

АНАЛИЗ МЕТОДОВ ЭКСПРЕСС-КОНТРОЛЯ ЧИСТОТЫ ПОВЕРХНОСТИ

©2010 Н. А. Ивлиев, В. А. Колпаков, С. В. Кричевский

Самарский государственный аэрокосмический университет
имени академика С.П. Королёва
(национальный исследовательский университет)

Проанализированы методы экспресс-контроля чистоты поверхности подложек. Показано, что наиболее удобным для экспресс-контроля чистоты поверхности является прибор, основанный на использовании метода трибометрии путём измерения коэффициента трения скольжения. Прибор характеризуется удобной в эксплуатации конструкцией, малой длительностью проведения процесса измерения и не требует использования для своей калибровки эталонных поверхностей, очистки поверхности зонда-индентора специальными технологиями.

Поверхность подложек, органическое загрязнение, трибометрическое взаимодействие, степень чистоты поверхности, коэффициент трения, трибометр.

Введение

При современном развитии микро-, наноэлектроники, дифракционной оптики и нанофотоники размеры загрязнений на поверхности подложек становятся соизмеримыми с размерами формируемых микро- и наноструктур, что приводит к необходимости жёсткого контроля степени чистоты поверхности [1,2]. Основным источником загрязнений пластин, прошедших химическую очистку и помещённых в рабочую камеру вакуумной установки, являются откатные средства. В процессе работы откатных средств происходит выделение загрязнений органической и неорганической природы и осаждение их на поверхности подложек [3].

Для анализа степени чистоты поверхности широкоформатных подложек широко применяются методы экспресс-контроля [4].

Основными методами, используемыми для экспресс-контроля чистоты поверхности подложек, являются методы: спектроскопии многократно нарушенного полного внутреннего отражения (МНПВО) [5]; измерения контактной разности потенциалов (КРП); смачиваемости [6, 7], подразделяемые на методы окуна-ния, конденсации, смачиваемости поверхности подложки каплей жидкости; трибометрического контроля [8]. Проведём краткий анализ вышеперечисленных ме-

тодов с целью определения наиболее приемлемого метода, способного удовлетворить требования дифракционной оптики и нанофотоники к процессу контроля чистоты поверхности.

Метод спектроскопии многократно нарушенного полного внутреннего отражения

При осуществлении многократного отражения светового потока от структуры «подложка-загрязнение» на поверхности подложки происходит ослабление отражённого луча из-за проникновения части данного потока в оптически менее плотную среду и поглощения в ней. Причем исследуемая подложка либо прикладывается к загрязнённой поверхности к элементу МНПВО, либо сама используется в качестве элемента МНПВО [5]. Из этого следует, что контролируемая подложка должна обеспечивать полное внутреннее отражение светового луча в обоих случаях, обеспечивая соответствующие оптические параметры. Выполнение данных условий приводит к ограничениям: чувствительности метода – 10^{-7} г/см² [5]; типов материала подложек и контролируемых загрязнений на их поверхности.

Кроме того, в процессе измерения осуществляется контакт поверхности контролируемой подложки с элементом МНПВО, поверхность последнего загрязняется, и при последующих измерениях

требуется проводить операцию его очистки, что является существенным недостатком, препятствующим проведению экспресс-контроля чистоты поверхности подложек.

Таким образом, применение метода МНПВО ограничено оптическими свойствами материалов подложек и загрязнений, а также возможностью измерения чистоты поверхности подложек только в диапазоне до 10^{-7} г/см².

Метод измерения контактной разности потенциалов

Принцип измерения заключается в том, что над исследуемой поверхностью вибрирует с заданной частотой точечный зонд, ёмкостные параметры которого реагируют на загрязнения поверхности подложек. Численные значения ёмкости определяются как свойствами загрязнений, так и диэлектрика. Согласно [9] поверхность твёрдых тел обладает значительной концентрацией положительных и отрицательных зарядов, активно формирующих ёмкостные свойства вибрирующего зонда. Это приводит к существенным трудностям при интерпретации результатов измерения. Из-за вибрации зонда возникает поток газа [10,11], частицы которого взаимодействуют с исследуемой поверхностью, изменяя её свойства. Для исключения данного явления измерения КРП необходимо проводить или в инертной атмосфере, или в особо чистой среде.

