**МЕЖГОСУДАРСТВЕННАЯ СИСТЕМА ДАННЫХ**

**О ФИЗИЧЕСКИХ КОНСТАНТАХ И СВОЙСТВАХ**

**ВЕЩЕСТВ И МАТЕРИАЛОВ**

УДК 536.21

**СТАНДАРТНЫЕ СПРАВОЧНЫЕ ДАННЫЕ**

ТЕПЛОПРОВОДНОСТЬ ТВЕРДЫХ РАСТВОРОВ La2Te3-La3Te4

В ДИАПАЗОНЕ ТЕМПЕРАТУР ОТ 80 К ДО 400 К

**ССД СНГ 405 – 2025 (ГСССД 405 – 2022)**

(**ОКОНЧАТЕЛЬНАЯ РЕДАКЦИЯ, ШИФР ТЕМЫ: RU.3.004-2025)**

Москва - 2025

РАЗРАБОТАНЫ Межгосударственным техническим комитетом по стандартизации МТК 180 «Межгосударственная служба стандартных справочных данных»

ВНЕСЕНЫ Федеральным агентством по техническому регулированию и метрологии

АВТОРЫ канд. физ.–мат. наук С.М. Лугуев, канд. физ.–мат. наук Н.В. Лугуева

СОГЛАСОВАНЫ С национальными органами по стандартизации стран СНГ

РЕКОМЕНДОВАНЫ Научно-технической комиссией по метрологии Межгосударственного Совета по стандартизации, метрологии и сертификации

ПРИНЯТЫ Евразийским советом по стандартизации, метрологии и сертификации (протокол от 2025 г., № –2025)

УДК 536.21

**МЕЖГОСУДАРСТВЕННАЯ СИСТЕМА ДАННЫХ**

**О ФИЗИЧЕСКИХ КОНСТАНТАХ И СВОЙСТВАХ**

**ВЕЩЕСТВ И МАТЕРИАЛОВ**

|  |  |
| --- | --- |
| **Стандартные справочные данные**  Теплопроводность твердых растворов La2Te3-La3Te4 в диапазоне температур от 80 К до 400 К    **Standard Reference Data**  Thermal conductivity of La2Te3-La3Te4 solid solution in the temperature range from 80 K to 400 К | **ссд снг**  **405-2025**  **ГСССД 405–2022**  **SSD CNG**  **405-2025**  **GSSSD 405–2022** |

ОГЛАВЛЕНИЕ

1. Введение …………………………………………………………………………5

2. Основные области применения материалов на основе твердых

растворов La2Te3-La3Te4  ………………………...…………………………………7

3. Общие сведения о материалах ……………………………………………......…8

4. Условные обозначения, термины и их пояснения ..………………………...…11

5. Методика определения теплопроводности .……………………………...……11

6. Оценка неопределенности результатов измерений

коэффициента теплопроводности ..……………………………………...………..12

7.Стандартные справочные данные ….……………...............................................13

Приложение А. Таблицы отклонений первичных экспериментальных данных

о коэффициентах теплопроводности от

расчетных ..………………........................................................................................22

Список литературы ..………………………….…………………………......…….30

1. **Введение**

Твердотельные термоэлектрические электрогенераторы (ТЭГ), преобразующие тепловую энергию в электрическую, обладают надежностью и удобством в использовании по сравнению с другими преобразователями энергии, имеют малый вес и большую продолжительность работы (более 30 лет), на протяжении которой они не требуют технического обслуживания. Ниша их применения, в первую очередь, – это получение электроэнергии для приборов в дальних космических полетах, а также для обеспечения электропитания удаленных и труднодоступных объектов, где их надежность и длительность бесперебойной работы являются первостепенными. Определенные надежды связаны с возможностями утилизации с их помощью тепловых потерь в энергетике и на транспорте.

Основной характеристикой термоэлектрических материалов, используемых для создания термоэлектрических устройств, является их термоэлектрическая эффективность Z, определяемая соотношением Иоффе: Z = , где α – коэффициент термоэлектродвижущей силы, σ – коэффициент электропроводности, κ – коэффициент теплопроводности [1–3]. Эффективность термоэлектрического преобразования возрастает с ростом разности температур горячей и холодной поверхностей ТЭГ. Ввиду этого, повысить ее можно за счет увеличения температуры источника тепла. Это вызывает необходимость в термоэлектрических материалах с высокими величинами Z, способными стабильно работать при высоких температурах. Халькогениды редкоземельных элементов со структурой Th3P4 изучались как потенциальные высокотемпературные термоэлектрические материалы [4–8]. В работах [9, 10] представлен обзор исследований термоэдектрических свойств этих материалов, где указывается, что среди халькогенидов редкоземельных металлов теллурид лантана, благодаря его термической стабильности и высокому значению Z, наиболее многообещающий материал n-типа для высокотемпературных термоэлектрических устройств. Теллуриды лантана La2Te3-La3Te4 (или LaTeХ, где 1,33 ≤ х ≤ 1,50) являются соединениями со сложной объемно-центрированной кубической структурой типа Th3P4, которая образуется деформированными (скрученными) многогранниками ThP8 и PTh6 [9]. Позиции ионов Thв системе LaTeХ занимает La, а позиции Р занимает Те. В граничном составе La2Te3 этой системы каждый девятый узел в катионной подрешетке вакантен. В пределах системы идет постепенное заполнение катионных вакансий ионами La, и в граничном составе La3Te4 все позиции катионов заполнены. При этом концентрация вакансий уменьшается от 1021 см-3 до нуля, одновременно с этим возрастает концентрация электронов проводимости от нуля до 6·1021 см-3.

