

АВТОМАТИЗИРОВАННОЕ НАПЫЛЕНИЕ АМОΡФНЫХ ХАЛЬКОГЕНИДНЫХ СЛОЕВ

Валерий Игоревич Наливайко

Институт автоматизации и электрометрии СО РАН, 630090, Россия, г. Новосибирск, пр. Академика Коптюга, 1, кандидат физико-математических наук, старший научный сотрудник, тел. (383)333-30-92, e-mail: nalivaiko@iae.nsk.su

Марина Александровна Пономарева

Новосибирский государственный технический университет, 630073, Россия, г. Новосибирск, пр. К. Маркса, 20, ст. преподаватель; Институт автоматизации и электрометрии СО РАН, 630090, Россия, г. Новосибирск, пр. Академика Коптюга, 1, инженер-оптик, тел. (383)333-30-92, e-mail: ponomareva@iae.nsk.su

Приведены результаты применения автоматизации при получении халькогенидных слоев с новыми свойствами. Автоматически контролировались такие параметры процесса термического напыления в вакууме, как температура или мощность испарителя. Моменты открытия и закрытия заслонки устанавливались экспериментально с целью обеспечения равномерной скорости напыления слоев. Критерием оценки равномерной скорости служили данные оптического контроля толщины наносимых слоев. В качестве примера приведены диаграммы поведения температуры испарителя, задаваемой с помощью управляющей программы и реализуемой в реальном времени. В результате получены слои с воспроизводимыми параметрами и увеличенным в два раза динамическим диапазоном фотоструктурных изменений показателя преломления. Автоматизированная технология применена для напыления с равномерной скоростью пленочных аксиконов на вращающиеся подложки через маску специальной формы, обеспечивающей линейное радиальное изменение толщины слоя.

Ключевые слова: халькогенидные стекла, автоматизация, термическое напыление, реальное время, динамический диапазон.

AUTOMATED DEPOSITION OF AMORPHOUS CHALCOGENIDE LAYERS

Valery I. Nalivaiko

Institute of Automation and Electrometry SB RAS, 1, Prospect Akademik Koptyug St., Novosibirsk, 630090, Russia, Ph. D., Senior Researcher, phone: (383)333-30-92, e-mail: nalivaiko@iae.nsk.su

Marina A. Ponomareva

Novosibirsk State Technical University, 20, Prospect K. Marx St., Novosibirsk, 630073, Russia, Senior Lecturer; Institute of Automation and Electrometry SB RAS, 1, Prospect Akademik Koptyug St., Novosibirsk, 630090, Russia, Engineer-Optik, phone: (383)333-30-92, e-mail: ponomareva@iae.nsk.su

The results of the application of automation in obtaining chalcogenide layers with new properties are given. Such parameters of the thermal vapour deposition process as evaporator temperature or power were automatically controlled. The moments of the opening and closing of the valve were established experimentally in order to ensure a uniform deposition rate of the layers. The criterion for evaluating the uniform speed was the data of optical control of the thickness of the applied layers. As an example, diagrams of the behavior of the evaporator temperature are given, which are set using a control program and implemented in real time. As a result, layers with reproducible pa-

rameters and doubled dynamic range of photo-structural changes in the refractive index were obtained. Automated technology is applied for deposition with uniform speed of film axicons on rotating substrates through a mask of a special shape, providing a linear radial change in layer thickness.

Key words: chalcogenide glasses, automation, thermal vapour deposition, real time, dynamic range.

Введение

Для голографии необходимы материалы, обеспечивающие большой диапазон изменения показателя преломления Δn при фазовой регистрации изображений. Халькогенидные стекла являются такими материалами, которые обеспечивают высокий фазовый контраст при использовании тонких слоев. Динамический диапазон изменения показателя преломления $\Delta n/n$, например, состава As_2S_3 обычно составляет порядка 5 % при $n = 2,5$ на $\lambda = 632$ нм. Кроме этого, халькогенидные стекла в виде объемных материалов и слоев успешно используются в качестве фоторезистов с применением селективного травления [1–3]. Как показали предварительные исследования, величина динамического диапазона изменения показателя преломления зависит от однородности состава пленки, которая определяется, в частности, постоянством скорости напыления.

Цель работы заключалась в получении улучшенных параметров регистрирующего материала и воспроизводимости свойств слоев от цикла к циклу с помощью автоматизации процессов напыления.

Методы и материалы

Технология автоматизации процессов напыления отрабатывалась на установке вакуумного напыления УВН-71ПЗ при нанесении слоев халькогенидных материалов. Отличительной особенностью данной установки является возможность организации внешнего управления нагреванием термостатированного испарителя. Внешнее управление осуществляется подачей аналогового сигнала в пределах от 0 до 5В, что позволяет связать управление термостатированным испарителем с внешней 5В-й КМОП логикой.

Использовался программный модуль автоматизированного управления температурой термостатированного испарителя с помощью ПИД-регулирования. Управление заслонкой реализовано при помощи реле, размещенного в центральном модуле микроконтроллера. Разработанная аппаратная архитектура может быть использована для создания систем автоматизации технологических процессов и обеспечивает высокую расширяемость за счет модульности и простоты изменения параметров.

