

статистическими флуктуациями рентгеновского пучка и уровнем дискриминации входных импульсов. В остальных детектирующих системах такой подход принципиально невозможен.

### Литература

1. Baru S. E., Khabakhpashev A. G., Makarov I. R., Savinov G. A., Shekhtman L. I., Sidorov V. A. // Nucl. Instr. and Methods. 1985. V. A 238. P. 165.
2. Baru S. E., Khabakhpashev A. G., Shekhtman L. I. // Ibid. 1989. V. A 283. P. 431.
3. Babichev E. A., Baru S. E., Khabakhpashev A. G., Kolachev G. M., Ponomarev O. A., Savinov G. A., Shekhtman L. I. // Ibid. 1992. V. A 323. P. 49.
4. Babichev E. A., Baru S. E., Groshev V. R., Khabakhpashev A. G., Porosev V. V., Savinov G. A., Shekhtman L. I. // Ibid. 1998. V. A 419. P. 290.

5. Yaffe M. J., Rowlands J. A. // Physics for Medicine and Biology. 1997. V. 42. P. 1—39.

6. Ayzenshtat G. I., Babichev E. A., Baru S. E., Groshev V. R., Savinov G. A., Tolbanov O. P., Vorobiev A. P. // Nucl. Instrum. and Meth. in Phys. Res. 2003. V. A 509. P. 268—273.

7. Tyazhev A. V., Budnitsky D. L., Koretskaya O. B., Potapov A. I., Tolbanov O. P., Okaevich L. S., Novikov V. A., Vorobiev A. P. // Ibid. V. 509. P. 34—39.

8. Golovnia S. N., Gorokhov S. A., Tsyupa Y. P., Vorobiev A. P., Koretskaya O. B., Okaevich L. S., Tolbanov O. P. // Ibid. 2002. V. A 494. P. 223—228.

9. Бородин Д. В., Осипов Ю. В., Шушкевич Н. А., Лопухин А. А. // Прикладная физика. 2003. № 1. С. 154—156.

10. Стандарт предприятия 01–22–04. "Приемники рентгеновского излучения рентгеновских диагностических аппаратов с цифровой регистрацией изображений. Номенклатура параметров и характеристик качества изображения, методы и средства их определения". — М.: ВНИИИМТ, 2004.

11. Голубев В. А. // Новые промышленные технологии. 2004. № 6. С. 36—39.

Статья поступила в редакцию 16 мая 2008 г.

## Digital imaging systems for scanning type X-ray apparatus

A. P. Vorobiev, S. A. Gorokhov, S. N. Golovnya, M. K. Polkovnikov, Yu. V. Rodnov  
IHEP, Protvino, Moscow region, Russia

G. I. Ayzenshtat, O. P. Tolbanov  
NIIPP, Tomsk, Russia

D. V. Borodin, Yu. V. Osipov  
RTK "Impeks", Moscow, Russia

*The R&D results of digital scanning type X-ray imaging systems with semiconductor gallium arsenide detectors have been presented. Experimental testing of the systems with fluorography apparatus and defectoscopy of the welding line has been discussed.*

PACS: 06.30.-k

УДК 621.36.5

## Модернизированный измеритель параметров микроТЭМ Пельтье

А. А. Ащеулов, Д. Д. Величук  
Институт термоэлектричества, г. Черновцы, Украина

И. С. Романюк  
ОАО "Кварц", г. Черновцы, Украина

*Представлено краткое описание бесконтактного метода и конструкции измерителя основных параметров термоэлектрических микромодулей (ТЭМ) Пельтье в статическом и динамическом режимах. В качестве датчика температуры и тепловых потоков используется анизотропный термоэлектрический сенсор, работающий в режиме разновременного компарирования.*

PACS: 85.30.-z

### Введение

В настоящее время термоэлектрические охладители Пельтье довольно широко распространены

в измерительной, лазерной и ИК-технике, приборостроении и медицине, а также в других областях науки и техники [1]. Развитие этого направления

наряду со многими факторами связано и с совершенствованием теоретических и экспериментальных методов контроля их параметров [2]. Учет особенностей реального термоэлемента в различных условиях эксплуатации возможен только в ряде частных случаев [3]. Аналитическое определение предельных параметров различных конструктивных решений охладителей в подавляющем большинстве практически неосуществимо и требует дополнительных экспериментальных исследований. При этом существующая контрольно-измерительная база [4—6] неполностью отвечает требованиям современного серийного выпуска термоэлектрических охладителей [7, 8], особенно в случае микроТЭМ Пельтье [9], для которых, например, контактный метод контроля глубины охлаждения [10] малоприменим.