Сложная дефектная структура этих материалов и определяет их низкую теплопроводность. В то же время значения электрических параметров в них достаточно приемлемые для термоэлектрического материала, что приводит к высоким значениям термоэлектрической эффективности [5–8, 11–15]. Среди этих соединений имеются составы с лучшими значениями термоэлектрической эффективности, чем у La3Te4. Появление высокотемпературного термоэлектрического материала р-типа Yb14MnSb11 [16–20] позволяет использовать его в паре с соединениями La2Te3-La3Te4 и достигать высокой эффективности преобразования тепловой энергии в электрическую.

Коэффициент теплопроводности является параметром, определяющим функциональные возможности используемых материалов, и информация о нем требуется при проведении технологических и конструкторских работ. Достоверные данные о теплопроводности материалов для ТЭГ необходимы для совершенствования материалов и расширения областей их применения. В связи с этим представляется актуальной и необходимой аттестация достоверных данных о коэффициенте теплопроводности соединений La2Te3-La3Te4.

На аттестацию представляются данные о коэффициенте теплопроводности высокотемпературных термоэлектрических материалов La2Te3-La3Te4 в диапазоне температур 80–400 К, определенные по результатам исследований экспериментальной методикой, аттестованной в качестве методики ГСССД: ГСССД МЭ 218-2014 в области температур 80–450 К (депонирована в ФГУП «СТАНДАРТИНФОРМ» 31.03.2014 г., № 912а-2014кк) [21].

1. **Основные области применения материалов на основе твердых растворов La2Te3-La3Te4**

Твердые растворы La2Te3-La3Te4 принадлежат к числу высокотемпературных термоэлектрических материалов, имеющих высокую термоэлектрическую эффективность и способных длительное время работать при температурах до 1273 К, не изменяя своих свойств [5-8, 14-20]. Ввиду этого возможно их использование в ТЭГ, преобразующих тепловую энергию в электрическую при высоких температурах. Термоэлектрические генераторы используются при электроснабжении объектов, удаленных от линий электропередач, и принципиальные преимущества ТЭГ перед другими источниками электропитания состоят в их длительном сроке эксплуатации без специального обслуживания, высокой надежности, стабильности параметров, высокой удельной мощности.

Одна из областей, где термоэлектричество является ключевой технологией – это производство энергии для дальнего космоса. Для этого используют радиоизотопные термоэлектрические генераторы (РИТЭГ), в которых используются термоэлектрические материалы для преобразования тепла распадающегося радиоизотопного топлива в электричество. РИТЭГи являются основными источниками питания на космических аппаратах, сильно удаляющихся от Солнца, где использование солнечных батарей неэффективно или невозможно. Радиоизотопные термоэлектрогенераторы, кроме этого, применяются в навигационных маяках, метеостанциях, работающих в труднодоступных местах и в условиях Крайнего Севера, на морских буях и подводных установках, где они питают аппаратуру приборных отсеков. Термоэлектрические материалы, применяемые в РИТЭГах (традиционно сплавы Si – Ge, PbTe, или Te – Ag – Ge – Sb) продемонстрировали долгосрочную надежность непрерывной работы более 40 лет [10, 22]. Однако, они демонстрируют невысокий КПД преобразования тепловой энергии в электрическую, примерно 6,5%, поскольку средние значения эффективности используемых в них термоэлектрических материалов невелики в диапазоне рабочих температур [22]. Применение в РИТЭГах термоэлектрических материалов из системы твердых растворов La2Te3-La3Te4 (n-ветвь) и Yb14MnSb11 (р-ветвь), которые работают при температуре горячего спая 1275 К и холодного спая – 473 К, позволяет поднять эффективность устройств до 10-15% [23-25]. Показано [26], что даже после 20 лет работы в условиях облучения от плутониевого источника тепла в соединениях La2Te3-La3Te4 нет заметного снижения термоэлектрической эффективности.

Появление высокоэффективных термоэлектрических материалов на основе твердых растворов La2Te3-La3Te4 (n-ветвь) и Yb14MnSb11 (р-ветвь) стимулировало разработку солнечных термоэлектрогенераторов (СТЭГ), в которых высокая температура горячих спаев (до 1273 К) достигается оптической концентрацией солнечного излучения [27, 28]. Можно ожидать, что при использовании этих материалов и температурах горячей и холодной поверхностей 1273 К и 373 К, соответственно, можно повысить эффективность термоэлектрических устройств до 15%.

Привлекает внимание также использование отработанного в различных энергоустановках тепла для термоэлектрического преобразования: это процессы выплавки металлов и стекла, нефтехимия, двигатели автомобилей и летательных аппаратов. Использование термоэлектрических устройств на основе твердых растворов La2Te3-La3Te4 в качестве рабочих элементов может позволить утилизировать до 15-20% сбросового тепла [18, 29].

1. **Общие сведения о материалах**

Твердые растворы системы La2Te3-La3Te4 были получены методом синтеза из простых веществ [30]. В качестве исходных материалов использовался лантан нулевого сорта электронно-лучевой и теллур, дважды возогнанный в вакууме и очищенный затем зонной плавкой. Суммарное содержание примесей в теллуре не превышало 0,001%. Содержание примесей в лантане по результатам спектрального анализа (в ат. %) приведено в таблице 1.