С помощью управляющей программы на рабочем месте оператора устанавливается заданный температурный режим испарителя и положение заслонки в процессе напыления (рис. 1). Разработанное ПО предоставляет три варианта управления температурой: ручное управление мощностью, потребляемой испа-

рителем, ручное управление температурой испарителя и режим автоматического управления температурой испарителя.

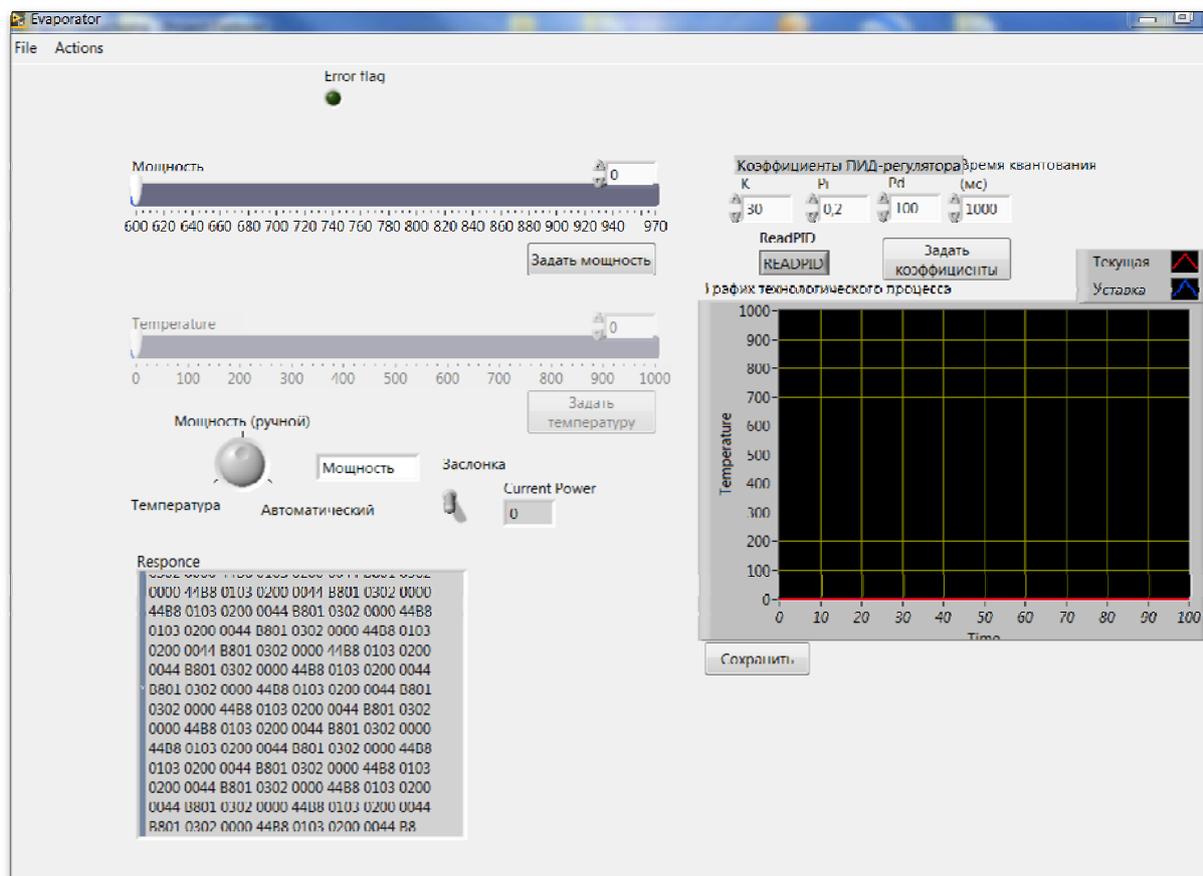


Рис. 1. Графический интерфейс программы управления температурой испарителя

В режиме ручного управления мощностью (или температурой) испарителя оператор задает мощность (или температуру) с помощью управляющего элемента на графическом интерфейсе. Модуль графического интерфейса отправляет модулю взаимодействия с микроконтроллером сообщение, содержащее заданную оператором мощность (или температуру) испарителя. В режиме автоматического управления температурой испарителя технологический процесс задается конфигурационным файлом, который считывается при переключении в автоматический режим. Технологический процесс описывает несколько этапов напыления, исполняющихся последовательно. Для каждого этапа задается его длительность в секундах, температура испарителя в конце этапа, положение заслонки (открыта или закрыта). На элементе «График технологического процесса» отображаются задаваемая и регистрируемая экспериментально зависимости температуры испарителя от времени. Коэффициенты ПИД-регулятора подбираются для наиболее точного следования заданному графику.

