

## ПРОГРАММНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДЛЯ УСТРОЙСТВА КОНТРОЛЯ ЧИСТОТЫ И ШЕРОХОВАТОСТИ ОПТИЧЕСКИХ ПОДЛОЖЕК

Глянько М.С.<sup>1</sup>, Изотов П.Ю.<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup> Институт систем обработки изображений РАН,

<sup>2</sup> Самарский государственный аэрокосмический университет имени академика С.П. Королёва  
(национальный исследовательский университет)

### Аннотация

В работе описывается программное обеспечение, разработанное для устройства экспресс-контроля шероховатости и чистоты поверхности оптических подложек, позволяющее автоматизировать процесс измерений. Приводится описание общей схемы проведения исследований, решаются задачи организации хранения и обработки данных в системе.

**Ключевые слова:** экспресс-контроль чистоты и шероховатости поверхности, шероховатость, оптическая подложка, программное обеспечение, кадр видеосъёмки, хранение изображений, база данных, алгоритм.

### Введение

Оценка чистоты поверхности подложки является важной технологической операцией в микро- и нанoeлектронике, при изготовлении микрорельефа дифракционных оптических элементов (ДОЭ), микро- и наноструктур [1–3]. Чистота поверхности оказывает сильное влияние на адгезию фоторезиста и защитных покрытий при плазмохимическом [4–6] и ионнохимическом травлении [7–8] подложек из различных материалов [9–11], послойном наращивании фоторезиста [12–14] и в других технологиях формирования оптического микрорельефа [15–17]. Высокое качество оптических элементов определяется низким уровнем шероховатости поверхности [18–20].

Существующие методы измерения чистоты и шероховатости поверхности подложек можно разделить на два класса: аналитические методы [2–3, 21] и методы экспресс-измерений [22–28]. Аналитические методы позволяют получить достоверную и полностью соответствующую измеряемым величинам информацию о чистоте небольшого (с длиной стороны несколько микрон) участка поверхности. Методы экспресс-контроля обеспечивают более быстрое проведение измерений по сравнению с аналитическими и предъявляют менее строгие требования к чистоте помещения, в котором проводятся измерения, однако требуют, чтобы время проведения измерений было минимальным, поскольку чистота поверхности подложки нарушается загрязнениями, присутствующими в атмосфере помещения, в котором проводится контроль.

Известно несколько методов экспресс-контроля, основанных на физическом взаимодействии исследуемой поверхности с элементами контролирующего прибора [23, 26]. У метода, основанного на трибометрическом взаимодействии диэлектрических подложек [23], есть недостаток: в процессе измерений возможно нарушение гладкости исследуемой подложки. В отличие от него, рассматриваемый в настоящей работе метод является неразрушающим и учитывает динамические изменения границы жидкости в процессе растекания капли по поверхности подложки [26]. В [26] описаны способ работы и кон-

струкция устройства контроля чистоты и шероховатости оптических подложек, основанного на этом методе, но за рамками обсуждения осталось описание программного обеспечения, разработанного для автоматизированной системы оценки чистоты и шероховатости диэлектрических подложек, в состав которой входит это устройство. В настоящей работе рассматривается программная часть указанной системы.

### Краткое описание принципов работы устройства

Для контроля чистоты и шероховатости производится съёмка процесса растекания капли жидкости по поверхности подложки скоростной видеокамерой с последующим исследованием изменения геометрических характеристик капли в процессе растекания.

Используемый в работе устройства метод контроля чистоты и шероховатости поверхности подложек основан на сравнении параметров растекающейся по поверхности исследуемой и эталонных подложек капли. Под эталонными подразумеваются такие подложки, чистота и шероховатость которых были подтверждены с использованием аналитических [2–3, 21] методов (например, на профилографе или методами электронной микроскопии). Присутствие загрязнений и шероховатость поверхности приводят к отклонению формы и размеров капли [26].

Рассматриваемое устройство состоит из видеокамеры VS-FAST C/G/6, дозатора жидкости, системы освещения подложки и персонального компьютера. Внешний вид и схема устройства представлены на рис. 1 и 2.

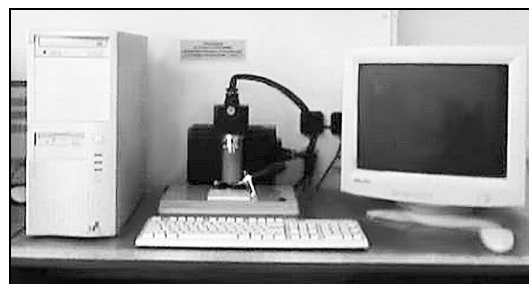


Рис. 1. Внешний вид устройства

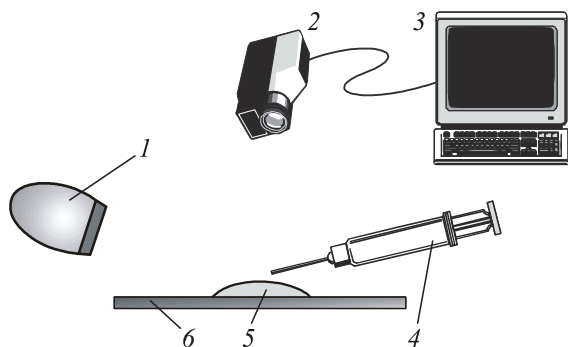


Рис. 2. Структурная схема устройства

Устройство работает следующим образом. Горизонтально расположенная поверхность исследуемой подложки (6) освещается источником света (1). С помощью дозатора (4) на исследуемый участок поверхности подложки наносится капля жидкости (5) фиксированного объёма. С помощью скоростной видеокамеры (2) ведётся съёмка процесса растекания, и поступающие с камеры кадры подвергаются специализированной обработке с целью получения параметров капли.

