



УДК 630.279.142.6
doi:10.21685/2587-7704-2022-7-1-14



Open
Access

RESEARCH
ARTICLE

Прибор для измерения толщины сверхтонких покрытий

Антон Сергеевич Ишков

Пензенский государственный университет, Россия, г. Пенза, ул. Красная, 40
ishkovanton@mail.ru

Антон Алексеевич Антонов

Пензенский государственный университет, Россия, г. Пенза, ул. Красная, 40
tonchic2001@mail.ru

Александр Александрович Сарайкин

Пензенский государственный университет, Россия, г. Пенза, ул. Красная, 40
fortyna579@gmail.com

Дмитрий Викторович Земляков

Пензенский государственный университет, Россия, г. Пенза, ул. Красная, 40
zemliakov.mitya2016@yandex.ru

Аннотация. Известно, что нанопокрывание предохраняет поверхности изделий от механических, химических и биологических воздействий. Ключевым параметром для оценки качества покрытия является его толщина, которую необходимо контролировать. В работе приведены преимущества использования неразрушающих методов контроля для измерения толщины нанопокровов. Выбор технологии и приборов для ее контроля производят с учетом множества факторов: необходимая точность, внешний вид и материал покрытия, износоустойчивость, минимизация расходов, потраченных на нанесение покрытий. Предлагается методика построения измерительного прибора, который фиксирует сдвиг резонансной частоты, по которой и устанавливается скорость роста пленки. Предложен принцип работы прибора, который заключается в использовании эффекта изменения резонансной частоты кварцевого кристалла при изменении его массы. Приводится разработанная структурная и функциональная схемы прибора. Выбран и обоснован метод измерения толщины с помощью кварцевого резонатора. Предложена схема подключения датчика к электронному блоку толщиномера.

Ключевые слова: нанопокрывание, напыление, толщина, неразрушающий метод контроля, кварцевый датчик, резонансная частота

Для цитирования: Ишков А. С., Антонов А. А., Сарайкин А. А., Земляков Д. В. Прибор для измерения толщины сверхтонких покрытий // Инжиниринг и технологии. 2022. Т. 7(1). С. 1–5. doi:10.21685/2587-7704-2022-7-1-14

A device for measuring thickness of ultrathin coatings

Anton S. Ishkov

Penza State University, 40 Krasnaya Street, Penza, Russia
ishkovanton@mail.ru

Anton A. Antonov

Penza State University, 40 Krasnaya Street, Penza, Russia
tonchic2001@mail.ru

Aleksandr A. Saraykin

Penza State University, 40 Krasnaya Street, Penza, Russia
fortyna579@gmail.com

Dmitriy V. Zemlyakov

Penza State University, 40 Krasnaya Street, Penza, Russia
zemliakov.mitya2016@yandex.ru

Abstract. It is known that nanocoatings protect the surfaces of products from mechanical, chemical, and biological influences. The key parameter for evaluating the coating quality is its



thickness to be controlled. The article presents the advantages of using non-destructive testing methods for measuring thickness of nanocoatings. The technology and instruments for its control are selected taking into account many factors: the required accuracy, appearance and material of the coating, wear resistance, minimal costs spent on coating. A technique for constructing a measuring device that detects the shift of the resonant frequency, according to which the film growth rate is set, is proposed. The operating principle of the device based on using the effect of changing the resonant frequency of a quartz crystal with a change in its mass is proposed. The developed structural and functional scheme of the device is presented. A method for measuring thickness using a quartz resonator has been selected and justified. A scheme for connecting the sensor to the electronic unit of the thickness gauge is proposed.

Keywords: nanocoating, deposition, thickness, non-destructive testing method, quartz sensor, resonant frequency

For citation: Ishkov A.S., Antonov A.A., Saraykin A.A., Zemlyakov D.V. A device for measuring thickness of ultrathin coatings. *Inzhiniring i tekhnologii = Engineering and Technology*. 2022;7(1):1–5. (In Russ.). doi:10.21685/2587-7704-2022-7-1-14