Ниже приведены результаты исследований, направленные для решения этого актуального вопроса.

#### Особенности метода и блок-схемы бесконтактного измерителя

В данной работе приведено описание метода и устройства для определения глубины охлаждения  $\Delta T$ , холодопроизводительности  $Q$  и других параметров одно- и многокаскадных микроТЭМ Пельтье [11]. Основные требования — уменьшение величины погрешности контроля температуры и тепловых потоков охлаждаемых граней микромодулей при исключении брака и возрастании его производительности — решались выбором бесконтактного метода регистрации тепловых потоков с помощью анизотропного термоэлектрического сенсора (АТС), работающего в режиме одновременного компарирования. При этом его предварительная градуировка проводится относительно выбранного образцового микроТЭМ.

Высокая чувствительность этого сенсора при минимальном тепловом воздействии на поверяемые модули впервые позволила решить вопрос бесконтактного контроля как глубины охлаждения  $\Delta T$ , так и холодопроизводительность  $Q$  не только в режиме холостого хода, но и при различных тепловых нагрузках в широких температурном и барическом интервалах. При этом следует отметить, что в отличие от известных датчиков, работающих в режиме поглощения тепловых потоков [1], в предлагаемом случае АТС работает в режиме собственного излучения.

Блок-схема измерителя (рис. 1) содержит высокоточный электротепломеханический узел (содержащий АТС), расположенный в камере тепла и холода (КТХ) [12], температура  $T_0$  внутреннего объема которой [3], где располагается узел, зада-

ется блоком управления 2 с помощью терморегулятора. Степень необходимого разрежения либо избыточного давления  $P$  задается соответствующей откачивающей системой. Измерение термоЭДС АТС, термопар, падений электрических напряжений на микроТЭМ Пельтье, а также тепловых нагрузок и величин протекающих электрических токов проводится измерительным блоком 1, подключаемым через блок управления 2. Питание измерителя осуществляется с помощью стабилизированного источника 4.

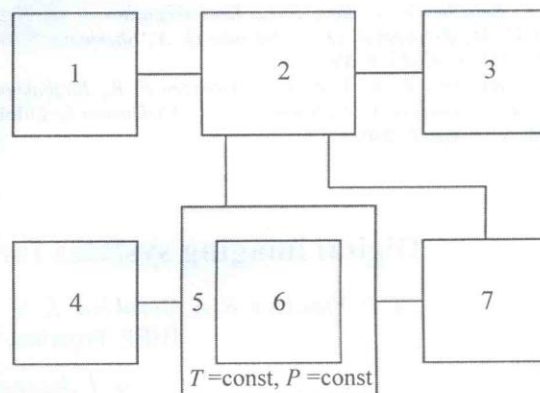


Рис. 1. Блок-схема измерителя для контроля параметров микроТЭМ Пельтье:

1, 2 — измерительный и коммутационный блоки; 3, 4 — блоки управления и питания; 5 — КТХ; 6 — электротепломеханический узел с АТС; 7 — терморегулятор

#### Анизотропный термоэлектрический сенсор для контроля температур и тепловых потоков микроТЭМ Пельтье

Эффект поперечной термоЭДС, обуславливаемый анизотропией коэффициентов термоЭДС [1, 13] и теплопроводности [14], позволил предложить ряд оригинальных анизотропных оптикотермоэлементов (АОТ) [15—19], экспериментально исследованных в работах [20, 21]. Рассмотрена возможность использования таких АОТ при бесконтактном контроле температуры и тепловых потоков охлаждаемых граней микроТЭМ Пельтье. Для этого возьмем прямоугольную пластину 1 (рис. 2) длиной  $a$ , высотой  $b$  и шириной  $c$  из оптически прозрачного материала, анизотропного по коэффициентам теплопроводности и термоЭДС  $\tilde{\alpha}$ . В лабораторной системе координат  $(XYZO)$ , смещенной на угол  $\varphi$  в плоскости  $XOY$  относительно кристаллографической  $(X'Y'Z'O)$ , эти тензоры имеют вид:

$$\tilde{\kappa} = \begin{vmatrix} \kappa_{\parallel} \cdot \sin^2 \varphi + \kappa_{\perp} \cdot \cos^2 \varphi & (\kappa_{\parallel} - \kappa_{\perp}) \cdot \sin \varphi \cdot \cos \varphi & 0 \\ (\kappa_{\parallel} - \kappa_{\perp}) \cdot \sin \varphi \cdot \cos \varphi & \kappa_{\parallel} \cdot \cos^2 \varphi + \kappa_{\perp} \cdot \sin^2 \varphi & 0 \\ 0 & 0 & \kappa_{\perp} \end{vmatrix};$$

$$\tilde{\alpha} = \begin{pmatrix} \alpha_{\parallel} \cdot \sin^2 \varphi + \alpha_{\perp} \cos^2 \varphi & (\alpha_{\parallel} - \alpha_{\perp}) \cdot \sin \varphi \cdot \cos \varphi & 0 \\ (\alpha_{\parallel} - \alpha_{\perp}) \cdot \sin \varphi \cdot \cos \varphi & \alpha_{\parallel} \cdot \cos^2 \varphi + \alpha_{\perp} \cdot \sin^2 \varphi & 0 \\ 0 & 0 & \alpha_{\perp} \end{pmatrix}$$

