



# Основные пробные стекла: две новые и актуальные возможности их реализации в оптических технологиях

А. В. Лукин, А. Н. Мельников  
АО «НПО «Государственный институт прикладной оптики», Казань, Республика Татарстан, Россия

Предложены новые возможности использования основных пробных стекол (ОПС) для решения двух актуальных проблем в современных оптических технологиях – совершенствования методов и средств метрологического обеспечения контроля оптических элементов и повышения производительности изготовления линз и зеркал со сферическими рабочими поверхностями. Решение первой проблемы основано на применении эталонного набора, включающего пару ОПС (выпуклое и вогнутое) и эталонный осевой синтезированный голограммный оптический элемент (СГОЭ). Для решения второй проблемы предлагается использовать ОПС в качестве эталонных мастер-матриц с последующим изготовлением с них копий-субматриц заданных размеров методом прецизионной репликации.

**Ключевые слова:** основные пробные стекла, эталонный набор, осевой синтезированный голограммный оптический элемент, мастер-матрица, прецизионная репликация, полимерная композиция, серийное и массовое производство

Статья поступила: 13.02.2020  
Статья принята: 20.02.2020

# Basic Test Plates: Two New and Relevant Uses in Optical Technologies

A. V. Lukin, A. N. Melnikov  
JSC "State Institute of Applied Optics", Kazan, Republic of Tatarstan, Russia

New possibilities are proposed for using the basic test plates (BTP) to solve two pressing problems in modern optical technologies – improving methods and means of metrological support for monitoring optical elements and increasing the productivity of manufacturing lenses and mirrors with spherical working surfaces. The solution to the first problem is based on the use of a reference set including a couple of BTP (convex and concave) and a reference on-axis computer-generated hologram optical element (CGHOE). To solve the second problem, it is proposed to use the BTP as reference masters with the subsequent production of copies of submatrices of specified sizes from them using precise replication.

**Key words:** basic test plates, reference set, on-axis computer-generated hologram optical element, master, precise replication, polymer composition, serial and mass production

Article received: 13.02.2020  
Article accepted: 20.02.2020

## INTRODUCTION

In modern domestic and foreign optical production, a paradoxical situation is emerging. On the one hand, the classical "block" technology of serial production of lenses and mirrors with spherical surfaces is still being used using working test plates (WTP) for the technological control, in the manufacture of which control test plates (CTP) or BTP are still used [1, 2]. At the domestic enterprises that have traditional optical production, over many years of practice, a huge number of BTP of various standard sizes [3] has accumulated with the highest optical quality of spherical work surfaces.



## ВВЕДЕНИЕ

В современном отечественном и зарубежном оптическом производстве складывается парадоксальная ситуация. С одной стороны, до сих пор сохраняется классическая блочная технология серийного производства линз и зеркал со сферическими поверхностями с применением для технологического контроля рабочих пробных стекол (РПС), при изготовлении которых до сих пор используются контрольные пробные стекла (КПС) или ОПС [1, 2]. На отечественных предприятиях, имеющих традиционное оптическое производство, за многолетнюю практику накопилось огромное количество ОПС различных типоразмеров [3] с высочайшим оптическим качеством сферических рабочих поверхностей.

С другой стороны, быстро растет доля оптических элементов, изготавливаемых на современных прецизионных оптических станках с числовым программным управлением (ЧПУ), а также путем горячего прессования и моллирования [1, 4-6] без использования пробных стекол.

В настоящее время в мире наблюдается тенденция роста применения контактных (профилометры) и бесконтактных (интерферометры) средств измерений для обеспечения технологического и аттестационного контроля процессов формообразования оптических поверхностей [1, 2, 5-8]. Поэтому применение ОПС ограничивается или исключается вовсе, так как рабочие пробные стекла при необходимости могут быть изготовлены непосредственно, без использования КПС и ОПС. Актуальная проблема при применении контактных и бесконтактных средств измерений на этапе паспортизации готовых изделий – отсутствие их метрологического обеспечения (калибровка и поверка) в требуемом диапазоне оптических параметров. Аналогичная ситуация имеет место и в зарубежных традиционных оптических производствах.

## ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ

Эталонный набор в составе пары ОПС первого класса точности и первой группы сопряжения с выбранным номинальным значением радиуса кривизны в диапазоне от 1 до 40 м совместно с эталонным осевым синтезированным голограммным оптическим элементом (СГОЭ) открывает возможность решения этой проблемы.

Следует отметить, что ОПС изготавливаются всегда только парами (выпуклое и вогнутое), в соответствии с требованиями [2] с высоким классом сопряжения, гарантирующим одинако-

On the other hand, the share of optical elements manufactured on modern precision optical machines with numerical control (CNC), as well as by hot molding and sagging [1, 4-6] without the use of test plates, is rapidly growing.

Currently, there is a growing trend in the world in the use of contact (profilometers) and non-contact (interferometers) measuring instruments to ensure technological and certification control of the processes of forming optical surfaces [1, 2, 5-8]. Therefore, the use of BTP is limited or eliminated altogether, since working test plates, if necessary, can be made directly, without the use of CTP and BTP. An urgent problem when using contact and non-contact measuring instruments at the stage of certification of finished products is the lack of their metrological support (calibration and verification) in the required range of optical parameters. A similar situation takes place in foreign traditional optical industries.

## SETTING OF THE PROBLEM

The reference set consisting of an BTP pair of the first accuracy class and the first pair of mates with the selected nominal value of the radius of curvature in the range from 1 to 40 m together with the reference on-axis computer-generated hologram optical element (CGHOE) opens up the possibility of solving this problem.

It should be noted that BTP are always made only in pairs (convex and concave) in accordance with the requirements of [2] with a high conjugation class that guarantees the same radii of curvature of convex and concave surfaces. The “lapping” technology used in this case guarantees the spherical shape of their working surfaces (convex and concave), and also ensures the equality of their radii of curvature [9]. Note that the manufacture of BTP requires highly qualified opticians.

In this case, the reference on-axis CGHOE is calculated, manufactured and certified [10, 11] based on the actual value of the radius of curvature of this pair of BTP, previously measured using the control on-axis CGHOE [1, 12]. The peculiarity of measuring the radii of curvature of spherical surfaces with the help of CGHOE is that it is not the radius itself that is measured, but its deviation from the nominal value reproduced by such CGHOE.

The on-axis CGHOE used in the  $\pm 1$ st diffraction operating orders is equivalent to both a convex and concave BTP with a given nominal radius of curvature.



вость радиусов кривизны выпуклой и вогнутой поверхностей. Технология притира, используемая при этом, гарантирует сферичность формы их рабочих поверхностей (выпуклой и вогнутой), а также обеспечивает равенство их радиусов кривизны [9]. Отметим, что для изготовления ОПС требуются специалисты-оптики высочайшей квалификации.

В данном случае эталонный осевой СГОЭ рассматривается, изготавливается и паспортизируется [10, 11] исходя из фактического значения радиуса кривизны данной пары ОПС, предварительно измеренного с помощью контрольного осевого СГОЭ [1, 12]. Особенность измерения радиусов кривизны сферических поверхностей с помощью СГОЭ состоит в том, что измеряется не сам радиус, а его отклонение от номинального значения, воспроизводимого таким СГОЭ.

Осевого СГОЭ, используемый в  $\pm 1$ -х рабочих порядках дифракции, эквивалентен одновременно и выпуклому, и вогнутому ОПС с заданным номинальным радиусом кривизны.

### СХЕМА РЕШЕНИЯ

По-видимому, для проведения поверочно-калибровочных работ целесообразно использовать эталонный набор в составе нескольких пар ОПС и соответствующих СГОЭ в пределах диапазона номинальных значений измеряемых радиусов кривизны. Необходимое количество элементов в составе эталонного набора определяется типом поверяемого средства измерений и допустимыми погрешностями измерений в заданном диапазоне радиусов кривизны и стрелок прогиба оптических поверхностей вращения.