Введение

В настоящее время проводятся усиленные работы в сфере создания и исследования наноструктурированных материалов и нанотехнологий. Наноструктурированные материалы – это материалы новоиспеченного класса, имеют необычную атомно-кристаллическую структуру и показывают неповторимые свойства. Ключевое отличие данных материалов от традиционных заключается в том, что образующие их морфологические элементы обладают как минимум одним из масштабов, по меньшей мере 1 мкм. Данное покрытие представляет собой одну нанометровую пленку или несколько покрытий, состоящих из множества нанослоев. Сюда же следует отнести однослойные нанопокрывтия, напыления, обладающие большей толщиной, состоящие из нанокристаллов. Наноматериалы, наночастицы, квантовые точки, нанотрубки, нитевидные кристаллы, большие нанокристаллические материалы и прочие материалы с отличительным масштабом по меньшей мере 100 нм в одном и более измерениях, располагают неповторимыми особенностями, не присущими массивным материалам. Нанопокрывтие может предохранять всякое вещество и любой тип поверхности от механических, химических и биологических воздействий. Таким образом, для изменения качеств поверхности материалов применяются все разновидности покрытий, но безотносительно от применяемого покрытия, ключевым параметром особенности покрытия представляется его толщина. В связи с этим определение толщины напыления возлежит в базе оценки особенности изделия [2].

Исследование технологий измерения толщины покрытий

Для повышения качества измерения необходимо подбирать приемлемую технологию и приборы. Выбор производят с учетом множества факторов: необходимая точность, внешний вид и материал покрытия, износоустойчивость, минимизация расходов, потраченных на нанесение покрытий. Немаловажным фактором является возможность или недопустимость уничтожения напыления [1].

Неразрушающие способы измерения толщины напыления

Классификация неразрушающих методов толщины покрытия представлена на рис. 1.

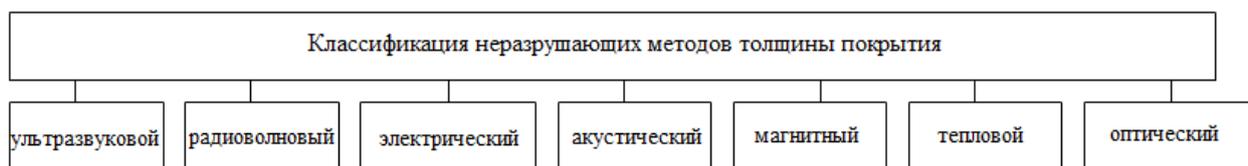


Рис. 1. Классификация неразрушающих методов измерения толщины покрытия

Метод вихревых токов, отрывной и индуктивный методы являются основами магнитных методов, выполняющих измерение толщины покрытий.

Основой отрывного метода является измерение силы отрыва магнита от поверхности необходимой детали. За счет осаждения испаряемого материала на измеряемый кварцевый датчик увеличивается его масса, что приводит к уменьшению частоты возбуждения автогенератора $G_{и}$. Выходные



сигналы автогенераторов поступают на вход смесителя частот, который выделяет разностную частоту, пропорциональную массе осевшего на измерительный датчик напыляемого материала. Частота среза фильтра определяется диапазоном измеряемых толщин и плотностью напыляемого материала, как правило, она ниже частоты возбуждения на порядок. Сигнал разностной частоты преобразуется в напряжение с помощью преобразователя частоты в напряжение. Напряжение, пропорциональное толщине напыляемого материала, с помощью аналого-цифрового преобразователя трансформируется в код, который поступает на вход микропроцессора. Микропроцессор обрабатывает полученные данные и выводит информацию об измеренной толщине на индикаторное табло. С помощью микропроцессора можно формировать команду на контроллер установки вакуумного напыления. Когда толщина напыляемого материала достигнет заданной уставки, микропроцессор подаст команду на отключение процесса напыления. Пульт управления используется для ввода параметров уставки по толщине покрытия и поправочных коэффициентов на плотность напыляемого материала. На рис. 2 показаны: ИП – измерительный преобразователь; МУ – масштабирующий усилитель; БП – блок процессорный; БИ – блок индикации; БП – блок памяти; СБП – стабилизированный блок питания [4].