Высокая чувствительность метода к наличию на поверхности заряда делают его крайне восприимчивым к изменению свойств поверхности исходных подложек. Поэтому при использовании новой партии подложек или состава газа в рабочей камере необходимо повторять калибровку параметров прибора. Следует вывод: метод КРП не является оптимальным для проведения экспресс-контроля чистоты поверхности подложек.

Методы контроля качества очистки по смачиваемости поверхности подложки

Наиболее простыми и доступными методами, дающими качественное пред-

ставление о количестве загрязнений на поверхности подложек, являются способы окунания, конденсации [12, 13] и растекания [14], чувствительность которых довольно высока: окунания – $1 \cdot 10^{-6} \div 1 \cdot 10^{-7}$ г/см², конденсации – $1 \cdot 10^{-7} \div 1 \cdot 10^{-8}$ г/см², а растекания – $1 \cdot 10^{-7} \div 1 \cdot 10^{-9}$ г/см². Однако, несмотря на простоту, данные методы обладают существенными недостатками: дают возможность контролировать только гидрофобные загрязнения, загрязняют поверхность контролируемой подложки остатками жидкости в процессе измерения.

Трибометрический метод контроля

Трибометрический метод контроля чистоты поверхности основан на зависимости коэффициента трения покоя от концентрации поверхностных загрязнений и позволяет определять величину данной концентрации до $1 \cdot 10^{-9}$ г/см² [4, 15]. Схема конструкции стандартного прибора, реализующего данный метод, представлена на рис. 1.

Измерение осуществляется путём определения значения величины тока, создающего в соленоиде в момент сдвига зонда-индентора силу тяги, равную силе трения покоя. Условные показания гальванометра соответствуют измеряемому коэффициенту трения, а следовательно, и количеству загрязнений на поверхности подложки.

Анализ конструкции рассматриваемого прибора выявил его существенные недостатки, обусловленные плохой воспроизводимостью сопротивления сигнальных контактов из-за их загрязнения; наличием сил трения в механически движущихся узлах прибора, величина которых соизмерима с контролируемой силой трения зонда-индентора по исследуемой поверхности и суммируется с ней (рис. 1). Перечисленное определяет существенную погрешность измерения величины коэффициента трения покоя, устранение которой представляет собой технически сложную задачу. Наряду с уже рассмотренными недостатками прибора и погрешностью измерения, вызванной пульсациями на-

пряжения на соленоиде [16], имеется значительный недостаток и самого метода измерения, заключающийся в том, что при неподвижном контакте зонда-индентора с поверхностью исследуемой подложки происходит продавливание им слоя загрязнений [15]. Наличие данного явления приводит к взаимодействию на молекулярном уровне атомов поверхностей зонда-индентора и подложки. Атомы загрязнений в этом процессе участвуют лишь частично – по периметру пятна трибометрического контакта. Такой механизм взаимодействия приводит к росту погрешности измерения.

Недостатком рассматриваемого прибора является также необходимость применения специальной технологии очистки поверхности зонда-индентора и эталонной (калибровочной) поверхности [15].

Таким образом, анализ существующих методов и приборов экспресс-контроля чистоты поверхности позволяет сделать вывод, что по точности измерения трибометрический метод на порядок превосходит все остальные. Однако для устранения его недостатков требуются модификация трибометра и разработка соответствующей методики измерения.

