

УДК 621.382.8

УСТРОЙСТВО КОНТРОЛЯ ЧИСТОТЫ ПОВЕРХНОСТИ ПОДЛОЖЕК МЕТОДОМ ТРИБОМЕТРИИ

©2013 В. А. Колпаков, А. И. Колпаков, Н. А. Ивлиев, С. В. Кричевский

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

Описано трибометрическое устройство, позволяющее контролировать концентрацию органических загрязнений на поверхности диэлектрических подложек типа СТ-50, ВК-94, ВК-100, С5-1 в диапазоне 10^{-7} - 10^{-10} г/см². Приведены структурная и принципиальная схемы устройства и алгоритм его функционирования. Конструкция позволяет осуществить замену подложек (исследуемого образца и зонда) в течение 60-80 с.

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

Современные технологии микро-, нанoeлектроники и дифракционной оптики предъявляют повышенные требования к чистоте поверхности подложек, т.к. параметры адгезии тонкоплёночных структур начинают в этом случае в значительной мере определяться типом, концентрацией атомов и молекул, загрязняющих поверхность. Необходимый в данных условиях экспресс-контроль чистоты поверхностей площадью в десятки квадратных сантиметров невозможно осуществить стандартными методами оптического контроля, основанными на сравнении формы оптической поверхности с имеющимся эталоном [1–3].

Оптические устройства, основанные на наблюдении за поведением калиброванной капли жидкости, падающей на контролируемую поверхность [4–6], требуют использования дорогостоящей аппаратуры, например, высокоскоростных цифровых камер и специального программного обеспечения [6,7]. Поэтому создание недорогих трибометрических устройств представляется весьма актуальным. Такие контролирующие устройства могут быть эффективно использованы в технологических цепочках, реализующих широкий спектр методов формирования дифракционного микро- и нанорельефа

[8–19]) и нанопористых поверхностей [20–22].

В работах [23–26] описан трибометрический метод, отличающийся простотой реализации и позволяющий контролировать концентрацию загрязнений в диапазоне 10^{-7} - 10^{-10} г/см² на диэлектрических подложках типа СТ-50, ВК-94, ВК-100, С5-1. Однако за рамками обсуждения остались конструкционные особенности и принцип функционирования трибометрического устройства, реализующего этот метод.

В статье предлагается использовать для контроля степени чистоты подложек коэффициент трения скольжения поверхностей двух подложек, взятых из одной партии, поверхность которых формировалась в едином технологическом процессе. Одна из них служит подложкой-зондом и находится в точечном контакте с исследуемой поверхностью второй подложки [27]. Это даёт возможность контроля чистоты поверхности подложек по всей траектории движения зонда, протяжённость которой может превосходить размеры подложек. Устройство, реализующее этот способ и позволяющее контролировать концентрацию загрязнений в диапазоне 10^{-7} - 10^{-10} г/см² на диэлектрических подложках типа СТ-50, ВК-94, ВК-100, С5-1, представлено на рис.1.

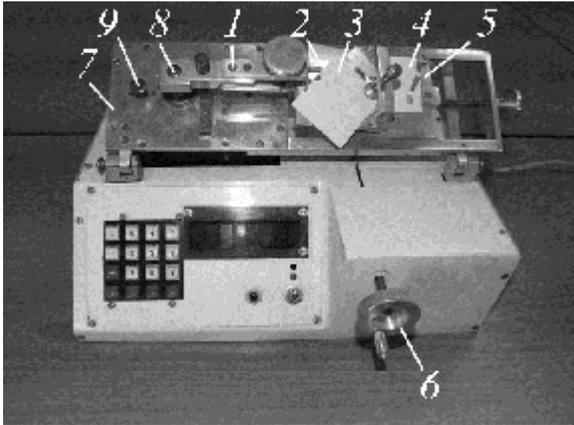


Рис.1. Внешний вид устройства контроля чистоты поверхности подложек

Для проведения процесса измерения необходимо отвести вверх до упора штангу 1 и снять с неё подложкодержатель 2, в пазы которого вставляется подложка-зонд 3. Исследуемая подложка 4 помещается в подложкодержатель 5 и закрепляется