Верхняя грань этой пластины излучает однородный тепловой поток плотностью  $q_0$ , обусловленный теплопотерями, а ее нижняя грань находится в тепловом контакте с термостатом 3 (см. рис. 2) при температуре  $T = T_0$ . Боковые грани ( $a \times b$ ) и ( $b \times c$ ) АОТ адиабатически изолированы, при этом краевые эффекты не учитываются ( $a > c \gg \gg b$ ) [15].

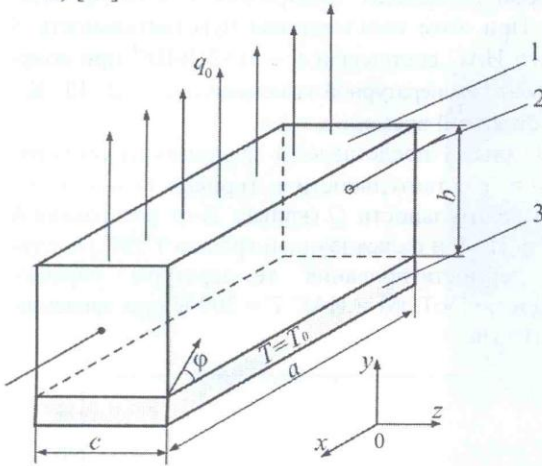


Рис. 2 Схематическое изображение АОТ:

1 — анизотропная пластина длиной  $a$ , высотой  $b$ , шириной  $c$ ; 2 — электровыводы; 3 — термостат

Распределение температуры АОТ при параллельных направлениях градиента температуры и лучистого потока находится из основного уравнения теплопроводности [17] при наличии внутренних источников тепла:

$$\frac{\partial T}{\partial t} = \frac{1}{c_0 d} \sum_{i,k=1}^3 \kappa_{ik} \frac{\partial^2 T}{\partial x_i \partial x_k} - \frac{q_v}{c_0 m},$$

где  $c_0$  — удельная теплоемкость;  $m$  — плотность материала АОТ;  $\kappa_{ik}$  — соответствующие компоненты тензора теплопроводности;  $q_v$  — количество тепла, выделяемого внутренними источниками в единице объема за единицу времени и определяемого законом Бугера—Ламберта.

В случае стационарного распределения температуры  $\left(\frac{\partial T}{\partial t} = 0\right)$  для приближений  $\frac{\partial T}{\partial x} = \frac{\partial T}{\partial z} = 0$ ,  $\kappa_{12} < \kappa_{22}$  компоненты напряженности термоэлектрического поля  $\vec{E}^T$  определяются соотношением [17]

$$E_i^T = \sum_{k=1}^3 \alpha_{ik} \frac{\partial T}{\partial x_k}. \quad (1)$$

В соответствии с [15] поперечная термоЭДС  $\varepsilon$  АОТ определяется следующим образом:

$$\varepsilon = \frac{1}{bc} \int_0^b dy \int_0^c dz \int_0^a E_x^T dx. \quad (2)$$

Подставляя (1) в (2), получаем выражение для поперечной термоЭДС  $\varepsilon$  АОТ [17]

$$\varepsilon = -q_0 a \cdot \frac{\alpha_{12}}{\kappa_{22}} \left[ 1 - \frac{1}{\gamma b} (1 - \exp(-\gamma b)) \right] (1-r), \quad (3)$$

где  $r, \gamma$  — коэффициенты оптического отражения и поглощения материала АОТ.

Поскольку максимальное значение генерируемой поперечной термоЭДС наблюдается при поверхностном излучении верхней рабочей грани ( $\gamma b \gg 1$ ), то из (3) получаем

$$\varepsilon = -q_0 a \frac{\alpha_{12}}{\kappa_{22}} (1-r). \quad (4)$$

Таким образом, согласно (4) величина термоЭДС  $\varepsilon$  такого АОТ прямо пропорциональна плотности теплового потока  $q_0$ , излучаемой верхней гранью пластины 1 (см. рис. 2) и ее длине  $a$ .