### Программное обеспечение

При исследованиях чистоты и шероховатости с использованием описываемого устройства проводятся различные действия, часть которых можно реализовать как функции автоматизированной системы проведения научных экспериментов:

1. Проведение контроля чистоты и шероховатости подложек:
  - 1.1. Задание параметров съёмки.
  - 1.2. Съёмка процесса растекания капли.
  - 1.3. Обработка изображений с использованием алгоритмов компьютерной графики и компьютерного зрения.
  - 1.4. Оценка чистоты и шероховатости поверхности исследуемой подложки по результатам анализа видеоданных.
2. Сохранение информации о проведённых измерениях совместно с отснятыми видеоданными.
3. Предоставление доступа к сохранённым в системе данным, выборка по нескольким параметрам.

В состав такой автоматизированной системы должна входить подсистема технического зрения. Похожие разработки, описанные в [29–30], успешно применяются на практике.

До недавнего времени при проведении исследований использовалось демонстрационное программное обеспечение (ПО) WinVsFastShell v.1.11.1, поставляемое в комплекте с камерой. Оно позволяет задавать параметры съёмки и сохранять отснятые кадры в файле формата AVI [31].

К недостаткам этого ПО можно отнести следующие:

- Сложности, связанные с выбором момента начала съёмки: желательно, чтобы съёмка начиналась в момент касания капли. Это позволит избежать

обработки неинформативных кадров (до начала растекания капли).

- Отсутствие возможности выбора границ области съёмки приводит к тому, что значительная площадь кадра (без капли) является неинформативной. Это увеличивает длительность обработки видеоданных в частности и измерений в целом.
- При сохранении видеоданных применяются методы сжатия с потерями. Это приводит к появлению искажений, что затрудняет обработку кадров специализированными алгоритмами и уменьшает точность оценки шероховатости.
- Задача по обеспечению целостности и сохранности видеоданных и результатов обработки целиком и полностью ложится на экспериментатора, поскольку они хранятся отдельно от информации об эксперименте, и, следовательно, существует риск изменения или удаления данных в обход системы.
- Отсутствие возможности обработки отснятых кадров «на лету», без предварительного сохранения на жёстком диске. Данный недостаток представляется существенным, поскольку описываемый метод контроля относится к классу экспресс-методов, к которым предъявляются повышенные требования ко времени проведения измерений.

Ввиду указанных недостатков поставляемого программного обеспечения было принято решение о разработке автоматизированной системы, которая удовлетворяет вышеперечисленным требованиям.

Для получения данных с камеры был разработан модуль, основанный на библиотеке VS-LIB 3 SDK v.3.0.39, поставляемой компанией Видеоскан в комплекте с камерой. Этот модуль предоставляет управление большим количеством настроек съёмки по сравнению с ПО WinVsFastShell, что позволяет получать изображения более высокого качества.

### Организация хранения данных

Ключевым моментом при разработке базы данных системы является способ организации хранения получаемой с видеокамеры последовательности кадров. Существует два противоположных подхода к решению данной проблемы.

Идея первого подхода заключается в том, чтобы хранить изображения в виде файлов на жёстком диске, а в базе данных хранить путь к файлу. Достоинством такого подхода является высокая скорость доступа к изображениям. Существенным недостатком же является невозможность обеспечения целостности данных средствами системы, поскольку доступ к изображениям возможен извне.

Второй подход предполагает хранение изображения непосредственно в базе данных, благодаря чему обеспечивается целостность данных системы, но возможен проигрыш в скорости доступа.

Оба подхода не раз рассматривались разработчиками программного обеспечения. Авторами [32] было проведено исследование скоростей записи и чте-

ния для случая хранения двоичных данных (BLOB) в базе данных (использовалась СУБД MS SQL Server 2005) и в файловой системе (NTFS). Согласно полученным результатам, с точки зрения скорости доступа объекты, чей размер не превышает 256 килобайт, лучше хранить в базе данных, а объекты большего размера – в файловой системе.

Похожего мнения придерживается Том Кайт (Thomas Kyte), старший архитектор отдела серверных технологий компании Oracle, известный специалист по разработке приложений для СУБД Oracle. Он рекомендует хранить бинарные данные (например, изображения) в базе данных и лишь в случае, если это данные внушительных размеров и происходит их частое обновление или удаление, советуем хранить их в файловой системе [33].

В описываемой системе было решено хранить изображения в формате PNG [34] в 256 градациях серого. Применение формата PNG для хранения изображений позволяет производить сжатие изображе-

ний без потерь качества. Это важно, поскольку на поздних стадиях растекания капли её границы меняются незначительно, что требует повышенной точности представления данных при хранении. В результате получаемые изображения размера 700×700 пикселей занимают порядка 260–270 килобайт.

Ввиду указанных особенностей изображений (малый размер, редкое изменение), с которыми работает система, было принято решение хранить изображения в самой базе данных. Это позволило при приемлемой скорости доступа обеспечить целостность данных.

