

УДК 535.51:621.383: 666.011.01

**ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДА СЕКЦИОНИРОВАНИЯ В ЭЛЛИПСОМЕТРИИ  
НЕОДНОРОДНЫХ ОТРАЖАЮЩИХ СИСТЕМ**

**А.Н. Горляк<sup>а</sup>, В.М. Солонуха<sup>б</sup>, И.А. Храмцовский<sup>б</sup>**

<sup>а</sup> Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет (ЛЭТИ), Санкт-Петербург, Россия, ellipsometry@mail.ru

<sup>б</sup> Университет ИТМО, Санкт-Петербург, Россия, vsolonukha@yandex.ru

Исследованы особенности применения методов эллипсометрии и ультрафиолетовой спектрофотометрии при механической и химической обработке поверхности элементов оптоэлектроники, изготовленных из кварцевого стекла. В качестве техники эксперимента использован эллипсометр ЛЭФ-3М-1, спектрофотометр СФ-26 и интерферометр МИИ-4 с широко известными техническими характеристиками. Методом эллипсометрии измерялись поляризационные характеристики отраженного светового пучка; методом фотометрии измерялся коэффициент пропускания излучения в ультрафиолетовой области спектра; методом интерферометрии измерялась толщина поверхностного слоя при травлении кварцевого стекла.

На основе уравнения эллипсометрии для отражающей системы «неоднородный слой–неоднородная подложка» разработан метод HF-секционирования неоднородного поверхностного слоя полированного кварцевого стекла. Метод позволяет провести измерения и анализ оптических характеристик системы неоднородных слоев на неоднородной подложке и реконструировать оптический профиль поверхностных слоев при химической обработке поверхности кварцевого стекла.

Для определения изменения показателя преломления по глубине слоя используется аппроксимация экспериментальных значений поляризационных характеристик системы однородных слоев. Неоднородный поверхностный слой полированного кварцевого стекла состоит из области (толщиной до 20 нм) с показателем преломления слоя меньше показателя преломления кварцевого стекла и области (толщиной до 0,1 мкм) с показателем преломления слоя больше показателя преломления кварцевого стекла. Методами эллипсометрии и фотометрии определены технологические условия и оптические характеристики неоднородных слоев при химической обработке кварцевого стекла для оптических элементов с минимальными потерями излучения в ультрафиолетовой области спектра.

**Ключевые слова:** эллипсометрия, поверхностный слой, показатель преломления и толщина слоя.

**SECTIONING METHOD APPLICATION AT ELLIPSOMETRY  
OF INHOMOGENEOUS REFLECTION SYSTEMS**

**A.N. Gorlyak<sup>а</sup>, V.M. Solonukha<sup>б</sup>, I.A. Khramtsovsky<sup>б</sup>**

<sup>а</sup> Saint Petersburg State Electrotechnical University (LETI), Saint Petersburg, Russia, ellipsometry@mail.ru

<sup>б</sup> ITMO University, Saint Petersburg, Russia, vsolonukha@yandex.ru

The paper deals with investigation of application peculiarities of ellipsometry methods and UF spectrophotometry at mechanical and chemical processing of optical engineering surface elements made of quartz glass. Ellipsometer LEF-3M-1, spectrophotometer SF-26 and interferometer MII-4 are used as experiment tools; they obtain widely known technical characteristics. Polarization characteristics of reflected light beam were measured by ellipsometry method; spectrophotometry method was used for measuring radiation transmission factor in UF spectrum area; by interference method surface layer thickness at quartz glass etching was measured.

A method for HF-sectioning of inhomogeneous surface layer of polished quartz glass is developed based on ellipsometry equation for reflection system «inhomogeneous layer – inhomogeneous padding». The method makes it possible to carry out the measuring and analysis of optical characteristics for inhomogeneous layers system on inhomogeneous padding and to reconstruct optical profile of surface layers at quartz glass chemical processing.

For definition of refractive index change along the layer depth, approximation of experimental values for polarization characteristics of homogeneous layers system is used. Inhomogeneous surface layer of polished quartz glass consists of an area (with thickness up to 20 nm) and layer refractive index less than refractive index for quartz glass and an area (with thickness up to 0,1 μm) and layer refractive index larger than refractive index for quartz glass. Ellipsometry and photometry methods are used for definition of technological conditions and optical characteristics of inhomogeneous layers at quartz glass chemical processing for optical elements with minimum radiation losses in UF spectrum area.