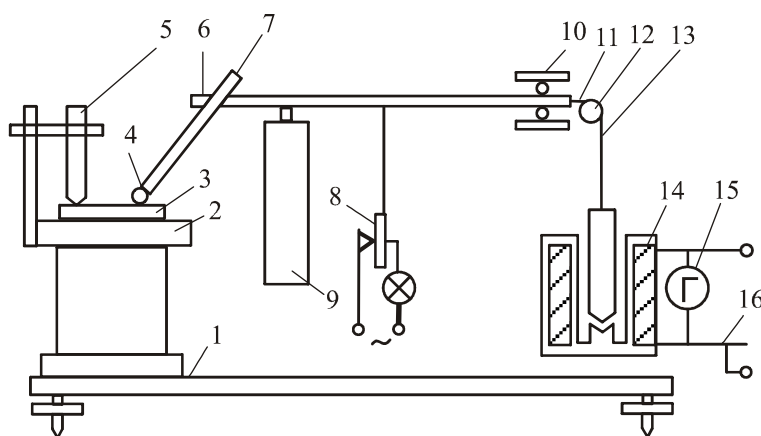


Рис. 1. Схема трибометра ИЧ-2: 1 – станина; 2 – предметный столик; 3 – измеряемая подложка; 4 – зонд; 5 – прижимное устройство; 6 – основная ось; 7 – ось индентора; 8 – контакты сигнальные; 9 – груз для создания нагрузки; 10 – подшипник шариковый; 11 – тяга; 12 – ролик; 13 – сердечник; 14 – соленоид; 15 – гальванометр; 16 – потенциометр загрязнений на поверхности подложки

Предлагаемый способ

Для устранения недостатков, характерных для прибора ИЧ-2, в настоящей работе предложено осуществить модификацию метода и прибора:

- измерять не коэффициента трения покоя, а коэффициента трения скольжения;
- заменить специальный зонд-индентор на идентичную контролируемую подложку-зонд;
- использовать силу тяжести вместо электромагнитной силы притяжения якоря катушки индуктивности, воздействующей на зонд-индентор.

Проведенная модификация значительно упростила как конструкцию устройства, так и процесс измерения чистоты

поверхности подложек [18-21] и позволила исключить влияние на процесс измерения скорости скольжения подложки-зонда по исследуемой поверхности сил трения движущихся механических узлов прибора и, следовательно, уменьшить погрешность измерения концентрации загрязнений. Кроме этого, сравнительный анализ атомных связей, возникающих при взаимодействии поверхностей зонда-индентора и подложки-зонда с исследуемой поверхностью, показывает, что использование в качестве критерия чистоты поверхности коэффициента трения скольжения позволяет минимизировать величину давления, оказываемого подложкой-зондом на контролируемую подложку в области их контакта, осуществить измерение электронных связей непосредственно между атомами,

загрязняющими данные поверхности (рис. 2) [19]. В этом случае минимизируется когезионная составляющая трибометрического взаимодействия, возникающая за счёт деформационных процессов микрорельефа взаимодействующих подложек, и увеличивается адгезионная составляющая, несущая информацию о загрязнении, связанных с поверхностью, в основном, силами Ван-дер-Ваальса [17].

Особенностью модифицированного метода является использование в качестве критерия чистоты поверхности подложек коэффициента трения скольжения двух

подложек, прошедших операцию очистки в одинаковых условиях. Это устранило необходимость применения специальных технологий и материалов для формирования эталонной поверхности измерительного зонда [15]. Для обеспечения возможности использования одной из контролируемых подложек в качестве зонда в работе [8] разработана конструкция подложкодержателей, обеспечивающих контакт полированных поверхностей исследуемых подложек в точке. Схема расположения подложек в устройстве подложкодержателей представлена на рис. 3.

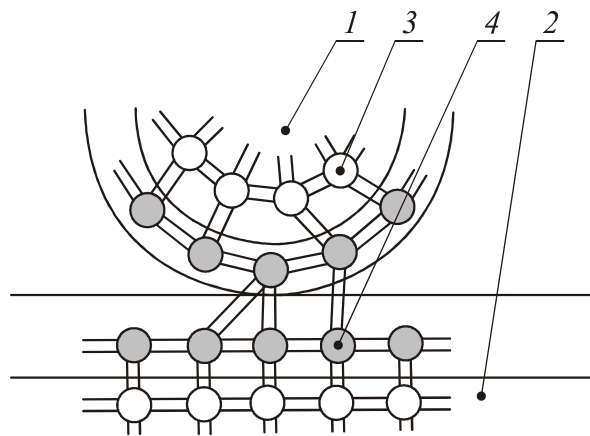


Рис. 2. Схема взаимодействия движущегося зонда с подложкой:
1 – зонд; 2 – контрольная подложка; 3 – поверхностные атомы;
4 – атомы загрязнений