В случае выполнения этой пластины из направленно-закристаллизованной эвтектики CdSb—MeSb [20], соответствующие кристаллографические оси которой ориентированы под углом  $\varphi = 45^\circ$ , выражения, представляющие вольт-ваттную чувствительность  $S$ , мощность эквивалентного шума (МЭШ), а также постоянную времени  $\tau$  рассматриваемого АОТ с верхней излучающей рабочей гранью, содержащей слой неселективного поглощающего покрытия, имеют следующий вид:

$$S = \frac{\varepsilon \Delta \alpha}{2 \kappa c}; \quad (5)$$

$$\text{МЭШ} = \frac{8 \kappa}{\Delta \alpha} \sqrt{\frac{ac}{k_0 T \rho b}}; \quad (6)$$

$$\tau = \frac{4b^2}{\pi a_0}, \quad (7)$$

где  $\varepsilon$  — коэффициент черноты излучающего слоя, расположенного на верхней рабочей грани пластины;

$\Delta \alpha, \kappa, \rho, a_0$  — коэффициенты анизотропии термоЭДС, теплопроводности, электропроводности и температуропроводности материала АОТ в выбранном кристаллографическом направлении, соответственно;

$T$  — его средняя температура;

$k$  — постоянная Больцмана.

Из соотношений (5)—(7), а также уравнения теплового баланса [22]

$$\int_{S_h} \bar{q} d\bar{s} = \int_{S_D} [\alpha_T(T_D - T_m) + \varepsilon\sigma_S\psi(T_D^4 - T_m^4) + \frac{\kappa_S}{d}(T_D - T_m)] ds,$$

где  $T_D$ ,  $T_m$  — температура поверхностей сенсора и модуля, соответственно;

$\kappa_S$  — коэффициент теплопроводности среды;

$d$  — расстояние между АОТ и ТЭМ;

$\alpha_T$  — коэффициент теплоотдачи;

$\sigma_S$  — константа Стефана—Больцмана;

$\psi$  — угловой коэффициент излучения, который представляется в виде

$$\psi = \int_{S_c} \frac{\cos\psi_c \cos\psi_D}{\pi r^2} dS_c,$$

при одномерном распределении температур и адиабатической изоляции боковых граней АОТ в соответствии с [23, 24] были проведены расчет и компьютерная оптимизация основных характеристик такого излучающего анизотропного сенсора (ИАС), конструкция которого приведена на рис. 3.

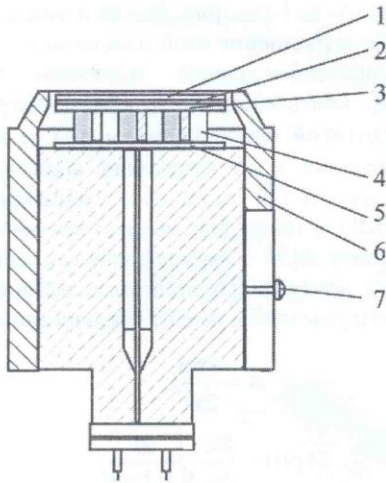


Рис. 3. Конструкция АТС:

1 — излучающая площадка; 2 — батарея на основе АОТ; 3 — электроизоляционная теплопроводящая керамическая пластина; 4 — корпус с диафрагмирующим торцевым отверстием; 5 — фиксирующий крепежный винт; 6 — цилиндрический теплоотвод; 7 — электрокоммутирующая колодка

Это устройство, работающее в режиме разновременного компарирования, содержит анизотропную батарею 2 на основе шести АОТ из направленно-закристаллизованной эвтектики CdSb—NiSb, характеризующейся малой температурной зависимостью вольт-ваттной чувствительности в диапазоне температур  $T = 220 - 340$  К [20].

Ее верхняя рабочая грань содержит тонкий неселективный слой из платиновой черни. Нижняя рабочая грань батареи через электроизоляционную теплопроводящую керамическую пластину из керамики 22ХС находится в тепловом контакте с цилиндрическим теплоотводом из меди. Защита боковых и торцевых граней от теплотерь осуществляется цилиндрическим корпусом с диафрагмирующим торцевым отверстием, фиксируемым с помощью винта. К противоположной торцевой грани цилиндрического теплоотвода прикреплена электрокоммутирующая колодка, к которой подведены электрические выводы батареи. При этом вольт-ваттная чувствительность  $S$  такого ИАС составляла  $S = 0,52$  В·Вт<sup>-1</sup> при коэффициенте температурной зависимости  $\mu_S = 1,2 \cdot 10^{-3}$  К<sup>-1</sup> и постоянной времени  $\tau = 1$  с.