**Keywords:** ellipsometry, surface layer, refractive index and layer thickness.

**Введение**

Для изготовления оптических внутрирезонаторных элементов ионных лазеров (аргоновых и криптоновых) в качестве основного материала используется кварцевое стекло, коэффициент пропускания которого в видимой и ультрафиолетовой (УФ) области спектра имеет наибольшее значение среди силикатных стекол [1–6]. Вследствие целого ряда технологических особенностей синтеза кварцевого стекла и условий обработки поверхности оптического элемента [6–11] в структуре, химическом составе стекла и

поверхностном слое (ПС), образующемся при полировании детали, наблюдается наличие «комбинационной» (структурной и химической) и оптической неоднородностей. При определении оптической неоднородности в ПС элементов применяются различные физико-математические методы моделирования распределения показателя преломления  $n(z)$  по глубине слоя  $z$  [10–15]. Однако при расчете локального значения показателя преломления  $n(z_j)$  в неоднородном ПС возможна неоднозначность в численном решении обратной задачи эллипсометрии для слоисто-неоднородной структуры ПС [16, 17].

Важнейшими аспектами, определяющими возможность практической реализации преимуществ метода секционирования (последовательное травление порции материала (секции)) вещества в эллипсометрии неоднородных ПС оптических элементов, являются алгоритм решения обратной задачи эллипсометрии, метрологические возможности эллипсометрического контроля *in situ* и аппаратная реализация метода [10]. При последовательном методе определения оптических характеристик неоднородных слоев повышается информативность эллипсометрического метода: снимается проблема неоднозначности в измерении толщины и возникает возможность определить распределение показателя преломления по глубине слоисто-неоднородной структуры.

Для определения оптических параметров неоднородных ПС и анализа амплитудно-фазовых соотношений поляризационных компонент отраженного светового пучка от многослойной системы обычно используются рекуррентные соотношениями Скендонна–Баллерини или Абеле [10], когда заранее предполагается, что многослойная система находится на однородной подложке. Однако учет ряда методических особенностей применяемого способа определения оптических характеристик неоднородного слоя по методу секционирования зачастую приводит к существенным ошибкам в расчете толщины  $d_j$  и показателя преломления  $n_j$  элементарного слоя. Отметим, что под «элементарными слоями» понимаются слои конечной толщины  $d \ll \lambda$ , где  $\lambda$  – длина волны излучения, из системы которых составляется модель многослойной отражающей системы, эквивалентная по своим поляризационно-оптическим свойствам исследуемому неоднородному поверхностному слою [10]. В основном это связано с тем, что каждый «элементарный слой» находится на части нижележащей многослойной системы, т.е. на «неоднородной подложке» [17–19].

Цель настоящей работы заключалась в усовершенствовании эллипсометрического метода определения оптических характеристик неоднородного слоя, находящегося на неоднородной подложке, и оптимизации технологических режимов химической обработки для получения оптических элементов с минимальными потерями излучения в УФ области спектра.

### Объекты и методы исследования

В качестве объектов исследования использовались элементы оплотехники, изготовленные из кварцевого стекла КУ2 (показатель преломления  $n_0 = 1,4570$  при  $\lambda = 0,6328$  мкм), которые полировались по стандартной технологии алмазным порошком АСМ 1,0/0. Для последующего удаления ПС, образующегося при полировании деталей, использовалась химическая обработка поверхности оптических элементов в 1% мол. растворе HF при температуре 20–25°C.

Измерение поляризационных характеристик отраженного светового пучка – азимута линейной восстановленной поляризации  $\Psi$  и разности фаз между двумя взаимно ортогональными компонентами отраженного светового пучка  $\Delta$  – осуществлялось на приборе ЛЭФ-3М-1 [20] при угле падения светового пучка  $\varphi = 60^\circ$  и длине волны излучения  $\lambda = 0,6328$  мкм с погрешностью  $S_\Delta \leq 2'$  и  $S_\Psi \leq 1'$ . Методика измерений основных эллипсометрических параметров объекта исследования и их метрологическая аттестация подробно описаны в [10].

На приборе СФ-26 проводилось измерение коэффициента пропускания  $T$  в УФ при длине волны излучения  $\lambda = 200, 250$  и  $300$  нм с погрешностью  $S_T \leq 1\%$ . Методика метрологической аттестации измерений коэффициента пропускания  $T$  проводилась по образцовым элементам, предварительно аттестованным методом импульсной фотометрии [4].