В частности, для выполнения проверки контактного профилометра можно использовать три – пять пар ОПС из эталонного набора в пределах рабочего диапазона измерения стрелки прогиба профилометра, а также формы профиля оптических поверхностей вращения. Разность измерений радиусов кривизны выпуклого и вогнутого ОПС для каждой пары, а также отклонение их измеренных профилей от окружности, очевидно, будет характеризовать точностные параметры поверяемого профилометра.

Для выполнения поверочно-калибровочных работ интерферометрической измерительной аппаратуры, построенной по схеме Физо или Тваймана-Грина, по-видимому, также достаточно трех – пяти пар ОПС и соответствующих СГОЭ. С помощью выпуклого и вогнутого эталонных ОПС и эталонного осевого СГОЭ, используе-

### SOLUTION SCHEMA

Apparently, for verification and calibration work, it is advisable to use reference set of several pairs BTP and related CGHOE within the range of nominal values of the measured radii of curvature. The required number of elements in the reference set is determined by the type of the measuring instrument to be verified and the permissible measurement errors in a given range of radii of curvature and deflection arrows of the optical surfaces of revolution.

In particular, to perform verification of a contact profilometer, it is possible to use on three to five pairs of BTP from the reference set within working range of measuring the profilometre deflection arrow, as well as the profile shape of the optical surfaces of revolution. The difference in the measurements of the radii of curvature of the convex and concave BTP for each pair, as well as the deviation of their measured profiles from the circle, will obviously characterize the accuracy parameters of the verified profilometer.

Apparently, three to five OPS couples and related CGHOE are also sufficient to carry out calibration and calibration work on interferometric measuring equipment constructed according to the Fizeau or Twyman-Green scheme. Using the convex and concave reference BTP and the reference on-axis CGHOE used in the  $\pm 1$ st operating orders, four interferograms for each of the nominal radius of curvature are obtained and decoded. Thus, up to 20 interferograms can be recorded and decoded, each of which characterizes the deviation of the wave-front formed in the working branch of the interferometer from a given spherical shape [7], which is an exhaustive quantitative characteristic of wave aberrations of verified interferometric measuring equipment. At the same time, the measured deviations of the radii of curvature of the spherical surfaces of the convex and concave reference BTP and the radii of curvature of the geometric wave front reconstructed by the standard SHOE in the  $\pm 1$ st orders uniquely characterize the accuracy of the measuring system of this interferometer.

The proposed technical solution will make it possible to calibrate and verify measuring instruments for the radii of curvature of spherical surfaces, and interferometers (optional) according to local and general errors of the controlled wave-front, which, in turn, will improve the methods and means of metrological support for the needs of optical technologies.

### DISCUSSION

An equally important and urgent problem of modern optical technology is the need to increase the

мого в  $\pm 1$ -м рабочих порядках, получают и расшифровывают четыре интерферограммы для каждого номинала радиуса кривизны. Таким образом, может быть зарегистрировано и расшифровано до 20 интерферограмм, каждая из которых характеризует отклонение волнового фронта, формируемого в рабочей ветви интерферометра, от заданной сферической формы [7], что является исчерпывающей количественной характеристикой волновых aberrаций поверяемой интерферометрической измерительной аппаратуры. Вместе с тем измеренные отклонения радиусов кривизны сферических поверхностей выпуклого и вогнутого эталонных ОПС и радиусов кривизны геометрического волнового фронта, восстановленного эталонным СГОЭ в  $\pm 1$ -м порядках, однозначно характеризуют точность измерительной системы этого интерферометра.

Предложенное техническое решение обеспечит возможность калибровки и проверки средств измерений радиусов кривизны сферических поверхностей, а интерферометров (дополнительно) – по местным и общим ошибкам контролируемого волнового фронта, что, в свою очередь, позволит усовершенствовать методы и средства метрологического обеспечения для потребностей оптических технологий.

## ОБСУЖДЕНИЕ

Не менее важной и актуальной проблемой современной оптической технологии является необходимость повышения производительности серийного и массового изготовления линз и зеркал со сферическими рабочими поверхностями.

