

СИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ ГАЗОВЫМ НАПУСКОМ ДЛЯ МАГНЕТРОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ НАНЕСЕНИЯ ПЛЕНОЧНЫХ ПОКРЫТИЙ

А. П. Бурмаков, В. Н. Кулешов, А. В. Столяров

Белорусский государственный университет

Минск, Беларусь

e-mail: alexei.stoliarov@gmail.com

На факультете радиофизики и компьютерных технологий БГУ разработана система управления процессом реактивного магнетронного распыления.

Задача этой разработки – упростить создание систем управления процессом реактивного магнетронного распыления.

Ключевые слова: автоматизация; компонентная архитектура; реактивное магнетронное распыление.

GAS PUFFING CONTROL SYSTEM FOR MAGNETRON TECHNOLOGIES OF FILM COATINGS DEPOSITION

A. P. Burmakou, V. N. Kuleshov, A. V. Stoliarov

Belarusian State University

Minsk, Belarus

At the Faculty of Radiophysics and Computer Technologies BSU was developed development of gas-overlap control system for magnetron deposition film coatings technology.

The purpose of this development is to simplify creation of systems that controls reactive magnetron sputtering.

Keywords: automation; component architecture; reactive magnetron sputtering.

ВВЕДЕНИЕ

Магнетронные технологии в настоящее время занимают лидирующее положение среди технологий нанесения пленочных покрытий в электронике и микроэлектронике, оптике, архитектуре и строительстве. Наиболее распространенные материалы покрытий: пленки металлов и полупроводников, а также пленки химических соединений с реакционно-способными газами, а именно оксиды, нитриды, карбиды и карбонитриды.

В процессах нанесения пленок химических соединений основная проблема магнетронных технологий – недостаточная воспроизводимость состава покрытий, обусловленная неустойчивостью параметров магнетронного разряда [1, 2]. Для стабилизации процесса нанесения необходимо обеспечить обратную связь между параметрами магнетронного разряда и расходом инертного и реактивного газов [3] путем авто-

матического управления расходом газов в реальном времени, используя характеристики разряда. Такое управление может базироваться на излучении разряда, регистрируемом методом оптической эмиссионной спектроскопии, химическом составе плазмы разряда, регистрируемом методом масс-спектроскопии, или на электрических параметрах разряда, регистрируемых традиционными измерительными устройствами.

На факультете радиофизики и компьютерных технологий БГУ была разработана система управления процессом реактивного магнетронного распыления, которая путем управления расходом газов стабилизирует процесс магнетронного распыления и обеспечивает воспроизводимость процесса нанесения пленки.

МЕХАНИЗМ СТАБИЛИЗАЦИИ

Стабилизировать процесс распыления в «переходных» режимах можно стабилизацией состояния системы «мишень-плазма-подложка» путем управления расходом реактивного газа, т. е. поддерживать требуемое состояние системы можно путем использования обратной связи с натеканием реактивного газа. Параметрами, определяющими состояние системы «мишень-плазма-подложка», являются химический состав газовой среды, общее давление и парциальное давление реактивного газа, а также напряжение и ток, электрические параметры магнетронного разряда.

Основной параметр, определяющий состав наносимого покрытия, – парциальное давление реактивного газа [4], измерять которое можно методом масс-спектроскопии. Однако этот метод не получил широкого распространения в силу дороговизны, а также недостаточно высокой скорости реакции большинства масс-спектрометров на изменение состава газовой среды и низкое рабочее давление по сравнению с давлением, необходимым для реактивных магнетронных процессов [5]. Наибольшее распространение в реактивных магнетронных технологиях получило управление, базирующееся либо на оптической эмиссионной спектроскопии, либо на электрических параметрах мишени [6]. Самым простым в реализации является управление по электрическим параметрам мишени. Однако в некоторых случаях их использование невозможно в силу неоднозначной зависимости данных параметров от состояния системы «мишень-плазма-подложка» [6]. В частности, при использовании источников тока или мощности в качестве источников питания разряда участок изменения электрических параметров для переходной области отсутствует. Таким образом, наиболее эффективным методом управления реактивными магнетронными технологиями, подходящим для широкого круга процессов, является оптический метод, использующий излучение плазмы магнетронного разряда, а именно оптическую эмиссионную спектроскопию.