Таким образом, для хранения информации о проводимых экспериментах была разработана модель базы данных системы согласно нотации IDEF1X [35], представленная на рис. 3. Для обеспечения эффективного хранения и доступа к данным была проведена нормализация схем отношений. Описание взаимодействия с базой данных приведено в следующих пунктах.

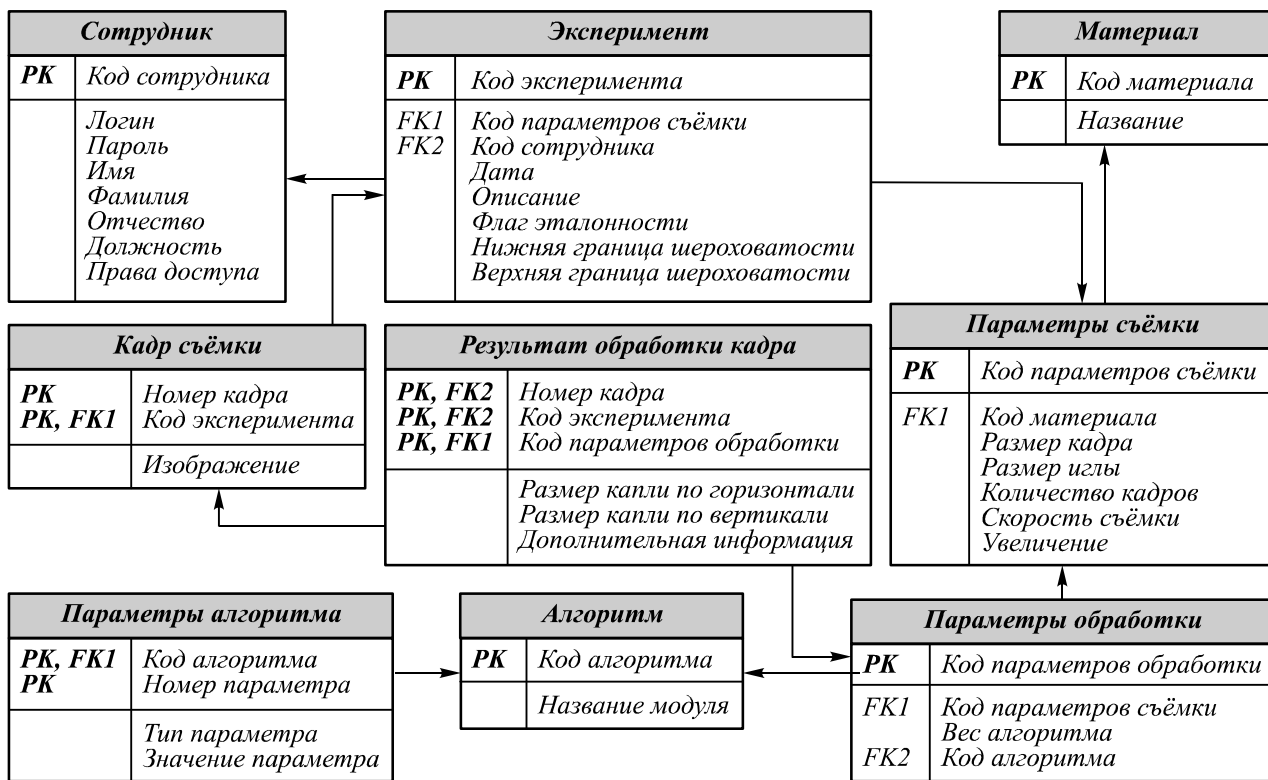


Рис. 3. Логическая модель базы данных

**Функционирование программного обеспечения в рамках проведения эксперимента**

Результат измерений представляется в виде диапазона величин, в котором находится шероховатость поверхности исследуемой подложки. Поскольку описываемый в настоящей работе метод является сравнительным, то границами этого диапазона являются величины шероховатости эталонных подложек, данные о которых находятся в системе. Такие подложки измеряются на описываемом в настоящей работе устройстве экспресс-контроля чистоты и шероховатости,

все данные об измерении сохраняются в базе данных, а соответствующие записи в таблице «Эксперимент» помечаются флагом эталонности. В дальнейшем собранная информация об эталонах используется на последней стадии оценки шероховатости и чистоты поверхности подложки. Чем больше эталонных подложек с различной степенью шероховатости было исследовано и внесено в базу данных, тем более узким будет диапазон, в котором находится шероховатость измеряемой подложки, и тем более точным будет результат измерения. Использование эталонных подложек с различной шероховатостью и чистотой

поверхности позволяет выявлять вклад каждого из факторов – загрязнений и шероховатости. Поэтому оказывается возможным получать оценку чистоты и шероховатости в комплексе.

Вопросы о том, каким образом следует формировать набор эталонных подложек, находятся за рамками рассматриваемых в настоящей работе. Предполагается, что перед началом измерений в базе данных содержится исчерпывающее количество информации об эталонных подложках, с которыми будет сравниваться исследуемая.

Проведение измерений происходит следующим образом. Перед началом работы пользователь авторизуется в системе, используя уникальные имя и пароль, запись о которых содержится в таблице «Сотрудник» базы данных. Далее он указывает материал исследуемой подложки, выбирая его из представленных в таблице «Материал». После этого программа загружает из базы данных и устанавливает подходящие для выбранного материала подложки параметры съёмки (освещение, частота смены кадров, размеры и расположение области съёмки относительно границ кадра), которые хранятся в таблице «Параметры съёмки», и даёт пользователю рекомендации по настройке освещения. Далее с помощью подключенного к компьютеру автоматического дозатора на поверхность подложки наносится капля дистиллированной воды определенного объёма, после чего начинается съёмка процесса растекания.