Оценки показывают, что себестоимость процесса формообразования сферических поверхностей при блочной технологии и при помощи оптических станков с ЧПУ остается высокой. Поэтому практическая реализация возможностей формообразования оптических рабочих поверхностей любой формы, в том числе и сферических, методом прецизионной репликации на основе использования малоусадочных полимерных композиций [13] позволяет существенно повысить производительность по сравнению с применяемыми на практике методами и реализовать, в частности, конвейерный принцип формообразования, причем в данном случае достаточен лаборантский уровень работников.

Высвобождающуюся при этом многотысячную базу имеющихся ОПС предлагается использовать в качестве эталонных мастер-матриц в процессе реализации технологии прецизионной реплика-

productivity of serial and mass production of lenses and mirrors with spherical working surfaces.

Estimates show that the cost of the process of forming spherical surfaces with “block” technology and using optical CNC machines remains high. Therefore, the practical implementation of the possibilities of shaping optical working surfaces of any shape, including spherical, by the method of precise replication based on the use of low-shrink polymer compositions [13] can significantly increase productivity compared to the methods used in practice and realize, in particular, the conveyor principle of shaping, moreover, in this case, the laboratory assistant level of workers is sufficient.

It is proposed to use the thousands of available BTPs that are released at the same time as reference masters in the process of implementing precise replication technology [13] for mass and mass production of lenses and mirrors with spherical working surfaces. In this case, the most important and most expensive stage is the manufacture and certification of the primary master a priori already performed with the highest accuracy [2] and does not require additional costs.

At the first stage, the traditional “block” technology and CNC optical machines under these conditions are mainly proposed to be used to produce lens and mirror blanks with finely ground, medium and low precision work surfaces. In the future, to increase productivity, these same operations can be performed using the technology of hot molding or sagging.

At the stage of the final shaping of the spherical working surfaces of lenses and mirrors, submatrices of specified sizes are used as part of the implementation of the precise replication process [13]. Moreover, these copy-submatrices are also made by precise replication with BTP, performing the function of reference masters.

This approach opens up the possibility of realizing the presented proposal with minimal costs for the preparation of serial and mass production of spherical optical elements. It is important to note that in this case, as experimentally established in our practice, the cleanliness class and roughness parameters of replicated surfaces practically coincide with the corresponding parameters of the working surfaces of the masters, and the retention of elements of replicated optics, in particular in heated rooms, exceeds 15 years. Note that the replication process has a low probability of damage to the working surfaces of the masters (in this case, BTP) due to the lack of solid abrasive particles in the used polymer compositions, as well as the simplicity of the organization of “clean” production due to the compactness of the technological equipment used. It



ции [13] для серийного и массового производства линз и зеркал со сферическими рабочими поверхностями. В данном случае самый важный и самый дорогостоящий этап – изготовление и аттестация первичной мастер-матрицы априори уже выполнен с высочайшей точностью [2] и не требует дополнительных затрат.

На первом этапе традиционную блочную технологию и оптические станки с ЧПУ в этих условиях в основном предлагается использовать для получения заготовок линз и зеркал с тонкошлифованными рабочими поверхностями средней и низкой точности. В перспективе для увеличения производительности эти же операции можно выполнять и при помощи технологии горячего прессования или моллирования.

На этапе окончательного формообразования сферических рабочих поверхностей линз и зеркал применяются копии-субматрицы заданных размеров в рамках реализации процесса прецизионной репликации [13]. Причем эти копии-субматрицы изготавливаются также путем прецизионной репликации с ОПС, выполняющих функцию эталонных мастер-матриц.

Такой подход открывает возможность реализации представленного предложения с минимальными затратами на подготовку серийного и массового производства сферических оптических элементов. Важно отметить, что при этом, как установлено в нашей практике экспериментально, класс чистоты и параметры шероховатости реплицированных поверхностей практически совпадают с соответствующими параметрами рабочих поверхностей мастер-матриц, а сохраняемость элементов реплицированной оптики, в частности в условиях отапливаемых помещений, превышает 15 лет. Отметим, что процесс репликации отличается низкой вероятностью повреждения рабочих поверхностей мастер-матриц (в данном случае ОПС) ввиду отсутствия в используемых полимерных композициях твердых абразивных частиц, а также простоты организации «чистого» производства в силу компактности используемого технологического оборудования. Весьма полезным, с точки зрения расширения диапазона функциональных возможностей реплицированных оптических элементов и компонентов, в частности одиночных линз и склеек-дублетов, является применение в процессе репликации тонких корректирующих слоев, предварительно наносимых на рабочие поверхности заготовок [14].

