



Метод уменьшения вибрационной ошибки зеemanовского лазерного гироскопа на 50% смеси изотопов неона

М. Е. Грушин, Ю. Ю. Колбас, А. А. Медведев
АО «НИИ «Полюс» им. М. Ф. Стельмаха», Москва, Россия

В настоящей работе приведены результаты теоретических и экспериментальных исследований работы модернизированной системы регулировки периметра резонатора зеemanовского лазерного гироскопа (ЗЛГ) при заполнении 50% смесью изотопов неона Ne^{20} и Ne^{22} . При поддержании постоянства периметра ЗЛГ по минимуму сигнала расстройки периметра (в отличие от одноизотопного неона) зависимость амплитуды частотной подставки от расстройки периметра оказывается несимметричной при увеличении и уменьшении периметра. Это приводит к дополнительной вибрационной ошибке такого ЗЛГ при механических ударах и вибрации. Предложен метод подстройки периметра ЗЛГ в точку минимальной амплитуды частотной подставки, обеспечивающий отсутствие статической расстройки периметра. Приведены экспериментальные результаты и расчетные оценки динамических дрейфов нуля и вибрационных ошибок двухизотопного ЗЛГ типа К-5.

Ключевые слова: лазерный гироскоп, дрейф нуля, вибрация, расстройка периметра резонатора

Статья получена: 28.01.2020
Принята к публикации: 24.02.2020

A Method of Reducing the Vibrational Error of a Zeeman Laser Gyro Filled with a 50% Mixture of Neon Isotopes

M. E. Grushin, Yu. Yu. Kolbas, A. A. Medvedev
JSC "M. F. Stelmakh Scientific Research Institute "Polyus",
Moscow, Russian Federation

In this paper the results of theoretical and experimental studies of the optical path control system of Zeeman laser gyro (ZLG) filled with a 50% mixture of Ne^{20} and Ne^{22} isotopes are presented. Unlike one-isotope ZLG, the beat frequency dependences on the optical path length turns out asymmetric form, which leads to a change in the character of the dynamic drifts of zero and errors of two-isotope ZLG under mechanical shocks and vibrations. The authors proposed a method for adjusting the ZLG perimeter to the point of the minimum amplitude of the dithering which eliminates the static detuning of the perimeter. Experimental results and estimated dynamic drifts of zero and vibration errors of two-isotope ZLG of type K-5 are presented.

Keywords: Laser gyroscope, Zero drift, Vibration, Path tuning of the laser cavity

Received: 28.01.2020
Accepted: 24.02.2020

INTRODUCTION

One of the important factors affecting the accuracy of a Zeeman laser gyro (ZLG) is the vibration error that occurs due to the movement of the cavity mirrors under the influence of vibration acceleration [1]. Its value reaches hundreds of angular degrees per hour at vibration frequencies multiple and half-multiple of the switching frequency of the dithering. This is

ВВЕДЕНИЕ

Одним из важных факторов, влияющих на точность зеemanовского лазерного гироскопа (ЗЛГ) является вибрационная ошибка, возникающая из-за перемещения зеркал резонатора под воздействием виброускорения [1]. Ее величина достигает сотен

caused by the modulation of the amplitude of the dithering due to vibrational changes in the perimeter of the laser cavity, which is not being able to be counteracted by the ZLG perimeter adjustment system (PAS).

It was found that the use of a 50% mixture of Ne²⁰ and Ne²² isotopes in the working gas instead of one Ne isotope makes it possible to reduce the vibration error by a factor of 5 - to tens of degrees per hour [2]. Although initially a more significant reduction in the ZLG error was expected. This assumption was based on a broadening of the gain loop of the working gas and a decrease in the gain maximum. In [2], the reason for this phenomenon was pointed out - in the standard construction of the ZLG PAS, the minima of two functional dependences (modulation of the perimeter adjustment signal and the dithering amplitude) on the path tuning do not coincide with each other. As a result, the sensitivity of the amplitude of the frequency bias to the change in the perimeter of the ZLG laser cavity increases sharply.

The article discusses the electronic method of reducing this effect, and discusses the calculated and experimental results.

