

ИНТЕГРАЦИЯ АВТОМАТИЧЕСКОГО ДОЗАТОРА В КОНСТРУКЦИЮ ПРИБОРА ОЦЕНКИ ШЕРОХОВАТОСТИ И ЧИСТОТЫ ПОВЕРХНОСТИ ОПТИЧЕСКИХ ПОДЛОЖЕК

© 2013 П.Ю.Изотов

Институт систем обработки изображений РАН, г. Самара

Поступила в редакцию 07.06.2013

Рассматривается задача улучшения характеристик прибора для экспресс-контроля шероховатости и чистоты поверхности оптических подложек. Для повышения точности и стабильности работы предлагается оснастить прибор автоматизированным дозатором жидкости. Приводится список требований, предъявляемых к дозатору, а также решение проблем, возникающих при реализации взаимодействия программного обеспечения прибора и дозатора.

Ключевые слова: автоматический дозатор, дозирование жидкости, экспресс-контроль чистоты и гладкости поверхности, шероховатость, оптическая подложка, программное обеспечение, управляемый код, неуправляемый код, динамически подключаемая библиотека, высокоскоростная видеосъемка, видеокамера.

ВВЕДЕНИЕ

При формировании микрорельефов дифракционных оптических элементов, изготовлении больших интегральных схем, лазерных зеркал и т.п., особое значение имеют гладкость и чистота поверхности исходного материала [1-7]. Традиционно для оценки этих параметров используются профилометры, профилографы, растровые, туннельные, сканирующие зондовые микроскопы, спекл-оптические методы [8-12]. Существенным недостатком таких методов является высокая стоимость оборудования и низкая производительность. В частности, при оценке шероховатости поверхности с использованием атомно-силового микроскопа "Solver Pro-M" максимальный размер исследуемой площадки составляет 50 мкм [13].

В работах [14-15] для экспресс-оценки шероховатости поверхности был предложен метод и описан прибор, принцип работы которого основан на анализе динамических характеристик капли жидкости, измеряющихся в процессе ее растекания по поверхности подложки. В отличие от других контактных методов экспресс-контроля, например, трибометрического [16-17], данный метод является неразрушающим, так как не приводит к нарушению чистоты и гладкости исследуемой поверхности.

Важной характеристикой прибора экспресс-оценки шероховатости поверхности является длительность проведения замеров. Устранение непроизводительных задержек позволяет улучшить эту характеристику. Поскольку в данном случае их наличие обусловлено необходимостью ручного управления на этапе дозирования жид-

кости, остро встает задача автоматизации данной стадии измерений.

В настоящей работе решается задача автоматизации процесса нанесения капли на поверхность исследуемой подложки, обосновывается необходимость оснащения прибора для оценки шероховатости поверхности электронным дозатором жидкости, управляемым с компьютера.

КОНСТРУКЦИЯ ПРИБОРА И ОПИСАНИЕ ПРИНЦИПОВ ЕГО РАБОТЫ

Недавно предложенные конструктивные доработки [18-19] привели к созданию прибора анализа чистоты поверхности подложек (рис. 1), схематически представленного на рис. 2. Функционирование прибора происходит следующим образом.

Для оценки шероховатости поверхности оптическая подложка (7) располагается горизонтально под источником освещения (1) и иглой (5) дозатора (4). При этом освещение проецируется таким образом, чтобы равномерно осветить область растекания капли [20-23] или выделить форму капли освещением в виде линии [24-28]. Оператор с помощью дозатора наносит на под-



Рис. 1. Внешний вид устройства

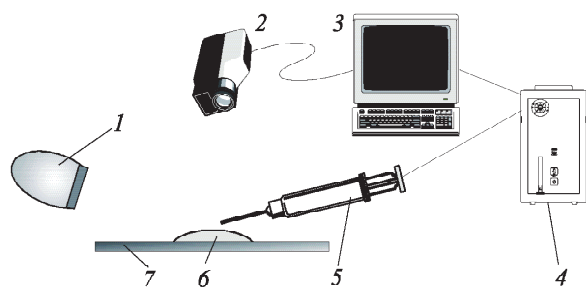


Рис. 2. Структурная схема устройства

ложку каплю жидкости (6) и одновременно с этим подаёт на компьютер (3) команду начать съёмку высокоскоростной камерой (2) процесса растекания капли жидкости. Далее производится анализ отснятых кадров с помощью алгоритмов обработки изображений и методов компьютерного зрения, оцениваются размеры, форма, скорость растекания в различных направлениях и другие динамические характеристики капли [29]. Затем результаты измерений сравниваются с таковыми для эталонных подложек, информация о которых хранится в базе данных прибора. На основе результатов сравнения делается вывод о степени шероховатости и чистоты, а также о наличии дефектов, загрязнений и других типов неоднородности поверхности исследуемой подложки.