Получаемые с видеокамеры кадры сохраняются в таблице «Кадр съёмки», и параллельно с этим процессом проводится их анализ с использованием реализованных в системе алгоритмов обработки изображений и компьютерного зрения: сглаживающих фильтров (медианный, фильтр Гаусса), детекторов границ Собела и Канни, алгоритмов поиска контуров и объектов на изображении (RANSAC и другие) и т.п.

Перед началом обработки кадров на основе данных из таблицы «Параметры обработки» и материала подложки формируется список алгоритмов, наиболее подходящих для обработки изображений капли, растекающейся по поверхности исследуемой подложки. Для каждого типа подложки было разработано несколько комбинаций алгоритмов обработки, позволяющих наиболее точно определять параметры капли на поверхности подложек, изготовленных из данного материала. Они реализованы в виде отдельных модулей – динамически подключаемых библиотек (DLL). Название каждого такого модуля хранится в таблице «Алгоритм», а параметры – в таблице «Параметры алгоритма» базы данных. Такая организация хранения данных обеспечивает расширяемость системы по эталонам (с различными характеристиками чистоты и шероховатости поверхности) и материалам (за счёт возможности добавлять новые алгоритмы обработки изображения капли). Это позволяет по мере накопления информации об эталонах получать более точные оценки для чистоты и шероховатости подложек, в

том числе и уже исследованных – в этом случае происходит уточнение результатов измерений.

В ходе анализа изображений для каждого кадра определяются геометрические параметры растекающейся капли, которые затем заносятся в таблицу «Результат обработки кадра». На основе этих данных строятся графики, которые сверяются с имеющимися в системе графиками, соответствующими эталонным подложкам.

В результате определяется верхняя и нижняя границы диапазона, в котором находится шероховатость исследуемой подложки. Эти границы заносятся в поля «Нижняя граница шероховатости» и «Верхняя граница шероховатости» таблицы «Эксперимент» и затем формируется отчёт, предъявляемый пользователю.

### *Заключение*

Описываемая в настоящей работе автоматизированная система обеспечивает доступ к информации о проведённых экспериментах, предоставляет широкие функциональные возможности по управлению настройками видеокамеры, позволяет проводить обработку отснятых кадров параллельно с получением изображений с камеры, что уменьшает общее время проведения измерений. Последнее немаловажно, так как описанная методика относится к методам экспресс-контроля, к которым предъявляются повышенные требования по продолжительности измерений.

Система находится в процессе усовершенствования, происходит расширение её возможностей в области обработки изображений за счёт реализации новых алгоритмов. Также рассматривается задача интеграции автоматизированной системы в распределённую информационно-вычислительную среду [3], предназначенную для систематизации результатов проводимых исследований.

### *Благодарности*

Работа выполнена при поддержке гранта Президента РФ поддержки ведущих научных школ НШ-4128.2012.9, грантов РФФИ 10-07-00109, 10-07-00553, 11-07-13164, 11-07-12051 и государственного контракта 02.740.11.0805.

### *Литература*

1. **Stern, M.B.** Binary Optics Fabrication / M.B. Stern. – Micro-Optics: Elements, Systems And Applications; edited by Hans Peter Herzig. – London: Taylor & Francis Ltd., 1997. – P. 53-85.
2. **Казанский, Н.Л.** Исследовательский комплекс для решения задач компьютерной оптики / Н.Л. Казанский // Компьютерная оптика. – 2006. – № 29. – С. 58-77. – ISSN 0134-2452.
3. **Казанский, Н.Л.** Исследовательско-технологический центр дифракционной оптики / Н.Л. Казанский // Известия Самарского научного центра РАН. – 2011. – Т. 13, № 4. – С. 54-62. – ISSN 1990-5378.
4. **Волков, А.В.** Исследование технологии плазменного травления для получения многоуровневых дифракционных оптических элементов / А.В. Волков, Н.Л. Ка-