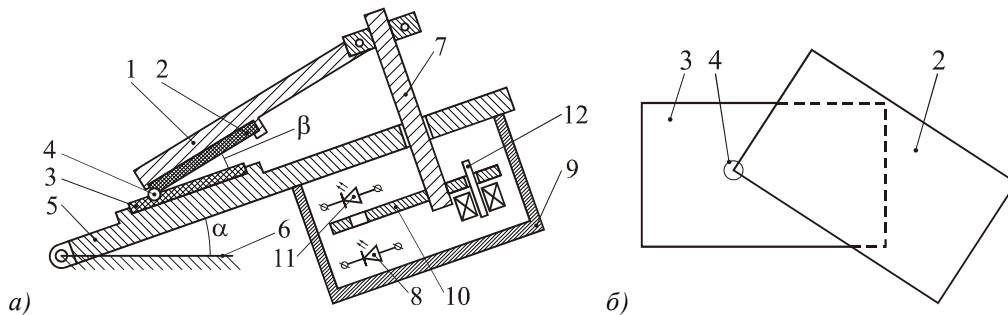


Рис. 3. Схема расположения подложкодержателей (а) и подложек (б) в трибометрическом устройстве: 1 – подложкодержатель подложки-зонда; 2 – подложка-зонд; 3 – исследуемая подложка; 4 – точка трибометрического взаимодействия двух подложек; 5 – подложкодержатель исследуемой подложки; 6 – корпус трибометрического прибора; 7 – штанга крепления подложкодержателя подложки-зонда; 8 – светодиод; 9 – светонепроницаемая крышка; 10 – металлический диск; 11 – фотодиод; 12 – фиксатор штанги [8]

Принцип измерения заключается в том, что подложку, на поверхности которой необходимо измерить концентрацию атомов и молекул загрязнений, помещают в подложкодержатель, имеющий с осью абсцисс некоторый угол . Конкретная

величина этого угла определяется суммой масс подложкодержателя подложки-зонда и подложки-зонда, задающих величину силы тяжести, определяющей процесс её скольжения. После этого подложку-зонд помещают в её подложкодержатель, по-

верхность которого составляет с поверхностью исследуемой подложки угол $\beta = 4 \div 10^\circ$ [20], обеспечивающий их взаимодействие в точке. Численные значения углов и β определяются углом типа УН, предназначенным для измерения наружных и внутренних углов деталей, с ценой деления, равной 2 мин. Систематические относительные погрешности составили $\Delta = 0,11\%$ и $\Delta_\beta = 0,83\%$ соответственно [22]. Конструктивные размеры подложкодержателя подложки-зонда определяются размерами контролируемых подложек.

В исходной позиции подложкодержатель подложки-зонда перемещается в самую высокую часть исследуемой поверхности и закрепляется с помощью фиксатора штанги. Далее осуществляется контакт рабочей поверхности подложки-зонда с исследуемой подложкой, т.е. образуется точка их трибометрического взаимодействия. В той же позиции происходит фиксация точки отсчёта путём попадания луча света, формируемого светодиодом через отверстие в металлическом диске, на поверхность фотодиода. Для формирования импульсов, измеряющих скорость скольжения подложки-зонда τ , в металлическом диске по окружности радиусом 160 мм выполнены 10 отверстий диаметром 1 мм на расстоянии 1 мм друг от друга. С целью уменьшения инструментальной систематической погрешности прямого измерения величины τ контроль диаметра отверстий и расстояния между ними осуществлялся с помощью микрометра типа МК модели 102 (ГОСТ 6507-90) с ценой деления 0,01 мм. Относительные погрешности составили $\Delta_d = 1\%$ и $\Delta_l = 1\%$ соответственно [22]. Все конструктивные элементы, формирующие измерительные импульсы, закрыты светонепроницаемой крышкой и жёстко закреплены: светодиод и фотодиод – на крышке; металлический диск – на штанге крепления подложкодержателя подложки-зонда.