Экспериментальные результаты

На рис. 2 приведены результаты автоматизации и контроля температуры испарителя при напылении слоев состава As_2S_3 на подложки из плавленого кварца. Синяя кривая соответствует программно-задаваемой зависимости температуры испарителя от времени, а красная кривая отображает в реальном времени текущую температуру испарителя. Экспериментальная погрешность задаваемой температуры не превышала $4\text{ }^\circ\text{C}$.

Экспериментально был выбран следующий характер изменения температуры испарителя для обеспечения постоянной скорости испарения вещества. На первом этапе (I) производится линейное нагревание испарителя с закрытой заслонкой до температуры $200\text{ }^\circ\text{C}$ и поддержанием постоянной температуры в течение некоторого времени (II) для термолиза вещества из-за инерционности теплопередачи. На следующем этапе (III) проводится нагревание тигля испарителя до температуры испарения вещества. Далее начинается этап напыления (IV), при котором заслонка открывается (с некоторой задержкой во времени) и поддерживается постоянная температура испарителя. Заслонка закрывается когда скорость напыления замедляется по причине расхода испаряемого материала. Такой режим управления положением заслонки обеспечивает постоянство скорости напыления вещества.

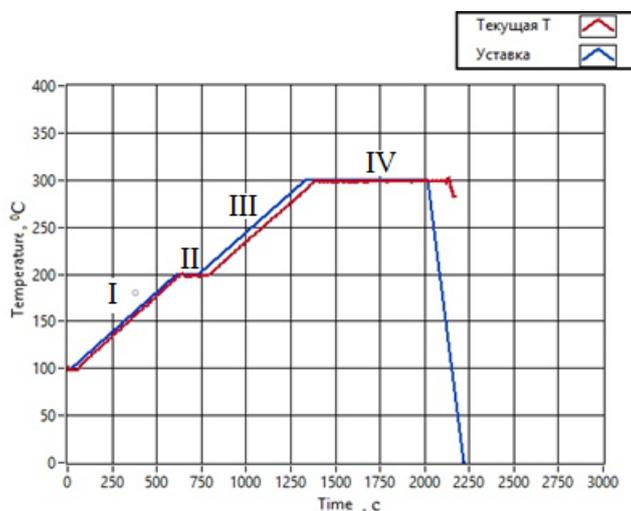


Рис. 2. Задаваемая (синяя кривая) и регистрируемая экспериментально (красная кривая) зависимости температуры испарителя от времени

В результате автоматизации увеличен динамический диапазон изменения показателя преломления $\Delta n/n$ слоев состава As_2S_3 до рекордных для регистрирующих голографических материалов значения 10% в спектральной области высокого пропускания на $\lambda = 632\text{ нм}$ и обеспечена его повторяемость от напыления к напылению.

Также напыление с постоянной скоростью применено при изготовлении пленочного аксикона из халькогенидного стекла с рекордной расчетной величиной фокусного отрезка, равной 100 м [4, 5].

Заключение

Развитие современных технологий требует необходимость использования процессов автоматизации для получения тонких слоев с улучшенными свойствами. На основе программного модуля автоматизированного управления термостатированным испарителем нами применены современные средства автоматизации процессами нанесения слоев на вакуумной напылительной установке. Система ПИД-регулирования обеспечивала стабилизацию температуры испарителя, а с помощью управляющей программы устанавливалась его температура и положение заслонки в процессе напыления. Система автоматизации позволила обеспечить повторяемость технологического процесса и программируемый температурный режим испарителя. В результате автоматизации увеличен динамический диапазон изменений показателя преломления $\Delta n/n$ слоев состава As_2S_3 в два раза в спектральной области высокого пропускания.

Благодарности

Работа выполнена в рамках госзадания Минобрнауки № гос. рег. АААА-А17-117053110007-0.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Наливайко В. И., Юрьев Г. С., Гольденберг Б. Г., Пономарева М. А. Получение фазовых структур в оптических материалах // Поверхность. – 2003. – № 11. – С. 52–55.
2. Tanaka K., Shimakawa K. Amorphous Chalcogenide Semiconductors and Related Materials. – NY. : Springer, 2011. – 242 p.
3. Zakery A., Elliott S. R. Optical Nonlinearities in Chalcogenide Glasses and their Applications. – NY. : Springer, 2007. – 199 p.
4. Санжиев Е. С., Краснов Д. В., Наливайко В. И. Получение пленочного аксикона вакуумным напылением с контролем температуры испарителя в автоматическом ПИД-режиме // Материалы молодежной конкурс-конференции «Оптические и информационные технологии». – Новосибирск, 2018. – С. 41–42.
5. Наливайко В. И., Пономарева М. А., Колдаев А. Е. Оптические аксиконы, полученные вакуумным напылением // Интерэкспо ГЕО-Сибирь. XIV Междунар. науч. конгр. : Междунар. науч. конф. «СибОптика-2018» : сб. материалов в 2 т. (Новосибирск, 23–27 апреля 2018 г.). – Новосибирск : СГУГиТ, 2018. Т. 2. – С. 16–23.

© В. И. Наливайко, М. А. Пономарева, 2019