Необходимым условием повторяемости и достоверности результатов является высокая степень точности дозирования жидкости. Следует также учитывать особенности процесса съёмки высокоскоростной видеокамерой VS-FAST C/G/6: сначала все записанные видеоданные сохраняются во внутренней памяти видеокамеры, а затем, по мере её заполнения, передаются в оперативную память компьютера. Поскольку скорость передачи данных на компьютер меньше, чем скорость записи во внутреннюю память камеры, возникает необходимость синхронизации момента начала съёмки с моментом нанесения капли на подложку. В противном случае внутренняя память видеокамеры заполнится быстрее, чем процесс растекания капли будет отснят полностью. В известных системах технического зрения [30-34] подобная проблема не возникает, что обуславливает необходимость проведения дополнительных исследований. Одним из возможных вариантов решения возникающей проблемы является использование автоматического дозатора. Сформулируем требования к автоматическому дозатору, удовлетворение которым обеспечит эффективную работу прибора.

ТРЕБОВАНИЯ, ПРЕДЪЯВЛЯЕМЫЕ К АВТОМАТИЧЕСКОМУ ДОЗАТОРУ

В результате проведенного анализа было установлено, что дозатор должен удовлетворять следующим условиям:

- подача команды на дозирование с компьютера;
- возможность настройки объёма дозируемой жидкости и скорости дозирования;
- малая погрешность при дозировании;
- наличие набора инструментальных средств разработчика (SDK);
- подключение дозатора к компьютеру должно осуществляться через порты периферии, присутствующие на аппаратном обеспечении современных компьютеров – USB или LAN-порт.

Оценка шероховатости поверхности при использовании ручного дозатора проводилась следующим образом. На подставку прибора помещалась исследуемая подложка, высокоскоростная камера переводилась в режим съёмки. Затем оператор вручную с помощью механического дозатора наносил на подложку каплю жидкости. Из-за необходимости ручного вмешательства в процесс измерений время между началом съёмки и моментом падения капли на поверхность исследуемой подложки зависит от скорости реакции оператора и колеблется в пределах 0,3-1,2 с. Необходимость затрачивать компьютерное время на обработку отснятых за это время неинформативных кадров приводит к увеличению длительности измерений.

После исследования рынка специализированного оборудования, выбор был остановлен на электронном дозаторе Microlab ML630 Single Syringe PC Controlled производства фирмы Hamilton (Швейцария, США) со шприцевым модулем объёмом 50 мкл [35]. Этот прибор позволяет формировать капли жидкости объёмом от 0,01 мкл с точностью дозирования 1%.

Для связи с компьютером используется кабель UTP пятой категории, подключаемый через разъём 8P8C по технологии 100BASE-T (Fast Ethernet). Коммуникация с дозатором осуществляется путем обмена сообщениями по протоколу TCP/IP. Эта функциональность реализована в динамически подключаемой библиотеке, предоставляемой компанией-производителем дозатора.

ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ МОДУЛЯ УПРАВЛЕНИЯ ДОЗАТОРОМ С ПРОГРАММНЫМ ОБЕСПЕЧЕНИЕМ ПРИБОРА

Для того чтобы интегрировать дозатор в программно-аппаратный комплекс прибора оценки шероховатости и чистоты поверхности оптических подложек, потребовалось решить проблему совместимости программных модулей. Программа управления прибором написана на языке C++ без использования библиотеки Microsoft .NET, в то время как библиотека управления дозатором написана на C# с использованием этой библиотеки. Для того чтобы функции управления доза-

тором можно было вызывать из кода, написанного на C++, с помощью библиотеки Unmanaged Exports [36] был создан модуль, транслирующий C++-вызовы в вызовы .NET и обратно.