Толщина стравленного слоя  $d_j$  и показатель преломления элементарного слоя  $n_j$ , а также распределение показателя преломления  $n(z_j)$  по глубине ПС определялись на основе уравнения эллипсометрии для отражающей системы «неоднородный слой–неоднородная подложка» [17]:

$$\Phi_j = (i \cdot k_0 \cdot A_0 \cdot \rho_0)^{-1} \cdot [(\rho_j - \rho_0) - (\rho_{j-1} - \rho_0) \cdot \exp(-i \cdot 2k_0 \cdot U_0^{(s)} \cdot d_j)], \quad (1)$$

$$\Phi_j = \int_0^{d_j} (\varepsilon_j(z) - \varepsilon_0) \cdot (\varepsilon_j(z) - \varepsilon_B) \cdot \varepsilon_j^{-1}(z) \cdot \exp(-i2k_0 U_0^{(s)} z) dz, \quad (2)$$

$$A_0 = 2\varepsilon_0 \operatorname{tg}^2 \varphi \cdot U_B^{(s)} \cdot ([\operatorname{tg}^4 \varphi \cdot (U_B^{(s)})^2 - (U_0^{(s)})^2] \cdot (\varepsilon_0 - \varepsilon_B))^{-1}, \quad (3)$$

$$\rho = \operatorname{tg} \Psi \cdot \exp i\Delta, \quad k_0 = 2\pi/\lambda, \quad (4)$$

$$U_0^{(s)} = (\varepsilon_0 - \varepsilon_B \cdot \sin^2 \varphi)^{1/2}, \quad U_B^{(s)} = \sqrt{\varepsilon_B} \cdot \cos \varphi, \quad (5)$$

где  $\rho_0, \rho_j, \rho_{j-1}$  – эллипсометрическое отношение для геометрически плоской границы раздела сред, для поверхностного слоя до его стравливания  $\rho_j$  и после травления  $\rho_{j-1}$  в растворе плавиковой кислоты соот-

ветственно;  $\lambda$  – длина волны излучения;  $\varphi$  – угол падения светового пучка;  $\epsilon_o, \epsilon_B, \epsilon_j$  – диэлектрические проницаемости однородной подложки, внешней среды и стравленного  $j$ -го тонкого слоя.

По результатам измерений основных эллипсометрических параметров  $\Delta$  и  $\Psi$  на каждом этапе стравливания  $j$ -го тонкого слоя по уравнению эллипсометрии (1)–(5) проводилась реконструкция оптического профиля  $n(z)$  неоднородного ПС полированного кварцевого стекла. Толщина стравленного слоя  $d_c$  определялась также методом интерферометрии на приборе МИИ-4 по величине ступеньки травления

$$d_c = d_o - d_j, \tag{6}$$

образованной между двумя частями образца – стравленной частью поверхностного слоя  $d_j$  и частью образца  $d_o$ , маскируемой воском. Такая методика использовалась ранее в [6], и погрешность  $S_d$  в определении общей толщины стравленного слоя  $d_\Sigma$  составила  $S_d \leq 10$  нм.

### Эксперимент и обсуждение результатов

Изменение оптических и спектральных характеристик элементов оплотехники при химической обработке полированного кварцевого стекла в водном растворе плавиковой кислоты показаны на рис. 1, 2.

Из представленных на рис. 1 данных следует, что при малых временах травления (до  $t$  около 2 мин) происходит возрастание показателя преломления ПС. Это можно объяснить удалением приповерхностной области слоя, в которой присутствуют органические соединения на поверхности элемента. При дальнейшем травлении полированного кварцевого стекла (до  $t \approx 7$  мин) удаляется область ПС с нарушенной структурой кремнекислородной сетки ПС, которая формируется при механическом воздействии зерен алмазного порошка на поверхность детали в процессе ее полирования [6–11]. При стравливании этой области ПС показатель преломления слоя приближается к значению показателя преломления кремнекислородной матрицы кварцевого стекла  $n_o=1,4570$  (рис. 1).

