

ТЕРМОСТАТ НЕЛИНЕЙНОГО КРИСТАЛЛИЧЕСКОГО ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯ ЧАСТОТЫ ЛАЗЕРНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ.

Ф.К. АЛЕСКЕРОВ

*НАН Азербайджана,
Научно производственное объединение «СЕЛЕН»
AZ-1141, Баку, Ф.Агаева 14*

А.Ш.КАХРАМАНОВ

*Бакинский Государственный Университет,
AZ-1148, Баку, З.Халилова 23*

Bərk cisim lazer kristalının optimal istilik rejimini yaratmaq üçün işçi həcmi ikiqat termostablizasiyasında iki termobatareyadan istifadə olunur.

Применив двойную термостабилизацию рабочего объема двумя термобатареями твердотельного лазерного кристалла, удалось создать его оптимальные тепловые режимы.

The optimal heat modes of solid laser crystal using double thermostabilization of working volume by two thermoelectric batteries are created.

ВВЕДЕНИЕ

Коэффициент полезного действия импульсных твердотельных лазеров в лучшем случае составляет величину 1-2%, т.е. при генерировании лазерного излучения происходят непроизводительные потери, большая часть которых превращается в тепло. Поэтому вопросам охлаждения и термостатирования элементов и узлов импульсных твердотельных лазеров уделяется большое внимание [1-3].

Именно необходимость обеспечения максимума коэффициента полезного действия преобразования определяет чрезвычайно жесткие температурные требования, предъявляемые к термостатам нелинейных кристаллов: поддержание изотермичности по длине кристалла на заданном уровне при колебаниях температуры окружающей среды в интервале $-60 \pm + 50^\circ\text{C}$ и при изменении в широких пределах энергии каждой вспышки лазерного излучения и частоты их следования.

Разработка оптимальных тепловых схем импульсного термостатирования кристалла легла в основу создания специальных классов термостатов. Выбор способа отвода тепла от элементов твердотельного лазера в каждом конкретном случае определяется условиями работы системы обеспечения теплового режима (СОТР).

Поглощение излучения кристаллов приводит к увеличению средней температуры кристалла, а также неоднородному распределению температуры из-за изменения поглощаемой лазерной мощности по длине кристалла [2].

Для компенсации увеличения средней температуры кристалла нами предложено его охлаждение с помощью твердотельных термоэлектрических микрохолодильников. Управление работой таких термобатарей ТБ осуществляется программным устройством, запускающимся импульсами синхронизации работы электронных блоков лазера. Такое управление работой термостата позволило бы обеспечить высокую

эффективность преобразования в нестационарных переходных тепловых режимах работы [1-2].

ОСОБЕННОСТИ РАБОТЫ ТЕПЛОВОЙ СХЕМА ТЕРМОСТАТА НЕЛИНЕЙНОГО КРИСТАЛЛА.

Сравнительно небольшие значения тепловых мощностей, выделяемых в кристалле при вспышке, малые габариты термостатируемого объекта, требования реверсивности создаваемых тепловых потоков подводят к необходимости использования в качестве тепловоздействующего элемента термоэлектрического преобразователя.