UPGRADED PAS FOR THE TWO-ISOTOPE ZLG

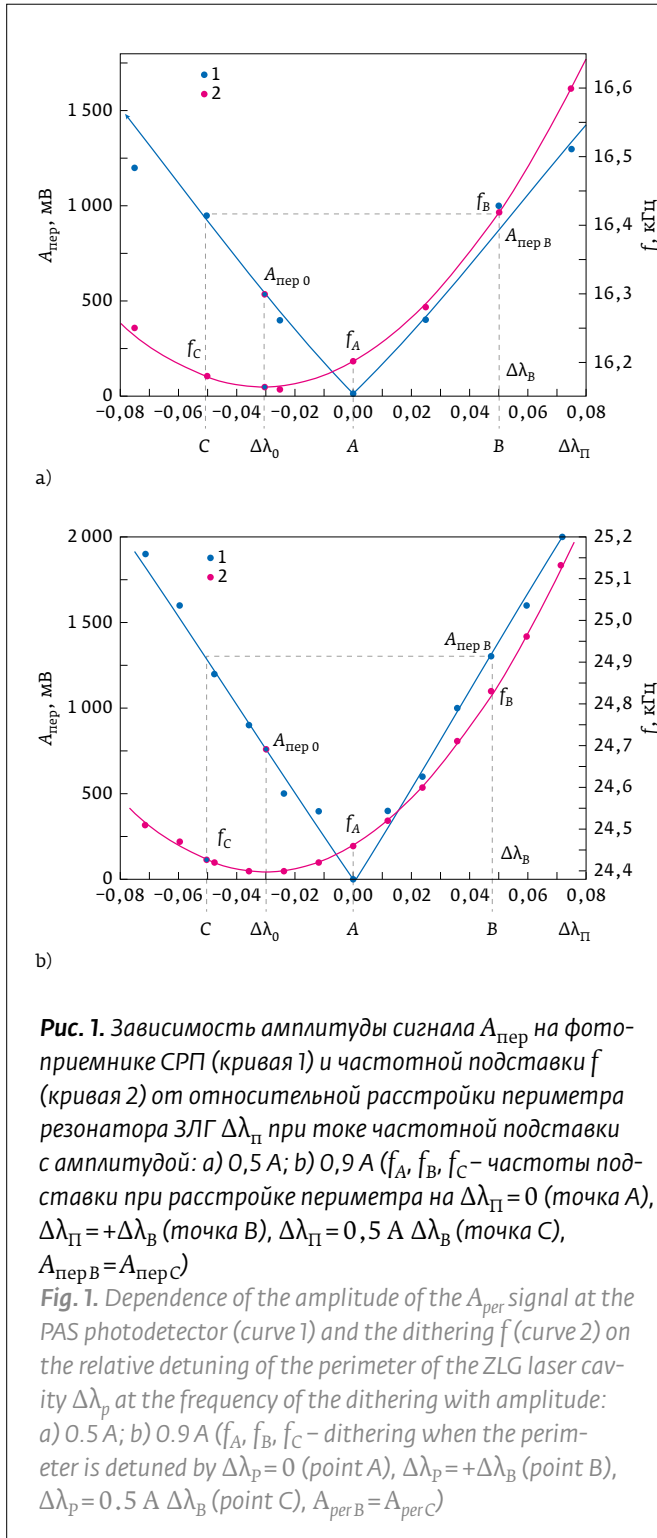
To maintain constant tuning of the laser cavity to one longitudinal generation mode, the perimeter adjustment system (PAS) is used in the ZLG design. Its work is based on the use of modulation of the intensity of the rays when a longitudinal alternating magnetic field is applied to the active ZLG medium. This field creates an alternating current of the frequency stand unit (FSU) that occurs in coils wound around gas-discharge gaps [3-6].

Fig. 1 shows the experimental dependences of the signal amplitude at the photodetector and the dithering on the relative detuning of the perimeter of the ZLG laser cavity $\Delta\lambda_p$ of the two-isotope ZLG of type K-5 (JSC "M. F. Stelmakh Scientific Research Institute "Polyus"), obtained at two values of the amplitude of the dithering currents with the value of 0.5A (Fig. 1a) and 0.9A (Fig. 1b).

For small values of the relative detuning of the perimeter of the laser cavity $\Delta\lambda_p$ for the amplitude of the A_{per} signal at the PAS photodetector and the dithering f , one can use the formulas from [1]:

$$A_{per} = K_A \cdot |\Delta\lambda_p|; f = f_0 \cdot [1 + \chi \cdot (\Delta\lambda_p - \Delta\lambda_0)^2], \quad (1)$$

where f_0 is the amplitude of the frequency tuning at $\Delta\lambda_p - \Delta\lambda_0 = 0$. The constants χ and K_A are used in formula (1), which depend on the amplitude of the dithering,





Амплитуды вибрационных дрейфов для ЗЛГ К-5 на частотах вибрации, кратных и полукратных частоте коммутации подставки

Amplitudes of vibrational drifts for the ZLG of type K-5 at vibration frequencies, multiple and half-multiple of the frequency of dithering switching

ν_T	Двухизотопный К-5 со стандартной СРП. Амплитуда тока частотной подставки 0,5 А Two-isotope K-5 with a standard PAS FSU amplitude 0,5 A	Двухизотопный К-5 с модифицированной СРП. Амплитуда тока частотной подставки 0,5 А Two-isotope K-5 with a modified PAS FSU amplitude 0,5 A	Двухизотопный К-5 со стандартной СРП. Амплитуда тока частотной подставки 0,9 А Two-isotope K-5 with a standard PAS FSU amplitude 0,9 A	Двухизотопный К-5 с модифицированной СРП. Амплитуда тока частотной подставки 0,9 А Two-isotope K-5 with a modified PAS FSU amplitude 0,9 A
0,5	15±1	13±1	26±1	27±1
1	85±1	21±1	130±1	28±1
1,5	2±1	1,5±1	3±1	3±1
2,5	1±1	1±1	2±1	2±1
3	6±1	1±1	40±1	5±1
3,5	0±1	0±1	1±1	1±1
5	12±1	2±1	32±1	3±1

угловых градусов в час на частотах вибрации кратных и полукратных частоте коммутации частотной подставки. Причина вызвана модуляцией амплитуды частотной подставки из-за вибрационных изменений периметра резонатора, которые система регулировки периметра (СРП) ЗЛГ не способна парировать.

Было обнаружено, что использование в рабочем газе 50% смеси изотопов неон-20 и неон-22 вместо одного изотопа неона, позволяет в 5 раз уменьшить вибрационную ошибку – до десятков градусов в час [2]. Хотя изначально ожидали более значимого снижения погрешности ЗЛГ. Это предположение строилось на уширении контура усиления рабочего газа и снижении максимума усиления. В работе [2] была указана причина этого явления – при стандартном построении СРП ЗЛГ минимумы двух функциональных зависимостей (модуляции сигнала регулировки периметра и амплитуды частотной подставки) от расстройки периметра не совпадают друг с другом. В результате чувствительность величины амплитуды частотной подставки к изменению периметра резонатора ЗЛГ резко возрастает.

В статье рассмотрен электронный метод снижения влияния этого эффекта, и обсуждены полученные расчетные и экспериментальные результаты.