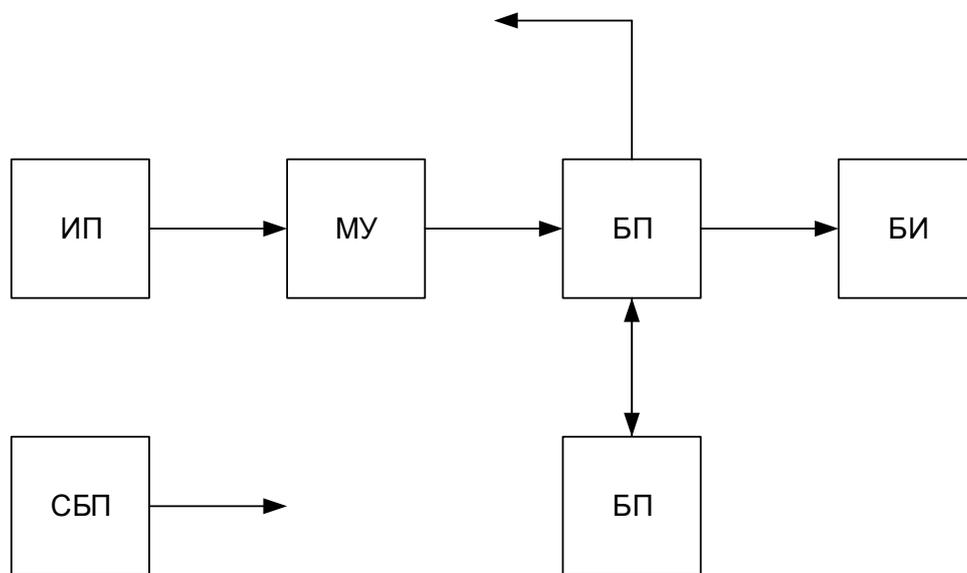


Рис. 2. Структурная схема магнитного толщиномера

На основе изученных методов, существующих средств, требований к перечню и диапазонам измеряемых толщин была разработана структурная схема магнитного толщиномера [6].

Цифровой толщиномер, реализующий метод кварцевого резонатора

На рис. 3 представлена структурная схема цифрового толщиномера, реализующая метод кварцевого резонатора. Схема содержит опорный генератор ОГ, подключенный к опорному кварцевому датчику КД_о, измерительный генератор ИГ, подключенный к измерительному кварцевому датчику КД_и, формирователь сигнала разностной частоты ФСРЧ, преобразователь частоты в напряжение ПЧН, аналого-цифровой преобразователь АЦП, микропроцессор МП, графический дисплей ГД, контроллер установки вакуумного напыления КУВН [7].

Принцип работы прибора заключается в следующем. Кварцевые датчики КД_о и КД_и размещаются в вакуумной камере, причем датчик КД_и располагается непосредственно перед запыляемой подложкой. После включения испарителя напыляемое вещество, размещенное в испарителе, закипает и начинает испаряться. После напыления вещество оседает на КД_и, что приводит к увеличению его массы [8].

После того, как сличается частота измерительного генератора с частотой опорного генератора, сигнал разности частот, который является функцией толщины, уходит на преобразователь частоты в напряжение. Далее сигнал преобразуется в цифровой код с помощью АЦП. Микропроцессор служит для обработки полученного сигнала, вывода измеренной толщины на ГД, а также для формирования команд, управляющих процессом напыления [7].

На основе структурной схемы была разработана функциональная схема прибора (рис. 4).