Таким образом, реализация данных предложений по использованию ОПС для выполнения

is very useful, from the point of view of expanding the range of functional capabilities of replicated optical elements and components, in particular, single lenses and double-glued glues, to use thin adjustment layers preliminarily applied to the workpiece surfaces during replication [14].

Thus, the implementation of these proposals on the use of BTPs to perform additional and previously inappropriate functions with their help opens the way to solving urgent and interrelated problems:

- providing calibration and verification of measuring instruments used in optical technology for the control of spherical surfaces, based on the manufacture and use of reference sets containing the required number of BTP and corresponding reference axial CGHOE for nominal values of the radii of curvature, while the required number of reference sets to meet the needs of domestic metrological services can be made by replication using the method of precise replication from primary reference BTP and CGHOE;
- increase productivity and guarantee the identity of the spherical surfaces of optical elements; in this case, the entire accumulated BTP base can be used as reference masters, and the traditional “block” technology and modern CNC optical machines can be used more rationally for shaping lens and mirror blanks with spherical working surfaces of medium and low accuracy, moreover, precise replication does not require the involvement of highly skilled workers and can be implemented in a conveyor form.

## CONCLUSION

From the foregoing, it can be concluded that it is advisable to organize a branch bank of reference BTP of the first accuracy class and a high conjugation group that contains all their nomenclature provided for by the standard [3] (2712 pairs of convex and concave spherical BTP). This will ensure the unity of measurements and control in the industry of the basic optical parameters of spherical surfaces.

At the same time, we propose to use the same bank at the same time as a bank of reference masters when organizing serial and mass production of lenses and mirrors with spherical working surfaces using precise replication methods [13, 14].

And all this as a whole, apparently, is inevitable, will lead to a significant change in the infrastructure of modern optical production, which will become significantly more productive, naturally, provided that it is staged and as a result of the implementation of the corresponding research and experimental work.



с их помощью дополнительных и ранее не свойственных им функций открывает путь к решению актуальных и взаимосвязанных проблем:

- обеспечения калибровки и поверки средств измерений, применяемых в оптической технологии при контроле сферических поверхностей, на основе изготовления и применения эталонных наборов, содержащих необходимое количество ОПС и соответствующих эталонных осевых СГОЭ для разных заданных номинальных значений радиусов кривизны, при этом требуемое количество эталонных наборов для обеспечения потребностей отечественных метрологических служб может быть изготовлено путем тиражирования методом прецизионной репликации с первичных эталонных ОПС и СГОЭ;
- повышения производительности и обеспечения гарантии идентичности сферических поверхностей оптических элементов; при этом может быть задействована вся накопленная база ОПС в качестве эталонных мастер-матриц, а традиционная блочная технология и современные оптические станки с ЧПУ могут быть использованы более рационально для формообразования заготовок линз и зеркал со сферическими рабочими поверхностями средней и низкой точности, причем процесс прецизионной репликации не требует привлечения работников высокой квалификации и может быть реализован в конвейерной форме.

## ВЫВОД

Из изложенного можно сделать вывод о целесообразности организации отраслевого банка эталонных ОПС первого класса точности и высокой группы сопряжения, содержащего всю предусмо-