МОДЕРНИЗИРОВАННОЕ СРП ДЛЯ ДВУХИЗОТОПНОГО ЗЛГ

Для поддержания постоянной настройки резонатора на одну продольную моду генерации в кон-

the gain of the active medium, the level of losses in the laser cavity, and the sensitivity of the PAS photodetector. The lines connecting the calculated values are shown in Fig. 1. The distance along the abscissa between the positions of the minima of the dithering and the signal at the PAS photodetector ($\Delta\lambda_0 \approx -0.023 \div -0.03$) depends on the ratio of the neon isotopes Ne^{20} and Ne^{22} in the mixture.

It is possible to avoid static path tuning by using the developed PAS system in the ZLG (Fig. 2). After the PAS is turned on by the signal from the photodetector, the PAS is tuned to point A (see Fig. 1a, b). In this case, the DAC signal is equal to zero, and the alternating signal from the PAS photodetector is also equal to zero. The frequency f_A of the output sin- and cos-signals is measured, and the voltage U_A on the mirrors with piezoelectric motors is measured using the ADC.

Then, the processor sets the signal at the DAC output equal to the signal from the PAS photodetector with a path tuning of $\Delta\lambda_B \approx +0.05$ (point B in Fig. 1a, b) with the amplitude A_{perB} . The frequency f_B of the output sin- and cos-signals and the voltage U_B on the mirrors with piezoelectric motors are measured.

The next step at the output of the DAC is the processor that sets the signal equal to the signal from the PAS photodetector with an amplitude of A_{perB} , but with an inverse phase when the path tuning is close to $-\Delta\lambda_B$ (point C in Fig. 1a, b). Again, the frequency f_C of the output sin- and cos-signals and the voltage U_C on the mirrors with piezoelectric motors are determined.

струкции ЗЛГ используется система регулировки периметра (СРП). Ее работа основана на использовании модуляции интенсивности лучей при наложении на активную среду ЗЛГ продольного знакопеременного магнитного поля. Это поле создает знакопеременный ток блока частотной подставки (БЧП), возникающий в катушках, намотанных на газоразрядные промежутки [3-6].

На рис. 1 приведены экспериментальные зависимости амплитуды сигнала на фотоприемнике и частотной подставки от относительной расстройки периметра резонатора ЗЛГ $\Delta\lambda_{\text{п}}$ двухизотопного ЗЛГ К-5 (АО «НИИ «Полус» им. М. Ф. Стельмаха»), полученные при двух значениях амплитуды токов частотной подставки, величиной 0,5А (рис. 1а) и 0,9А (рис. 1б).

При малых значениях относительной расстройки периметра резонатора $\Delta\lambda_{\text{п}}$ для амплитуды сигнала $A_{\text{пер}}$ на фотоприемнике СРП и частотной подставки f можно использовать формулы из [1]:

$$A_{\text{пер}} = K_A \cdot |\Delta\lambda_{\text{п}}|; f = f_0 \cdot [1 + \chi \cdot (\Delta\lambda_{\text{п}} - \Delta\lambda_0) 2], \quad (1)$$

где f_0 – амплитуда частотной подставки при $\Delta\lambda_{\text{п}} - \Delta\lambda_0 = 0$. В формуле (1) использованы константы χ и K_A , которые зависят от амплитуды частотной подставки, усиления активной среды, уровня потерь в резонаторе, чувствительности фотоприемника СРП. Линии, соединяющие расчетные значения, показаны на рис. 1. Расстояние по оси абсцисс между положениями минимумов частотной подставки и сигнала на фотоприемнике СРП ($\Delta\lambda_0 \approx -0,023 \div -0,03$) зависит от соотношения в смеси изотопов неона Ne^{20} и Ne^{22} .

Можно избежать статической расстройки периметра, если использовать в ЗЛГ разработанную систему СРП (рис. 2). После включения СРП по сигналу, поступающему с фотоприемника, СРП настраивается в точку А (см. рис. 1а, б). При этом сигнал ЦАП равен нулю, и переменный сигнал от фотоприемника СРП также равен нулю. Изменяется частота f_A выходных \sin - и \cos -сигналов, а с помощью АЦП измеряется напряжение U_A на зеркалах с пьезоэлектрическими двигателями.

Затем процессором на выходе ЦАП выставляется сигнал, равный сигналу от фотоприемника СРП при расстройке периметра на $\Delta\lambda_B \approx +0,05$ (точка В на рис. 1а, б) амплитудой $A_{\text{перВ}}$. Изменяется частота f_B выходных \sin - и \cos -сигналов и напряжение U_B на зеркалах с пьезоэлектрическими двигателями.

Следующим шагом на выходе ЦАП процессором выставляется сигнал, равный сигналу от фотоприемника СРП амплитудой $A_{\text{перВ}}$, но с обратной

Knowing $\Delta\lambda_B, f_A, f_B, f_C$, we can determine the coefficient χ , the static detuning $\Delta\lambda_0$ and the corresponding $A_{\text{пер0}}$:

$$\chi^* = \chi \cdot f_0 = \frac{f_B + f_C - 2 \cdot f_A}{2 \cdot \Delta\lambda_B^2};$$

$$\Delta\lambda_0 = \frac{f_B - f_C}{4 \cdot \chi^* \cdot \Delta\lambda_B};$$

$$A_{\text{пер0}} = K_A \cdot |\Delta\lambda_0|.$$

A signal equal to $A_{\text{пер0}}$ is set at the output of the DAC, and the analogue PAS system will adjust the perimeter to a point corresponding to the minimum frequency of the output \sin - and \cos -signals and completely compensate for the static perimeter detuning.