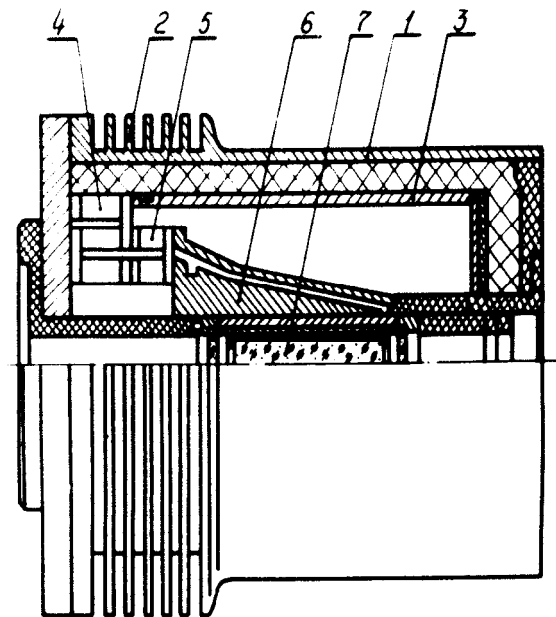


Рис.1 Схема термостата нелинейного кристалла. 1- корпус; 2-радиаторная система; 3-теплоотводная камера; 4-батарея базового каскада; 6-держатель; 7-кристалл.

В разработанном термостате, схема которого представлен на рис.1 применена двойная термостабилизация рабочего объема, в котором находится нелинейный кристалл: грубое термостатирование, на температурном уровне на 1-20 превышающем температуру фазового синхронизма ТС экранной тепловодной камеры, осуществляемое посредством нагревателя и ТБ, установленной на корпусе и работающей в реверсивных тепловых режимах. Прецизионное термостатирование осуществляется посредством другой ТБ.

На ТБ термостата возложены функционально разные задачи:

- ТБ базового каскада ответственна за обеспечение температурного режима при колебаниях окружающей температуры в широком интервале, а также вместе с нагревателем – за обеспечение заданной скорости выхода:

- ТБ выходного каскада, установленная на экранной камере, постоянно работает в режиме охлаждения при всех колебаниях температуры окружающей среды во всех режимах работы нелинейного кристалла.

При прохождении импульсов лазерного излучения через кристалл, следующих один за другим с определенной частотой, в кристалле происходит неравномерное вдоль оптической оси выделение тепла. Так как апертура пучка лазерного луча меньше апертуры кристалла, то в кольцевом заряде кристалла и слое теплоконтактной смазки появляются бегущие тепловые волны с центрально-осевой симметричной векторной структурой и с периодичностью, равной периодичности следования импульсов лазерного излучения.

Расчет параметров термобатареи базового и выходного каскадов ТБ базового каскада предназначена для термостатирования экранной тепловодной камеры при колебаниях окружающей температуры в широком интервале. Конструктивные параметры базовой ТБ определяют для экстремального холодильного режима (ε_{\max}), когда окружающая среда имеет самую высокую определяемую в постановке задачи температуру и ТБ выходного каскада работает в активном режиме. Отвод тепла с горячих спаев осуществляется конвективным способом посредством части боковой поверхности корпуса и радиаторной системой.

Теплопроизводительность ТБ выходного каскада равна

$$Q_1^B = W^B + Q_0^B$$

где W^B - потребляемая мощность; Q_0^B - холодопроизводительность. Учитывая, что $Q^B = fq_0$, где f - частота следования импульсов и q_0 - удельная холодопроизводительность, а также то, что вследствие незначительности температурного перепада между держателем и экранной камерой ($1 \div 2K$), $W^B \ll Q_0^B$, можно принять

$$Q_1^B \approx fq_0 \quad (1)$$

Холодопроизводительность ТБ базового каскада должна быть равна:

$$Q_0^B = K^0 \left[\Omega (T_{BH}^{\max} - (T_c + \delta T)^{\min}) fq_0 \right] \quad (2)$$

где Ω - коэффициент теплопроводности теплограждения тепловодной камеры.

$$\Omega = \frac{S}{\frac{1}{\alpha} + \sum_{i=1}^n \frac{d_i}{\lambda_i}} \quad (3)$$

где K^0 - коэффициент запаса; α_0 - коэффициент теплоотдачи; d_i, λ_i - толщина и коэффициент теплопроводности материалов теплограждения тепловодной камеры.

ТБ выходного каскада предназначена для прецизионного поддержания температуры нелинейного кристалла с точностью $\pm 0,05^\circ\text{C}$ в двух тепловых режимах; при компенсации теплового натекания от экранной тепловодной камеры и при выделяющемся в кристалле неравномерно вдоль длины энергии лазерного излучения.