Определенную трудность составила особенность работы функций из библиотеки управления дозатором. Для формирования капли вызывается функция «dispense», которой в качестве входного параметра передается информация об объеме жидкости, подлежащем дозированию. При вызове этой функции на дозатор поступает сигнал, по которому включается электрический привод, приводящий в движение поршень шприца. Затем поршень передвигается на необходимое расстояние, после чего включается торможение и привод останавливается. Возврат в основную программу из функции «dispense» производится только после того, как движение поршня завершилось, и микропрограмма контроллера привода дозатора провела опрос аппаратного обеспечения на наличие сбоев. К этому моменту процесс дозирования уже завершён: капля достигла поверхности подложки, и процесс растекания завершился. Таким образом, начинать съёмку процесса растекания необходимо до вызова функции «dispense».

Однако, если начать процесс съёмки перед вызовом функции дозирования, будут отсняты лишние кадры, на которых запечатлена поверхность подложки до нанесения на неё капли. Экспериментально было установлено, что капля достигает подложки через 480–580 мс после того, как была вызвана функция «dispense». Это означает, что при съёмке со скоростью 500 кадров в секунду первые 240–290 кадров будут неинформативными, и их придется пропустить, что приводит к неэффективному расходованию внутренней памяти камеры. Чтобы избежать этого, запуск процессов дозирования и съёмки был разделён по потокам исполнения. Вызов функ-

ции «dispense» происходит в альтернативном потоке, а процесс съёмки видео стартует в основном потоке с задержкой 480 мс.

Определённую сложность составила необходимость учитывать задержки, связанные с перезаправкой шприца дозатора. Перед началом измерений дозатор проходит процедуру инициализации, в процессе которой шприц освобождается от остатков жидкости, а после этого заполняется новой порцией. При проведении нескольких измерений подряд формируется несколько капель, в результате чего шприц опустошается, а значит, перед очередным измерением потребуется его дозаправка. В результате экспериментов было установлено, что время, проходящее между вызовом функции «dispense» и касанием капель поверхности исследуемой подложки, зависит от того, является ли этот вызов первым после перезаправки шприца. Так, если функция «dispense» вызывается первый раз после перезаправки шприца, то время между моментом её вызова и моментом касания капель поверхности подложки составляет 380–450 мс против 480–580 мс при втором и последующих вызовах, что связано с особенностями внутреннего функционирования дозатора.

Таким образом, программное обеспечение было дополнено функцией распознавания данной ситуации с последующей установкой в случае необходимости соответствующей задержки перед началом съёмки процесса растекания в зависимости от того, требуется ли перезаправка шприца дозатора перед началом очередного измерения или нет.

АНАЛИЗ РАБОТЫ ПРИБОРА В НОВОЙ КОМПЛЕКТАЦИИ

На рис. 3 приведены графики, на которых показаны длительности периодов между началом момента съёмки и касанием капель поверхности



Рис. 3. Графики длительности периодов съёмки неинформативных кадров при ручном и автоматическом дозировании

подложки для автоматического и ручного режимов дозирования. При съёмке со скоростью 500 кадров в секунду среднее количество неинформативных кадров, отснятых до касания капель поверхности подложки, по результатам 30 экспериментов было уменьшено с 276 при ручном дозировании до 36 при автоматическом дозировании.

В результате замены механического дозатора автоматическим дозатором Microlab ML630, управляемым при помощи компьютера, была повышена точность, с которой формируется капля жидкости заданного объёма. За счет большего числа шагов фиксации поршня и меньшего их размера у автоматического дозатора по сравнению с механическим, стало возможным более точно настраивать условия измерений при работе с подложками, изготовленными из различных материалов, и проводить исследования при различных условиях внешней среды.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Укомплектование прибора оценки шероховатости и чистоты поверхности оптических подложек электронным дозатором является важным шагом на пути к полной автоматизации процессов измерений. Устранение погрешностей ручного метода дозирования позволило избежать издержек, связанных с обработкой неинформативных кадров, отснятых высокоскоростной камерой за время между моментами начала съёмки и касания капель жидкости поверхности, что привело к сокращению времени измерений в целом.