специальными зажимами. После этого подложкодержатель 2 надевается на штангу 1 и опускается в рабочее положение (рис.1). В момент касания подложки-зонда поверхности исследуемой подложки штанга 1 входит в зацепление с электрофиксатором. Вращением ручки 6 между плоскостями крышки корпуса устройства и основанием 7 образуют угол $60-80^\circ$, что создаёт условия для скольжения подложек относительно друг друга. Сила прижима подложки-зонда определяется весом подложкодержателя 2. Процесс скольжения начинается при нажатии кнопки электрофиксатора 9. Конструкция позволяет осуществить замену подложек (исследуемого образца и зонда) в течение 60-80 с.

Структурная схема устройства представлена на рис. 2 (ПК – персональный компьютер).

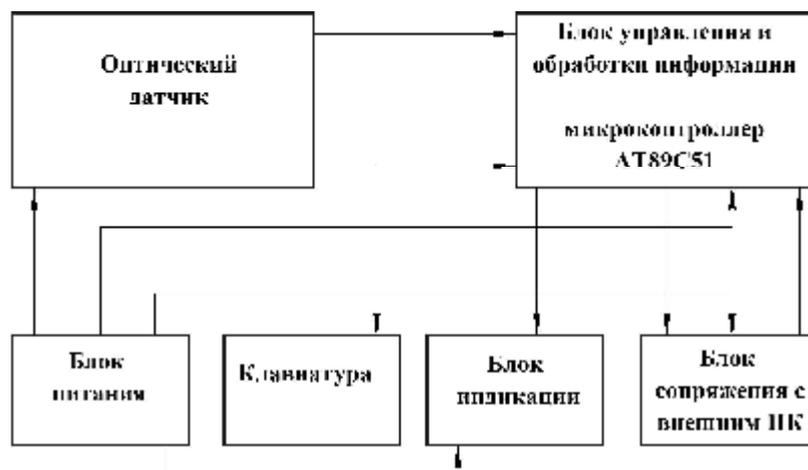


Рис.2. Структурная схема устройства экспресс-контроля чистоты поверхности диэлектрических подложек

При движении подложкодержателя растровый диск, закреплённый на валу 8, вращается в пространстве между инфракрасным излучателем и фотоприёмником, образующим оптический датчик. В результате появляются импульсы светового потока, которые преобразуются приёмником в электрические сигналы. Длительность полученных импульсов будет зависеть от степени чистоты исследуемой поверхности. Длительность импульсов све-

тового потока измеряется блоком управления и обработки информации. Результаты измерения отображаются на семисегментном индикаторе. Выбор и вывод на индикатор любого из трёх измеренных значений длительности импульса светового потока и среднего арифметического из этих длительностей осуществляется с помощью клавиатуры.

Устройство работает в соответствии с программой, записанной во внутренней памяти микроконтроллера.

Предварительные установки, необходимые для работы устройства, заносятся во внутренние регистры микроконтроллера в качестве первоначальной информации. Динамическая индикация осуществляется специальной подпрограммой, обеспечивающей выдачу на индикатор данных замеров и расчётов, а также ключевых слов (например, «ГОТОВ» – готовность к работе).

При нажатии клавиши «Замер» происходит опрос состояния датчика, и в случае обнаружения перепада из «1» в «0» осуществляется измерение длительности импульса светового потока в тактовых импульсах до момента перепада из «0» в «1». Измеренное значение преобразуется

из двоичного кода в семисегментный и передаётся на схему индикации. Команды выбора «к»-го импульса и вычисления разности между эталонным значением и измеренным подаются с клавиатуры, после чего происходит выполнение соответствующих подпрограмм. Вычисленные значения передаются на схему индикации и в память персонального компьютера (ПК).