Расчет ТБ выходного каскада мы вели в экстремальном режиме ε_{\max} для активной нагрузки: тогда компенсацию теплонатеканий ТБ будем производить на экстремальном режиме.

В таблице 1. приводятся электрические и тепловые параметры ТБ базового и выходного каскада.

Таблица №1

Электрические и тепловые параметры каскадов ТЭБ

	Холодильный коэффициент	Мощность, потребляемая ТБ, (Вт)	Холодо-производительность (Вт)	Ток через батарею, А
Режим максимального холодильного коэффициента	$\varepsilon_{\max} = \frac{MT_0 - T_1}{\Delta T(M + 1)}$		$Q_0 = \frac{\alpha^2 M (MT_0 - T_1) \Delta T}{R(M + 1)(M - 1)^2}$	$J_0 = \frac{\alpha \Delta T}{R(M - 1)}$
Базовая батарея	0,7	3,1	2,2	3,3
Выходная батарея в активном режиме	10	0,1	1	1,3

Рассмотрим особенности функционирования ТБ базового каскада в нестационарных режимах. Использование в качестве источника тепловой мощности термоэлектрической батареи позволяет весьма просто решать задачу реверсирования направления создаваемых ею тепловых потоков и, соответственно, обеспечения в рабочем объеме температур как выше, так и ниже окружающей. В этой связи интерес представляет исследование работы ТБ при перепадах с одного режима на другой, связанных с изменением знака: важное значение имеет точная оценка деятельности переходных процессов. Точный расчет нестационарного теплового режима конкретного термостата весьма затруднителен и нецелесообразен на практике; разбивая временной интервал температурной нестационарности на бесконечно малые промежутки и, полагая в каждом из них тепловой процесс стационарным, можно для значений тепловых мощностей, выделяемых на спаях, использовать соотношения

$$Q_0^B = n \left[\alpha T_0^B J_B - \lambda (T_k - T_0^B) - \frac{1}{2} J_B^2 R \right] \quad (4)$$

$$Q_1^B = n \left[\alpha T_1^B J_B - \lambda (T_1^B - T_k) - \frac{1}{2} J_B^2 R \right] \quad (5)$$

вытекающие из дифференциального уравнения стационарной теплопроводности [4]

Во время переходных процессов сила тока через ТБ при неизменном напряжении источника питания меняется в пределах:

$$\frac{U - n\alpha(T_{\text{вн}} - T_0)}{nR} \leq J_B = \frac{U - n\alpha(T_1 - T_0)}{nR} \leq \frac{U}{nR} \quad (6)$$

Подставляя текущее значение J_B из формулы (6) и (4) и (5) получим:

$$Q_0^B = \frac{n\alpha^2}{2R} \left[T_0^{B_2} + \frac{2}{Z} T_0^B - \frac{2}{Z} T_k + 2 \frac{U}{n\alpha} - \left(\frac{U}{n\alpha} \right)^2 \right] \quad (7)$$

$$Q_1^B = \frac{n\alpha^2}{2R} \times \left[-T_1^{B_2} + \frac{2}{Z} T_1^B - \frac{2}{Z} T_k + T_k^2 + 2 \frac{U}{n\alpha} T_k + \left(\frac{U}{n\alpha} \right)^2 \right] \quad (8)$$

При неизменной величине напряжения, подаваемого на ТБ, тепловые мощности спаев, осуществляющие тепловое воздействие на рабочий объем, меняются при изменениях температур T_0^B и T_1^B . Периметр $\frac{U}{n\alpha}$ имеет размерность температуры. Введя обозначение

$$T_U = \frac{U}{n\alpha} \quad (9)$$

и, соответственно, в безразмерном виде

$$Q_U = ZT_U \quad (10)$$

можно привести уравнения:

$$K_0 = \frac{Q_0^{B^2}}{2} + Q_0^B - \frac{Q_k^2}{2} + Q_n Q_k - \frac{Q_n^2}{2} \quad (11)$$

$$K_1^B = -\frac{Q_1^{B^2}}{2} - Q_1^B + Q_k + \frac{Q_k^2}{2} + Q_n Q_k - \frac{Q_n^2}{2} \quad (12)$$