На рис. 4 представлены зависимости температурной чувствительности  $\eta$  (кривая 1) и холодопроизводительности  $Q$  (кривая 2) от расстояния  $h$  между ИАС и охлаждающей гранью ТЭМ для случая термостатирования температуры горячих граней микроТЭМ и ИАС  $T = 300$  К при давлении  $P = 10^5$  Па.

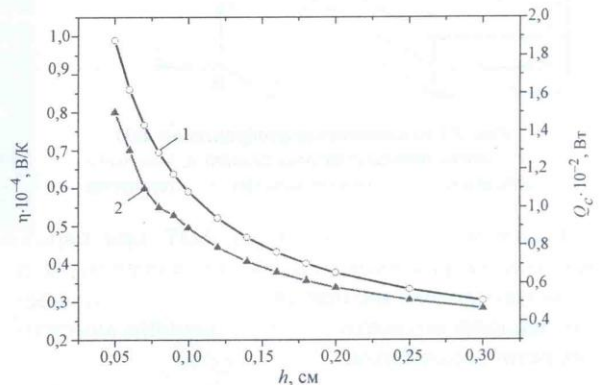


Рис. 4. Зависимости температурной чувствительности  $\eta$  (1) и удельной холодопроизводительности  $Q$  (2) ИАС от расстояния  $h$  между сенсором и охлаждающими гранями микроТЭМ

### Конструкция электротепломеханического узла

Излучающий анизотропный сенсор входит в состав электротепломеханического узла, один из модернизированных вариантов конструкции которого представлен на рис. 5, а, б. Этот узел [25] состоит из металлического основания, на левой боковой стороне которого расположен стандартный электрический разъем. К верхней части основания с помощью четырех шпилек 6 прикреплен металлический диск-радиатор, в котором на расстоянии  $r_1$  через угол  $\alpha$  размещено  $n$  отверстий

для крепления микроТЭМ, а на расстоянии  $r_2 - n$  полусферических углублений, предназначенных для фиксации поворотного рычага 10 ( $r_1 > r_2$ ). Под диском 5, в его центральной части, соосно размещен шаговый двигатель 8 с группой подвижных электроконтактов. К оси шагового двигателя закреплен поворотный рычаг с шарикопружинным фиксатором (закрепленным винтом) и АТС. Поверяемые микроТЭМ 7 (в нашем случае под номерами II—XXVI), размещаются соосно относительно АТС на заданном расстоянии  $d$ , выставляемых с помощью съемного измерителя расстояния 14. Электрические выводы АТС через внутреннюю канавку поворотного рычага и отверстия оси шагового двигателя с помощью подвижных электроконтактов через электромонтажную колодку 4 подводятся к электрическому разъему. Электрические выводы микроТЭМ, тарированных термопар, находящихся на гранях эталонного микроТЭМ 14 также подключены к разъему. Рабочая температура диска-радиатора контролируется с помощью дифференциальной термопары. Индикация местонахождения сенсора 13 над контролируемыми микроТЭМ осуществляется с помощью цифрового индикатора блока управления (см. рис. 1), также подключенных через соответствующие группы подвижных контактов шагового двигателя. Для температурной градуировки АТС во всем диапазоне задаваемых рабочих температур  $T_0$  и давления  $P$  [26] холодная и горячая грани эталонного ТЭМ 14, расположенного в позиции "0", содержат тарированные, в нашем случае дифференциальные, медь-константановые микротермопары.

Для предотвращения конвективных потоков, возникающих в объеме КТХ, электротепломеханический узел защищен металлическим изотермическим экраном с черной внутренней поверхностью (см. рис. 2, *a, б* — экран не показан).

Удаление атмосферных паров воды из объема электротепломеханического блока осуществляется двумя паровымораживающими холодильниками на основе модулей Пельтье 19 и радиаторов, в нижней части которых расположена емкость 18 для сбора конденсированной воды. Для уменьшения переходного теплового сопротивления на боковые стенки фиксаторов и корпусов предварительно наносится слой диффузионного масла.

### Описание работы установки

Рассматриваемая модернизированная установка работает следующим образом [27, 28]. В посадочные гнезда диска-радиатора, например электротепломеханического узла, представленного на рис. 5, *a, б*, методом кругового зажима закрепляются эталонный (ТЭМ 14) и 26 штук поверяемых

(ТЭМ 7), предварительно выставленных на заданное расстояние  $d$  относительно АТС. Электротепломеханический узел накрывается тепловым экраном и помещается в КТХ (см. рис. 1), где с помощью блока управления задаются необходимые температурный  $T_1$  и барический  $P_1$  режимы. После установления этих режимов через эталонный (ТЭМ 14) пропускают заданный рабочий ток, вызывающий понижение температуры его охлаждающей грани, которая контролируется тарированной микротермопарой.