При нажатии клавиши «RESET» происходит обнуление внутренних регистров микроконтроллера, очистка ОЗУ микроконтроллера и работа начинается сначала с предварительных установок в соответствии с алгоритмом.

Принципиальная схема устройства контроля чистоты поверхности подложек представлена на рис. 3.

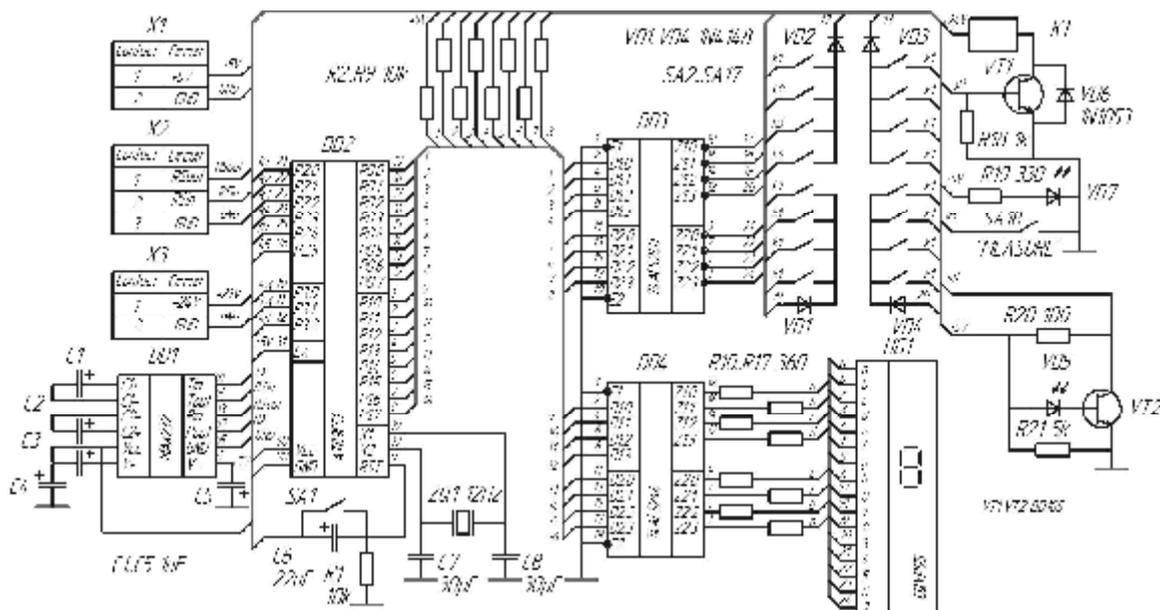


Рис.3. Принципиальная схема устройства экспресс-контроля чистоты поверхности диэлектрических подложек

Основу схемы составляет микроконтроллер DD2 AT89C51 фирмы ATMEL, обеспечивающий выполнение следующих задач:

- управление устройством в процессе функционирования;
- измерение длительности импульсов светового потока в импульсах тактового генератора;

- вычисление среднего значения суммы трёх импульсов светового потока и отклонений от введённых значений;
- индикацию результатов измерений и вычислений на светодиодном семи-сегментном индикаторе;
- взаимодействие с ПК.

Данные задачи выполняются согласно программе, хранящейся в памяти микроконтроллера.

В процессе измерений светодиод VD7 формирует импульс светового потока, воздействующий на фотодиод VD5. На коллекторе транзистора VT2 формируется перепад из «1» в «0», а при отсутствии импульса светового потока формируется перепад из «0» в «1». Этот сигнал поступает на вход прерываний микроконтроллера. В момент начала воздействия импульса светового потока на фотодиод микроконтроллер начинает процесс измерения длительности светового импульса путём заполнения временного интервала высокостабильными импульсами кварцевого генератора (период следования $T_{имп}=1\text{мкс}$) [28].