VIBRATIONAL ERRORS IN THE TWO-ISOTOPE ZLG

Earlier, when studying the impact of pressure on the Zeeman effect in a ring gas laser [5], an expression was obtained for the vibrational error of a laser gyro $\Delta\Omega_B$:

$$\Delta\Omega_B = \frac{f_0 \chi}{T} \left(\frac{\Delta L}{\lambda} \right)^2 \frac{1}{2\pi\nu} \sin(2\pi\nu T + 2\varphi_0) \sin^2(\pi\nu T) - \frac{f_0 \chi}{T} \frac{\Delta L \cdot \Delta\lambda_0}{\pi\nu\lambda} (\cos(2\pi\nu T + \varphi_0) + \cos\varphi_0 - 2\cos(\pi\nu T + \varphi_0)), \quad (2)$$

where T is the period of switching the current of the FSU, ΔL is the vibration amplitude, ν is the frequency of the vibration, f_0 is the amplitude of the dithering with $\Delta L = 0$, χ is the constant described above, φ_0 is the phase difference between the mechanical vibration and the alternating current of the FSU.

The vibrational error consists of two terms (2). The first of them does not depend on the static detuning $\Delta\lambda_0$ and reaches its maximum at frequencies that are half the frequency of switching the current of the FSU, i. e. $1/2T$. The second term (2) has maxima at the odd switching frequencies of the current of the FSU, i. e. $1/T$, and depends on the static detuning $\Delta\lambda_0$.

The dependences of the zero drift Ω (for a two-isotope ZLG of type K-5) on the vibration frequency were studied experimentally at a vibrational acceleration amplitude of 10 g with a standard PAS design and a modified PAS design. An analysis of the results obtained for two values of the amplitude of the current of the FSU (Fig. 3) showed the presence of peaks at νT values equal to 0.5; 1; 1.5; 2.5; 3; 3.5; 5. The values of the amplitudes of the peaks of zero drift $\Delta\Omega_B$ are given in the table.

фазой при расстройке периметра близкой к $-\Delta\lambda_B$ (точка С на рис. 1а, б). Снова определяется частота f_C выходных \sin - и \cos -сигналов и напряжение U_C на зеркалах с пьезоэлектрическими двигателями.

Зная $\Delta\lambda_B$, f_A , f_B , f_C , можно определить коэффициент χ , статическую расстройку $\Delta\lambda_0$ и соответствующее ему $A_{пер0}$:

$$\chi^* = \chi \cdot f_0 = \frac{f_B + f_C - 2 \cdot f_A}{2 \cdot \Delta\lambda_B^2};$$

$$\Delta\lambda_0 = \frac{f_B - f_C}{4 \cdot \chi^* \cdot \Delta\lambda_B};$$

$$A_{пер0} = K_A \cdot |\Delta\lambda_0|.$$

The results obtained correspond to the values calculated by formula (5), taking into account the fact that, due to the mismatch of the current phases of the dithering and vibrational oscillations ($\varphi_0 \neq 0$), the experimental vibrational drift is less than the maximum value of the calculated drift. The use of a modified PAS did not lead to a decrease in vibration drift at half vibration frequencies. Vibration drift decreased by 4 times at the first multiple frequency and by 6-10 times at other multiple frequencies.

Incomplete compensation of vibrational drift when using a modified PAS is apparently associated with the mechanism of the occurrence of additional static detuning. The PAS itself introduces this additional static detuning when vibrations occur at frequencies