## REFERENCES

1. Okatov M. A., Antonov E. A., Bajgozhin A. i dr. *Spravochnik tekhnologa-optika* / ed. by M. A. Okatov. – S-Pb.: Politekhnik. 2004.
2. GOST 2786-82. Testing glasses for radii and form control of spherical optical surfaces. Specifications. URL: <https://www.russiagost.com/p-58927-gost-2786-82.aspx>.
3. GOST 1807-75. Radius of spherical surfacer of optical components. Series of numerical values. URL: <https://www.russiagost.com/p-65866-gost-1807-75.aspx>.
4. Sun H. *Basic Optical Engineering for Engineers and Scientists*. – N.Y.: SPIE Press, McGraw-Hill Companies, Inc. 2019. DOI: 10.1117/3.2504404.
5. Smith W. J. *Modern Optical Engineering. The Design of Optical Systems*. – N.Y.: SPIE Press, McGraw-Hill Companies, Inc. 2008. DOI: 10.1036/0071476873.
6. Bass M., Mahajan V. N., Stryland E. V., Altman J. H., Arissian L. et al. *Handbook of Optics. Volume II. Design, Fabrication, and Testing; Sources and Detectors; Radiometry and Photometry*. – N.Y.: McGraw-Hill Companies, Inc. 2010.
7. Hausner M. *Optics Inspections and Tests: A Guide for Optics Inspectors and Designers*. – N.Y.: SPIE Press, McGraw-Hill Companies, Inc. 2017. DOI: 10.1117/3.2237066.
8. GOST R8.743-2011/ISO/TR 14999-3:2005. State system for ensuring the uniformity of measurements. Optics and photonics. Interferometric measurement of optical elements and systems. Part 3. Calibration and certification of interferometers, methods for measuring optical wave fronts. URL: <https://www.russiagost.com/p-71700-gost-r-8743-2011.aspx>.
9. Maksutov D. D. *Izgotovlenie i issledovanie astronomicheskoy optiki*. – M.: Nauka. 1984.
10. Lukin A. V. Holographic optical elements. *Journal of Optical Technology*. 2007; 74 (1): 65–70. DOI: 10.1364/JOT.74.000065.
11. Belozorov A., Larionov N., Lukin A., Mel'nikov A. Axial synthesized hologram optical elements: history of development, application. Part I. *Photonics Russia*. 2014; 4 (46): 12–32.
12. Agachev A. R., Larionov N. P., Lukin A. V., Mironova T. A., Nyushkin A. A., Protasevich D. V., Rafikov R. A. Computer-generated holographic optics. *Journal of Optical Technology*. 2002; 69 (12): 871–878. DOI: 10.1364/JOT.69.000871.
13. Lukin A. V., Mel'nikov A. N., Ahmetov M. M., Berdennikov A. V., Gajnutdinov I. S., Zhdanova A. V., Ivanov V. P., Lisova E. G., Mogilyuk I. A. Replicirovannaya asfericheskaya optika. Osnovnyye aspekty organizatsii serijnogo i massovogo proizvodstva. *Kontenant*. 2017; 16 (2): 167–172.
14. Patent RU2019129406 (state pending acceptance). *A method of manufacturing a combined optical element* / Lukin A. V., Melnikov A. N.

## ABOUT AUTHORS

A. V. Lukin, Doctor of Engin. Sciences,  
JSC “State Institute of Applied Optics”, Kazan,  
Republic of Tatarstan, Russia, gipo@telebit.ru.  
ORCID: 0000-0003-2422-663X

A. N. Melnikov, Candidate of Engin. Sciences,  
JSC “State Institute of Applied Optics”, Kazan,  
Republic of Tatarstan, Russia.  
ORCID: 0000-0002-3318-9853

## Оптико-голографические приборы



- проведение научно-исследовательских, опытно-конструкторских и опытно-технологических работ в области голографических технологий
- изготовление голограммных и дифракционных оптических элементов
- разработка и создание оптико-голографических устройств дополненной реальности (AR-технологии), устройств контроля подлинности защитных голограмм
- организация и проведение тематических конференций, школ, семинаров и выставок в области голографических технологий



ООО «ОГП» РФ, 107076, г. Москва, ул. Матросская тишина, д. 23, стр. 2, под. 1а, эт. 5, п. XXV, к. 18,  
тел.: +7(499)263-63-44, e-mail: kus\_a\_s@mail.ru

тренную стандартом [3] их номенклатуру (2712 пар выпуклых и вогнутых сферических ОПС). Это обеспечит единство измерений и контроля в отрасли основных оптических параметров сферических поверхностей.