Таблица 1 – Содержание примесей в лантане в ат. %

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| La | Другие  РЗЭ | Ca | Cu | Fe | Ta, Mo | Другие примеси |
| 99,79 | 0,02 | 0,03 | 0,05 | 0,01 | 0,01 | 0,09 |

Для получения определенного состава твердого раствора LaTex лантан и теллур берутся в соответствующих этому составу весовых пропорциях. Например, для получения слитка LaTe1,34 весом 100 г берется 44,825 г лантана и 55,175 г теллура.

Расчет массовых процентов проводится следующим образом. Если в слитке состава LaTe1,34 солержится N атомов La, то атомов Те в нем будет 1,34·N. Атомная масса лантана 138,91 а.е.м., а теллура – 127,60 а.е.м. В слитке с N атомами лантана их масса будет 138,91·N а.е.м., а масса атомов теллура – 1,34·127,60·N а.е.м. = 170,984·N а.е.м. Общий вес этого слитка равен (138,91+170,984)·N а.е.м. = 309,894·N а.е.м. Лантан составляет (138,91·N/309,894·N)·100% = 44,825 массовых%, а теллур составляет (170,984·N/309,894·N)·100% = 55,175 массовых%.

Аналогичным образом определяются массовые проценты и других составов системы LaTex.

Синтез твердых растворов La2Te3-La3Te4 осуществлялся в три этапа. Первый – взаимодействие лантана с парами теллура при температуре не выше 850–900 К в ампуле из термостойкого стекла, заполненной чистым сухим водородом. При этой температуре продукт синтеза выдерживался до образования однородного по внешнему виду тонкого порошка. Полученное на этом этапе вещество, по данным рентгенофазового анализа, представляло смесь фаз, но не содержало свободный лантан и теллур.

На втором этапе из порошкообразного вещества прессовались образцы при давлении порядка 1 ГПа. Все операции с порошком, в том числе и прессование, проводились в атмосфере инертного газа (аргона). Спрессованные образцы помещались в двойные ампулы из оптического кварцевого стекла, заполненные аргоном, для проведения гомогенизирующего отжига. Отжиг проводился при температуре 1273–1373 К.

Третий этап – высокотемпературный отжиг в индукционной печи при температуре 1600 К, которая достигалась медленным нагревом (со скоростью примерно 15 град/мин) для исключения возможного при быстром нагреве улетучивания теллура. Отожженные образцы затем плавились. Плавление и кристаллизация полученного соединения осуществлялись в заваренных танталовых или молибденовых тиглях при медленном опускании ампулы с расплавом через индуктор. В результате образовывались плотные поликристаллические слитки диаметром 8 мм и длиной 50 мм.

Контроль однородности образцов осуществлялся по данным термоэдс различных участков слитка прибором [31]. Если термоэдс отличалась при измерениях разных участков слитка, то проводился дополнительный отжиг. Для этого заваренный молибденовый тигель со слитком помещался в двойные ампулы из оптического кварцевого стекла и слиток отжигался при (1400–1500) К в течение 80–100 часов.

Состав полученных образцов контролировался по данным газохроматографического [32] и химического анализов с точностью до 0.015 весовых процентов. Анализы проводились на содержание лантана и теллура в соединении. Составы, определенные по результатам анализов, в пределах их погрешностей, соответствовали значениям. заданным по закладке при проведении синтеза. По данным рентгенофазового анализа все образцы были однофазны и имели структуру типа Th3P4.

Из литературных источников известны данные о коэффициенте теплопроводности твердых растворов La2Te3-La3Te4, полученных кристаллизацией из расплава, имеются только в работе [6], а в работах [14, 33] содержатся данные о теплопроводности образцов системы La2Te3-La3Te4, полученных методами горячего прессования. Сопоставление данных работ [14, 33] и [6] некорректно ввиду несовпадения составов и наличия в образцах исследованных в [14, 33], множества дополнительных дефектов, обусловленных методами горячего прессования. Вместе с тем, данные о теплопроводности системы La2Te3-La3Te4, содержащиеся в работах [6, 14, 33] близки между собой по величине.

1. **Условные обозначения, термины и их пояснения**

κ – коэффициент теплопроводности, Вт∙м-1∙К-1.

uс(κ) – стандартная неопределенность результата измерения коэффициента теплопроводности, Вт∙м-1∙К-1.

U(κ) – расширенная неопределенность результата измерения коэффициента теплопроводности, Вт∙м-1∙К-1.

κэксп – значения коэффициента теплопроводности, полученные в эксперименте, Вт∙м-1∙К-1.

κрасч – значения коэффициента теплопроводности, рассчитанные по аппроксимационным уравнениям, Вт∙м-1∙К-1.

δκ, % – относительное отклонение значений коэффициента теплопроводности, рассчитанных по аппроксимационным уравнениям, от экспериментальных данных.

Δκ – неисключенная систематическая погрешность методики измерения теплопроводности, Вт∙м-1∙К-1.