Рассмотрим 1-й случай: процесс выхода на режим термостабилизации при $Q + \delta Q < Q_{\text{вн}}$

Полярность подключения ТБ к выходам выпрямителя, определяемая положением контактов переключающего устройства, в свою очередь, срабатывающего по сигналам датчика температуры внешней среды, в этом случае соответствует ее работе в режиме охлаждения. За бесконечно малый промежуток времени базовая ТБ, понизит температуру экранной тепловодной камеры на , учитывая тепловой поток через теплоизоляцию камеры, а также тепловыделения ТБ и выходного каскада в пассивном режиме, можно написать:

$$Q_0^B d\tau = Q_1^B d\tau = -\sum_{i=1}^n m_i c_i dT_0^B + \Omega(T_{\text{вн}} - T_0^B) d\tau \quad (13)$$

Так как выходная ТБ обеспечивает в пассивном режиме компенсацию тепловых натеканий на держатель с кристаллом при $T=1 \div 2^\circ\text{C}$, то величину K_1^B будем считать постоянной в течение всего нестационарного процесса.

После проведения ряда преобразований получим изменение температуры экранной камеры при охлаждении

$$Q_0^B(F_0) = \left[\sqrt{A_1^2 + B_1} - A_1 \right] + \frac{2\sqrt{A_1^2 + B_1}}{\frac{Q_{\text{вн}} + A_1 + \sqrt{A_1^2 + B_1}}{Q_{\text{вн}} + A_1 - \sqrt{A_1^2 + B_1}} \exp\left(\frac{\sqrt{A_1^2 + B_1}}{M} \cdot F_0\right) - 1} \quad (14)$$

$$B_1 = Q_k^2 + 2\theta_k(1 - \theta_n) + \theta_u^2 + 2K_1^B + 2\theta_{\text{вн}}\gamma B_i$$

Скорость понижения температуры экранной камеры определяем по формуле:

$$\frac{d\theta_0^B(F_0)}{dF_0} = \frac{A_1^2 + B_1}{M} \cdot x \quad (15)$$

$$x = \frac{Q_{\text{вн}} + A_1 + \sqrt{A_1^2 + B_1}}{Q_{\text{вн}} + A_1 - \sqrt{A_1^2 + B_1}} + \exp\left(\frac{\sqrt{A_1^2 + B_1}}{M} \cdot F_0\right) + \frac{Q_{\text{вн}} + A_1 - \sqrt{A_1^2 + B_1}}{Q_{\text{вн}} + A_1 + \sqrt{A_1^2 + B_1}} \exp\left(-\frac{\sqrt{A_1^2 + B_1}}{M} \cdot F_0\right) - 2$$

Графически зависимость $Q_{F_0}^B$ и $\frac{d\theta_0^B(F_0)}{dF_0}$ представлены на рис. 2 и 3 это 2-ой случай.