При отжиме фиксатора штанги, удерживающего подложкодержатель подложки-зонда, рабочая точка трибометри-

ческого взаимодействия подложки-зонда и исследуемой подложки скользит вниз.

Поскольку металлический диск с отверстиями жёстко закреплён на оси штанги крепления подложкодержателя подложки-зонда, то световой поток, поочередно попадая на фотодиод через окна, формирует импульсы тока в цепи фотодиода, длительность которых (τ) характеризует величину скорости скольжения и пропорциональна численному значению коэффициента трения скольжения μ .

Заключение

Таким образом, в настоящей работе осуществлена модификация трибометра, заключающаяся в использовании для измерения чистоты поверхности коэффициента трения скольжения, а в качестве зонда – любой из очищенных в одной партии подложек; разработке конструкции соответствующих подложкодержателей для осуществления движения зонда под действием силы тяжести и трибометрического контакта подложек в одной точке.

Библиографический список

1. Technology of DOE Fabrication [Текст] / D.L. Golovashkin, N.L. Kazanskiy, V.A. Soifer, V.S. Pavelyev, V.S. Solovyev, G.V. Usplenyev, and A.V. Volkov – In the book "Methods for Computer Design of Diffractive Optical Elements" / edited by Victor A. Soifer. – A Wiley Interscience Publication. John Wiley & Sons, Inc., 2002. – P. 267-345.
2. **Казанский, Н.Л.** Исследовательский комплекс для решения задач компьютерной оптики [Текст] / Н.Л. Казанский // Компьютерная оптика. – 2006. – № 29. – С. 58-77.
3. **Казанский, Н.Л.** Моделирование процесса очистки поверхности диэлектрических подложек в плазме газового разряда высоковольтного типа [Текст] / Н.Л. Казанский, В.А. Колпаков, С.В. Кричевский // Компьютерная оптика. – 2005. – № 28. – С. 80-86.
4. **Полтавцев, Ю.Г.** Технология обработки поверхности в микроэлектро-

нике [Текст] / Ю.Г. Полтавцев, А.С. Князев – Киев: Техника, 1990. – 192 с.

5. **Харрик, Н.** Спектроскопия внутреннего отражения [Текст] / пер. с англ., Н. Харрик. – М.: Мир, 1970. – 335 с.

6. **Бородин, С.А.** Исследование процесса растекания капли жидкости, наносимой на поверхность подложки [Текст] / С.А. Бородин // Компьютерная оптика. – 2006. – № 28. – С. 66-69.

7. **Бородин, С.А.** Автоматизированное устройство для оценки степени чистоты подложки по динамическому состоянию капли жидкости, наносимой на ее поверхность [Текст] / С.А. Бородин, А.В. Волков, Н.Л. Казанский // Компьютерная оптика. – 2005. – № 28. – С. 70-75

8. **Казанский, Н.Л.** Исследование особенностей трибометрического взаимодействия диэлектрических подложек при экспресс-контроле степени чистоты их поверхности [Текст] / Н.Л. Казанский, В.А. Колпаков, А.И. Колпаков, С.В. Кричевский, Н.А. Ивлиев // Компьютерная оптика. – 2007. – Т. 31. – № 1. – С. 42-46.

9. **Волькенштейн, Ф.Ф.** Электронные процессы на поверхности полупроводников при хемосорбции [Текст] / Ф.Ф. Волькенштейн – М.: Наука, 1987. – 311 с.

10. **Жарких, Ю.С.** Влияние химических обработок на гетерогенность поверхностного потенциала кремния [Текст] / Ю.С. Жарких, А.М. Пастушенко, А.В. Мисюра, Т.В. Тронько // Полупроводниковая техника и микроэлектроника. – 1977. – № 25. – С. 40-44.

11. **Жарких, Ю.С.** Сравнение двух способов контроля предокислительных обработок кремниевых пластин [Текст] / Ю.С. Жарких, А.Д. Евдокимов, Ю.Г. Полтавцев, Р.О. Левитская // Оптоэлектроника и полупроводниковая техника. – 1983. – № 4. – С. 3-4.