После автоматизации процесса горизонтального перемещения основания, на котором размещается исследуемая подложка, станет возможным проводить оценку шероховатости и чистоты всей поверхности подложки без ручного вмешательства. Другим направлением продолжения исследований является анализ равномерности распределения нанопор [37-40] по поверхности материала, обработанного с помощью фокусаторов лазерного излучения [41-46].

БЛАГОДАРНОСТИ

Работа выполнена при поддержке Министерства образования и науки РФ и Российского фонда фундаментальных исследований (проект № 11-07-00153-а).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Волков А.В., Казанский Н.Л., Сойфер В.А., Соловьев В.С. Технология изготовления непрерывного микро-рельефа дифракционных оптических элементов // Компьютерная оптика. 1997. № 17. С. 91-93.
2. Volkov A.V., Kazanskiy N.L., Moiseev O.Yu., Soifer V.A. A

Method for the Diffractive Microrelief Forming Using the Layered Photoresist Growth // Optics and Lasers in Engineering. 1998. Vol. 29, №№ 4-5. P. 281-288.

3. Волков А.В., Казанский Н.Л., Рыбаков О.Е. Разработка технологии получения дифракционного оптического элемента с субмикронными размерами рельефа в кремниевой пластине // Компьютерная оптика. 1998. № 18. С. 130-133.
4. Казанский Н.Л., Колтаков В.А., Колтаков А.И. Исследование особенностей процесса анизотропного травления диоксида кремния в плазме газового разряда высоковольтного типа // Микроэлектроника. 2004. Том 33, №3. С. 209-224.
5. Pavelyev V.S., Borodin S.A., Kazanskiy N.L., Kostyuk G.F., Volkov A.V. Formation of diffractive microrelief on diamond film surface // Optics & Laser Technology. 2007. Vol. 39, № 6. P. 1234-1238.
6. Абульханов С.Р., Казанский Н.Л., Досколович Л.Л., Казакова О.Ю. Методы изготовления элементов дифракционной оптики резанием на станках с ЧПУ // СТИН. 2011. № 9. С.22-27.
7. Bezus E.A., Doskolovich L.L., Kazanskiy N.L. Evanescent-wave interferometric nanoscale photolithography using guided-mode resonant gratings // Microelectronic Engineering. 2011. Vol. 88, № 2. P. 170-174.
8. Волков А.В., Казанский Н.Л., Рыбаков О.Е. Исследование технологии плазменного травления для получения многоуровневых дифракционных оптических элементов // Компьютерная оптика. 1998. № 18. С. 127-130.
9. Волков А.В., Казанский Н.Л., Моисеев О.Ю. Подготовка поверхности подложек для изготовления ДОО методом послонного наращивания фоторезиста // Компьютерная оптика. 2001. № 21. С. 113-116. – ISSN 0134-2452.
10. Казанский Н.Л. Исследовательский комплекс для решения задач компьютерной оптики // Компьютерная оптика. 2006. № 29. С. 58-77.
11. Казанский Н.Л. Исследовательско-технологический центр дифракционной оптики // Известия Самарского научного центра РАН. 2011. Том 13, № 4. С. 54-62.
12. Барышников Н.В., Денисов Д.Г., Животовский И.В., Каплин А.Ю. Анализ методов измерения шероховатости поверхности и экспериментальное исследование диффузного рассеяния на базе рефлектометрического метода // Молодежный научно-технический вестник. 2012. № 6. – ISSN 2307-0609.
13. Solver PRO-M [Электронный ресурс] // NTI – NanoTechnology Instruments [сайт]. [2005]. URL: http://www.nanotech-instruments.com/data/media/files/products/solver/pro-m/solver_pro-m.pdf (дата обращения 12.04.2013).
14. Бородин С.А., Волков А.В., Казанский Н.Л. Автоматизированное устройство для оценки степени чистоты подложки по динамическому состоянию капли жидкости, наносимой на ее поверхность // Компьютерная оптика. 2005. № 28. С. 69-75.
15. Бородин С.А., Волков А.В., Казанский Н.Л. Устройство для анализа наношероховатостей и загрязнений подложки по динамическому состоянию капли жидкости, наносимой на ее поверхность // Оптический журнал. 2009. Том 76, № 7. С. 42-47.
16. Казанский Н.Л., Колтаков В.А., Колтаков А.И., Кричевский С.В., Ивлиев Н.А. Оптимизация параметров устройства трибометрического измерения чистоты поверхности подложек // Компьютерная оптика. – 2005. – № 28. – С. 76-79.
17. Казанский Н.Л., Колтаков В.А., Колтаков А.И., Кричевский С.В., Ивлиев Н.А. Исследование особенностей трибометрического взаимодействия диэлектрических подложек при экспресс-контроле степени чистоты их поверхности // Компьютерная оптика. 2007. Том 31, № 1. С. 42-46. – ISSN 0134-2452.
18. Изотов П.Ю., Глянько М.С., Волков А.В., Казанский Н.Л., Суханов С.В. Устройство для контроля шероховатости поверхности диэлектрических подложек //