Общий подход к алгоритмам оптического управления процессами реактивного магнетронного распыления сводится к одновременной регистрации относительной интенсивности элементов эмиссионного спектра разряда (спектральных линий, молекулярных полос), которые однозначно характеризуют состав осаждаемого потока. Используя интенсивности этих элементов, необходимо вырабатывать сигналы в реальном времени, управляющие параметрами разряда. При этом управляющие сигналы должны обеспечивать вывод химического состава плазмы на требуемые величины и его поддержание с необходимой точностью. Если расположить параметры разряда по степени их влияния на воспроизводимость свойств пленочного покрытия, то в первую очередь необходимо управлять расходом реактивного газа, затем – мощностью разряда и далее – давлением в вакуумной камере [7].

Из этого следует, что для стабилизации системы «мишень-плазма-подложка» можно управлять несколькими параметрами. Для этого система должна иметь возможность подключения, сопряжения и управления большим количеством устройств.

Выбор стабилизирующего параметра зависит от характеристик протекающего процесса. Кроме того, бывает необходимо комбинировать эти методы или контролировать несколько вакуумных камер с разными, но зависящими друг от друга процессами одновременно.

ТРЕБОВАНИЯ К СИСТЕМЕ УПРАВЛЕНИЯ

Разрабатываемая система должна поддерживать большое количество измерительных и управляющих устройств. Каждый процесс реактивного магнетронного распыления требует сопряжения используемых устройств и настройки параметров, поэтому к системе стабилизации предъявляются следующие требования:

- стабилизация процесса реактивного магнетронного распыления при помощи изменений параметров процесса;
- возможность настройки системы под процесс; возможность добавления, удаления и дублирования компонентов системы;
- пользовательский интерфейс для настройки параметров стабилизации.

АРХИТЕКТУРА СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ

Существует два основных типа архитектуры:

- монолитная;
- компонентная.

Монолитная архитектура подразумевает высокую связанность компонентов системы. Она отлично подходит для статичных или небольших систем. Однако для больших систем использование монолитной архитектуры со временем приведет к усложнению разработки, тестирования и интеграции.

Компонентный подход подразумевает разделение системы на самостоятельные части, что дает ей гибкость, а также упрощает разработку больших систем. Однако при использовании этого подхода компоненты системы становятся сложнее (по сравнению с тем же функциональным компонентом монолитной системы). Кроме того, при разработке компонентов необходимо учитывать проблемы интеграции (реакция на отключение того или иного компонента).

Для системы стабилизации подходящим решением является компонентная архитектура, которая позволит легко подстраивать систему под конкретный процесс. Система стабилизации согласно этой архитектуре состоит из следующих компонентов:

- блок регистрации стабилизируемого параметра;
- блок изменения стабилизируемого параметра;
- блок управления (берет на себя логику стабилизации, а также предоставляет пользовательский интерфейс).

СИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ ГАЗОВЫМ НАПУСКОМ ДЛЯ МАГНЕТРОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ НАНЕСЕНИЯ ПЛЕНОЧНЫХ ПОКРЫТИЙ

Система управления газовым напуском для магнетронных технологий нанесения пленочных покрытий – это разработанная и протестированная система стабилизации. Она представляет комплекс программно-аппаратных средств с возможностью стаби-

лизации одного или нескольких параметров процесса реактивного магнетронного распыления (например, давления реактивного и инертного газов одновременно).

Структурная схема системы оптического управления расходом газов процессов реактивного магнетронного распыления представлена на рис. 1.