12. **Вестфаль, О.Л.** Методы и средства контроля чистоты и качества поверхности полупроводников [Текст] / О.Л. Вестфаль, А.Т. Мягков // Обзоры по электронной технике. – Сер. 6 «Матери-

лы». – М.: ЦНИИ «Электроника», 1976. – Вып. 9(406). – 35 с.

13. **Богатырёв, А.Е.** Новые методы контроля чистоты и дефектности поверхности деталей [Текст] / А.Е. Богатырёв, Л.И. Шушунова, Г.М. Цыганов // Обзоры по электронной технике. – 1980. – № 3 (707). – С. 19-27.

14. **Бородин, С.А.** Устройство для анализа нанощероховатостей и загрязнений подложки по динамическому состоянию капли жидкости, наносимой на её поверхность [Текст] / С.А. Бородин, А.В. Волков, Н.Л. Казанский // Оптический журнал. – 2009. – Том 76. – № 7. – С. 42-47.

15. **Перескокова, А.П.** Применение трибометрического метода для контроля чистоты поверхности деталей и технологических сред [Текст] / А.П. Перескокова, Л.В. Солодовникова, А.М. Акимова // Электронная техника. Сер. 7. Технология, организация производства и оборудование. – 1979. – вып. 1. – С. 143-151.

16. **Моисеев, О.Ю.** Исследование методов формирования микрорельефа дифракционных оптических элементов инфракрасного диапазона с использованием фоторезистов и фотополимерных композиций: дисс. канд. техн. наук: 01.00.01: защищена 07.06.00: утв. 26.12.00 [Текст] / О. Ю. Моисеев – Самара, 2000. – 125 с. – 05245271765.

17. **Хебда, М.** Справочник по триботехнике. В 3х томах: Т.1. Теоретические основы [Текст] / под общ. ред. М. Хебды, А.В. Чичинадзе. – М.: Машиностроение, 1989. – 400 с.

18. **Колпаков, В.А.** Устройство экспресс-контроля чистоты поверхности диэлектрических подложек [Текст] / В.А. Колпаков, А.И. Колпаков, С.В. Кричевский // Приборы и техника эксперимента. – 1995. – № 5. – С. 199-200.

19. **Казанский, Н.Л.** Оптимизация параметров устройства трибометрического измерения чистоты поверхности подложек [Текст] / Н.Л. Казанский, В.А. Колпаков, А.И. Колпаков, С.В. Кричевский, Н.А. Ивлиев // Компьютерная оптика. – 2005. – № 28. – С. 76-79.

20. А.с. 1821688 СССР, МКИ³ H01 L 21/263. Способ измерения чистоты поверхности подложек [Текст] / А.В. Волков, А.И. Колпаков (СССР). – № 4809005; заявл. 02.04.90; опубл. 12.10.92, Бюл. № 22. – 2 с.

21. Пат. 2307339 Российская Федерация, МПК⁷ G 01 N 19/08. Способ измерения чистоты поверхности подложек [Текст] / Н.Л. Казанский, В.А. Колпаков, С.В. Кричевский, Н.А. Ивлиев; заявитель и патентообладатель ИСОИ РАН. – № 2005118279; заявл. 14.06.05; опубл. 27.09.07, Бюл. № 27. – 5 с.

22. **Казанский, Н.Л.** Формирование оптического микрорельефа во внеэлектродной плазме высоковольтного газового разряда [Текст] [Текст] / Н.Л. Казанский, В.А. Колпаков – М.: Радио и связь, 2009. – 220 с.

References

1. Technology of DOE Fabrication / D.L. Golovashkin, N.L. Kazanskiy, V.A. Soifer, V.S. Pavelyev, V.S. Solovyev, G.V. Usplenyev, and A.V. Volkov – In the book "Methods for Computer Design of Diffractive Optical Elements" / edited by Victor A. Soifer. – A Wiley Interscience Publication. John Wiley & Sons, Inc., 2002. – P. 267-345.

2. **Kazanskiy, N.L.** R-D Center for Solving the Computer Optics Problems / N.L. Kazanskiy // Computer Optics. – 2006. – № 29. – P. 58-77. – [in Russian].