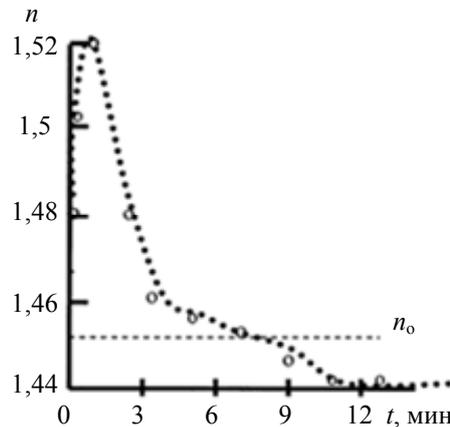


Рис. 1. Изменение показателя преломления поверхностного слоя при химической обработке кварцевого стекла ( $\lambda = 0,6328$  мкм)

Удаление этой области ПС в процессе химического травления кварцевого стекла приводит к уменьшению потерь излучения на оптический детали и соответственно к возрастанию коэффициента пропускания элемента в УФ области спектра (рис. 2). Однако при длительном воздействии раствора плавиковой кислоты на механически обработанную поверхность детали ( $t > 7$  мин) происходит растравливание трещиноватого слоя, который был ранее образован на стадии предварительного шлифования детали [11] и не был полностью удален при полировании кварцевого стекла. При этом возрастает микрорельеф поверхности, что подтверждается образованием ПС с показателем преломления меньше объемного значения  $n_o$ , и возрастают потери оптического излучения на поверхности детали, т.е. коэффициент пропускания в УФ области спектра уменьшает свое значение (рис. 2).

Из установленных корреляционных связей между оптическими параметрами ПС и спектроскопическими характеристиками в УФ области спектра (рис. 1, 2) были определены оптимальные условия химической обработки, при которых потери излучения в оптических элементах минимальны ( $t_{\text{опт}} \approx 7$  мин в 1% мол. растворе HF при температуре 20–25°C).

Используя результаты эллипсометрических и спектрофотометрических исследований, можно по формулам (1)–(6) провести реконструкцию оптического профиля  $n(z)$  стравленного ПС, образованного при полировании кварцевого стекла (рис. 3), т.е. только при травлении ПС в течение времени  $t \leq 7$  мин.

Область ПС, образованная при травлении оставшегося после механической обработки трещиноватого слоя ( $t > 7$  мин), не учитывается при аппроксимации распределения показателя преломления  $n(z)$  по глубине ПС системой тонких однородных слоев  $n(m)$  на неоднородной подложке кварцевого стекла.

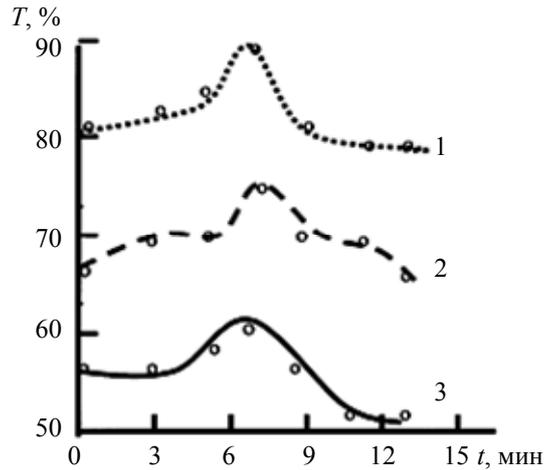


Рис. 2. Изменение коэффициента пропускания элементов кварцевого стекла в УФ области спектра: кривая 1 –  $\lambda = 300$  нм; кривая 2 –  $\lambda = 250$  нм; кривая 3 –  $\lambda = 200$  нм

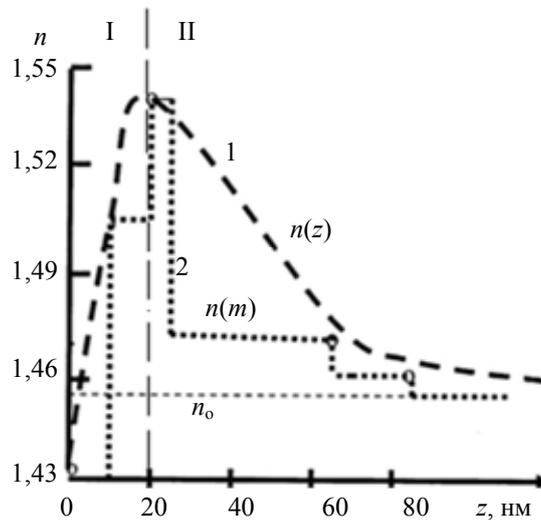


Рис. 3. Оптический профиль поверхностного слоя полированного кварцевого стекла: кривая 1 – схематическое изображение двух областей (I и II) ПС  $n(z)$ ; кривая 2 – аппроксимация оптического профиля ПС  $n(z)$  многослойной системой  $n(m)$