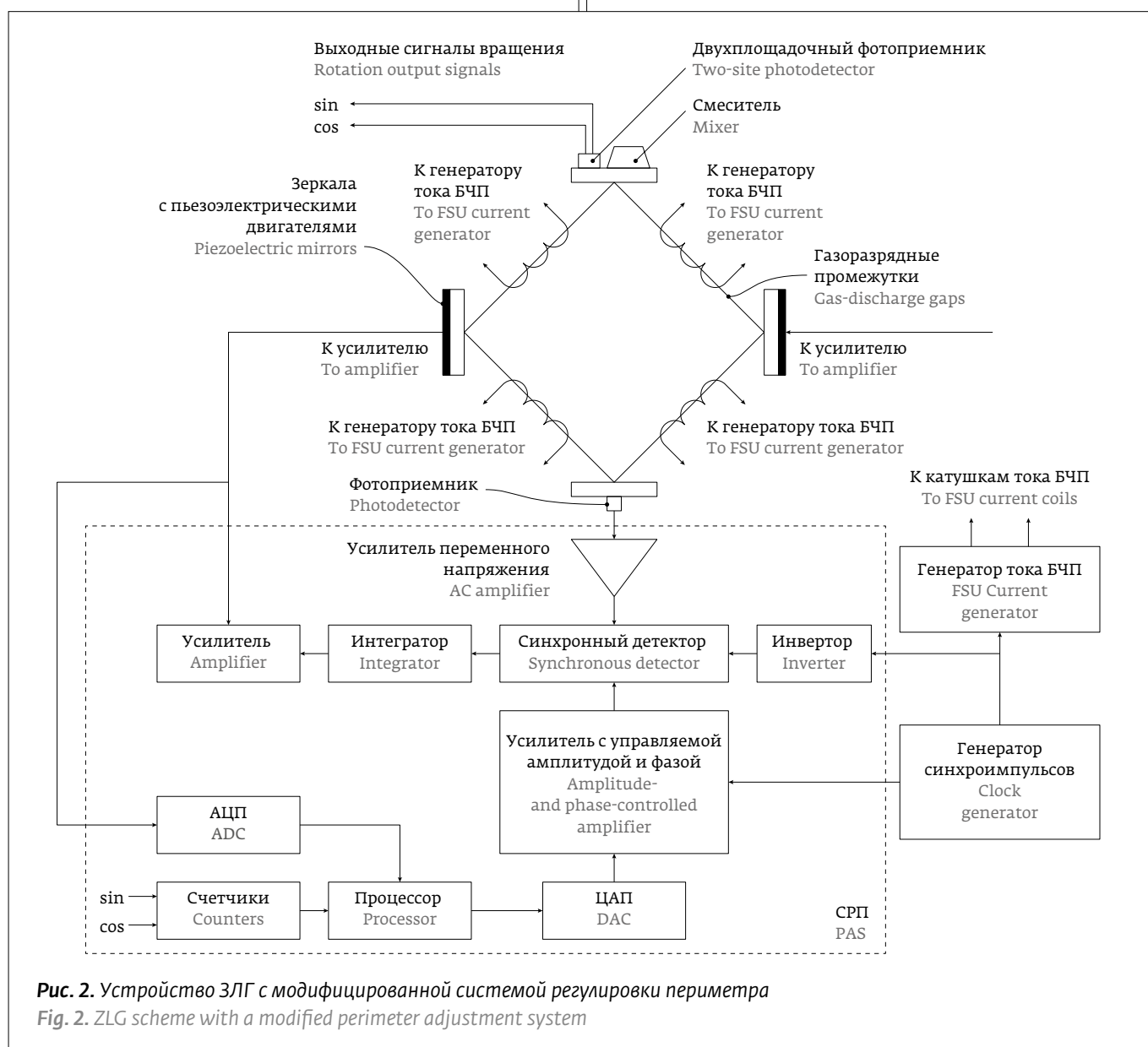


Рис. 2. Устройство ЗЛГ с модифицированной системой регулировки периметра
 Fig. 2. ZLG scheme with a modified perimeter adjustment system

На выходе ЦАП выставляется сигнал, равный $A_{\text{пер}0}$, и аналоговая система СРП настроит периметр в точку, соответствующую минимуму частоты выходных \sin - и \cos -сигналов и полностью скомпенсирует статическую расстройку периметра.

ВИБРАЦИОННЫЕ ОШИБКИ В ДВУХИЗОТОПНОМ ЗЛГ

Ранее при исследовании влияния давления на эффект Зеемана в кольцевом газовом лазере [5] было получено выражение для вибрационной ошибки лазерного гироскопа $\Delta\Omega_B$:

$$\Delta\Omega_B = \frac{f_0\chi}{T} \left(\frac{\Delta L}{\lambda} \right)^2 \frac{1}{2\pi\nu} \sin(2\pi\nu T + 2\varphi_0) \sin^2(\pi\nu T) - \frac{f_0\chi}{T} \frac{\Delta L \cdot \Delta\lambda_0}{\pi\nu\lambda} (\cos(2\pi\nu T + \varphi_0) + \cos\varphi_0 - 2\cos(\pi\nu T + \varphi_0)), \quad (2)$$

где T – период коммутации тока БЧП, ΔL – амплитуда вибрации, ν – частота вибрации, f_0 – амплитуда частотной подставки при $\Delta L=0$, χ – константа, описанная выше, φ_0 – разность фаз между механической вибрацией и знакопеременным током БЧП.

Вибрационная ошибка складывается из двух слагаемых (2). Первое из них не зависит от статической расстройки $\Delta\lambda_0$ и достигает своего макси-

that are multiples of the frequency of switching the current of the FSU. It is likely that the appearance of a signal from the PAS photodetector is perceived as a signal of path tuning [4]. This assumption is supported by an increase in the efficiency of the modified PAS at vibration frequencies higher than the first multiple frequency, since, according to [4], the static detuning arising from them is smaller.

CONCLUSION

The proposed modification of the PAS for a Zeeman laser gyro with a 50% mixture of Ne isotopes allows several times to reduce vibrational drift at frequencies that are multiples of the frequency of switching the stand. The residual vibrational drift is caused by additional detuning of the perimeter due to the signal from the PAS photodetector caused by mirror vibrations.

REFERENCES

1. Grushin M. E., Kolbas Yu. Yu. Vibration error of laser gyroscopes, *Herald of the Bauman Moscow State Tech. Univ., Nat. Sci., ser. Instrumentation*. 2017; 4: 27-42. DOI: 10.18698/0236-3933-2017-4-27-42.
2. Grushin M. E., Kolbas Yu. Yu., Gorshkov V. N. Osobennosti raboty sistemy regulirovki perimetra rezonatora i vibracionnaya oshibka zeemanovskogo lazernogo giroskopa na 50% smesi izotopov neona (Features of the resonator perimeter adjustment system and the vibration error of the Zeeman laser gyroscope at 50% of the CME-si of neon isotopes). *Herald of the Bauman Moscow State Tech. Univ.*



Принцип работы спектрометра **NanoQuest** основан на технологии преобразования Фурье в ИК-Фурье (FT-IR), которая пользуется популярностью в лабораторных спектрометрах, поскольку собирает данные в широком спектральном диапазоне. Основа прибора – интерферометр Майкельсона, собранный на микросхеме МЭМС по запатентованной технологии микроэлектромеханических систем. Спектрометр охватывает широкий спектральный диапазон (1350-2500 нм), имеет сверхкомпактный размер 70x50x25 мм и вес 120 г. Имеется возможность выбрать оптическое разрешение из двух вариантов 8 или 16 нм и две скорости сканирования. Ввод излучения осуществляется через оптоволоконный разъем FC/PC.

Назначение: аутентификация контрафактных продуктов из текстиля, проверка качества пищевых продуктов, оценка содержания питательных веществ в почве, композиционный анализ биологических жидкостей и образцов.