- Патент РФ на изобретение № 2448341 от 20.04.2012. Бюл. № 11.
19. *Изотов П.Ю., Глянько М.С., Суханов С.В.* Модификация прибора индикации чистоты и гладкости оптических подложек // Компьютерная оптика. 2011. Том 35, № 1. С. 63-69. – ISSN 0134-2452.
 20. *Голуб М.А., Казанский Н.Л., Сисакян И.Н., Соифер В.А.* Формирование эталонных волновых фронтов элементами компьютерной оптики // Компьютерная оптика. 1990. № 7. С. 3-26.
 21. *Досколович Л.Л., Казанский Н.Л., Харитонов С.И.* Проектирование светотехнических устройств с ДОО // Компьютерная оптика. 1998. № 18. С. 91-96.
 22. *Досколович Л.Л., Казанский Н.Л.* Расчет зеркала для формирования диаграммы направленности излучения // Автометрия. 2004. Том 40, № 5. С. 104-111.
 23. *Moiseev M.A., Doskolovich L.L., Kazanskiy N.L.* Design of high-efficient freeform LED lens for illumination of elongated rectangular regions // Optics Express. 2011. Vol. 19, № S3. P. A225-A233.
 24. *Досколович Л.Л., Казанский Н.Л.* Расчет зеркала для формирования однопараметрической диаграммы направленности излучения // Автометрия. 2004. Том 40, № 5. С. 104-111.
 25. *Doskolovich L.L., Kazanskiy N.L., Soifer V.A., Kharitonov S.I., Perlo P.* A DOE to form a line-shaped directivity diagram // Journal of Modern Optics. 2004. Vol. 51, № 13. P. 1999-2005.
 26. *Doskolovich L.L., Kazanskiy N.L., Kharitonov S.I., Perlo P., Bernard S.* Designing reflectors to generate a line-shaped directivity diagram // Journal of Modern Optics. 2005. Vol. 52, № 11. P. 1529-1536.
 27. *Досколович Л.Л., Казанский Н.Л., Тренина М.А.* Расчет зеркала для формирования диаграммы направленности в виде отрезка // Автометрия. 2006. Том 42, № 4. С. 67-75.
 28. *Doskolovich L.L., Kazanskiy N.L., Bernard S.* Designing a mirror to form a line-shaped directivity diagram // Journal of Modern Optics. 2007. Vol. 54, №№ 3-4. P. 589-597.
 29. *Глянько М.С., Изотов П.Ю.* Программное обеспечение для устройства контроля чистоты и шероховатости оптических подложек // Компьютерная оптика. 2012. Том 36, № 2. С. 42-248. – ISSN 0134-2452.
 30. *Волотовский С.Г., Казанский Н.Л., Попов С.Б., Хмельёв Р.В.* Система технического зрения для распознавания номеров железнодорожных цистерн с использованием модифицированного коррелятора в метрике Хаусдорфа // Компьютерная оптика. 2005. № 27. С. 177-184.
 31. *Volotovskii S.G., Kazanskii N.L., Popov S.B., Khmelev R.V.* Machine Vision System for Registration of Oil Tank Wagons // Pattern Recognition and Image Analysis. 2005. Vol. 15, № 2. P. 461-463.
 32. *Казанский Н.Л., Попов С.Б.* Система технического зрения для определения количества гель-частиц в растворе полимера // Компьютерная оптика. 2009. Том 33, № 3. С. 325-331.
 33. *Kazanskiy N.L., Popov S.B.* Machine Vision System for Singularity Detection in Monitoring the Long Process // Optical Memory and Neural Networks (Information Optics). 2010. Vol. 19, № 1. P. 23–30.
 34. *Казанский Н.Л., Попов С.Б.* Распределённая система технического зрения регистрации железнодорожных составов // Компьютерная оптика. 2012. Том 36, № 3. С. 419-428.