Из представленных на рис. 3 результатов анализа поляризационно-оптических свойств ПС можно выделить две области поверхностного слоя, образующегося при полировании кварцевого стекла алмазным порошком: I – приповерхностную область слоя толщиной до  $d$  порядка 20 нм, в которой показатель преломления  $n(z)$  изменяется от значений  $n(z) < n_0$  до некоторого максимального значения  $n_{\max} > n_0$ ; II – протяженная область ПС толщиной  $d$  порядка 20–90 нм, в которой показатель преломления  $n(z)$  по глубине слоя  $z$  изменяется от некоторого значения  $n_{\max}$  до значений показателя преломления в кварцевом стекле  $n_0$ .

Если изменение  $n(z)$  в приповерхностной области можно объяснить наличием микрорельефа поверхности детали, а также наличием органических соединений, которые могут содержаться в полирующей суспензии и проникающих в ПС [11], то образование области в глубине ПС с показателем преломления  $n(z) > n_0$  связано с физико-механическим воздействием зерна полировального порошка на поверхность кварцевого стекла и нарушением его кремнекислородной структуры.

### Заключение

На основе уравнения эллипсометрии для неоднородной отражающей системы «неоднородный слой–неоднородная подложка» усовершенствован метод секционирования в эллипсометрии неоднородных поверхностных слоев элементов оптотехники. Метод позволяет по непосредственным измерениям поляризационных характеристик отраженного светового пучка осуществить реконструкцию распределения показателя преломления  $n(z)$  по глубине поверхностного слоя, образующегося при полировании элементов оптотехники, после его секционирования в водном растворе плавиковой кислоты. При этом не требуется проводить сложное и трудоемкое численное физико-математическое моделирование нижележащей слоистой неоднородной системы, определяющей оптические характеристики неоднородной подложки.

Спектрофотометрические и эллипсометрические исследования кинетики процесса химического травления полированного кварцевого стекла в водном растворе плавиковой кислоты показали, что поверхностный слой неоднороден по своей структуре и отличается от кремнекислородной матрицы стекла. При этом уменьшение показателя преломления в приповерхностной области слоя связано с наличием микрорельефа поверхности и органических соединений, входящих в состав полирующей суспензии и проникающих в ПС. В глубине поверхностного слоя показатель преломления слоя  $n(z)$  превышает значение показателя преломления кремнекислородной матрицы стекла  $n_0$  и его последующее стравливание позволяет уменьшить потери излучения в ультрафиолетовой области спектра.

Продолжительное травление поверхности элемента в растворе плавиковой кислоты приводит к травлению трещиноватого слоя, образованного ранее на стадии шлифования детали и оставшегося после полирования элемента, что уменьшает коэффициент пропускания элемента в ультрафиолетовой области спектра. Определены оптимальные условия химической обработки кварцевого стекла.

В дальнейшем предполагается использовать разработанный метод секционирования в эллипсометрии неоднородных отражающих систем при оптимизации различных условий технологической обработки поверхности элементов оптоэлектроники, изготовленных из многокомпонентных силикатных стекол.