- занский, О.Е. Рыбаков // Компьютерная оптика. – 1998. – № 18. – С. 130-133. – ISSN 0134-2452.
5. **Волков, А.В.** Разработка технологии получения дифракционного оптического элемента с субмикронными размерами рельефа в кремниевой пластине / А.В. Волков, Н.Л. Казанский, О.Е. Рыбаков // Компьютерная оптика. – 1998. – № 18. – С. 133-138. – ISSN 0134-2452.
  6. **Волков, А.В.** Исследование процессов нанесения и травления фоторезиста с целью повышения точности формирования микрорельефа широкоапертурных ДОЭ / А.В. Волков, Н.Л. Казанский, О.Ю. Моисеев // Компьютерная оптика. – 1999. – № 19. – С. 143-146. – ISSN 0134-2452.
  7. **Казанский, Н.Л.** Исследование особенностей процесса анизотропного травления диоксида кремния в плазме газового разряда высоковольтного типа / Н.Л. Казанский, В.А. Колпаков, А.И. Колпаков // Микроэлектроника. – 2004. – Т. 33, № 3. – С. 209-224. – ISSN 0544-1269.
  8. **Волков, А.В.** Сухое травление поликристаллических алмазных плёнок / А.В. Волков, Н.Л. Казанский, Г.Ф. Костюк, В.С. Павельев // Компьютерная оптика. – 2001. – № 22. – С. 50-52 – ISSN 0134-2452.
  9. **Волков, А.В.** Разработка и исследование метода формирования микрорельефа ДОЭ в сапфировых подложках / А.В. Волков, О.Г. Истинова, Н.Л. Казанский, Г.Ф. Костюк // Компьютерная оптика. – 2002. – № 24. – С. 70-73. – ISSN 0134-2452.
  10. **Волков, А.В.** Формирование микрорельефа с использованием халькогенидных стеклообразных полупроводников / А.В. Волков, Н.Л. Казанский, О.Ю. Моисеев // Компьютерная оптика. – 2002. – № 24. – С. 74-77. – ISSN 0134-2452.
  11. **Pavelyev, V.S.** Formation of diffractive microrelief on diamond film surface / V.S. Pavelyev, S.A. Borodin, N.L. Kazanskiy, G.F. Kostyuk, A.V. Volkov // Optics & Laser Technology. – 2007. – Vol. 39, N 6. – P. 1234-1238. – ISSN 0030-3992.
  12. **Волков, А.В.** Метод формирования дифракционного микрорельефа на основе послойного наращивания фоторезиста / А.В. Волков, Н.Л. Казанский, О.Ю. Моисеев, В.А. Соифер // Компьютерная оптика. – 1996. – № 16. – С. 12-14. – ISSN 0134-2452.
  13. **Volkov, A.V.** A Method for the Diffractive Microrelief Forming Using the Layered Photoresist Growth / A.V. Volkov, N.L. Kazanskiy, O.Yu. Moiseev, V.A. Soifer // Optics and Lasers in Engineering. – 1998. – Vol. 29. – N 4-5. – P. 281-288.
  14. **Волков, А.В.** Подготовка поверхности подложек для изготовления ДОЭ методом послойного наращивания фоторезиста / А.В. Волков, Н.Л. Казанский, О.Ю. Моисеев // Компьютерная оптика. – 2001 – № 21. – С. 113-116. – ISSN 0134-2452.
  15. **Волков, А.В.** Технология изготовления непрерывного микрорельефа дифракционных оптических элементов / А.В. Волков, Н.Л. Казанский, В.А. Соифер, В.С. Соловьёв // Компьютерная оптика – 1997. – № 17. – С. 91-93. – ISSN 0134-2452.
  16. **Казанский, Н.Л.** Исследование механизма формирования каталитической маски при облучении структуры алюминий-кремний частицами газового разряда высоковольтного типа / Н.Л. Казанский, А.И. Колпаков, В.А. Колпаков // Компьютерная оптика. – 2002. – № 24. – С. 84-90. – ISSN 0134-2452.
  17. **Kazanskiy, N.L.** Orientating Liquid Crystals Using Surface-Directed Structures / N.L. Kazanskiy, V.S. Solovyov, A.V. Volkov // Optical Memory & Neural Networks (Information Optics). – 2005. – Vol. 14, N 2. – P. 123-128. – ISSN 1060-992X.
  18. **Голуб, М.А.** Синтез эталонов для контроля внеосевых сегментов асферических поверхностей / М.А. Голуб, Н.Л. Казанский, И.Н. Сисакян, В.А. Соифер // Оптика и спектроскопия. – 1990. – Т. 68, № 2. – С. 461-466. – ISSN 0030-4034.
  19. **Doskolovich, L.L.** Designing reflectors to generate a line-shaped directivity diagram / L.L. Doskolovich, N.L. Kazanskiy, S.I. Kharitonov, P. Perlo, S. Bernard // Journal of Modern Optics. – 2005. – Vol. 52, N 11. – P. 1529-1536. – ISSN 0950-0340.
  20. **Doskolovich, L.L.** Designing a mirror to form a line-shaped directivity diagram / L.L. Doskolovich, N.L. Kazanskiy, S. Bernard // Journal of Modern Optics. – 2007. – Vol. 54, N 4. – P. 589-597. – ISSN 0950-0340.
  21. **Woodruff, D.P.** Modern Techniques of Surface Science (2nd edition) / D.P. Woodruff, T.A. Delchar. – Cambridge University Press, 1994. – 608 p.
  22. **Whitehouse, D.** Surface and their measurement / D. Whitehouse. – Butterworth-Heinemann, 2004. – 432 p.
  23. **Казанский, Н.Л.** Оптимизация параметров устройства трибометрического измерения чистоты поверхности подложек / Н.Л. Казанский, В.А. Колпаков, А.И. Колпаков, С.В. Кричевский, Н.А. Ивлиев // Компьютерная оптика. – 2005. – № 28. – С. 76-79. – ISSN 0134-2452.
  24. **Казанский, Н.Л.** Исследование особенностей трибометрического взаимодействия диэлектрических подложек при экспресс-контроле степени чистоты их поверхности / Н.Л. Казанский, В.А. Колпаков, А.И. Колпаков, С.В. Кричевский, Н.А. Ивлиев // Компьютерная оптика. – 2007. – Т. 31, № 1. – С. 42-46. – ISSN 0134-2452.
  25. **Kazanskiy, N.L.** Interaction of Dielectric Substrates in the Course of Tribometric Assessment of the Surface Cleanliness / N.L. Kazanskiy, S.V. Karpeev, V.A. Kolpakov, S.V. Krichevsky, N.A. Ivliev // Optical Memory & Neural Networks (Information Optics). – 2008. – Vol. 17, N 1. – P. 37-42. – ISSN 1060-992X.
  26. **Бородин, С.А.** Автоматизированное устройство для оценки степени чистоты подложки по динамическому состоянию капли жидкости, наносимой на её поверхность / С.А. Бородин, А.В. Волков, Н.Л. Казанский // Компьютерная оптика. – 2006. – № 28. – С. 70-75. – ISSN 0134-2452.
  27. **Бородин, С.А.** Устройство для анализа нанощероховатостей и загрязнений подложки по динамическому состоянию капли жидкости, наносимой на её поверхность / С.А. Бородин, А.В. Волков, Н.Л. Казанский // Оптический журнал. – 2009. – Т. 76, № 7. – С. 42-47. – ISSN 0030-4042.
  28. **Изотов, П.Ю.** Модификация прибора индикации чистоты и гладкости оптических подложек / П.Ю. Изотов, М.С. Глянько, С.В. Суханов // Компьютерная оптика. – 2011. – Т. 35, № 1. – С. 63-69. – ISSN 0134-2452.
  29. **Казанский, Н.Л.** Система технического зрения для определения количества гель-частиц в растворе полимера / Н.Л. Казанский, С.Б. Попов // Компьютерная оптика. – 2009. – Т. 33, № 3. – С. 325-331. – ISSN 0134-2452.
  30. **Kazanskiy, N.L.** Machine vision system for singularity detection in monitoring the long process / N.L. Kazanskiy, S.B. Popov // Optical Memory and Neural Networks (Information Optics). – 2010. – Vol. 19, N 1. – P. 23-30. – ISSN 1060-992X.
  31. Windows 95 – Introduction [Электронный ресурс] // Resources and Tools for IT Professionals | Technet [сайт].

