

УДК 621.389

## МОДЕЛИРОВАНИЕ ТЕПЛОВЫХ ГРАДИЕНТОВ В КРИСТАЛЛАХ АКУСТООПТИЧЕСКИХ ФИЛЬТРОВ

Журавлёв В.И., Наумович Н.М., Ревин В.Т.

Центр 1.6, Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники,  
Минск, Республика Беларусь, [vadzh@bsuir.by](mailto:vadzh@bsuir.by)

Аннотация: Рассматривается компьютерное моделирование нагрева кристалла при его работе в составе акустооптического фильтра. Показано возникновение градиента температур при различных значениях подводимой мощности и отсутствия теплоотводящих компонентов, что может ухудшить характеристики фильтра.

Ключевые слова: акустооптический фильтр, кристалл, преобразователь, нагрев, градиент температуры.

### I. ВВЕДЕНИЕ

Акустооптические фильтры (АОТФ) получили широкое распространение в различных областях визуализации. Основанные на анизотропной дифракции широкополосного света ультразвуком в кристаллических средах, такие приборы обеспечивают хорошее сочетание оптических и конструктивных характеристик [1-2]. Для реализации высокого разрешения и широкого диапазона углов отклонения в АОТФ требуются большой размер кристалла и широкая частотная полоса пропускания. Соответственно, таким конструкциям нужно больше радиочастотной мощности, что может привести к повышению температуры разогрева и вызвать значительный температурный градиент в кристалле.

Нагрев акустооптических устройств во время работы сильно влияет на их рабочие параметры: дифракционную эффективность, временную стабильность, направление и распределение дифрагированных пучков. Этот эффект особенно заметен для приборов, использующих акустооптические кристаллы, где акустическая волна распространяется в объеме кристалла, когда уровни приложенной электрической и акустической мощности относительно высоки [3-4].

В АОТФ, использующих сдвиговые акустические волны с высоким коэффициентом поглощения, большое количество акустической энергии поглощается даже при однократном прохождении через кристалл. Кроме того, часто нужно учитывать потери и в самом преобразователе.

Изменение температуры может влиять на временную стабильность луча. Поэтому эффекты самонагрева необходимо учитывать при проектировании любых акустооптических устройств. Одним из путей решения таких задач является разработка тепловых моделей АОТФ и выполнение соответствующего моделирования распространения тепловых полей.

### II. ПОСТРОЕНИЕ ТЕПЛОВОЙ МОДЕЛИ

Кристалл фильтра обладает низкой теплопроводностью, поэтому тепловые градиенты могут возникнуть в нем даже при эффективном отводе тепла от стенок кристалла. Особенно важна поверхность самого преобразователя, поскольку потери в нем могут быть дополнительным источником выделения избыточной мощности. Распределение тепла в объеме кристалла определяется как акустическим поглощением в кристалле, так и мощностью, выделяемой непосредственно в преобразователе.

Противоположная преобразователю лицевая сторона обычно не параллельна ему и не перпендикулярна нижней и верхней сторонам кристалла и наклонена под заданным углом, чтобы избежать отражения акустической волны в плоскость взаимодействия. Корпус кристалла АОТФ имеет большое значение с тепловой точки зрения, поскольку тепло, выделяемое в устройстве, передается в окружающую среду через корпус. Обычно для эффективного отвода тепла кристалл садится на контактные поверхности и элементы конструкции с высокой теплопроводностью. Однако в текущей конфигурации рассматривается только модель кристалла с соответствующими граничными условиями.

Для проведения теплового анализа используется заданная конфигурация плоских источников мощности для учета акустического поглощения и нагрева преобразователя. Акустическое поглощение вносит значительный вклад в тепловые характеристики АОТФ в основном из-за относительно высокого коэффициента поглощения сдвиговой волны в кристалле парателлуриата ( $\text{TeO}_2$ ). Нагрев преобразователя вызван потерями на рассеивание тепла в областях преобразователя, которые включают омические потери электродов, диэлектрические потери пьезоэлектрического кристалла и акустическое затухание [5]. При этом поглощенная мощность может быть получена из разности

мощностей между соседними точками. Акустическая мощность  $P$  в точке  $x$  на пути распространения определяется по следующему выражению [6]:

$$P = P_0 10^{\frac{-\alpha f^2 x}{10}},$$

где  $P_0$  – подводимая акустическая мощность,  $\alpha$  – коэффициент акустического поглощения,  $f$  – рабочая частота.

### III. РЕЗУЛЬТАТЫ МОДЕЛИРОВАНИЯ

Рассматривается наихудший случай, когда вся поглощенная акустическая энергия преобразуется в тепло. Для моделирования тепловых характеристик АОТФ на основе парателлуриата использовался метод конечных элементов для рассматриваемой конфигурации кристалла. Учитывалась теплопередача за счет теплопроводности и конвекции. Проведено предварительное тепловое моделирование имеющихся кристаллов для различной рассеиваемой мощности. Для этого кристалл  $\text{TeO}_2$  представляется как анизотропное тело с несколькими тепловыми источниками. Рассматривается численное решение методом конечных элементов.

Результаты моделирования кристаллов показывают нагрев и неравномерное распределение температуры в объёме кристалла. Уже при рассеиваемой мощности 1-1,5 Вт может наблюдаться наличие градиента температуры в 8-15 градусов (рис. 1).