1. **Методика определения теплопроводности**

Измерения коэффициента теплопроводности образцов твердых растворов La2Te3-La3Te4 выполнялись абсолютным стационарным методом, основанном на создании линейного теплового потока через исследуемый образец. Использованная авторами экспериментальная установка представляет собой модифицированный вариант низкотемпературной экспериментальной установки, описание которой приведено в статье [34], монографии [35] и справочнике [36] как установки, позволяющей получать надежные экспериментальные данные о коэффициенте теплопроводности. Методика экспериментального определения теплопроводности аттестована ФГУП «СТАНДАРТИНФОРМ» в качестве методики ГСССД МЭ 218-2014 [21], где приведены принципиальная схема прибора, методика проведения измерений и расчетные формулы. В этой установке измерения теплопроводности проводятся по аналогии с измерениями электрического сопротивления потенциометрическим методом, что исключает необходимость учета контактных тепловых сопротивлений между образцами, нагревателем и холодильниками. Суммарная погрешность результатов измерений на экспериментальной установке в диапазоне температур 80-400 К с учетом погрешностей измерения мощности нагревателя, излучения с боковых поверхностей образцов и нагревателя, оттока или подвода тепла по проводам, погрешностей измерения геометрических размеров образцов, температуры термопарами составляет 2–4 % в зависимости области температур, геометрических размеров исследуемых образцов и их теплопроводности.

1. **Оценка неопределенностей результатов измерений коэффициента теплопроводности**

Расчеты неопределенности результатов измерения коэффициента теплопроводности проводились в соответствии с ГОСТ 34100.3 – 2017 [37].

При проведении измерений коэффициента теплопроводности твердых растворов La2Te3-La3Te4 в интервале температур от 80 К до 400 К использовалась аттестованная методика [21]. Погрешности измерения этой методики определены при ее разработке и аттестации. Исходя из величины погрешности, заявленной в аттестованной методике, систематическая погрешность задается границами ± Δκ, где Δκ рассчитывается из величины погрешности методики при заданной температуре. Предполагая равномерный закон распределения возможных значений κ в границах 2 Δκ, стандартную неопределенность результата измерения теплопроводности определяют по формуле [37]:

. (1)

Расширенная неопределенность вычисляется по формуле:

U(κ) = k·uc(κ). (2)

Для доверительной вероятности Р = 0,95 (рекомендуется в [37]) коэффициент охвата k = 2.

Приведенные в таблицах значения U(κ) вычислялись по формуле (2).

Рассчитаем U(κ) для состава LaTe1.340 при температуре 293.14 К. Экспериментально полученное значение коэффициента теплопроводности при этой температуре – 2.88 Вт∙м-1∙К-1. Погрешность установки для этой температуры 3.3%. Абсолютное значение погрешности Δκ = 2.88·0.033 = 0.095 Вт∙м-1∙К-1. По формуле (1) определяем стандартную неопределенность uc(κ) = 0.055 Вт∙м-1∙К-1. Расширенная неопределенность результата измерения коэффициента теплопроводности U(κ) = 0.055·2 = 0.11 Вт∙м-1∙К-1.

1. **Стандартные справочные данные**

Настоящие стандартные справочные данные о коэффициенте теплопроводности характеризуют соединения из системы La2Te3-La3Te4 следующих составов: LaTe1.340, LaTe1.356, LaTe1.380, LaTe1.439, LaTe1.441, LaTe1.466. Особенностью этих материалов является сохранение гомогенности при изменении состава в пределах системы. Переход от вырожденных полупроводников с металлической проводимостью вблизи LaTe1,33 к диэлектрикам вблизи LaTe1,50 происходит постепенно и неодинаково резко [9]. Изменение концентрации дефектов и свободных носителей тока с изменением состава определяет величину и температурную зависимость промежуточных составов системы. Составляющие теплопроводности (решеточная, электронная, фотонная) и механизмы их ограничивающие (фонон-фононные, фонон-электронные, фонон-дефектные для решеточной составляющей и электрон-электронные, электрон-фононные для электронной составляющей), а также их соотношение, различны для разных составов, что качественно изменяет величину и температурную зависимость коэффициента теплопроводности. В твердых растворах LaTe1,34, LaTe1,356 величина и температурная зависимость коэффициента теплопроводности определяется вкладами как электронной, так и решеточной компонент теплопроводности. В LaTe1,439, LaTe1,441, LaTe1,466 основной вклад в теплоперенос вносит решеточная компонента и температурная зависимость коэффициента теплопроводности определяется именно этой составляющей. В LaTe1,38 вблизи 350 К происходит переход от роста κ с температурой, как в LaTe1,34, LaTe1,356 к снижению κ с температурой, как в LaTe1,439, LaTe1,441, LaTe1,466.

Экспериментальные исследования проводились авторами в Институте физики им. Х.И. Амирханова Дагестанского федерального исследовательского центра РАН (г. Махачкала) и Физико-техническом институте им. А.Ф. Иоффе РАН (г. Санкт-Петербург). Полученные результаты аппроксимированы полиномами третьей степени по методу наименьших квадратов. Ниже представлены аналитические зависимости, аппроксимирующие данные о коэффициенте теплопроводности для интервала температур 80 – 400 К для каждого представляемого состава твердых растворов La2Te3-La3Te4.