Вместе с тем этот же банк одновременно предлагаем использовать и как банк эталонных мастер-матриц при организации серийного и массового производства линз и зеркал со сферическими рабочими поверхностями методами прецизионной репликации [13, 14].

А все это в целом, по-видимому, неизбежно, приведет к значительному изменению инфраструктуры современного оптического производства, которое станет существенно более производительным, естественно при условии постановки и в результате выполнения соответствующих научно-исследовательских и опытно-технологических работ.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Окатов М. А., Антонов Э. А., и др.** *Справочник технолога-оптика* – СПб.: Политехника. 2004.
2. ГОСТ 2786-82. Стекла пробные для проверки радиусов и формы сферических оптических поверхностей. Технические условия. / URL: <http://nd.gostinfo.ru/doc.aspx?catalogid=gost&classid=-1&search=2786%9682>.
3. ГОСТ 1807-75. Радиусы сферических поверхностей оптических деталей. Ряды числовых значений. / URL: <http://nd.gostinfo.ru/doc.aspx?catalogid=gost&classid=-1&search=1807%9675>.
4. **Sun H.** *Basic Optical Engineering for Engineers and Scientists*. – N.Y.: SPIE Press, McGraw-Hill Companies, Inc. 2019. DOI: 10.1117/3.2504404.
5. **Smith W. J.** *Modern Optical Engineering. The Design of Optical Systems*. – N.Y.: SPIE Press, McGraw-Hill Companies, Inc. 2008. DOI: 10.1036/0071476873.
6. **Bass M., Mahajan V. N., Stryland E. V., Altman J. H., Arisian L. et al.** *Handbook*

- of Optics. Volume II. Design, Fabrication, and Testing; Sources and Detectors; Radiometry and Photometry*. – N.Y.: McGraw-Hill Companies, Inc. 2010.
7. **Hausner M.** *Optics Inspections and Tests: A Guide for Optics Inspectors and Designers*. – N.Y.: SPIE Press, McGraw-Hill Companies, Inc. 2017. DOI: 10.1117/3.2237066.
  8. ГОСТ Р 8.744-2011/ISO/TR 14999-3:2005. Государственная система обеспечения единства измерений. Оптика и фотоника. Интерференционные измерения оптических элементов и систем. Часть 3. Калибровка и аттестация интерферометров, методика измерений оптических волновых фронтов. / URL: <http://nd.gostinfo.ru/doc.aspx?catalogid=gost&classid=-1&search=8.744%962011>.
  9. **Максутов Д. Д.** *Изготовление и исследование астрономической оптики*. – М.: Наука, 1984.
  10. **Lukin A. V.** Holographic optical elements. *Journal of Optical Technology*. 2007; 74 (1): 65–70. DOI: 10.1364/JOT.74.000065.
  11. **Белозёров А., Ларионов Н., Лукин А., Мельников А.** Осевые синтезированные голограммные оптические элементы: история развития, применения. Часть I. *Фотоника*. 2014; 4 (46): 12–32.
  12. **Agachev A. R., Larionov N. P., Lukin A. V., Mironova T. A., Nyushkin A. A., Protasevich D. V., Rafikov R. A.** Computer-generated holographic optics. *Journal of Optical Technology*. 2002; 69 (12): 871–878. DOI: 10.1364/JOT.69.000871.
  13. **Лукин А. В., Мельников А. Н., Ахметов М. М., Берденников А. В., Гайнутдинов И. С., Жданова А. В., Иванов В. П., Лисова Е. Г., Могилюк И. А.** Реплицированная асферическая оптика. Основные аспекты организации серийного и массового производства. *Контенант*. 2017; 16 (2): 167–172.
  14. Заявка РФ на изобретение № 2019129406. *Способ изготовления комбинированного оптического элемента* / Лукин А. В., Мельников А. Н.