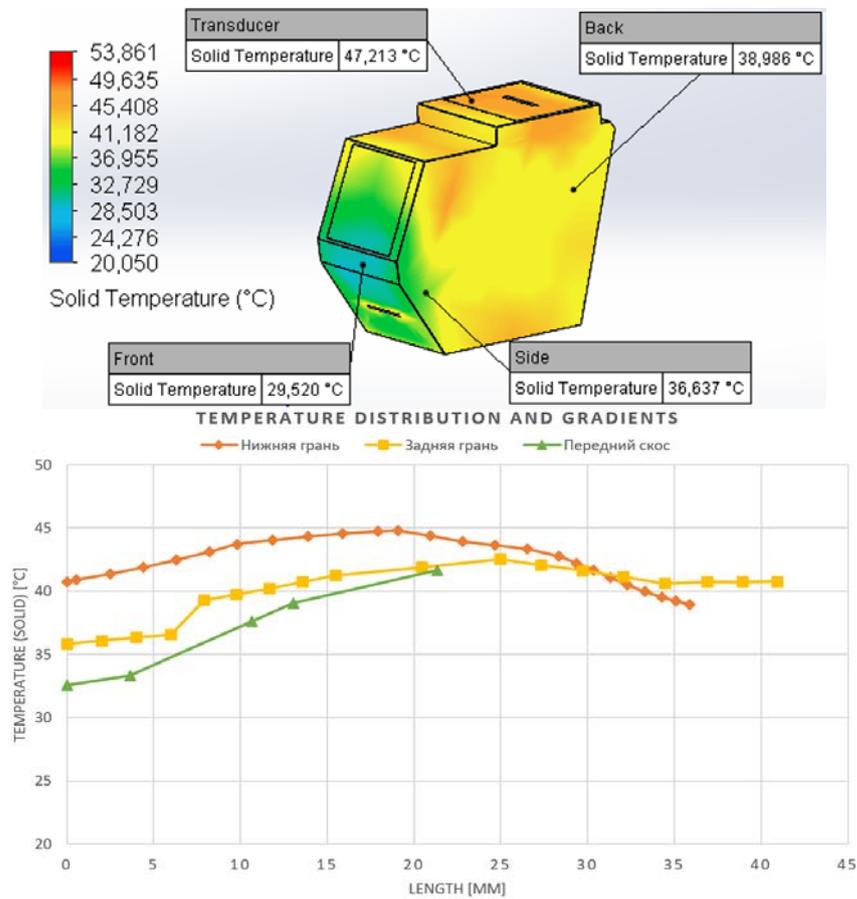


Рисунок 1. Распределение тепла в кристалле и соответствующие градиенты температуры

При увеличении акустической мощности возрастает и температура нагрева, и градиент усиливается, что связано как низкой теплопроводностью. Как известно, для обеспечения работы АОТФ с кристаллом из парателлуриата является оптимальным диапазон температур + 30...40 °C [7]. Однако градиент температуры по всему кристаллу и локальное повышение температуры при уровне акустической мощности от 1,5 Вт может привести к нарушению в работе прибора.

Таким образом, акустическое поглощение является доминирующим источником нагрева вследствие выделения избыточной мощности. Оценивая тепловые характеристики кристалла с помощью тепловой модели, можно минимизировать тепловые эффекты при проектировании АОТФ и оптимизировать параметры конструкции.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] O. V. Shakin, V. G. Nefedov and P. A. Churkin Application of Acoustooptics in Electronic Devices / IEEE Wave Electronics and its Application in Information and Telecommunication Systems (WECONF), St. Petersburg, Russia, 2018. – P.1-4,
- [2] Sudipta Ghosh, *et.al.* Acousto-Optic Switches/ Optical Switching: Device Technology and Applications in Networks – IEEE, Wiley, 2022. – P.73-91.
- [3] Манцевич С.Н., Юхневич Т.В., Волошинов В.Б. Исследование влияния температуры на функционирование акустооптических фильтров // Оптика и спектроскопия. 2017. – Т. 122. № 4. – С.694–700.
- [4] S. N. Mantsevich, *et.al.* Quasi-Collinear AOTF Spectral Transmission Under Temperature Gradients Aroused by Ultrasound Power Absorption // IEEE Transactions on Ultrasonics, Ferroelectrics and Frequency Control. 2022. – vol.69, no.12. – P.3411-3421.
- [5] Maak, Pal, *et.al.* Thermal behavior of acousto-optic devices: Effects of ultrasound absorption and transducer losses // Ultrasonics. 2011. – vol.51. – P.441–451.
- [6] A.P. Goutzoulis, D.R. Pape, S.V. Kulakov Design and Fabrication of AcoustoOptic Devices. – Marcel Dekker Inc., New York, 1994. – 497 pp.
- [7] Mantsevich, Sergey N., T. V. Yukhnevich and Vitaly B. Voloshinov. Examination of the temperature influence on the acousto-optic filters performance // Optics and Spectroscopy 122 (2017). – P.675 - 681.

MODELING OF THERMAL GRADIENTS IN ACOUSTO-OPTIC FILTER CRYSTALS

V. Zhuravliov, N. Naumovich, V. Revin

Center 1.6, Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics, Minsk, Republic of Belarus,  
[vadzh@bsuir.by](mailto:vadzh@bsuir.by)

Abstract: Computer modeling of acousto-optic filter crystal heating is considered. It shows the appearance of temperature gradient at different values of input power and absence of heat dissipating components. This may be the cause of filter characteristic degradation.

Keywords: acousto-optic filter, crystal, transducer, heating, temperature gradient.