3. **Kazansky, N.L.** Modeling the process of cleaning the surface of dielectric substrates in the gas-discharge plasma high-voltage type / N.L. Kazansky, V.A. Kolpakov, S.V. Krichevsky // Computer Optics. – 2005. – No. 28. – P. 80-86. – [in Russian].

4. **Poltavtzev, Yu.G.** Techniques of Surface Processing in Microelectronics. / Yu.G. Poltavtzev, A.S. Knyazev – Kiev: "Tekhnika" Publisher, 1990. – 192 p.

5. **Harrick, N.J.** Internal Reflection Spectroscopy / trans. from English, N.J. Harrick – Moscow: "Mir" Publisher, 1970. – 335 p. – [in Russian].

6. **Borodin, S.A.** Investigation of the process of spreading of liquid droplets, deposited on the surface of the substrate /

S.A. Borodin // Computer Optics. – 2006. – No. 28. – P. 66-69. – [in Russian].

7. **Borodin, S.A.** Automated device to assess the cleanliness of the substrate by the dynamic state of a liquid drop, deposited to its surface / S.A. Borodin, A.V. Volkov, N.L. Kazansky // Computer Optics. – 2005. – No. 28. – P. 70-75 – [in Russian].

8. **Kazansky, N.L.** Studying peculiarities of interaction of dielectric substrates in the course of tribometric assessment of the surface cleanliness / N.L. Kazansky, V.A. Kolpakov, A.I. Kolpakov, S.V. Krichevsky, N.A. Ivliev // Computer Optics. – 2007. – V. 31, No. 1. – P. 42-46. – [in Russian].

9. **Vol'kenshtein, F.F.** Electronic processes at the semiconductor surface during chemisorption / F.F. Vol'kenshtein – Moscow: "Nauka" Publisher, 1987. – 311 p. – [in Russian].

10. **Garkih, Yu.S.** Effect of chemical treatments on the heterogeneity of the surface potential of silicon / Yu.S. Garkih, A.M. Pastushenko, A.V. Misyura, T.V. Tron'ko // Semiconductor technology and microelectronics. – 1977. – No. 25. – P. 40-44. – [in Russian].

11. **Garkih, Yu.S.** Comparison of two methods of control predokislitelnyh treatments of silicon wafers / Yu.S. Garkih, A.D. Evdokimov, J.G. Poltavtsev, R.O. Levitskaya // Optoelectronics and semiconductor technology. – 1983. – No. 4. – P. 3-4. – [in Russian].

12. **Westphal', O.L.** Methods and tools for monitoring the cleanliness and quality of semiconductor surfaces / O.L. Westphal', A.T. Myagkov // Reviews of Electronic Engineering. – Series 6 «Materials». – Moscow: CRI "Electronics" Publisher. – 1976. – V. 9(406). – 35 p. – [in Russian].

13. **Bogatyrev, A.E.** New methods for monitoring the cleanliness and surface defects in parts / A.E. Bogatyrev, L.I. Shushunova, G.M. Tsyganov // Reviews of Electronic Engineering. – 1980. – V 3(707). – P. 19-27. – [in Russian].

14. **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, and N.L. Kazanskii // Journal of Optical Technology. – 2009. – Vol. 76, No. 7. – P. 408–412. – [in Russian].

15. **Solodovnikova, A.P.** Use of the tribometric method for assessing the surface cleanliness of workpieces and process media / A.P. Solodovnikova, A.M. Akimova // Electronic Engineering. series 7. Production, industrial engineering and equipment. – 1979. – V. 1. – P. 143-151. – [in Russian].

16. **Moiseev, O.Yu.** Investigation of methods forming micro-relief diffractive optical elements infrared range with the use of photoresists and photo-polymer compositions: diss. cand. techn. science: 01.00.01: protected 07.06.00: app. 26.12.00 / O.Yu. Moiseev – Samara, 2000. – 125 p. – 05245271765. – [in Russian].

17. **Hebda, M.** Reference Tribotechnology. In 3v. V.1. Theoretical Foundations / Ed. M. Hebdy, A.V. Chichinadze. – Moscow: “Mashinostroenie” Publisher, 1989. – 400 p. – [in Russian].