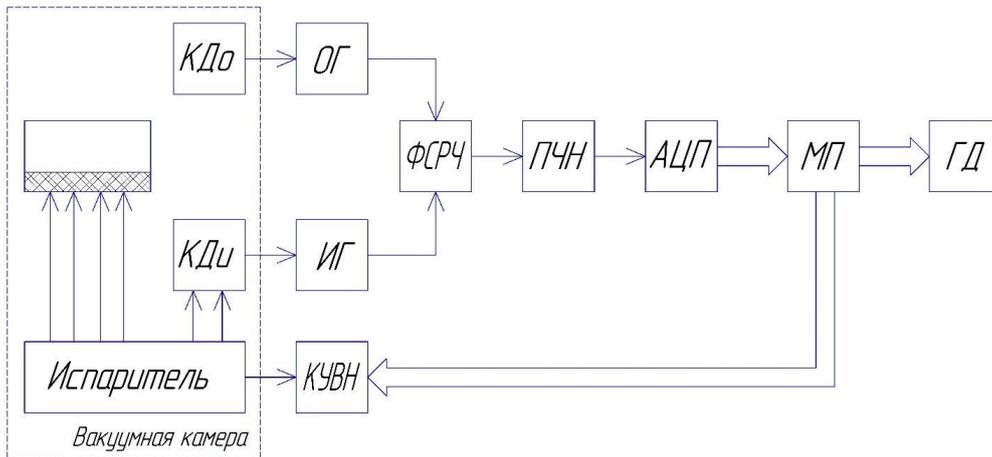


Рис. 3. Структурная схема цифрового толщиномера

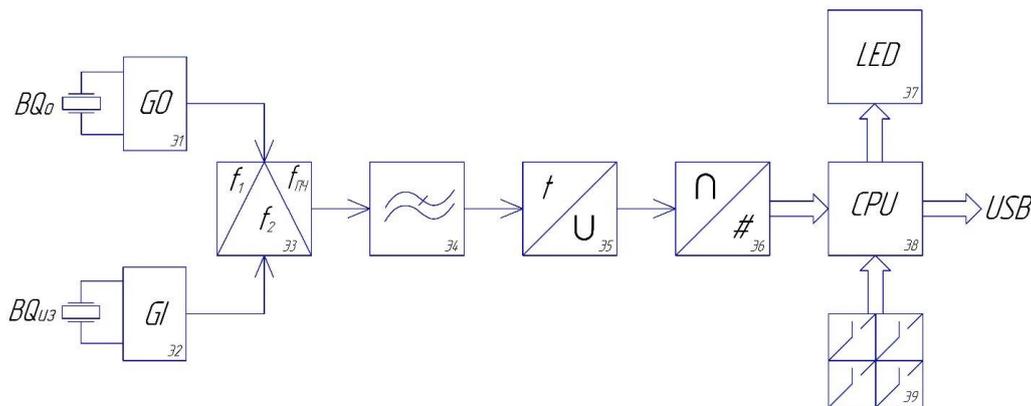


Рис. 4. Функциональная схема цифрового толщиномера

Прибор реализует дифференциальную схему включения кварцевых датчиков. Кварцевые датчики включены в цепь возбуждения автогенераторов G_0 и G_1 . Использование дифференциальной схемы позволяет значительно снизить погрешность нуля и температурную погрешность датчиков. Кварцевые датчики идентичны, они отличаются только размещением их в вакуумной камере. Измерительный датчик располагается непосредственно перед испарителем, на него оседает напыляемое вещество, как и на подложку, а опорный датчик находится в тех же условиях, только он защищен от напыления [8].

В ходе работы над данным вопросом также была предложена схема подключения датчика к электронному блоку толщиномера, которая приведена на рис. 5.

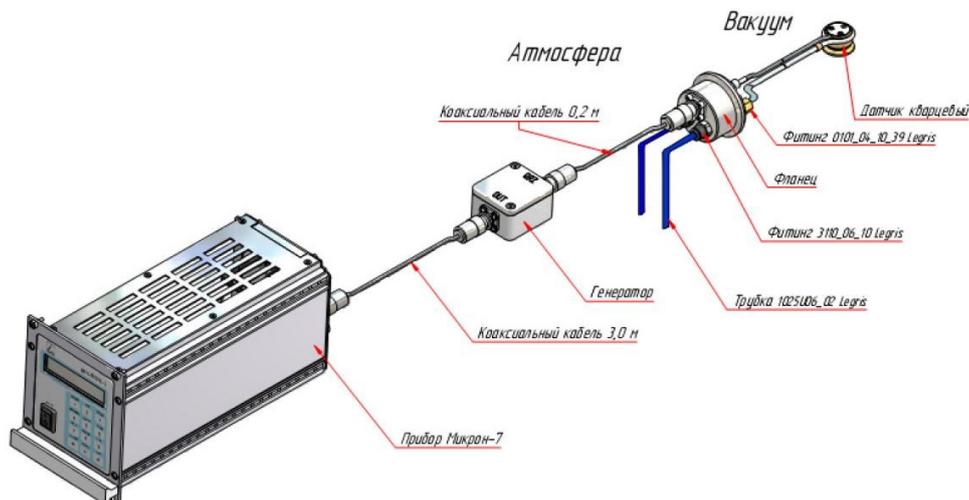


Рис. 5. Схема подключения кварцевого датчика



Для организации процесса напыления необходимо внести в память прибора параметры материалов, слоев и ввести формулу пленки (указать последовательность напыляемых слоев).