Для **LaTe1.340**:

κ = 2.176 – 1.696·10-5·Т + 1.694·10-5·T2 – 2.966·10-8·T3 (3)

Для **LaTe1.356**:

κ = 1.7068 + 0.004921·Т – 3.387·10-6·T2 – 3.738·10-9·T3 (4)

Для **LaTe1.380**:

κ = 2.291 – 0.002293·Т + 1.724·10-5·T2 – 2.63910-8·T3 (5)

Для **LaTe1.439**:

κ = 4.123 – 0.01863·Т + 4.370·10-5·T2 –3.583·10-8·T3 (6)

Для **LaTe1.441**:

κ = 4.317– 0.02607·Т + 7.901·10-5·T2 – 8.352·10-8·T3 (7)

Для **LaTe1.466**:

κ = 3.516 – 0.01998·Т + 5.462·10-5·T2 – 5.362·10-8·T3 (8)

Стандартные справочные данные о коэффициенте теплопроводности LaTe1.340, LaTe1.356, LaTe1.380, LaTe1.439, LaTe1.441, LaTe1.466 в диапазоне температур от 80 К до 400 К, рассчитанные по зависимостям (3–8) при целых значениях температуры, представлены в таблицах 2–8. Там же приведены рассчитанные по уравнению (2) значения расширенной неопределенности измерения коэффициента теплопроводности U(κ) при доверительной вероятности, равной 0.95. Расчеты расширенной неопределенности проведены в соответствии с ГОСТ Р 34100.3 – 2017 [37].

В таблицах А.1-А.6 приложения содержатся относительные отклонения исходных экспериментальных данных (κэксп) о коэффициенте теплопроводности от значений (κрасч), рассчитанных по аналитическим зависимостям (3–8), в %:

κ = ∙100. (9)

Из таблиц А.1-А.6 следует, что это отклонение не превышает 2%, что составляет величину меньшую суммарной погрешности эксперимента.

Таблица 2 – Стандартные справочные данные о теплопроводности LaTe1.340

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Т, К | κ,  Вт∙м-1∙К-1 | U(κ),  Вт∙м-1∙К-1 | T, К | κ,  Вт∙м-1∙К-1 | U(κ),  Вт∙м-1∙К-1 |
| 80 | 2,27 | 0,053 | 245 | 2,75 | 0,097 |
| 85 | 2,28 | 0,054 | 250 | 2,77 | 0,098 |
| 90 | 2,29 | 0,055 | 255 | 2,78 | 0,100 |
| 95 | 2,30 | 0,056 | 260 | 2,80 | 0,101 |
| 100 | 2,31 | 0,057 | 265 | 2,81 | 0,103 |
| 105 | 2,33 | 0,058 | 270 | 2,82 | 0,104 |
| 110 | 2,34 | 0,059 | 275 | 2,84 | 0,106 |
| 115 | 2,35 | 0,061 | 280 | 2,85 | 0,107 |
| 120 | 2,37 | 0,062 | 285 | 2,86 | 0,109 |
| 125 | 2,38 | 0,063 | 290 | 2,87 | 0,110 |
| 130 | 2,39 | 0,064 | 295 | 2,88 | 0,112 |
| 135 | 2,41 | 0,066 | 300 | 2,89 | 0,113 |
| 140 | 2,42 | 0,067 | 305 | 2,90 | 0,115 |
| 145 | 2,44 | 0,068 | 310 | 2,91 | 0,116 |
| 150 | 2,45 | 0,069 | 315 | 2,92 | 0,118 |
| 155 | 2,47 | 0,071 | 320 | 2,93 | 0.119 |
| 160 | 2,48 | 0,072 | 325 | 2,94 | 0,120 |
| 165 | 2,50 | 0,074 | 330 | 2,95 | 0,122 |
| 170 | 2,52 | 0,075 | 335 | 2,96 | 0,123 |
| 175 | 2,53 | 0,076 | 340 | 2,96 | 0,124 |
| 180 | 2,55 | 0,078 | 345 | 2,97 | 0,126 |
| 185 | 2,56 | 0,079 | 350 | 2,97 | 0,127 |
| 190 | 2,58 | 0,080 | 355 | 2,98 | 0,129 |
| 195 | 2,60 | 0,082 | 360 | 2,98 | 0,130 |
| 200 | 2,61 | 0,083 | 365 | 2,98 | 0,131 |
| 205 | 2,63 | 0,085 | 370 | 2,99 | 0,132 |
| 210 | 2,64 | 0,086 | 375 | 2,99 | 0,133 |
| 215 | 2,66 | 0,088 | 380 | 2,99 | 0,134 |
| 220 | 2,68 | 0,090 | 385 | 2,99 | 0,135 |
| 225 | 2,69 | 0,091 | 390 | 2,99 | 0,137 |
| 230 | 2,71 | 0,092 | 395 | 2,98 | 0,137 |
| 235 | 2,72 | 0,094 | 400 | 2,98 | 0,138 |
| 240 | 2,74 | 0.095 | 405 | 2,98 | 0,139 |