18. **Kolpakov, V.A.** The device for rapid assessment of dielectric substrate cleanliness / V.A. Kolpakov, A.I. Kolpakov,

S.V. Krichevsky // Scientific Instruments and Methods. – 1995. – No 5. – P. 199-200. – [in Russian].

19. **Kazansky, N.L.** Parameter optimization of a tribometric device for substrate surface cleanliness measurement / N.L. Kazansky, V.A. Kolpakov, A.I. Kolpakov, S.V. Krichevsky, N.A. Ivliev // Computer Optics. – 2005. – No. 28. – P. 76-79. – [in Russian].

20. Kolpakov, A.I. A technique for measuring the substrate surface cleanliness / A.I. Kolpakov, A.V. Volkov – Author’s Certificate # 1821688, Bull. № 22, of 15.06.93. – 2 p. – [in Russian].

21. Pat. 2307339 Russian Federation, IPC7 G 01 N 19/08. A technique for surface cleanliness measurement / N.L. Kazansky, V.A. Kolpakov, A.I. Kolpakov, S.V. Krichevsky, N.A. Ivliev; applicant and patentee IPSI RAS, of 27.09.07, Bull. № 27. – 5 p. – [in Russian].

22. **Kazansky, N.L.** Formation of an optical micro-relief in off-electrod plasma high-voltage gas discharge / N.L. Kazansky, V.A. Kolpakov – Moscow: “Radio I Svyaz” Publisher, 2009. – 220 p. – [in Russian].

ANALYSIS OF METHODS FOR RAPID ASSESSMENT OF SURFACE CLEANLINESS

©2010 N.A. Ivliev, V.A. Kolpakov, S.V. Krichevsky

Samara State Aerospace University named after academician S.P. Korolyov
(National Research University)

The main methods for rapid assessment of surface cleanliness of dielectric substrates are analyzed. It is shown that the most convenient for the rapid assessment of surface cleanliness is a device based on the method by measuring tribometer sliding friction coefficient. The device is characterized by easy-to-use design, the short duration of the measurement process and, as will be shown below, does not require for their calibration of the reference surfaces and clean the surface of the indenter probe-specific technologies.

The surface of substrate, organic pollution, tribometric interaction, the degree of surface cleanliness, friction, tribometer.

Информация об авторах

Ивлиев Николай Александрович, аспирант кафедры технической кибернетики. Самарский государственный аэрокосмический университет имени академика С.П. Королёва (национальный исследовательский университет). E-mail: ivlievn@mail.ru.

Колпаков Всеволод Анатольевич, доктор физико-математических наук, доцент кафедры технической кибернетики. Самарский государственный аэрокосмический университет имени академика С.П. Королёва (национальный исследовательский университет). Область научных интересов: ионно-плазменные технологии обработки материалов, технологические процессы микро- и наноэлектроники, дифракционной оптики. E-mail: kolpakov@ssau.ru.

Кричевский Сергей Васильевич, кандидат технических наук, доцент кафедры электронных систем и устройств. Самарский государственный аэрокосмический университет имени академика С.П. Королёва (национальный исследовательский университет). Область научных интересов: ионно-плазменные технологии обработки материалов. E-mail: mitrea@yandex.ru.

Ivliev Nikolai Alexandrovich, postgraduate of technical cybernetics department. Samara State Aerospace University named after academician (National Research University). E-mail: ivlievn@mail.ru.

Kolpakov, Vsevolod Anatol'evich, doctor of physical and mathematical sciences, associate professor of technical cybernetics department. Samara State Aerospace University named after academician S. P. Korolyov (National Research University). Area of research: ion-plasma materials processing technologies, processes of micro-and nanoelectronics, diffractive optics. E-mail: kolpakov@ssau.ru.

Krichevsky Sergei Vasil'evich, candidate of technical sciences, associate professor of electronic systems and devices department. Samara State Aerospace University named after academician S. P. Korolyov (National Research University). Area of research: ion-plasma materials processing technologies. E-mail: mitrea@yandex.ru.