Официальным представителем компании **Ocean Insight** (США) в РФ является компания «ЕвроЛэйз».

**Современным компаниям –
инновационные решения!**

**Широкополосный
ультракомпактный
ИК спектрометр NanoQuest
производства Ocean Insight,
РАЗРАБОТАННЫЙ НА ОСНОВЕ
МИКРОМЕХАНИЧЕСКИХ КОМПОНЕНТОВ**

www.eurolase.ru



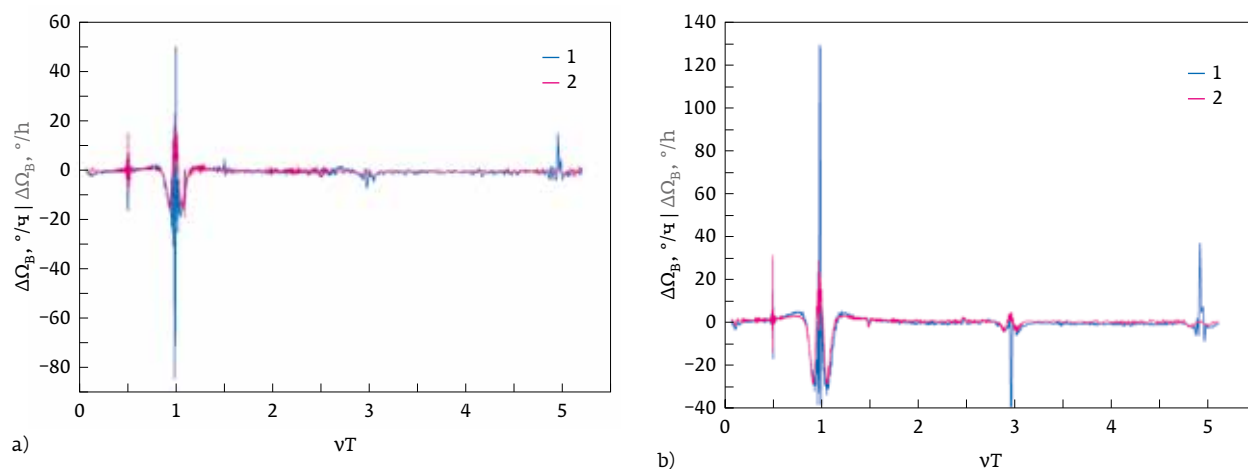


Рис. 3. Зависимость дрейфа нуля лазерного гироскопа ЗЛГ К-5 от параметра vT при наличии вибрации при токе частотной подставки с амплитудой: а) 0,5 А; б) 0,9 А (амплитуда виброускорения $10 \pm 1g$; линия 1 для $\Delta\lambda_p = 0$; линия 2 для $\Delta\lambda_p = -0,025$)

Fig. 3. Dependence of the zero drift of the laser gyro (ZLG) of type K-5 on the vT parameter in the presence of vibration at the current of the dithering with an amplitude of: a) 0.5 A; b) 0.9 A (vibration acceleration amplitude $10 \pm 1g$; line 1 for $\Delta\lambda_p = 0$; line 2 for $\Delta\lambda_p = -0.025$)

му на частотах, полукратных частоте коммутации тока БЧП, т. е. $1/2T$. Второе слагаемое (2) имеет максимумы на нечетных частотах коммутации тока БЧП, т. е. $1/T$, и зависит от статической расстройки $\Delta\lambda_0$.

Экспериментально были изучены зависимости дрейфа нуля Ω (для двухизотопного ЗЛГ типа К-5) от частоты вибрации при амплитуде вибрационного ускорения $10g$ со стандартной конструкцией СРП и модифицированной конструкцией СРП. Анализ результатов, полученных при двух значениях амплитуды тока БЧП (рис. 3), показал присутствие пиков при значениях vT , равных 0,5; 1; 1,5; 2,5; 3; 3,5; 5. Значения амплитуд пиков дрейфа нуля $\Delta\Omega_B$ приведены в таблице.

Полученные результаты соответствуют рассчитанным по формуле (5) значениям с учетом того, что из-за несовпадения фаз тока частотной подставки и вибрационных колебаний ($\varphi_0 \neq 0$), экспериментальный вибрационный дрейф оказывается меньше максимального значения расчетного дрейфа. Использование модифицированной СРП не привело к уменьшению вибрационного дрейфа на полукратных частотах вибрации. Вибрационный дрейф уменьшился в 4 раза на первой кратной частоте и в 6–10 раз на других кратных частотах.

Неполная компенсация вибрационного дрейфа при применении модифицированной СРП,

Nat. Sci., ser. Instrumentation. 2018; 6: 75-86 (in Russ.). DOI: 10.18698/0236-3933-2018-6-75-86.

- RU2589756. Sistema regulirovki perimetra zeemanovskogo lazernogo giroskopa (Zeeman laser gyroscope perimeter adjustment system). Patent / Kolbas Yu. Yu., Tolstenko K. A. (in Russ.).
- Golyaev Yu. D., Melnikov A. V., Soloviev Yu. N. et al. Vliyanie nelineynosti harakteristik aktivnoj sredy na stabil'nost' vyhodnykh signalov v kvantovykh priborah s avtomaticheskoy stabilizatsiej parametrov. *Elektronnaya tekhnika. Lazernaya tekhnika i optoelektronika*. 1991;1 (57):11 (Influence of nonlinearity of active medium characteristics on the stability of output signals in quantum devices with automatic parameter stabilization. *Electronic engineering-Laser technology and optoelectronics*. 1991;1 (57):11 (in Russ.).
- Savelyev I. I., Khromykh A. M., Yakushev A. I. Influence of pressure on the Zeeman effect in a ring gas laser. *Quantum electronics*. 1979; 6: 1155-1163. http://www.mathnet.ru/php/archive.phtml?wshow=paper&jrnid=qe&paperid=9098&option_lang=eng.
- Gorshkov V. N., Lariontsev E. G., Medvedev A. A. et al. Influence of the ratio of Ne20 and Ne22 isotopes in the active mixture on the sensitivity of Zeeman laser gyroscopes to external mechanical influences. 60th MIPT scientific conference (Dolgoprudny, 2017) <https://conf60.mipt.ru/public/admin/mipt-conference/Reko>.