Таблица 3–Стандартные справочные данные о теплопроводности LaTe1.356

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Т, К | κ,  Вт∙м-1∙К-1 | U(κ),  Вт∙м-1∙К-1 | T, К | κ,  Вт∙м-1∙К-1 | U(κ),  Вт∙м-1∙К-1 |
| 80 | 2,08 | 0,048 | 245 | 2,65 | 0,093 |
| 85 | 2,10 | 0,050 | 250 | 2,67 | 0,095 |
| 90 | 2,12 | 0,051 | 255 | 2,68 | 0,096 |
| 95 | 2,14 | 0,052 | 260 | 2,69 | 0,097 |
| 100 | 2,16 | 0,053 | 265 | 2,70 | 0,099 |
| 105 | 2,18 | 0,054 | 270 | 2,72 | 0,101 |
| 110 | 2,20 | 0,056 | 275 | 2,73 | 0,102 |
| 115 | 2,22 | 0,057 | 280 | 2,74 | 0,103 |
| 120 | 2,24 | 0,059 | 285 | 2,75 | 0,105 |
| 125 | 2,26 | 0,060 | 290 | 2,76 | 0,106 |
| 130 | 2,28 | 0,061 | 295 | 2,78 | 0,108 |
| 135 | 2,30 | 0,063 | 300 | 2,78 | 0,109 |
| 140 | 2,32 | 0,064 | 305 | 2,79 | 0,110 |
| 145 | 2,34 | 0,066 | 310 | 2,80 | 0,112 |
| 150 | 2,36 | 0,067 | 315 | 2,80 | 0,113 |
| 155 | 2,37 | 0.068 | 320 | 2,81 | 0,114 |
| 160 | 2,39 | 0,069 | 325 | 2,82 | 0,116 |
| 165 | 2,41 | 0,071 | 330 | 2,83 | 0,117 |
| 170 | 2,43 | 0,072 | 335 | 2,83 | 0,118 |
| 175 | 2,44 | 0,073 | 340 | 2,84 | 0,119 |
| 180 | 2,46 | 0,075 | 345 | 2,85 | 0,121 |
| 185 | 2,48 | 0,076 | 350 | 2,85 | 0,122 |
| 190 | 2,49 | 0,078 | 355 | 2,86 | 0,124 |
| 195 | 2,51 | 0,079 | 360 | 2,86 | 0,124 |
| 200 | 2,52 | 0,080 | 365 | 2,87 | 0,126 |
| 205 | 2,54 | 0,082 | 370 | 2,87 | 0,127 |
| 210 | 2,56 | 0,083 | 375 | 2,88 | 0,128 |
| 215 | 2,57 | 0,085 | 380 | 2,88 | 0,129 |
| 220 | 2,58 | 0,086 | 385 | 2,89 | 0,131 |
| 225 | 2,60 | 0,088 | 390 | 2,89 | 0,132 |
| 230 | 2,61 | 0,089 | 395 | 2,89 | 0,133 |
| 235 | 2,63 | 0,091 | 400 | 2,89 | 0,134 |
| 240 | 2,64 | 0,092 | 405 | 2,90 | 0,136 |

Таблица 4 – Стандартные справочные данные о теплопроводности LaTe1.380

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Т, К | κ,  Вт∙м-1∙К-1 | U(κ),  Вт∙м-1∙К-1 | T, К | κ,  Вт∙м-1∙К-1 | U(κ),  Вт∙м-1∙К-1 |
| 80 | 2,20 | 0,051 | 245 | 2,38 | 0,084 |
| 85 | 2,20 | 0,052 | 250 | 2,38 | 0,084 |
| 90 | 2,20 | 0,053 | 255 | 2,39 | 0,086 |
| 95 | 2,21 | 0,054 | 260 | 2,40 | 0,087 |
| 100 | 2,21 | 0,054 | 265 | 2,40 | 0,088 |
| 105 | 2,21 | 0,055 | 270 | 2,41 | 0,089 |
| 110 | 2,21 | 0,056 | 275 | 2,41 | 0,090 |
| 115 | 2,21 | 0,057 | 280 | 2,42 | 0,091 |
| 120 | 2,22 | 0,058 | 285 | 2,43 | 0,093 |
| 125 | 2,22 | 0,059 | 290 | 2,43 | 0,093 |
| 130 | 2,23 | 0,060 | 295 | 2,44 | 0,095 |
| 135 | 2,23 | 0,061 | 300 | 2,44 | 0,096 |
| 140 | 2,24 | 0,062 | 305 | 2,45 | 0,097 |
| 145 | 2,24 | 0.063 | 310 | 2,45 | 0,098 |
| 150 | 2,24 | 0,063 | 315 | 2,45 | 0,099 |
| 155 | 2,26 | 0,065 | 320 | 2,46 | 0,100 |
| 160 | 2,26 | 0,066 | 325 | 2,46 | 0,101 |
| 165 | 2,27 | 0,067 | 330 | 2,46 | 0,102 |
| 170 | 2,28 | 0,068 | 335 | 2,46 | 0,103 |
| 175 | 2,28 | 0,069 | 340 | 2,47 | 0,104 |
| 180 | 2,29 | 0,070 | 345 | 2,47 | 0,105 |
| 185 | 2,30 | 0,071 | 350 | 2,47 | 0,106 |
| 190 | 2,30 | 0,072 | 355 | 2,47 | 0,107 |
| 195 | 2,31 | 0,073 | 360 | 2,47 | 0,107 |
| 200 | 2,31 | 0,074 | 365 | 2,47 | 0,108 |
| 205 | 2,32 | 0,075 | 370 | 2,46 | 0,109 |
| 210 | 2,32 | 0,076 | 375 | 2,46 | 0,110 |
| 215 | 2,33 | 0,077 | 380 | 2,46 | 0,110 |
| 220 | 2,34 | 0,078 | 385 | 2,46 | 0,111 |
| 225 | 2,35 | 0,079 | 390 | 2,45 | 0,112 |
| 230 | 2,35 | 0.080 | 395 | 2,44 | 0,112 |
| 235 | 2,36 | 0,081 | 400 | 2,44 | 0,113 |
| 240 | 2,37 | 0,082 | 405 | 2,44 | 0,114 |