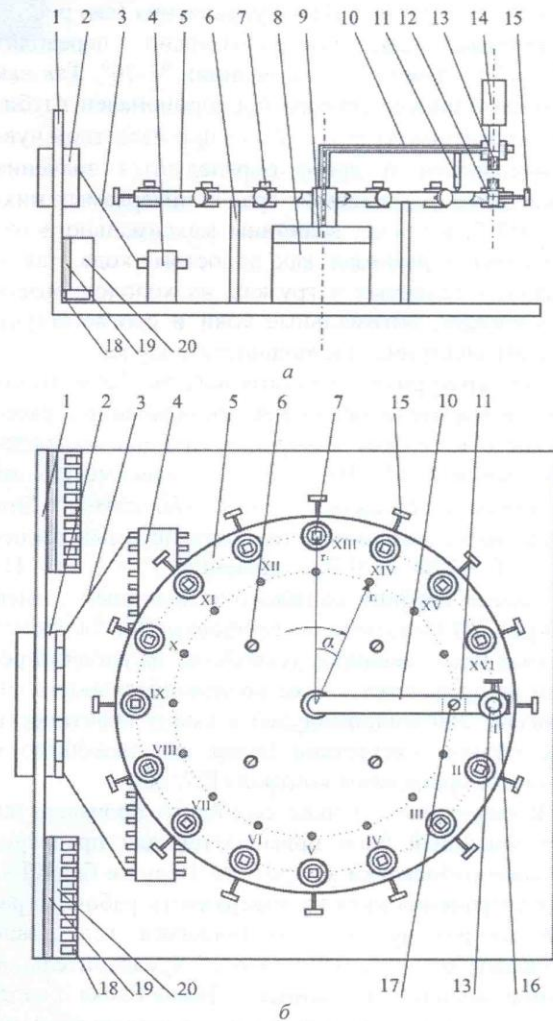


Рис. 5. Конструкция модернизированного электротепломеханического узла:  
*a* — вид сбоку; *б* — вид сверху;

- 1 — основание; 2 — электрический разъем; 3 — соединительный кабель; 4 — электрораспределительная колодка; 5 — диск-радиатор с посадочными местами для микромодулей; 6 — крепежные стойки; 7 — поверяемые микромодули; 8 — шаговый электродвигатель; 9 — система подвижных электроконтактов; 10 — поворотный рычаг; 11 — шарикопружинный фиксатор; 12 — эталонный микромодуль с микротермопарами; 13 — АТС; 14 — съемный механический индикатор для выставления зазоров поверяемых ТЭМ; 15 — зажимы; 16 — фиксатор сенсора; 17 — винт; 18 — ванночка для сбора конденсированной влаги; 19 — паровымораживающий модуль; 20 — радиатор

Так как излучающая площадка АТС (см. рис. 3) расположена напротив охлаждаемой грани эталонного микроТЭМ Пельтье, то в результате теплообмена на выходе сенсора появляется электрический сигнал  $\epsilon$ , пропорциональный температуре  $T_c$  охлаждаемой грани ТЭМ 14. Это приводит к возможности градуировки сенсора 13 при заданных  $T_1$  и  $P_1$ , т. е. определяется  $T = f(T_1, P_1)$ .

Поскольку через поверяемые микроТЭМ 7, находящиеся в позициях 1-26, проходит аналогичный электрический ток, то, подавая поочередно на электродвигатель из блока управления (см. рис. 1) электроимпульсы, последовательно переводят АТС 13 из позиции "0" в позиции "1-26". Так как выходной сигнал сенсора пропорционален глубине охлаждения  $\Delta T = T_h - T_c$ , то при известной чувствительности  $\eta$  легко определяются значения температур охлаждаемых граней поверяемых микроТЭМ 7, а также, величины максимального охлаждения в режимах как холостого хода, так и заданных тепловых нагрузках, их холодопроизводительность, оптимальные токи и соответствующие им электрические мощности модулей.

Температурная чувствительность бесконтактного измерителя последней модификации, работающего в режиме измерения глубины охлаждения микроТЭМ Пельтье, в зависимости от величины  $d$  составляла  $\eta = 30-80$  мкВ·К<sup>-1</sup>. Это позволило в диапазонах термостатируемых температур  $T = 220-370$  К и давлениях  $P = 1-10^5$  Па оценивать глубину охлаждения холодных граней микроТЭМ Пельтье с погрешностью 0,8 %. Время выхода предложенного устройства на рабочий режим не превышает 1 ч, ее производительность составляет 200 микромодулей в смену практически при полном отсутствии брака, возникающего в процессе проведения контроля [27, 28].