- [1996]. URL: <http://technet.microsoft.com/en-us/library/cc723279.aspx> (дата обращения 20.04.2012).
32. **Sears, R.** To BLOB or not to BLOB: Large object storage in a Database or Filesystem? / R. Sears, C. van Ingen, J. Gray // Technical Report MSR-TR-2006-45. – Microsoft Research, April 2006.
  33. **Kyte, T.** Storing Files in an Oracle Database [Электронный ресурс] // Ask Tom Home [сайт]. [2008]. URL: [http://asktom.oracle.com/pls/apex/f?p=100:11:0:::P11\\_QUESTION\\_ID:1011065100346196442](http://asktom.oracle.com/pls/apex/f?p=100:11:0:::P11_QUESTION_ID:1011065100346196442) (дата обращения: 15.04.2012).
  34. Portable Network Graphics (PNG) Specification (Second Edition) W3C Recommendation 10 November 2003 [Электронный ресурс] // World Wide Web Consortium (W3C). [сайт]. [2003]. URL: <http://www.w3.org/TR/PNG/> (дата обращения: 17.04.2012).
  35. The Standard for Integration Definition for Information Modeling (IDEF1X) / Laboratory of the National Institute of Standards and Technology (NIST). – 1993, December 21.
- ### References
1. **Stern, M.B.** Binary Optics Fabrication / M.B. Stern. – Micro-Optics: Elements, Systems And Applications; edited by Hans Peter Herzig. – London: Taylor & Francis Ltd., 1997. – P. 53-85.
  2. **Kazanskiy, N.L.** R-D Center for Solving Problems of Computer Optics / N.L. Kazanskiy // Computer Optics. – 2006. – N 29. – P. 58-77. – ISSN 0134-2452. – (In Russian).
  3. **Kazanskiy, N.L.** Research and Development Center of Diffraction Optics / N.L. Kazanskiy // News of the Samara scientific center of RAS. – 2011. – Vol. 13, N 4. – P. 54-62. – ISSN 1990-5378. – (In Russian).
  4. **Volkov, A.V.** Study of Plasma Etching Technology For Multilayered DOE Fabrication / A.V. Volkov, N.L. Kazanskiy, O.E. Rybakov // Computer Optics. – 1998. – N 18. – P. 130-133. – ISSN 0134-2452. – (In Russian).
  5. **Volkov, A.V.** Research of Diffractive Optics Elements Fabrication with Submicron Size Microrelief on the Silicon Substrate / A.V. Volkov, N.L. Kazanskiy, O.E. Rybakov // Computer Optics. – 1998. – N 18. – P. 133-138. – ISSN 0134-2452. – (In Russian).
  6. **Volkov, A.V.** Study of Processes of Photoresist Deposition and Etching to Improve the Accuracy of the Wide DOE Microrelief Formation / A.V. Volkov, N.L. Kazanskiy, O.Yu. Moiseev // Computer Optics. – 1999. – N 19. – P. 143-146. – ISSN 0134-2452. – (In Russian).
  7. **Kazanskiy, N.L.** Anisotropic Etching of SiO<sub>2</sub> in High-Voltage Gas-Discharge Plasmas / N.L. Kazanskiy, V.A. Kolpakov, A.I. Kolpakov // Russian Microelectronics. – 2004. – V. 3, N 3. – P. 169-182. – ISSN 0544-1269. – (In Russian).
  8. **Volkov, A.V.** Dry Etching of Polycrystalline Diamond Films / A.V. Volkov, N.L. Kazanskiy, G.F. Kostyuk, V.S. Pavelyev // Computer Optics. – 2001. – N 22. – P. 50-52. – ISSN 0134-2452. – (In Russian).
  9. **Volkov, A.V.** Research and Development of Technology of DOE Microrelief Formation on Sapphire Substrates. / A.V. Volkov, O.G. Istinova, N.L. Kazanskiy, G.F. Kostyuk // Computer Optics. – 2002. – N 24. – P. 70-73. – ISSN 0134-2452. – (In Russian).
  10. **Volkov, A.V.** Microrelief Fabrication Using Glasslike Chalcogenide Semiconductors / A.V. Volkov, N.L. Kazanskiy, O.Yu. Moiseev // Computer Optics. – 2002. – N 24. – P. 74-77. – ISSN 0134-2452. – (In Russian).
  11. **Pavelyev, V.S.** Formation of diffractive microrelief on diamond film surface / V.S. Pavelyev, S.A. Borodin, N.L. Kazanskiy, G.F. Kostyuk, A.V. Volkov // Optics & Laser Technology. – 2007. – Vol. 39, N 6. – P. 1234-1238. – ISSN 0030-3992.
  12. **Volkov, A.V.** A Method for the Diffractive Microrelief Formation Using the Layered Photoresist Growth / A.V. Volkov, N.L. Kazanskiy, O.Yu. Moiseev, V.A. Soifer // Computer Optics. – 1996. – N 16. – P. 12-14. – ISSN 0134-2452. – (In Russian).
  13. **Volkov, A.V.** A Method for the Diffractive Microrelief Forming Using the Layered Photoresist Growth / A.V. Volkov, N.L. Kazanskiy, O.Yu. Moiseev, V.A. Soifer // Optics and Lasers in Engineering. – 1998. – Vol. 29. – N 4-5. – P. 281-288.
  14. **Volkov, A.V.** Preparation of Substrate Surface for DOE Fabrication Using the Layered Photoresist Growth Method / A.V. Volkov, N.L. Kazanskiy, O.Yu. Moiseev // Computer Optics. – 2001. – N 21. – P. 113-116. – ISSN 0134-2452. – (In Russian).
  15. **Volkov, A.V.** Technology for Forming Continuous Microrelief of Diffractive Optical Elements / A.V. Volkov, N.L. Kazanskiy, V.A. Soifer, V.S. Solovyov // Computer Optics. – 1997. – N 21. – P. 91-93. – ISSN 0134-2452. – (In Russian).
  16. **Kazanskiy, N.L.** Studies on a Mechanism of Catalytic Mask Generation in Irradiation of an Al-Si Structure with High-Voltage Gas-Discharge Particles / N.L. Kazanskiy, A.I. Kolpakov, V.A. Kolpakov // Computer Optics. – 2002. – N 24. – P. 84-90. – ISSN 0134-2452. – (In Russian).
  17. **Kazanskiy, N.L.** Orientating Liquid Crystals Using Surface-Directed Structures / N.L. Kazanskiy, V.S. Solovyov, A.V. Volkov // Optical Memory & Neural Networks (Information Optics). – 2005. – Vol. 14, N 2. – P. 123-128. – ISSN 1060-992X.
  18. **Golub, M.A.** Synthesis of Standards for Control of Off-Axis Segments of Aspherical Surfaces / M.A. Golub, N.L. Kazanskiy, I.N. Sisakyan and V.A. Soifer // Optics and Spectroscopy, OSA. – 1990. – Vol. 68, N 2. – P. 2691-272. – ISSN 0030-4034. – (In Russian).
  19. **Doskolovich, L.L.** Designing reflectors to generate a line-shaped directivity diagram / L.L. Doskolovich, N.L. Kazanskiy, S.I. Kharitonov, P. Perlo, S. Bernard // Journal of Modern Optics. – 2005. – Vol. 52, N 11. – P. 1529-1536. – ISSN 0950-0340.
  20. **Doskolovich, L.L.** Designing a mirror to form a line-shaped directivity diagram / L.L. Doskolovich, N.L. Kazanskiy, S. Bernard // Journal of Modern Optics. – 2007. – Vol. 54, N 4. – P. 589 - 597. – ISSN 0950-0340.
  21. **Woodruff, D.P.** Modern Techniques of Surface Science (2nd edition) / D.P. Woodruff, T.A. Delchar. – Cambridge University Press, 1994. – 608 p.
  22. **Whitehouse, D.** Surface and their measurement / D. Whitehouse. – Butterworth-Heinemann, 2004. – 432 p.
  23. **Kazanskiy, N.L.** Parameter Optimization of a Tribometric Device for Rapid Assessment of Substrate Surface Cleanliness / N.L. Kazanskiy, V.A. Kolpakov, A.I. Kolpakov, S.V. Krichevsky, N.A. Ivliev // Computer Optics. – 2006. – N 28. – P. 76-79. – ISSN 0134-2452. – (In Russian).
  24. **Kazanskiy, N.L.** Interaction of Dielectric Substrates in the Course of Tribometric Assessment of the Surface Cleanliness / N.L. Kazanskiy, V.A. Kolpakov, S.V. Krichevsky, N.A. Ivliev // Computer Optics. – 2007. – Vol. 31, N 1. – P. 42-46. – ISSN 0134-2452. – (In Russian).
  25. **Kazanskiy, N.L.** Interaction of Dielectric Substrates in the Course of Tribometric Assessment of the Surface Cleanliness / N.L. Kazanskiy, S.V. Karpeev, V.A. Kolpakov, S.V. Krichevsky, N.A. Ivliev // Optical Memory & Neural