ABOUT AUTHORS

Grushin Mikhail Evgenievich, Cand. of Science (Phys. & Math.), mihail.grushin1968@gmail.com, Polyus Research Institute of M. F. Stelmakh JSC (Moscow); Specialist in gas discharge physics, plasma chemistry, plasma medicine and inertial navigation and laser gyroscope.
SCOPUS id: 6603354719.

Kolbas Yuri Yuryevich, Dr. of Science (Engineer.), tigr-a@rambler.ru, Polyus Research Institute of M. F. Stelmakh JSC (Moscow); Specialist in inertial navigation and laser gyroscope.
SCOPUS id: 6504072429.

Medvedev Aleksey Aleksandrovich, alexdyn92@yandex.ru, Polyus Research Institute of M. F. Stelmakh JSC (Moscow); Specialist in inertial navigation and laser gyroscope.
ORCID id: 0000-0002-7308-1839.



по-видимому, связана с механизмом возникновения дополнительной статической расстройки. Эту дополнительную статическую расстройку внесит сама СРП при возникновении вибраций на частотах, кратных частоте коммутации тока БЧП. Вероятно, появление сигнала с фотоприемника СРП воспринимается как сигнал расстройки периметра [4]. В пользу этого предположения говорит повышение эффективности модифицированной СРП на частотах вибрации выше первой кратной частоты, поскольку, согласно [4], возникающая на них статическая расстройка меньше.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Предложенная модификация СРП для зеемановского лазерного гироскопа с 50% смесью изотопов неона позволяет в несколько раз уменьшить вибрационный дрейф на частотах, кратных частоте коммутации подставки. Остаточный вибрационный дрейф вызван дополнительной расстройкой периметра из-за сигнала с фотоприемника СРП, вызванного колебаниями зеркал.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Грушин М. Е., Колбас Ю. Ю. Вибрационная ошибка лазерных гироскопов. *Вестник МГТУ им. Баумана, сер. Приборостроение*. 2017; 4: 27–42. DOI: 10.18698/0236-3933-2017-4-27-42.
2. Грушин М. Е., Колбас Ю. Ю., Горшков В. Н. Особенности работы системы регулировки периметра резонатора и вибрационная ошибка зеемановского лазерного гироскопа на 50% смеси изотопов неона. *Вестник МГТУ им. Н. Э. Баумана, сер. Приборостроение*. 2018; 6: 75–86. DOI: 10.18698 / 0236-3933-2018-6-75-86.
3. РФ № 2589756. Патент. Система регулировки периметра зеемановского лазерного гироскопа / Колбас Ю. Ю., Толстенко К. А.
4. Голяев Ю. Д., Мельников А. В., Соловьев Ю. Н. и др. Влияние нелинейности характеристик активной среды на стабильность выходных сигналов в квантовых приборах с автоматической стабилизацией параметров. *Электронная техника. Лазерная техника и оптоэлектроника*. 1991; 1 (57): 11.
5. Савельев И. И., Хромых А. М., Якушев А. И. Влияние давления на эффект Зеемана в кольцевом газовом лазере. *Квантовая электроника*. 1979; 6: 1155–1163. http://www.mathnet.ru/php/archive.phtml?wshow=paper&jrnid=qe&paperid=9098&option_lang=eng.
6. Горшков В. Н., Ларионов Е. Г., Медведев А. А. и др. Влияние соотношения изотопов Ne²⁰ и Ne²² в активной смеси на чувствительность зеемановских лазерных гироскопов к внешним механическим воздействиям. *60-я научная конференция МФТИ (г. Долгопрудный, 2017 г.)*. <https://conf60.mipt.ru/public/admin/mipt-conference/Reko>.

ОБ АВТОРАХ

Грушин Михаил Евгеньевич, к. ф.-м. н., mihail.grushin1968@gmail.com, АО «НИИ «Полюс» им. М. Ф. Стельмаха» (Москва); специалист в области физики газового разряда, плазмохимии, плазменной медицины и инерциальной навигации и лазерной гироскопии.
SCOPUS id: 6603354719

Колбас Юрий Юрьевич, д. т. н., tigr-e@gambler.ru, НПК АО НИИ «Полюс» им. М. Ф. Стельмаха (Москва); специалист в области инерциальной навигации и лазерной гироскопии.
SCOPUS id: 6504072429

Медведев Алексей Александрович, alexdyn92@yandex.ru, АО «НИИ «Полюс» им. М. Ф. Стельмаха» (Москва); специалист в области инерциальной навигации и лазерной гироскопии.
ORCID id: 0000-0002-7308-1839

ГОЛОЭКСПО 2020



7–11 сентября 2020 года в Москве состоится XVII Международная конференция по голографии и прикладным оптическим технологиям «ГОЛОЭКСПО 2020». Мероприятие пройдет по адресу Москва, ул. Смоленская, д. 5, отель «Золотое кольцо».