На выводах порта P1 формируется сигнал управления сегментами индикатора, который поступает на вход микросхемы DD4 74ALS244, предназначенной для согласования микроконтроллера с индикатором. С выходов микросхемы DD4 данный сигнал подаётся на индикатор HG1. На разрядах 0...8 порта P0 формируется сигнал управления разрядами индикатора и опроса клавиатуры, который поступает на входы микросхемы DD3 74ALS240 – формирователя сигналов, осуществляющего инвертирование сигнала, после чего преобразованный сигнал поступает на индикатор и клавиатуру. Порт P2 является входным для сигнала опроса клавиатуры. Диоды VD1 –VD4 (1N4148) предназначены для того, чтобы сигнал опроса клавиатуры проходил с порта P0 в порт P2 через замкнутые клавиши, но не проходил в противоположном направлении. В качестве индикатора HG1 используется 9-разрядный светодиодный индикатор SQYR95. Клавиатура содержит 16 кнопок, назначение каждой из которых определяется программным способом.

В микроконтроллере DD2 реализован универсальный асинхронный последовательный приёмопередатчик (UART), поддерживающий протокол стандарта RS-232C, что обеспечивает возможность

организации его связи с персональным компьютером. Для организации данной связи по протоколу стандарта RS-232 предназначена микросхема DD1, осуществляющая обмен данными с внешним ПК.

Транзистор VT1 работает в ключевом режиме, который необходим для управления электромагнитом K1 фиксатора штанги подложкодержателя в верхнем положении. При нажатии клавиши «Замер» с задержкой 1с транзистор VT1 закрывается сигналом уровня логического нуля с вывода 25 микроконтроллера DD2 и подложкодержатель с исследуемой подложкой движется в нижнее положение.

Элементы SA1, C6, R1 образуют цепь сброса в автоматическом и ручном режиме. Автоматический режим сброса происходит при каждом включении устройства, в то время как в процессе работы используется ручной режим сброса нажатием кнопки SA1.

Резисторы R2...R9 предназначены для «подтягивания» выводов порта P0 к уровню логической единицы.

Диод VD6 – демпферный диод, необходимый для защиты перехода коллектор – эмиттер транзистора VT1 от бросков напряжения, возникающих в катушке электромагнита K1 при переключении транзистора.

Таким образом, в работе описана конструкция трибометрического устройства экспресс-контроля чистоты поверхности подложек и изложен механизм функционирования разработанного устройства. К достоинствам описываемого устройства относятся:

- возможность проведения измерений концентрации загрязнений по всей площади исследуемой поверхности;
- малая длительность процесса измерения, определяемая временем замены исследуемых подложек (60-80 с);
- возможность определения среднего значения концентрации загрязнений по нескольким значениям длительности импульсов оптического датчика, что увеличивает точность процесса измерения;

– автоматизация обработки результатов измерений на внешнем ПК, позволяющая использовать предлагаемое устройство непосредственно на технологических линиях.

Работа выполнена при поддержке грантов Президента Российской Федерации для поддержки ведущих научных школ НШ-4128.2012.9 и молодых российских ученых – докторов наук МД-1041.2011.2 и Российского фонда фундаментальных исследований (проект № 12-07-33018 мол_а_вед).