Таблица 5 – Стандартные справочные данные о теплопроводности LaTe1.439

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Т, К | κ,  Вт∙м-1∙К-1 | U(κ),  Вт∙м-1∙К-1 | T, К | κ,  Вт∙м-1∙К-1 | U(κ),  Вт∙м-1∙К-1 |
| 80 | 2,89 | 0,067 | 245 | 1,66 | 0,058 |
| 85 | 2,83 | 0,067 | 250 | 1,64 | 0,058 |
| 90 | 2,77 | 0,066 | 255 | 1,62 | 0,058 |
| 95 | 2,72 | 0,066 | 260 | 1,60 | 0,058 |
| 100 | 2,66 | 0,065 | 265 | 1,59 | 0,058 |
| 105 | 2,61 | 0,065 | 270 | 1,57 | 0,058 |
| 110 | 2,55 | 0,065 | 275 | 1,56 | 0,058 |
| 115 | 2,50 | 0,064 | 280 | 1,55 | 0,058 |
| 120 | 2,45 | 0,064 | 285 | 1,53 | 0.058 |
| 125 | 2,41 | 0,064 | 290 | 1,52 | 0,058 |
| 130 | 2,36 | 0,064 | 295 | 1,51 | 0,059 |
| 135 | 2,32 | 0,063 | 300 | 1,50 | 0,059 |
| 140 | 2,27 | 0,063 | 305 | 1,49 | 0,059 |
| 145 | 2,23 | 0,062 | 310 | 1,48 | 0,059 |
| 150 | 2,19 | 0,062 | 315 | 1,47 | 0,059 |
| 155 | 2,15 | 0,062 | 320 | 1,46 | 0,059 |
| 160 | 2,11 | 0,061 | 325 | 1,45 | 0,060 |
| 165 | 2,08 | 0,061 | 330 | 1,45 | 0,060 |
| 170 | 2,04 | 0,061 | 335 | 1,44 | 0,060 |
| 175 | 2,01 | 0,060 | 340 | 1,43 | 0,060 |
| 180 | 1,98 | 0,060 | 345 | 1,43 | 0.061 |
| 185 | 1,94 | 0,060 | 350 | 1,42 | 0,061 |
| 190 | 1,92 | 0,060 | 355 | 1,41 | 0,061 |
| 195 | 1,89 | 0,060 | 360 | 1,41 | 0,061 |
| 200 | 1,86 | 0,059 | 365 | 1,40 | 0,062 |
| 205 | 1,83 | 0,059 | 370 | 1,40 | 0,062 |
| 210 | 1,81 | 0,059 | 375 | 1,39 | 0,062 |
| 215 | 1,78 | 0,059 | 380 | 1,39 | 0,062 |
| 220 | 1,76 | 0,059 | 385 | 1,38 | 0,062 |
| 225 | 1,74 | 0.059 | 390 | 1,38 | 0,063 |
| 230 | 1,71 | 0,058 | 395 | 1,38 | 0,064 |
| 235 | 1,69 | 0,058 | 400 | 1,37 | 0,064 |
| 240 | 1,67 | 0,058 | 405 | 1,37 | 0,064 |

Таблица 6 – Стандартные справочные данные о теплопроводности LaTe1.441

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Т, К | κ,  Вт∙м-1∙К-1 | U(κ),  Вт∙м-1∙К-1 | T, К | κ,  Вт∙м-1∙К-1 | U(κ),  Вт∙м-1∙К-1 |
| 80 | 2,69 | 0,062 | 245 | 1,44 | 0,051 |
| 85 | 2,62 | 0,062 | 250 | 1,43 | 0,051 |
| 90 | 2,55 | 0,061 | 255 | 1,42 | 0,051 |
| 95 | 2,48 | 0,060 | 260 | 1,41 | 0,051 |
| 100 | 2,42 | 0,060 | 265 | 1,40 | 0,051 |
| 105 | 2,35 | 0,059 | 270 | 1,39 | 0,051 |
| 110 | 2,29 | 0,058 | 275 | 1,38 | 0,052 |
| 115 | 2,24 | 0,058 | 280 | 1,38 | 0,052 |
| 120 | 2,18 | 0,057 | 285 | 1,37 | 0,052 |
| 125 | 2,13 | 0,057 | 290 | 1,36 | 0,052 |
| 130 | 2,08 | 0,056 | 295 | 1,36 | 0,053 |
| 135 | 2,03 | 0,055 | 300 | 1,35 | 0,053 |
| 140 | 1,99 | 0,055 | 305 | 1,34 | 0,053 |
| 145 | 1,94 | 0,054 | 310 | 1,34 | 0,054 |
| 150 | 1,90 | 0,054 | 315 | 1,33 | 0,054 |
| 155 | 1,86 | 0,053 | 320 | 1,33 | 0,054 |
| 160 | 1,82 | 0,053 | 325 | 1,32 | 0,054 |
| 165 | 1,79 | 0,053 | 330 | 1,32 | 0,054 |
| 170 | 1,76 | 0,052 | 335 | 1,31 | 0,055 |
| 175 | 1,73 | 0,052 | 340 | 1,30 | 0,055 |
| 180 | 1,70 | 0,052 | 345 | 1,30 | 0,055 |
| 185 | 1,67 | 0,051 | 350 | 1,29 | 0,055 |
| 190 | 1,64 | 0,051 | 355 | 1,28 | 0,055 |
| 195 | 1,62 | 0,051 | 360 | 1,27 | 0,055 |
| 200 | 1,59 | 0,051 | 365 | 1,26 | 0,055 |
| 205 | 1,57 | 0,051 | 370 | 1,26 | 0,056 |
| 210 | 1,55 | 0,050 | 375 | 1,25 | 0,056 |
| 215 | 1,53 | 0,050 | 380 | 1,24 | 0,056 |
| 220 | 1,52 | 0,051 | 385 | 1,22 | 0,055 |
| 225 | 1,50 | 0,051 | 390 | 1,21 | 0,055 |
| 230 | 1,48 | 0,050 | 395 | 1,20 | 0,055 |
| 235 | 1,47 | 0,050 | 400 | 1,18 | 0,055 |
| 240 | 1,46 | 0,051 | 405 | 1,17 | 0,055 |