 35. *Microlab 600 Standalone Pump* [Электронный ресурс] // Hamilton Company | Hamilton Microlab 600 | Ordering Information [сайт]. [2013]. URL: <http://www.hamiltoncompany.com/products/microlab-600/c/1170/> (дата обращения 12.04.2013).
 36. *Unmanaged Exports* [Электронный ресурс] // Home – Robert Giesecke [сайт]. [2009]. URL: <https://sites.google.com/site/robertgiesecke/Home/uploads/unmanagedexports> (дата обращения 12.04.2013).
 37. *Казанский Н.Л., Мурзин С.П., Трегуб В.И., Меженин А.В.* Применение фокусаторов излучения при формировании нанопористых структур твердокристаллических материалов // Компьютерная оптика. 2007. Том 31, № 2. С. 48-51.
 38. *Казанский Н.Л., Мурзин С.П., Меженин А.В., Осетров Е.Л.* Формирование лазерного излучения для создания наноразмерных пористых структур материалов // Компьютерная оптика. 2008. Том 32, № 3. С. 246-248.
 39. *Казанский Н.Л., Мурзин С.П., Трегуб В.И.* Оптическая система для проведения селективной лазерной сублимации компонентов металлических сплавов // Компьютерная оптика. 2010. Том 34, № 4. С. 481-486.
 40. *Kazanskiy N.L., Murzin S.P., Osetrov Ye.L., Tregub V.I.* Synthesis of nanoporous structures in metallic materials under laser action // Optics and Lasers in Engineering. 2011. Vol. 49, № 11. P. 1264-1267.
 41. *Казанский Н.Л.* Процедура корректировки фазовой функции фокусатора по результатам вычислительного эксперимента // Компьютерная оптика. 1987. № 1. С. 90-96.
 42. *Doskolovich L.L., Kazanskiy N.L., Kharitonov S.I., Usplenjev G.V.* Focusators for laser-branding // Optics and Lasers in Engineering. 1991. Vol. 15, № 5. P. 311-322.
 43. *Kazanskiy N.L., Kotlyar V.V., Soifer V.A.* Computer-aided design of diffractive optical elements // Optical Engineering. 1994. Vol. 33, № 10. P. 3156-3166.
 44. *Kazanskiy N.L., Soifer V.A.* Diffraction investigation of geometric-optical focusators into segment // Optik - International Journal for Light and Electron Optics. 1994. Vol. 96, № 4. P. 158-162.
 45. *Doskolovich L.L., Kazanskiy N.L., Soifer V.A.* Comparative analysis of different focusators into segment // Optics and Laser Technology. 1995. Vol. 27, № 4. P. 207-213.
 46. *Doskolovich L.L., Kazansky N.L., Kharitonov S.I., Soifer V.A.* A method of designing diffractive optical elements focusing into plane areas // Journal of Modern Optics. 1996. Vol. 43, № 7. P. 1423-1433.

INTEGRATION OF AN AUTOMATIC DISPENSER DEVICE EVALUATION AND CLEANING THE SURFACE ROUGHNESS OPTICAL SUBSTRATES

© 2013 P.Yu. Izotov

Image Processing Systems Institute of the RAS, Samara

The problem of improving the characteristics of the device for the rapid control of surface roughness and surface optical substrates. To improve the accuracy and stability of the proposed instrument equipped with an automated liquid dispenser. The list of requirements to the dispenser, and the solution of problems arising in the implementation of the interaction of the instrument software and dispenser.

Keywords: automatic dispenser, dispensing liquids, express control of purity and smoothness of the surface roughness, the optical substrate, software, managed code, unmanaged code, shared library, high-speed video, the camcorder.