Библиографический список

1. Синтез эталонов для контроля внеосевых сегментов асферических поверхностей [Текст] / М.А. Голуб, Н.Л. Казанский, И.Н. Сисакян, В.А. Сойфер // Оптика и спектроскопия. – 1990. – Т. 68. – № 2. – С. 461-466.
2. Формирование эталонных волновых фронтов элементами компьютерной оптики [Текст] / М.А. Голуб, Н.Л. Казанский, И.Н. Сисакян, В.А. Сойфер // Компьютерная оптика. – 1990. – № 7. – С. 3-26.
3. Wavefronts forming by computer-generated optical elements [Text] / M.A. Golub, N.L. Kazanskiy, I.N. Sisakyan, V.A. Soifer // Proceedings of SPIE. – 1990. – Vol.1183. – P. 727-750.
4. Бородин, С.А. Устройство для анализа нанощероховатостей и загрязнений подложки по динамическому состоянию капли жидкости, наносимой на ее поверхность [Текст] / С.А. Бородин, А.В. Волков, Н.Л. Казанский // Оптический журнал. – 2009. – Т. 76. – № 7. – С. 42-47.
5. 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. 69-75.
6. Изотов, П.Ю. Модификация прибора индикации чистоты и гладкости оптических подложек [Текст] / П.Ю. Изотов, М.С. Глянько, С.В. Суханов // Компьютерная оптика. – 2011. – Т. 35. – №1. – С. 63-69.
7. Глянько, М.С. Программное обеспечение для устройства контроля чистоты и шероховатости оптических подложек [Текст] / М.С. Глянько, П.Ю. Изотов // Компьютерная оптика. – 2012. – Т. 36. – № 2. – С. 242-248.
8. Попов, В.В. Материалы и методы для создания плоских фокусирующих элементов [Текст] / В.В. Попов // Компьютерная оптика. – 1987. – № 1. – С. 160-162.
9. A method for the diffractive microrelief forming using the layered photorealist growth [Text] / A.V. Volkov, N.L. Kazanskiy, O.Yu. Moiseev, V.A. Soifer // Optics and Lasers in Engineering. – 1998. – Vol. 29. – №№ 4-5. – P. 281-288.
10. Технология изготовления непрерывного микрорельефа дифракционных оптических элементов [Текст] / А.В. Волков, Н.Л. Казанский, В.А. Сойфер, В.С. Соловьев // Компьютерная оптика. – 1997. – № 17. – С. 91-93.
11. Волков, А.В. Исследование технологии плазменного травления для получения многоуровневых дифракционных оптических элементов [Текст] / А.В. Волков, Н.Л. Казанский, О.Е. Рыбаков // Компьютерная оптика. – 1998. – № 18. – С. 130-133.
12. Волков, А.В. Разработка технологии получения дифракционного оптического элемента с субмикронными размерами рельефа в кремниевой пластине [Текст] / А.В. Волков, Н.Л. Казанский, О.Е. Рыбаков // Компьютерная оптика. – 1998. – № 18. – С. 133-138.
13. Волков, А.В. Формирование микрорельефа с использованием халькогенидных стеклообразных полупроводников [Текст] / А.В. Волков, Н.Л. Казанский, О.Ю. Моисеев // Компьютерная оптика. – 2002. – № 24. – С. 74-77.
14. Казанский, Н.Л. Исследование особенностей процесса анизотропного травления диоксида кремния в плазме газового разряда высоковольтного типа [Текст] / Н.Л. Казанский, В.А. Колпаков,