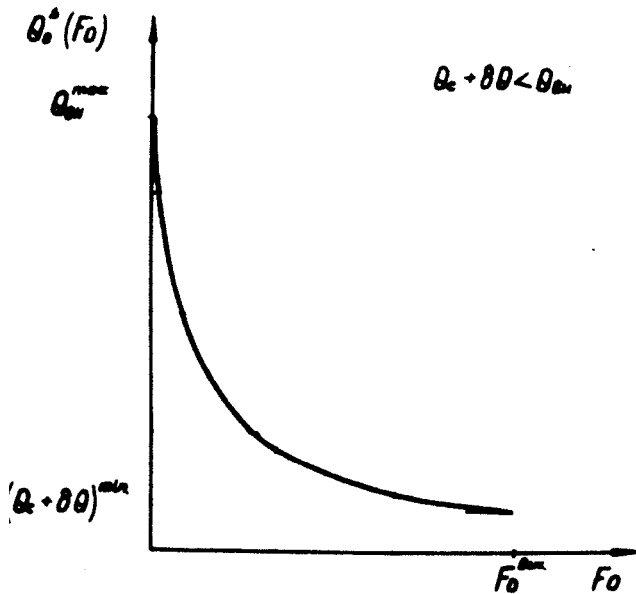


Рис.2 Изменение температуры тепловодной камеры в режиме охлаждения.

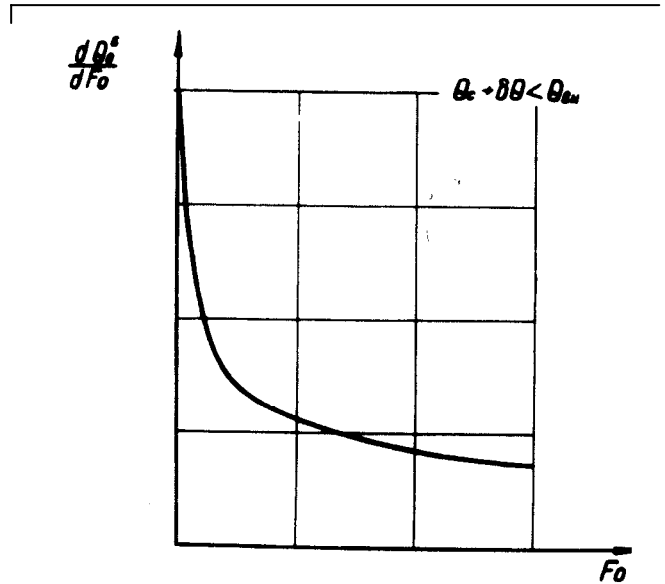


Рис.3 Изменение скорости выхода тепловодной камеры на заданный температурный уровень в режиме охлаждения.

Процесс выхода на режим термостабилизации при $\theta_c + \delta\theta > \theta_{\text{вн}}$

Включая ТБ в режим нагрева путем подачи напряжения соответствующей полярности, можно получить:

$$K_1^B dF_0 + K_1^B dF_0 = Md\theta_1^B + \gamma Bi(\theta_1^B - \theta_{\text{вн}}) \quad (16)$$

$$F_0 = \frac{M}{\sqrt{A_2^2 + B_2}} \ln \left[\frac{(\theta_c + \delta\theta) + A_2 + \sqrt{A_2^2 + B_2}}{(\theta_c + \delta\theta) + A_2 - \sqrt{A_2^2 + B_2}} \right] \left[\frac{\theta_{\text{вн}} + A_2 - \sqrt{A_2^2 + B_2}}{\theta_{\text{вн}} + A_2 + \sqrt{A_2^2 + B_2}} \right] \quad (17)$$

$$\theta_1^B(F_0) = \sqrt{A_2^2 + B_2} - A_2 + \frac{2\sqrt{A_2^2 + B_2}}{\frac{\theta_{\text{вн}} + A_2 + \sqrt{A_2^2 + B_2}}{\theta_{\text{вн}} + A_2 - \sqrt{A_2^2 + B_2}} \exp\left(\frac{\sqrt{A_2^2 + B_2}}{M} \cdot F_0\right) - 1} \quad (18)$$

где $B_2 = \theta_k^2 + 2\theta_k(1 - \theta_U) + 2\theta_{en}\gamma B_i + \theta_U^2 + K_1^B$