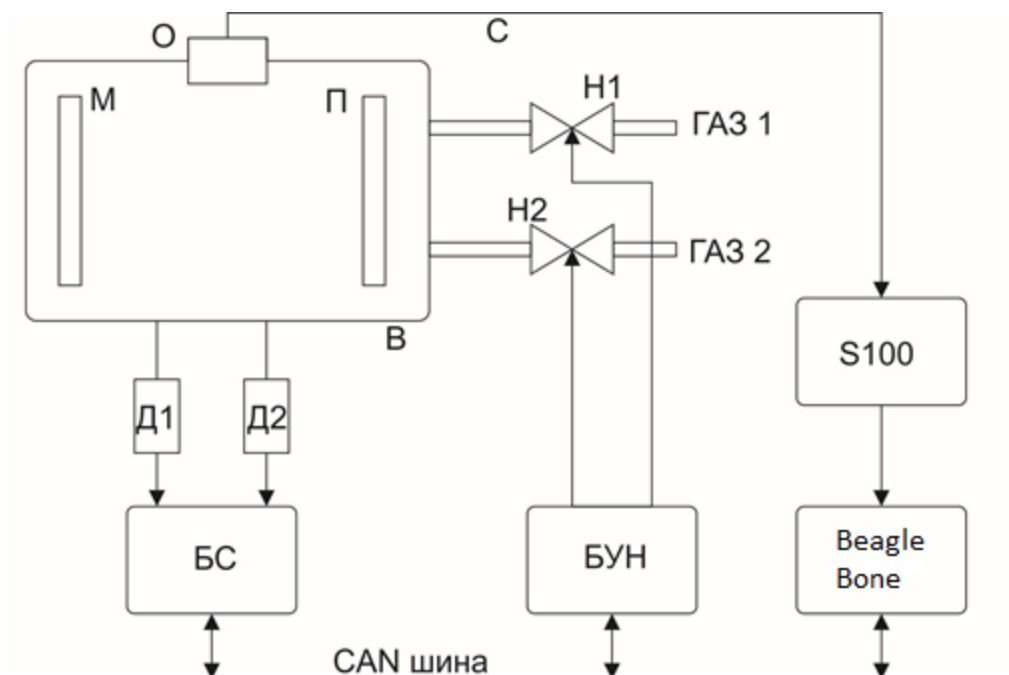


Рис. 1. Структурная схема системы оптического управления расходом газов процессов реактивного магнетронного распыления

В нижней части рисунка показана структура системы детектирования, использующая для регистрации излучения один или два оптических датчика (Д1, Д2) с выделением контрольных элементов светофильтрами, снимающая сигнал с датчика давления и передающая полученные данные на одноплатный компьютер (Beagle Bone) через CAN-шину. В правой части рисунка показана система управления на базе одноплатного компьютера, который принимает и обрабатывает данные, поступающие с блока сопряжения или малогабаритного спектрометра, и генерирует управляющий сигнал для блока управления натекателями.

Датчики системы регистрируют параметры магнетронного разряда (электрические характеристики, оптическое излучение, концентрацию частиц). Информация об этих параметрах поступает в систему управления, где с помощью специальной программы вырабатываются сигналы управления расходом газов. Эти сигналы поступают в блок управления натекателями (БУН), который формирует аналоговые управляющие сигналы для натекателей газов. Благодаря использованию обратной связи «датчики – натекатели» эти управляющие сигналы должны обеспечивать поддержание на заданном уровне параметров магнетронного разряда, и следовательно, свойств осаждаемого покрытия.

Данная система состоит из следующих компонентов:

- оптические датчики;
- блок сопряжения датчиков;
- натекатели;

- блок управления натекателями;
- вакуумная камера;
- система управления на базе одноплатного компьютера;
- браузерное приложение, реализующее пользовательский интерфейс.

Как видно, для контроля протекающего процесса используются натекатели и оптические датчики. Поскольку для разных процессов могут потребоваться разные типы натекателей или датчиков, предусмотрены устройства, которые занимаются их сопряжением с системой. Эти устройства сопряжения являются автономными и кроме сопряжения реализуют функцию защиты компонентов системы (например, от отсутствия сигнала от управляющей системы).

Для объединения систем сопряжения с системой управления используется шина CAN.

В качестве системы управления используется одноплатный компьютер BeagleBone Black с управляющим ПО, которое реализует логику объединения конечных устройств в контуры управления.

Управлять системой возможно через TCP/IP сеть двумя способами: через интерфейс и с помощью пользовательского интерфейса, являющегося браузерным приложением, доступным по адресу устройства в сети TCP/IP. Наличие интерфейса удаленного управления позволяет легко встраивать систему в существующие системы автоматизации.

ТЕСТИРОВАНИЕ СИСТЕМЫ

Проверка работы БС была проведена во время процесса нанесения оксида титана на лабораторной вакуумной установке магнетронного распыления УРМ327.