- А.И. Колпаков // Микроэлектроника. – 2004. – Т. 33. – №3. – С. 209-224.
15. Казанский, Н.Л. Исследовательский комплекс для решения задач компьютерной оптики [Текст] / Н.Л. Казанский // Компьютерная оптика. – 2006. – № 29. – С. 58-77.
16. Formation of diffractive microrelief on diamond film surface [Text] / V.S. Pavelyev, S.A. Borodin, N.L. Kazanskiy, G.F. Kostyuk, A.V. Volkov // Optics & Laser Technology. – 2007. – Vol. 39. – № 6. – P.1234-1238.
17. Методы изготовления элементов дифракционной оптики резанием на станках с ЧПУ [Текст] / С.Р. Абульханов, Н.Л. Казанский, Л.Л. Досколович, О.Ю. Казакова // СТИН. – 2011. – № 9. – С.20-27.
18. Казанский Н.Л. Исследовательско-технологический центр дифракционной оптики [Текст] / Н.Л. Казанский // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. – 2011. – Т. 13. – № 4. – С. 54-62.
19. Bezus, E.A. Evanescent-wave interferometric nano-scale photolithography using guided-mode resonant gratings [Text] / E.A. Bezus, L.L. Doskolovich, N.L. Kazanskiy // Microelectronic Engineering. – 2011. – Vol. 88. – № 2. – P. 170–174.
20. Применение фокусаторов излучения при формировании нанопористых структур твердокристаллических материалов [Текст] / Н.Л. Казанский, С.П. Мурзин, В.И. Трегуб, А.В. Меженин // Компьютерная оптика. – 2007. – Т. 31. – № 2. – С. 48-51.
21. Формирование лазерного излучения для создания наноразмерных пористых структур материалов [Текст] / Н.Л. Казанский, С.П. Мурзин, А.В. Меженин, Е.Л. Осетров // Компьютерная оптика. – 2008. – Т. 32. – № 3. – С. 246-248.
22. Synthesis of nanoporous structures in metallic materials under laser action [Text] / N.L. Kazanskiy, S.P. Murzin, Ye.L. Osetrov, V.I. Tregub // Optics and Lasers in Engineering. – 2011. – Vol. 49. – No. 11. – P. 1264-1267. DOI: 10.1016/j.optlaseng.2011.07.001.
23. 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.
24. 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.
25. Interaction of Dielectric Substrates in the Course of Tribometric Assessment of the Surface Cleanliness [Text] / N.L. Kazanskiy, S.V. Karpeev, V.A. Kolpakov, S.V. Krichevsky, N.A. Ivliev // Optical Memory & Neural Networks (Information Optics). – 2008. – Vol. 17. – № 1. – P. 37-42.
26. Parameter Optimization of a Tribometric Device for Rapid Assessment of Substrate Surface Cleanliness [Текст] / N.L. Kazanskiy, V.A. Kolpakov, A.I. Kolpakov, S.V. Krichevsky, N.A. Ivliev, M.V. Desjatov // Optical Memory & Neural Networks (Information Optics). – 2008. – Vol. 17. – № 2. – P. 167-172.
27. 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.
28. Сташин В.В. Проектирование цифровых устройств на однокристалльных микроконтроллерах [Текст] / В.В. Сташин, А.В. Урусов, О.Ф. Мологонцева – М.: Энергоатомиздат, 1990.

DEVICE FOR THE ASSESSMENT OF SURFACE CONDITION BY FRICTION GAGING

© 2013 V. A. Kolpakov, A. I. Kolpakov, N. A. Ivliev, S. V. Krichevsky

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

A device for monitoring the concentration of organic impurity on the surface of dielectric substrates such as CT-50, BK-94, BK-100, C5-1 in the range from 10^{-7} to 10^{-10} g/cm is described in the paper. The block diagram and the schematic diagram of the device as well as the algorithm of its operation are presented. The structure makes it possible to replace a substrate (the sample under study and the probe) within 60-80 seconds.

Substrate surface, organic impurity, tribometric interaction, surface condition, friction coefficient, schematic diagram.

Информация об авторах

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

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

Ивлиев Николай Александрович, аспирант кафедры технической кибернетики, Самарский государственный аэрокосмический университет имени академика С.П. Королёва (национальный исследовательский университет). E-mail: ivlievn@gmail.com. Область научных интересов: физика поверхности твердого тела.

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

Kolpakov Vsevolod Anatolyevich, doctor of physics and mathematics, associate professor of the technical cybernetics department, Samara State Aerospace University named after academician S.P. Korolyov (National Research University). E-mail: kolpakov@ssau.ru. Area of research: ion-plasma materials processing technologies, processes of micro-and nano-electronics, diffractive optics.

Kolpakov Anatoly Ivanovich, candidate of technical science, associate professor of the department of electronic systems and devices, Samara State Aerospace University named after academician S.P. Korolyov (National Research University). E-mail: akolpakov@yandex.ru. Area of research: ion-plasma materials processing technologies.

Ivliev Nikolay Alexandrovich postgraduate student of the technical cybernetics department, Samara State Aerospace University named after academician S.P. Korolyov (National Research University). E-mail: ivlievn@gmail.com. Area of research: solid body surface physics.

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