## ОБ АВТОРАХ

- Лукин Анатолий Васильевич, д. т. н.,  
АО «НПО «Государственный институт прикладной оптики», Казань, Республика Татарстан, Россия. [gipo@telebit.ru](mailto:gipo@telebit.ru)  
ORCID: 0000-0003-2422-663X
- Мельников Андрей Николаевич, к. т. н.,  
АО «НПО «Государственный институт прикладной оптики», Казань, Республика Татарстан, Россия  
ORCID: 0000-0002-3318-9853



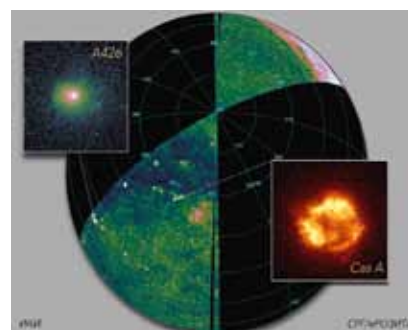
## Оптическая рефлектометрия, метрология и сенсорика 2020

В Перми состоится III международная конференция «Оптическая рефлектометрия, метрология и сенсорика 2020». Это единственная в мире конференция, объединяющая практиков и теоретиков, работающих в области исследования обратного рассеяния в различных средах, оптических волокнах, интегрально-оптических и объемных элементах и воплощающих свои разработки в сенсорных и метрологических решениях.

[yuri.al.konstantinov@ro.ru](mailto:yuri.al.konstantinov@ro.ru)

## СРГ/еРОЗИТА: рентгеновская карта трети всего неба!

Орбитальная обсерватория «Спектр-РГ» отмечает важный этап – построена одна треть рентгеновской карты всего неба. Количество зарегистрированных рентгеновских источников на российской половине этой карты (16,7% всего неба) превышает 95 000. Лишь одна шестая их часть была задетектирована немецким спутником ROSAT на единственной в мире полной рентгеновской карте неба, полученной в далеком 1990 году.



<http://press.cosmos.ru>

# Оборудование и технологии Бюлер для прецизионной оптики.



## **IBF 200, 450, 600, 800, 1200**

Системы ионно-лучевой корректировки (IBF – Ion Beam Figuring) используются для устранения ошибок оптических поверхностей после механической обработки при изготовлении деталей, требующих предельной геометрической точности. Точность результатов работы систем ионно-лучевой корректировки составляет  $\lambda/200$  ( $2,5 \div 3$  нм), что лежит на пределе возможностей современных средств измерения.



## **IBS 1400 HT, 1400 HP, 1600 HP**

С помощью установок ионно-лучевого напыления наносят прецизионные покрытия, состоящие из сотен слоев. Вакуумные установки семейства IBS обеспечивают равномерность в пределах  $\pm 0,25\%$  на подложках диаметром 350 мм на планетарном держателе и  $< \pm 0,5\%$  на одиночных подложках диаметром до 600 мм. Материалы слоев, близкие по физическим свойствам к массивному, обеспечивают покрытиям высочайшую лазерную прочность, коэффициент отражения выше 99,999% и потери в пределах 10 ppm.



## **HELIOS 400, 800, 1200**

Напылительные установки магнетронного типа (PARMS) обеспечивают нанесение многослойных покрытий большой плотности из атомарных слоев оксидов с высочайшей равномерностью и воспроизводимостью. Позволяют производить светофильтры с уникальными оптико-механическими характеристиками на деталях диаметром до 300 мм. Равномерность и воспроизводимость толщин наносимых покрытий лежит в пределах  $\pm 0,5\%$



## **SYRUSpro 700, 1100, 1350, 1500, 1950, 2100, 2800**

Вакуумные установки электронно-лучевого типа с ионно-плазменным ассистированием и автоматической системой прямого оптического контроля. Используются для производства многослойных неравнотолщинных покрытий. Оптимально комплектуются в соответствии с производственными задачами заказчика. Вне зависимости от диаметра вакуумной камеры обеспечивают равномерность и воспроизводимость толщин наносимых покрытий в пределах  $\pm 1,5\%$

**Бюлер АГ,**  
**Представительство в Москве**  
Тел/Факс: +7 495 786-87-63  
office.moscow@buhlergroup.com  
<http://ВакуумноеНапыление.pf>  
[www.buhlergroup.com](http://www.buhlergroup.com)

**BUHLER**