### Reference

1. Zemlyanskii V.S., Gorlyak A.N., Stepanchuk A.A., Khramzovski I.A. Ellipsometricheskii metod tekhnologicheskogo kontrolya elementov lazernoi tekhniki i gradientnoi optiki [Ellipsometry method of technological control of elements of laser equipment and gradient optics]. *Scientific and Technical Journal of Information Technologies, Mechanics and Optics*, 2007, no. 9 (43), pp. 81–87.
2. Novikov A.A., Gorlyak A.N., Stepanchuk A.A., Khramzovski I.A. Spektroskopicheskii i ellipsometricheskii metody attestatsii potokov opticheskogo izlucheniya v materiale i poverkhnostnom sloe elementov ionnykh i eksimernykh lazerov [Spectroscopic and ellipsometry methods of certification of optical radiation streams in the material and the surface layer in elements of ion and excimer lasers]. *Scientific and Technical Journal of Information Technologies, Mechanics and Optics*, 2007, no. 9 (43), pp. 88–96.
3. Novikov A.A., Prokopenko V.T., Khramzovski I.A. Opredelenie poter' izlucheniya na opticheskikh elementakh metodami ellipsometrii i spektrofotometrii [Radiation Losses Definition in Optical Elements by Methods of Ellipsometry and Spectrophotometry]. *Izv. vuzov. Priborostroenie*, 2007, vol. 50, no. 3, pp. 62–68.
4. Aleksandrov M.E., Danilova T.M., Belomutskaya P.S., Khramtsovskiy I.A. Opredelenie poter' izlucheniya na opticheskikh elementakh metodom ellipsometrii i impul'snoi fotometrii [Radiation loss determination on the optical elements by ellipsometry and impulse photometry methods]. *Scientific and Technical Journal of Information Technologies, Mechanics and Optics*, 2011, no. 6 (76), pp. 9–11.
5. Belomutskaya P.S., Danilova T.M., Khramtsovskiy I.A. Opredelenie opticheskikh kharakteristik elementov lazernoi tekhniki metodom vnutrirezonatornykh poter' izlucheniya [Determination of optical characteristics of laser hardware elements by intracavity loss method]. *Izv. vuzov. Priborostroenie*, 2012, vol. 55, no. 1, pp. 73–78.
6. Khramtsovskiy I.A., Voshchenko T.K., Cherezova L.A., Pshenitsyn V.I., Apinov A.A. Izmenenie opticheskikh svoystv poverkhnostnogo sloya pri ionno-plazmennom raspylenii kvartsevoogo stekla [Changes in the optical properties of the surface layer during the ion-plasma sputtering silica]. *Optika i spektroskopiya*, 1988, vol. 65, no. 1, pp. 141–145.
7. Zemlyanskii V.S., Khramtsovskii I.A., Stepanchuk A.A., Sychev M.M. Influence of the structure of the surface layer of silica glass on the radiation losses in the UV spectral range. *Glass Physics and Chemistry*, 2008, vol. 34, no 3, pp. 248–254.
8. Stepanchuk A.A., Sychev M.M., Prokopenko V.T., Khramtsovskii I.A. Issledovanie opticheskoi neodnorodnosti fiziko-khimicheskoi struktury parofaznogo stekla [Investigation of the optical inhomogeneity of physico-chemical structure of the glass vapor]. *Nerazrushayushchii kontrol' i diagnostika okruzhayushchei sredy, materialov i promyshlennykh izdelii* [Proc. Nondestructive testing and diagnostics of the environment, materials and industrial products] / Ed. A.I. Potapov. St. Petersburg, SZTU Publ., 2007, no. 14, pp. 184–193.
9. Gorlyak A.N., Khramtsovskij I.A. Diagnostics of the physicochemical state of the surface of optoelectronics elements by ellipsometry method. *Proc. of 5th Workshop Ellipsometry*. Zweibruecken, Germany, 2009, p. 63.
10. Pshenitsyn V.I., Abaev M.I., Lyzlov N.Yu. *Ellipsometriya v fiziko-khimicheskikh issledovaniyakh* [Ellipsometry in the physico-chemical studies]. Leningrad, Khimiya Publ., 1986, 152 p.
11. Pshenitsyn V.I., Mishin A.V., Khramtsovskii I.A., Banshchikov A.G., Kholldarov N.Kh., Tolmachev V.A., Kalinina M.A. Primenenie ellipsometrii i Ozhe-spektroskopii dlya issledovaniya poverkhnosti stekol [Application of ellipsometry and Auger spectroscopy to study the surface of glass]. *Ellipsometriya v nauke i tekhnike* [Ellipsometry in science and technology] / Eds. K.K. Svitashv, A.S. Mardezheva. Novosibirsk, IFP SO AN SSSR Publ., 1987, pp. 142–150.
12. Zemlyanskii V.S., Novikov A.A., Khramtsovskii I.A., Stepanchuk A.A. Osobennosti fiziko-matematicheskogo modelirovaniya struktury neodnorodnykh poverkhnostnykh sloev elementov optoelektroniki [Features of physical and mathematical modeling of heterogeneous structure of the surface layers in optoelectronic components]. *Nerazrushayushchii kontrol' i diagnostika okruzhayushchei sredy, materialov i promyshlennykh izdelii* [Proc. Nondestructive testing and diagnostics of the environment, materials and industrial products] / Ed. A.I. Potapov. St. Petersburg, SZTU Publ., 2007, no. 14, pp. 207–216.
13. Zemlyanskii V.S., Khramtsovskii I.A., Gorlyak A.N., Stepanchuk A.A. Methods of ellipsometric analysis of polarization optical properties of inhomogeneous surface layers of optoelectronics elements. *Optics and Spectroscopy*, 2008, vol. 105, no 2, pp. 320–325. doi: 10.1134/S0030400X08080237

