отслеживать динамику случайного процесса. Использование стохастических НС в рассматриваемом случае представляется более перспективным. К сожалению, их обучение требует больших временных и вычислительных ресурсов. Тем не менее, эти затраты оправданы, если конфигурация и параметры НС сохраняются и их можно многократно использовать при моделирования сигналов.

Работа выполнена при финансовой поддержке Белорусского государственного университета (грант 2003-533/18).

Литература

1. Cybenko G. Approximations by superpositions of a sigmoidal function // Math Contr Signals Syst, 1989, Vol. 2, pp. 304–314.
2. Hornik K., Stinchcombe M., White H. Multilayer feedforward networks are universal approximators // Neural Networks, 1989, Vol. 2, pp. 359–366.
3. Belli M. R., Conti M., Crippa P., Turchetti C. Artificial Neural Networks as Approximators of Stochastic processes // Neural Networks (1999) 12: 647–658.
4. Лутковский В. М. Нейронные сети: Конспект лекций. Мн. БГУ. 2003. 100 с.
5. Кемени Д., Снелл Д. Конечные цепи Маркова. М.: Наука. 1970.

ПРИМЕНЕНИЕ МНОГОКАНАЛЬНОГО СПЕКТРОМЕТРА SL-40 ДЛЯ КОНТРОЛЯ И УПРАВЛЕНИЯ ПРОЦЕССОМ МАГНЕТРОННОГО НАНЕСЕНИЯ TlO_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 OI 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 OI и линии TiI , а также их отношение однозначно определяют степень реактивности процесса нанесения оксида титана. Крутизна зависимости отношения интенсивности линии OI 777.4 нм к

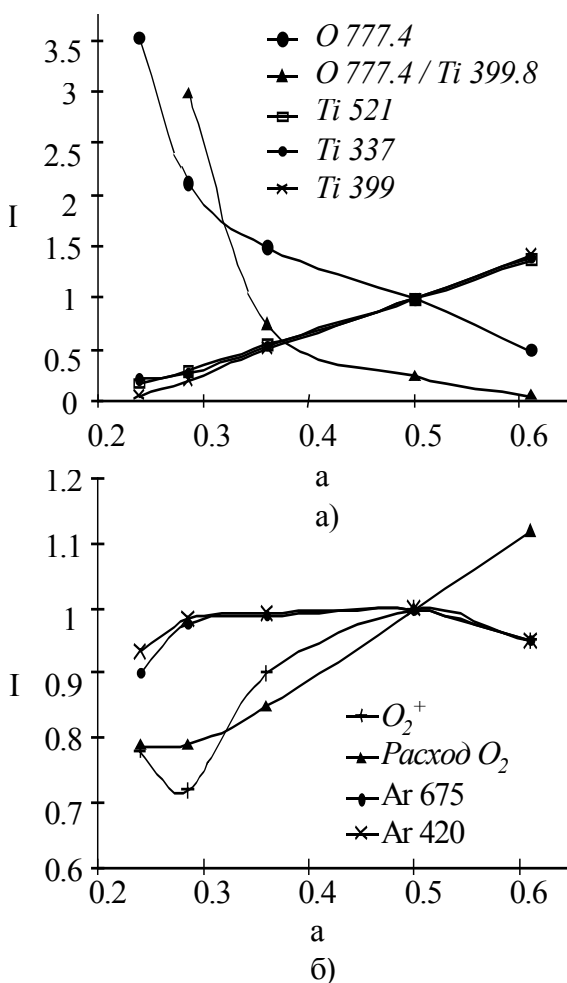


Рис. 1. Зависимости нормированной интенсивности I для различных элементов спектра от степени реактивности a

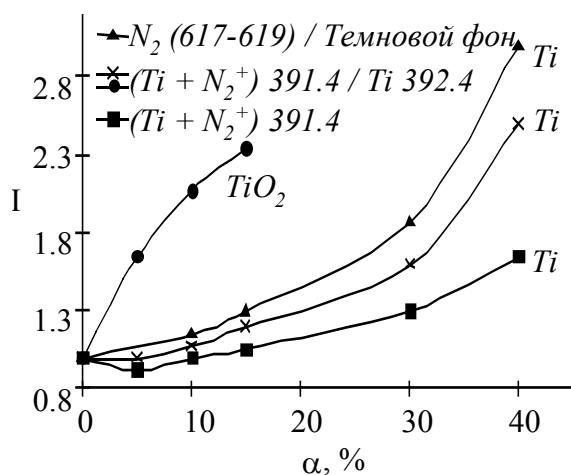


Рис. 2. Зависимости нормированной интенсивности I для различных элементов спектра от относительного расхода воздуха α

интенсивности TiI 399.8 нм значительно превышает крутизну линий TiI (399.8 нм и 521.0 нм) в диапазоне $\alpha=0.35\pm0.02$, 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 использо-

зовать 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 α 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 α составляет 1.2 % для процесса нанесения TiO_2 . Для

процесса нанесения Ti эта величина равна 12 % и 15 % при контроле по N₂ и элементу 391.4 нм соответственно. Указанный результат можно объяснить тем, что геттерные свойства пленки Ti значительно выше таких свойств пленок TiO₂. 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 H₂O интенсивность на длине волны $\lambda = 656.3$ нм возрастала в 5 раз, в то время как при таком же расходе паров H₂O интенсивность на участке 306–318 нм возрастала на 40 %, а на длине волны $\lambda = 777.4$ нм на 25 % для процесса нанесения TiO₂.

При регистрации зависимостей интенсивности линии H от величины α при напуске паров воды установлено, что минимальное достоверно измеренное значение α составляет 0,3 % и 1,6 % для процессов нанесения TiO₂ и Ti соответственно. Более низкие значения α для паров воды по сравнению с воздухом обусловлены меньшим поглощением водорода растущими пленками TiO₂ 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.

СЕЛЕКТИВНЫЙ КОНТРОЛЬ ГОРЕНИЯ ФАКЕЛА РАСТОПОЧНОЙ ГОРЕЛКИ ПРОМЫШЛЕННОГО КОТЛОАГРЕГАТА

О. Ч. Ролич

По всей Беларуси сегодня функционирует несколько десятков теплоэлектростанций, эксплуатирующих сотни теплоэнергетических котлоагрегатов. Каждый из них включает от двух до нескольких десятков горелок. При растопке котла сначала разжигаются растопочные горелки. Их изолированной работе отводится определенное время, в течение которого флуктуационные процессы горения приобретают стационарный характер. Затем от растопочных горелок разжигается и весь котел. Розжиг котла сегодня производится вручную бригадой специалистов.

Рабочим веществом котла является газ или парамазут. Их концентрация выше допустимой нормы может привести к взрыву или, словами работников энергетической отрасли, к хлопку. Как правило, хлопки происходят в растопочном режиме вследствие срыва нестационарно горяще-