Зависимость $\theta_1^B(F_0)$ представлена на рис.4

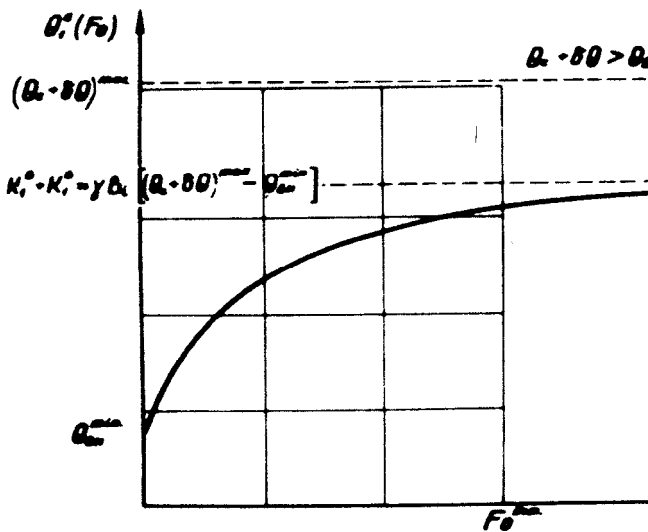


Рис.4 Изменение температуры тепловодной камеры при работе базовой ТБ в режиме нагрева

Как следует из рис.4, ТБ не только не обеспечивает выход тепловодной камеры на режим в заданные сроки, но и вообще не может выйти на температурный уровень $\theta_c + \delta\theta$ при минимальной температуре окружающей среды. Обеспечение заданной инерционности отопительного режима работы термостата может быть достигнуто благодаря применению нагревателя экранной тепловодной камеры. Безразмерное уравнение теплового баланса тепловодной камеры для этого случая имеет вид:

$$K_1^B dF_0 + K_1^B dF_0 + k_n dF_0 = M d\theta_1^B + \gamma B_i (\theta_1^B - \theta_{en}) dF_0 \quad (19)$$

Решая уравнение (19) относительно F_0 , получим:

$$F_0 = \frac{M}{\sqrt{A_3^2 + B_3}} \ln \left[\frac{(\theta_c + \delta\theta) + A_3 + \sqrt{A_3^2 + B_3}}{(\theta_c + \delta\theta) + A_3 - \sqrt{A_3^2 + B_3}} \right] \cdot \left[\frac{\theta_{en} + A_3 - \sqrt{A_3^2 + B_3}}{\theta_{en} + A_3 + \sqrt{A_3^2 + B_3}} \right] \quad (20)$$

$$B_3 = \theta_k^2 + 2\theta_k(1 + \theta_k(1 - \theta_n)) + 2\theta_{en}\gamma B_i + \theta_n^2 + K_1 + K_n$$

Задавая значение времени выхода на режим $F_0^{вых}$, можно из графоаналитического решения найти необходимую мощность нагревателя (рис.5).

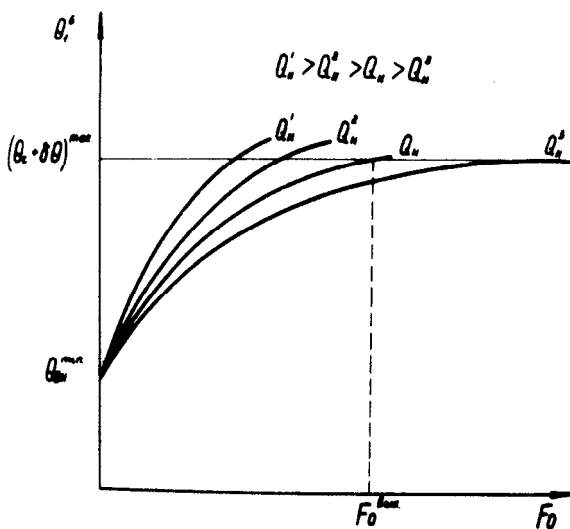


Рис.5 Схема графического определения мощности нагревателя тепловодной камеры.