- Networks (Information Optics). – 2008. – Vol. 17, N 1. – P. 37-42. – ISSN 1060-992X.
26. **Borodin, S.A.** Automated Device for Substrate Surface Cleanliness Estimation from the Dynamic State of a Liquid Drop, Deposited on its Surface / S.A. Borodin, A.V. Volkov, N.L. Kazanskiy // *Computer Optics*. – 2006. – N 28. – P. 70-75. – ISSN 0134-2452. – (In Russian).
  27. **Borodin, S.A.** Device for Analyzing Nanoroughness and Contamination on a Substrate from the Dynamic State of a Liquid Drop Deposited on its Surface. / S.A. Borodin, A.V. Volkov, N.L. Kazanskiy // *Journal of Optical Technology*. – 2009. – Vol. 76, N 7. – P. 42-47. – ISSN 0030-4042. – (In Russian).
  28. **Izotov, P.Yu.** Modification of the Device for Detection of Cleanliness and Flatness of Optical Substrates / P.Yu. Izotov, M.S. Glyanko, S.V. Sukhanov. // *Computer Optics*. – 2011. – Vol. 35, N 1 – P. 63-69. – ISSN 0134-2452. – (in Russian).
  29. **Kazanskiy, N.L.** Machine Vision System for Determining the Number of Gel Particles in a Solution of Polymer / N.L. Kazanskiy, S.B. Popov // *Computer Optics*. – 2009. – Vol. 33, N 6. – P. 325-331. – ISSN 0134-2452. – (In Russian).
  30. **Kazanskiy, N.L.** Machine vision system for singularity detection in monitoring the long process / N.L. Kazanskiy, S.B. Popov // *Optical Memory and Neural Networks (Information Optics)*. – 2010. – Vol. 19, N 1. – P. 23-30. – ISSN 1060-992X.
  31. Windows 95 – Introduction // Resources and Tools for IT Professionals | Technet [1996]. URL: <http://technet.microsoft.com/en-us/library/cc723279.aspx> (verified at 04/20/2012).
  32. **Sears, R.** To BLOB or not to BLOB: Large object storage in a Database or Filesystem? / R. Sears, C. van Ingen, J. Gray // Technical Report MSR-TR-2006-45. – Microsoft Research, April 2006.
  33. **Kyte, T.** Storing Files in an Oracle Database // Ask Tom Home. [2008]. URL: [http://asktom.oracle.com/pls/apex/f?p=100:11:0:::P11\\_QUESTION\\_ID:1011065100346196442](http://asktom.oracle.com/pls/apex/f?p=100:11:0:::P11_QUESTION_ID:1011065100346196442) (verified at 04/15/2012).
  34. Portable Network Graphics (PNG) Specification (Second Edition) W3C Recommendation 10 November 2003 // World Wide Web Consortium (W3C). [2003]. URL: <http://www.w3.org/TR/PNG/> (verified at 04/17/2012).
  35. The Standard for Integration Definition for Information Modeling (IDEF1X) / Laboratory of the National Institute of Standards and Technology (NIST). – 1993, December 21.