В некоторых случаях серийного производства предложенный блок применяется для предварительной отбраковки микроТЭМ Пельтье без КТХ. Для устранения инея на поверхности рабочих граней микромодулей, появляющегося вследствие влажного воздуха, используется предварительное вымораживание внутреннего объема блока с соответствующими холодильниками, расположенными на внутренней стороне основания. Это позволяет значительно сократить время разбраковки.

Данный измеритель успешно используется в производственных условиях ОАО "Кварц" (г. Черновцы, Украина).

### Заключение

Создана конструкция модернизированного измерителя для контроля параметров микроТЭМ

Пельтье. Погрешность контроля глубины охлаждения микромодулей при этом не превышает 0,8 %.

### Литература

1. Анатычук Л. И. Термоэлементы и термоэлектрические устройства. — г. Киев: Наукова думка, 1979. — 767 с.
2. Охотин А. С., Пушкарский А. С., Боровикова Р. П., Симонов В. А. Методы измерения характеристики термоэлектрических материалов и преобразователей. — М.: Наука, 1974. — 167 с.
3. Покорный Е. Г., Щербина А. Г. Расчет полупроводниковых охлаждающих устройств. — Л.: Наука, 1969. — 208 с.
4. Термоэлектрическое охлаждение. Текст лекций/Под общ. ред. Л. П. Булата. — СПб.: СПбГУНиПТ, 2002. — 147 с.
5. Громов Г. Г., Дробкин И. А., Ершова Л. Б. Комплексный метод контроля качества конструкции и эксплуатационной надежности термоэлектрических модулей в составе оптоэлектронных приборов ЗАО "РМТ" // ИХПММ, Россия. 2005. — 10 с. [www.rmtld.ru/articles/Complex\\_method\\_rus.pdf](http://www.rmtld.ru/articles/Complex_method_rus.pdf).
6. Пат. RU2285980. Способ контроля качества термоэлектрического модуля/Громов Г. Г., Ершова Л. Б., Володин В. В.; Оpubл. 20.10.2006.
7. Ащеулов А. А., Глемба Н. Н., Простеби Л. И. Прибор для экспрессного контроля параметров термоэлектрических охладителей//Электромеханика. 1980. № 14. С. 1333, 1334.
8. А.с. 991809 СССР. Устройство для измерения глубины охлаждения ТЭО Пельтье/Ащеулов А. А., Глемба Н. Н., Горбатюк В. Г. и др.; Заявл. 04.04.81.
9. А.с. 971052. СССР. Термоэлектрический модуль/Ащеулов А. А., Глемба Н. Н., Простеби Л. И., Плащенко Р. И.; Заявл. 04.03.81.
10. Вайнер А. Л. Термоэлектрические параметры и их измерение. — г. Одесса: Студия "Негоциант", 1998. — 68 с.
11. Ащеулов А. А., Романюк И. С. Некоторые особенности технологии ТЭМ Пельтье повышенной надежности на основе кристаллов Bi—Te—Se—Sb//Термоэлектричество. 2004. № 3. С. 70—80.
12. Ащеулов А. А., Дунаенко А. Х., Фотий В. Д. Камера тепла и холода для изделий фотоэлектронной техники//ТКЭА. 2003. № 6. С. 51—53.
13. Thomson W.//Math. Phys. Papers. 1982. No. 1. P. 266—273.
14. Ащеулов А. А., Беликов А. Б., Раренко А. И. Поперечная термоЭДС обусловленная анизотропией теплопроводности//УФЖ. 1991. № 8. С. 825—833.
15. Ащеулов А. А., Снарский А. А., Пальти А. М. Анизотропные термоэлементы. Обзор//ФТП. 1999. Т 31. В 11. С. 1281—1298.
16. Ащеулов А. А., Охрем В. Г., Охрем Е. А. Термоэлементы с боковым теплоотводом//Там же. 2003. Т 37. В 11. С. 1389—1394.
17. Ащеулов А. А., Гуцул И. В. Исследование анизотропных оптикотермоэлементов в случае различных оптических и тепловых режимов//ТКЭА. 2005. № 4. С. 10—19.
18. Ащеулов А. А., Гуцул И. В., Раренко В. И. Анизотропный радиационный термоэлемент в режиме внутреннего отражения//Оптический журнал. 1993. № 4. С. 76—80.
19. Ащеулов А. А., Фотий В. Д., Дунаенко А. Х. Анизотропный координатно-чувствительный термоэлектрический приемник лазерного излучения//Прикладная физика. 2005. № 2. С. 45—47.
20. Ащеулов А. А., Воронка Н. К., Маренкин С. Ф., Раренко И. М. Получение и использование оптимизированных материалов из антимонида кадмия//Неорганические материалы. 1996. № 9. С. 1049—1060.
21. Ащеулов А. А., Пилат И. М., Раренко И. М. Влияние теплообмена на вольт-ваттную чувствительность анизотроп-

ных термоэлементов//Физическая электроника. 1980. № 21. С. 96—100.