14. Dagman E.E., Semenenko A.L. Issledovanie neodnorodnykh otrazhayushchikh sistem metodom ellipsometrii. I Aproximatsiya odnorodnymi sloyami [Investigation of reflecting heterogeneous systems by ellipsometry. I Approximation of homogeneous layers]. *Ukrainian Journal of Physics*, 1981, vol. 26, no. 5, pp. 820–826.
15. Dagman E.E., Semenenko A.L. Issledovanie neodnorodnykh otrazhayushchikh sistem metodom ellipsometrii. Algoritmicheskii podkhod. II Aproximatsiya «lineinymi» sloyami [Investigation of reflecting heterogeneous systems by ellipsometry. Algorithmic approach. Approximation II "linear" layers]. *Ukrainian Journal of Physics*, 1981, vol. 26, no. 6, pp. 922–928.
16. Pshenitsyn V.I., Khramtsovskii I.A. Novyi podkhod k ellipsometrii real'noi poverkhnosti opticheskikh materialov [New approach to real surface ellipsometry optical materials]. *Ellipsometriya: teoriya, metody, prilozhenie* [Ellipsometry: theory, methods, application] / Ed. A.V. Rzhанov, L.A. Il'in. Novosibirsk, Nauka Publ., 1987, pp. 8–14.
17. Pshenitsyn V.I., Khramtsovskii I.A., Krylova N.A., Podsekaev A.V., Turkboev A. Ellipsometriya otrazhayushchei sistemy "neodnorodnyi sloi – neodnorodnaya podlozhka" [Ellipsometry reflective of the "inhomogeneous layer – inhomogeneous substrate"]. *Metody prikladnoi matematiki v transportnykh sistemakh* [Methods of applied mathematics in transport systems] / Ed. Yu.M. Kulibanov. St. Petersburg, GUVK Publ., 2000, no. 3, pp. 32–37.
18. Golyak A.N., Cramtsovsky I.A. The ellipcometry of the roug siface on an inhomogeneous substrate. *Proc. of 4<sup>th</sup> International Conference on Spectroscopic Ellipsometry, ICSE 4*. Stockholm, Sweden, 2007, Poster Session, p. 74.
19. Alekseev S.A., Krylova N.A., Mironov A.O., Turkboev A., Khramtsovskii I.A. Primenenie metoda sektionirovaniya pri kontrole okisnykh pokrytii na ferritakh [Application of the partitioning method in controlling oxide coatings on ferrite]. *Voprosy materialovedeniya*, 2000, no. 1 (21), pp. 63–65.
20. Algazin Yu.B., Ioshchenko N.N., Leonenko A.F., Pan'kin V.G., Rykhlytskii S.V., Svitashv K.K. Lazernyi fotoelektricheskii ellipsometr LEF-3M-1 [Laser photoelectric ellipsometer LEF-3M-1]. *Pribory i tekhnika eksperimenta*, 1987, no. 6, p. 204.

<b>Горляк Андрей Николаевич</b>	– кандидат технических наук, ведущий научный сотрудник, Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет (ЛЭТИ), Санкт-Петербург, Россия, ellipsometry@mail.ru
<b>Солонуха Владимир Михайлович</b>	– аспирант, Университет ИТМО, Санкт-Петербург, Россия, vsolonukha@yandex.ru
<b>Храмцовский Игорь Анатольевич</b>	– кандидат технических наук, ведущий инженер, Университет ИТМО, Санкт-Петербург, Россия, ellipsometry@mail.ru
<b>Andrey N. Gorlyak</b>	– leading scientific researcher, PhD, Saint Petersburg State Electrotechnical University (LETI), Saint Petersburg, Russia, ellipsometry@mail.ru
<b>Vladimir M. Solonukha</b>	– postgraduate, ITMO University, Saint Petersburg, Russia, vsolonukha@yandex.ru
<b>Igor A. Khramtsovsky</b>	– leading engineer, PhD, ITMO University, Saint Petersburg, Russia, ellipsometry@mail.ru

*Принято к печати 12.03.14  
Accepted 12.03.14*