При достижении требуемой толщины слоя вырабатывается сигнал останова, который может применяться для автоматического закрытия заслонок, отключения питания распылительных устройств и т.п. Данные о частоте кварцевого датчика передаются по интерфейсу RS-232 или RS-485. Управление прибором для измерения толщины сверхтонких покрытий осуществляется с помощью персонального компьютера, входящего в автоматизированную систему управления технологическим процессом напыления. Важной характеристикой прибора является его возможность проводить измерения непосредственно в процессе напыления покрытия [7].

Заключение

Рассмотрены методы измерения толщины сверхтонких пленок, позволяющие проводить контроль непосредственно в ходе технологического процесса. Выбран и обоснован метод измерения толщины с помощью кварцевого резонатора.

На основе структурной схемы была разработана функциональная схема прибора. Описан принцип работы разработанного прибора.

Разработана схема подключения, обеспечивающая контроль и измерение толщины тонких пленок.

Список литературы

1. ГОСТ 27750–88 Контроль неразрушающий. Покрытия восстановительные. Методы контроля толщины покрытий. URL: <http://docs.cntd.ru/document/1200013312>
2. Бабаджанян Л. С., Бабаджанян М. Л. Метрологическое обеспечение измерений толщины покрытий. М. : Издательство стандартов, 2004. 264 с.
3. Потапов А. И., Сясько В. А. Неразрушающие методы и средства контроля толщины покрытий и изделий : научное, методическое, справочное пособие. СПб. : Гуманитика, 2009. 904 с.
4. Дорофеев А. Л. Индукционная толщинометрия. М. : Энергия, 1995. 198 с.
5. Клюев В. В., Соснин Ф. Р., Филинов В. Н. [и др.]. Неразрушающий контроль и диагностика : справочник / под ред. В. В. Клюева. М. : Машиностроение, 1995. 488 с.
6. Хоровиц П., Хилл У. Искусство схемотехники : в 3 т. : пер. с англ. 4-е изд. перераб. и доп. М. : Мир, 1993.
7. Справочник по кварцевым резонаторам / под ред. П. Г. Позднякова. М. : Связь, 1978. 340 с.
8. Смагин А. Г., Ярославский М. И. Пьезоэлектричество кварца и кварцевые резонаторы. М. : Энергия, 1970.

References

1. GOST 27750–88 *Kontrol' nerazrushayushchiy. Pokrytiya vosstanovitel'nye. Metody kontrolya tolshchiny pokrytiy = Nondestructive testing. Restoring coatings. Coating thickness control methods.* (In Russ.). Available at: <http://docs.cntd.ru/document/1200013312>
2. Babadzhanyan L.S., Babadzhanyan M.L. *Metrologicheskoe obespechenie izmereniy tolshchiny pokrytiy = Metrological assurance of coating thickness measurements.* Moscow: Izdatel'stvo standartov, 2004:264. (In Russ.)
3. Potapov A.I., Syas'ko V.A. *Nerazrushayushchie metody i sredstva kontrolya tolshchiny pokrytiy i izdeliy: nauchnoe, metodicheskoe, spravochnoe posobie = Non-destructive methods and means to control thickness of coatings and products: A scientific, methodological, reference manual.* Saint Petersburg: Gumanistika, 2009:904. (In Russ.)
4. Dorofeev A.L. *Induktsionnaya tolshchinometriya = Induction thickness gauging.* Moscow: Energiya, 1995:198. (In Russ.)
5. Klyuev V.V., Sosnin F.R., Filinov V.N. [et al.]. *Nerazrushayushchiy kontrol' i diagnostika: spravochnik = Non-destructive testing and diagnostics: A reference book.* Moscow: Mashinostroenie, 1995:488. (In Russ.)
6. Khorovits P., Khill U. *Iskusstvo skhemotekhniki: v 3 t.: per. s angl. 4-e izd. pererab. i dop = The art of electronics: in 3 Volumes: translated from English. 4th ed. revised and added.* Moscow: Mir, 1993. (In Russ.)
7. Pozdnyakov P.G. *Spravochnik po kvartsevym rezonatoram = Quartz resonator handbook.* Moscow: Svyaz', 1978:340. (In Russ.)
8. Smagin A.G., Yaroslavskiy M.I. *P'ezoelektrichestvo kvartsa i kvartsevye rezonatory = Quartz piezoelectricity and quartz resonators.* Moscow: Energiya, 1970. (In Russ.)

Поступила в редакцию / Received 11.03.2022

Поступила после рецензирования и доработки / Revised 17.04.2022

Принята к публикации / Accepted 12.05.2022