С учетом найденного значения можно построить зависимости $\theta_1^B(F_0)$ и $\frac{d\theta_1^B(F_0)}{dF_0}$ (рис.6)

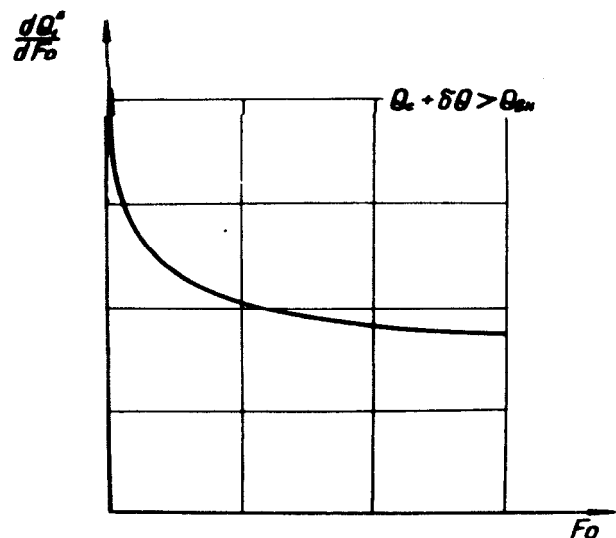


Рис.6 Изменение температуры тепловодной камеры в режиме нагрева (базовая батарея+нагреватель)

$$\theta_1^B(F_0) = \sqrt{A_3^2 + B_3} - A_3 + \frac{2\sqrt{A_3^2 + B_3}}{\frac{\theta_{\text{вн}} + A_3 + \sqrt{A_3^2 + B_3}}{\theta_{\text{вн}} + A_3 - \sqrt{A_3^2 + B_3}} \exp\left(\frac{\sqrt{A_3^2 + B_3}}{M} \cdot F_0\right) - 1}$$

$$\frac{d\theta_0^B(F_0)}{dF_0} = \frac{A_3^2 + B_3}{M} x$$

$$x \frac{1}{\frac{\theta_{\text{вн}} + A_3 + \sqrt{A_3^2 + B_3}}{\theta_{\text{вн}} + A_3 - \sqrt{A_3^2 + B_3}} \exp\left(\frac{\sqrt{A_3^2 + B_3}}{M} \cdot F_0\right) + \frac{\theta_{\text{вн}} + A_3 - \sqrt{A_3^2 + B_3}}{\theta_{\text{вн}} + A_3 + \sqrt{A_3^2 + B_3}} \exp\left(-\frac{\sqrt{A_3^2 + B_3}}{M} \cdot F_0\right) - 2}$$

Следует учитывать, что скорость изменения температуры кристалла с держателем меньше скорости изменения температуры тепловодной камеры.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Разработанный термостат обеспечил поддержание изотермичности по длине кристалла с точностью $\pm 1^\circ\text{C}$,

температура кристалла оставалась на заданном уровне с точностью $\pm 0.05^\circ\text{C}$ при колебаниях температуры окружающей среды в интервале $-60 \div 50^\circ\text{C}$.

- | | |
|--|---|
| <p>[1]. Р.А Петренко., Н.И Лихолит., Термостат для оптических кристаллов, /Авторское свидетельство 886642 СССР, МКИ 0,5 Д 23/30.</p> <p>[2]. Сато Такузо, Влияние нагрева кристаллов СДА, СДА излучение лазера на генерацию второй гармоники //J.Appl.Phys. 1977,48 №7, p.3120</p> | <p>[3]. В.В Малышко., Термоэлектрический охлаждающий блок //Ж.Термоэлектричество (Украина) №1, 2000, с.59-61</p> <p>[4]. А.И., Грядунов Д Маматисаков., Квадратичная форма обобщенных уравнений тепловых балансов на поверхности термоэлектрического преобразователя // Ж.Гелиотехника, 1978, №5, с.19-28</p> |
|--|---|

Daxil olunub: 01.07.2007