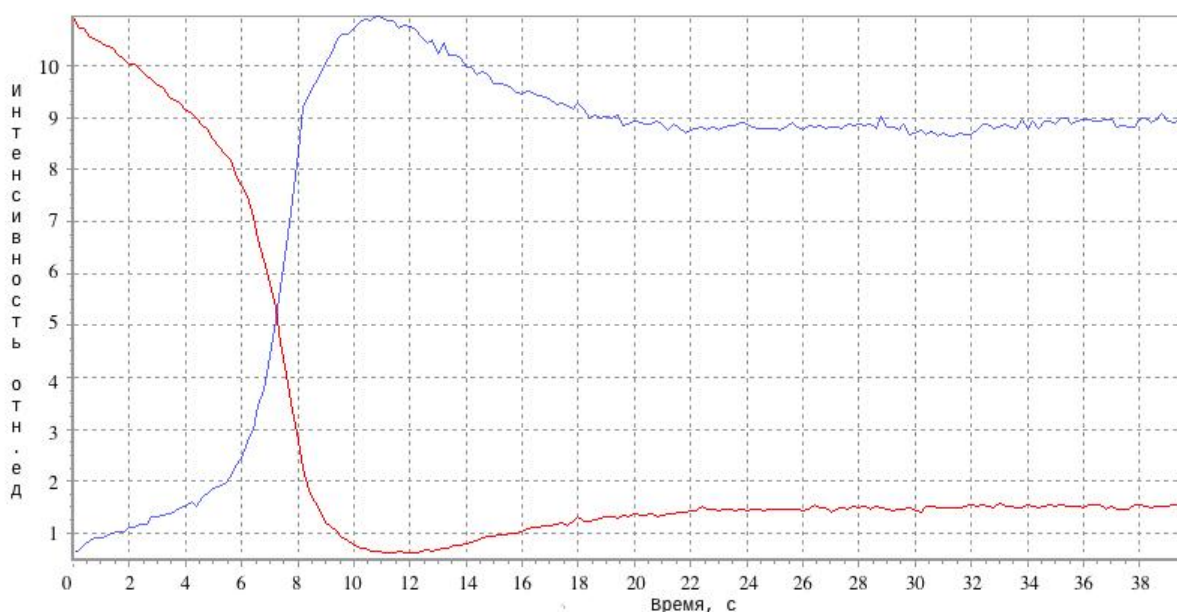


Рис. 2. Динамика изменения относительной интенсивности спектральных линий Ti и OI при проведении процесса магнетронного нанесения оксида титана

На рис. 2 изображена динамика интенсивности спектральных линий титана и кислорода с момента подачи кислорода в вакуумную камеру. Эти линии являются харак-

терными для процесса нанесения оксида титана, так как их интенсивности пропорциональны концентрации атомов титана и кислорода в осаждаемом потоке, а следовательно, и в формируемой пленке. Выход интенсивностей этих линий на постоянное значение и поддержание этого значения говорит о качественном проведении процесса, во время которого отклонение (колебание) уровня сигналов датчиков от требуемых значений при проведении процесса не превышало 3 %.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

На факультете радиофизики и электроники была разработана, собрана и протестирована система реактивного магнетронного распыления, которая путем управления расходом газов стабилизирует процесс магнетронного распыления и обеспечивает воспроизводимость процесса нанесения пленки.

Разработанная система является компонентной, за счет чего она легко подстраивается под параметры процесса реактивного магнетронного распыления.

Данная система предоставляет возможность удаленного управления, что облегчает ее использование в системах промышленной автоматизации.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЕ ССЫЛКИ

1. Brudnik A., Czternastek H., Zakrewska K. Plasma-emission-controlled magnetron sputtering of TiO thin films // *Thin Solid Films*. 1991. Vol. 199, № 1. P. 45–58.
2. Берлин Е. В., Сейдман Л. А. Ионно-плазменные процессы в тонкопленочной технологии. М. : Техносфера, 2010.
3. Predicting thin film stoichiometry in reactive sputtering / S. Berg [et al.] // *J. Appl. Phys.* 1988. Vol. 63, № 1. P. 887–891.
4. Интенсификация процессов формирования твердотельных структурконцентрированными потоками энергии / А. П. Достанко [и др.]; под общ. ред. А. П. Достанко, Н. К. Толочко. Минск : Бестпринт, 2005.
5. Оптико-спектральные исследования вакуумно-плазменных технологических сред в процессах нанесения покрытий сложного состава / А. П. Бурмаков [и др.] // *Новые материалы : материалы итоговой конф. БГУ. Минск, 1996. С. 14–18.*
6. Бурмаков А. П., Лабуда А. А., Никифорова Н. Н. Монохроматизация излучения при спектральном контроле плазменных технологических процессов // *Журн. прикладной спектроскопии*. 1997. Т. 65, № 6. С. 1005–1008.
7. Бурмаков А. П., Кулешов В. Н. Оптика неоднородных структур : материалы междунар. науч.-практ. конф. Могилев : МГУ им. А. А. Кулешова, 2007. С. 34–36.