## SOFTWARE FOR THE DEVICE FOR DETECTION OF CLEANLINESS AND ROUGHNESS OF OPTICAL SUBSTRATES

*M.S. Glyanko<sup>1</sup>, P.Yu. Izotov<sup>1,2</sup>*

<sup>1</sup> *Image Processing Systems Institute of the RAS,*

<sup>2</sup> *S.P. Korolyov Samara State Aerospace University*

### Abstract

The current paper describes software developed for device for express detection of cleanliness and roughness of optical substrate that allows performing of automated measurements. Description of the scheme used to carry out researches is provided. This work considers questions of the organization of storage and data processing in the system.

**Key words:** express detection of surface cleanliness and roughness, roughness, optical substrate, software, video frame, storing of images, database, and algorithm.

### Сведения об авторах

**Глянько Марк Сергеевич**, 1989 года рождения, стажёр-исследователь ИСОИ РАН, в 2012 году окончил Самарский государственный аэрокосмический университет имени академика С.П. Королёва (СГАУ). Область научных интересов: цифровая обработка изображений, проектирование и реализация баз данных.

E-mail: [snake7732@yandex.ru](mailto:snake7732@yandex.ru).

**Mark Sergeevich Glyanko** (b. 1989) graduated from Samara State Aerospace University (SSAU) in 2012. He works as trainee researcher at the IPSI RAS. Research interests: digital image processing, database design and programming.



**Изотов Павел Юрьевич**, 1988 года рождения, в 2010 году окончил Самарский государственный аэрокосмический университет имени академика С. П. Королёва (СГАУ), в настоящее время является аспирантом СГАУ. Работает стажёром-исследователем Института систем обработки изображений РАН (ИСОИ РАН). Область научных интересов: параллельные вычисления на гетерогенных системах.

E-mail: [izogfif@rambler.ru](mailto:izogfif@rambler.ru).

**Pavel Yuryevich Izotov** (b. 1988) graduated from Samara State Aerospace University (SSAU) in 2010. Now he is a post-graduate student of SSAU. He works as trainee researcher at the Image Processing Systems Institute of the Russian Academy of Sciences (IPSI RAS). Research Interests: parallel computing on heterogeneous systems.



*Поступила в редакцию 3 марта 2012 г.*