22. Ащеулов А. А., Величук Д. Д., Черкез Р. Г., Романюк И. С. Радиационный анизотропный сенсор: Тр. IX МНПК "СИЭТ", 2008. — г. Одесса, 19—23 мая 2008.

23. Anatyshuk L. I., Vikhor L. N., Cherkez R. G. Computer simulation of functionally graded materials for thermoelectricity//Journal of Thermoelectricity. 1997. No. 3. P. 43—61.

24. Комп'ютерне проектування термоелектричних перетворювачів енергії. Методичні рекомендації/Укл.: Черкез Р. Г. — Чернівці: Рута, 2006. — 20 с.

25. Ащеулов А. А., Величук Д. Д., Романюк И. С. Методы и средства для контроля параметров ТЭО Пельтье // НПК "СИЭТ", Одесса-07. С. 269.

26. Ащеулов А. А., Бучковский И. А., Величук Д. Д., Романюк И. С. Методы бесконтактного контроля параметров ТЭМ Пельтье, их материалов и комплектующих//НПК "Сенсор-07", Одесса-07. С. 64, 65.

27. Ащеулов А. А., Величук Д. Д., Романюк И. С. Установка для экспресс контроля глубины охлаждения термоэлектрических микромодулей Пельтье // ТКЭА. 2007. № 4. С. 35—38.

28. Пат. UA26486. Пристрій контролю параметрів ТЕМ Пельтье. / Ащеулов А. А., Величук Д., Романюк І. С.; Опубл. 25.09.2007; Бюл. № 15, 2007.

Статья поступила в редакцию 19 октября 2008 г.

## Modernized measuring device of parameters of microTEM Peltier

A. A. Ascheulov, D. D. Velichuk

Institute of Thermo-Electricity, Chernovcy, Ukraine

I. S. Romanyuk

Joint-Stock Company "Quartz", Chernovcy, Ukraine

*Short description of noncontact method and construction of measuring device of basic parameters of thermo-electric micromodules of Peltier is presented in the static and dynamic modes. As a sensor of temperature and thermal streams anisotropic thermo-electric touch-control, working in the mode of different-time comparing, is utilized.*

PACS: 85.30.-z

УДК 537.86:530.145; 621.373.5.038.825.2

## Джиттер периода следования импульсов генерации твердотельного лазера на кристалле $\text{Ca}_3\text{Ga}_2\text{Ge}_3\text{O}_{12}:\text{Nd}^{3+}$ с диодной накачкой

М. И. Беловолов, А. Ф. Шаталов

Научный центр волоконной оптики РАН, Москва, Россия

*Приведены результаты экспериментального исследования импульсной генерации твердотельного неодимового лазера на кристалле кальций—галлий—германиевого граната  $\text{Ca}_3\text{Ga}_2\text{Ge}_3\text{O}_{12}:\text{Nd}^{3+}$  с диодной накачкой, частота  $F$  следования импульсов которого изменялась от 3 до 13 кГц при поглощенной мощности накачки от 0,45 до 1 Вт. Обнаружено, что джиттер периода импульсов генерации лазера зависит от  $F$  как  $1/F^\gamma$ , где  $\gamma = 1,3$ . Получены коэффициенты, определяющие чувствительность длительности и частоты импульсов генерации к изменениям длины резонатора и поглощенной мощности накачки.*

PACS: 06.20-r; 42.55.Xi; 42.55.Rz; 42.60.Pk

### Введение

В последнее время появился ряд работ [1—6], в которых исследуются твердотельные лазеры на кристалле кальций—галлий—германиевого граната  $\text{Ca}_3\text{Ga}_2\text{Ge}_3\text{O}_{12}:\text{Nd}^{3+}$  (CGGG:Nd) с диодной накачкой. Интерес к таким лазерам, работающим как в

непрерывном [1—5], так и в импульсном [6] режиме обусловлен свойствами кристалла CGGG:Nd, который допускает легирование большими концентрациями ионов неодима  $\text{Nd}^{3+}$  и удачно сочетает привлекательные как спектрально-люминесцентные, так и физико-технологические свойства [7, 8]. Наличие неоднородно уши-