Это мероприятие традиционно собирает профессиональное сообщество, интересы которого связаны с голографией и прикладными оптико-голографическими технологиями. Результат встречи должен дать ответы на интересующие всех вопросы. А специалистов интересует состояние рынка оптических технологий, связанных с маркировкой, кодированием информации, проектированием приборов считывания и регистрации. Ожидается участие ученых из стран Евро-Азиатского Экономического Союза, Великобритании, Болгарии, Германии, Индии, Греции и других стран мира. Кроме обсуждения новейших научно-технических достижений планируется демонстрация продукции.

Организаторы конференции: Московский государственный технический университет имени Н. Э. Баумана (МГТУ им. Н. Э. Баумана, г. Москва, Россия); АО «НПО «Криптен» (г. Дубна, Россия), ООО «ХолоГрэйт» (г. Санкт-Петербург, Россия), ЗАО «Голографическая индустрия» (г. Минск, Республика Беларусь), ФГУП «НТЦ «Атлас» (г. Москва, Россия), ООО «Оптико-голографические приборы» (ООО «ОГП», г. Москва, Россия), АО «НПО Государственный институт прикладной оптики» (г. Казань, Россия), ООО «Джеймс Ривер Бранч» (г. Москва, Россия).

Генеральный спонсор: Акционерное общество «Научно-производственное объединение «Криптен» (г. Дубна, Россия).

Спонсоры конференции:

- ООО «ХолоГрэйт» (г. Санкт-Петербург, Россия)
- ФГУП «НТЦ «Атлас» (г. Москва, Россия)
- АО «НПО Государственный институт прикладной оптики» (г. Казань, Россия)
- ООО «Джеймс Ривер Бранч» (г. Москва, Россия)
- ООО «ОГП» (г. Москва, Россия)
- Общественная научно-техническая академия «Контенант» (г. Красногорск, Россия).

Устроитель конференции: ООО «ОГП» (г. Москва, Россия).

На научно-практической конференции будут работать следующие секции:

- Секция № 1 «Технологии получения защитных голограмм».
- Секция № 2 «Формирование голографических изображений с помощью голограммной оптики и оптико-голографические дисплеи».
- Секция № 3 «Голограммные и дифракционные оптические элементы, методы компьютерного синтеза и технологии их изготовления, метаматериалы, нанотехнологии и плазмонные структуры для голографии».
- Секция № 4 «Объемная голография и фоточувствительные материалы для голографии».
- Секция № 5 «Голографическая интерферометрия, голографическая память, оптико-голографическая обработка информации».
- Секция № 6 «Маркетинг и менеджмент в голографии».

Подробные условия участия в конференции можно найти на сайте www.holoexpo.ru. Рабочие языки конференции – русский и английский. Во время работы конференции будет обеспечен синхронный перевод с русского на английский и с английского на русский языки.

За дополнительной информацией обращайтесь в оргкомитет конференции по телефону +7 499 263-63-44 или электронной почте info@holoexpo.ru.

www.holoexpo.ru

Промышленные волоконные лазеры

Промышленные волоконные лазеры IPG получили широкое применение в таких отраслях промышленности, как автомобилестроение и вагоностроение, металлургия и энергетика, судостроение и авиастроение, и в аэрокосмической отрасли.

ПРЕИМУЩЕСТВА

- КПД от розетки до 50%;
- волоконный выход с высоким качеством пучка; $BPP \geq 0,35 \text{ мм·мрад}$);
- высокая мощность лазерного излучения (до 100 кВт и выше);
- высокая надежность, огромный ресурс работы;
- компактность, монолитный дизайн;
- отсутствие регламентных работ и простота эксплуатации;
- режим быстрого управления мощностью излучения лазера по цифровому или аналоговому каналу управления;
- 3 года гарантии с возможностью расширения до 8 лет.



IPG является технологическим законодателем развития лазерной индустрии и единственным в мире производителем промышленных волоконных лазеров мульткиловаттного диапазона – до 100 кВт и выше.

Важнейшие характеристики волоконных лазеров НТО «ИРЭ-Полюс» – уникально высокие эффективность и ресурс, минимальный инженерный сервис, а также расходимость пучка, близкая к физическому пределу. Размещенные в герметичных корпусах повышенной прочности, эти системы предназначены для работы в сложных производственных условиях и не нуждаются в периодическом обслуживании.

ПРИМЕНЕНИЕ



Резка, сверление



Сварка металлов и полимеров



Маркировка и гравировка



Медицина



Наука



Персонализация



Пайка



Плакирование



Аддитивное производство



Удаление покрытий



Термическая обработка



Голография и интерферометрия

Серии лазеров



Серия YLS



Промышленные непрерывные лазеры мощностью излучения до 100 кВт.

Серия YLR



Лазеры в компактном корпусе мощностью до 2 кВт.

Серия QCW



Квазинепрерывные лазеры, способные работать в непрерывном и импульсном режиме с высокой энергией в импульсе.

Серия BR



Трехлучевые лазеры для пайки оцинкованного металла.

Серия YLP-HP



Источники для лазерной очистки мощностью до 500 Вт и энергией в импульсе до 100 мДж.

Серия YLP-GS



Импульсные лазеры с опцией «оттенки серого», позволяющей задавать значения энергии каждого импульса.

Серия GLPN/ULPN



Импульсные лазеры на длине волны 355 и 532 нм для микрообработки.

Серия YLP V2



Импульсные наносекундные лазеры нового поколения с доступной средней мощностью до 100 Вт.

Серия VLM



Источник лазерного излучения в видимом спектре (513–730 нм) для лазерных шоу, голографии, спектроскопии и др.

Оптические компоненты



Широкая номенклатура оптических компонентов для лазерных систем, включающая лазерные диоды, объединители, оптоволокно, АОМы, граданы и т.д.

Лазерные аппараты для хирургии и силовой терапии



Лазерное оборудование для широкого применения в медицине.