Таблица 7 – Стандартные справочные данные о теплопроводности LaTe1.466

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Т, К | κ,  Вт∙м-1∙К-1 | U(κ),  Вт∙м-1∙К-1 | T, К | κ,  Вт∙м-1∙К-1 | U(κ),  Вт∙м-1∙К-1 |
| 80 | 2,24 | 0,052 | 245 | 1,11 | 0,039 |
| 85 | 2,18 | 0,051 | 250 | 1,10 | 0,039 |
| 90 | 2,12 | 0,051 | 255 | 1,08 | 0,039 |
| 95 | 2,06 | 0,050 | 260 | 1,07 | 0,039 |
| 100 | 2,01 | 0,049 | 265 | 1,06 | 0,039 |
| 105 | 1,96 | 0,049 | 270 | 1,05 | 0,039 |
| 110 | 1,91 | 0.048 | 275 | 1,04 | 0,039 |
| 115 | 1,86 | 0,048 | 280 | 1,02 | 0,038 | |
| 120 | 1,81 | 0.047 | 285 | 1,02 | 0,039 | |
| 125 | 1,77 | 0,047 | 290 | 1,01 | 0.039 | |
| 130 | 1,72 | 0,046 | 295 | 1,00 | 0,039 | |
| 135 | 1,68 | 0,046 | 300 | 0,99 | 0,039 | |
| 140 | 1,64 | 0,045 | 305 | 0,98 | 0,039 | |
| 145 | 1,60 | 0,045 | 310 | 0,97 | 0,039 | |
| 150 | 1,57 | 0,044 | 315 | 0,96 | 0,039 | |
| 155 | 1,53 | 0,044 | 320 | 0,95 | 0,039 | |
| 160 | 1,50 | 0,044 | 325 | 0,95 | 0,039 | |
| 165 | 1,46 | 0,043 | 330 | 0,94 | 0,039 | |
| 170 | 1,43 | 0,042 | 335 | 0,94 | 0,039 | |
| 175 | 1,40 | 0,042 | 340 | 0,93 | 0,039 | |
| 180 | 1,38 | 0,042 | 345 | 0,922 | 0,039 | |
| 185 | 1,35 | 0,042 | 350 | 0,91 | 0,039 | |
| 190 | 1,32 | 0,041 | 355 | 0,91 | 0,039 | |
| 195 | 1,30 | 0.041 | 360 | 0,90 | 0,039 | |
| 200 | 1,28 | 0,041 | 365 | 0,89 | 0,039 | |
| 205 | 1,25 | 0,040 | 370 | 0,88 | 0,039 | |
| 210 | 1,23 | 0,040 | 375 | 0,88 | 0,039 | |
| 215 | 1,21 | 0,040 | 380 | 0,87 | 0,039 | |
| 220 | 1,19 | 0,040 | 385 | 0,86 | 0,039 | |
| 225 | 1,17 | 0,040 | 390 | 0,85 | 0,039 | |
| 230 | 1,16 | 0,040 | 395 | 0,84 | 0,039 | |
| 235 | 1,14 | 0,039 | 400 | 0,83 | 0.038 | |
| 240 | 1,12 | 0,039 | 405 | 0,82 | 0,038 | |

**ПРИЛОЖЕНИЕ А**

Таблицы отклонений первичных экспериментальных данных о коэффициенте теплопроводности от расчетных

Таблица А.1 –Отклонение экспериментальных данных о теплопроводности LaTe1.340 от рассчитанных по (3).

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| T, K | κэксп,  Вт∙м-1∙К-1 | κрасч,  Вт∙м-1∙К-1 | δκ, % |
| 82,14 | 2,27 | 2,272 | -0,09 |
| 85,89 | 2,28 | 2,280 | 0 |
| 91,76 | 2,30 | 2,294 | 0,26 |
| 97,56 | 2,31 | 2,308 | 0,09 |
| 105,01 | 2,32 | 2,326 | -0,26 |
| 116,31 | 2,38 | 2,356 | 1,01 |
| 122,69 | 2,39 | 2,374 | 0,67 |
| 128,88 | 2,40 | 2,391 | 0,38 |
| 138,37 | 2,40 | 2,419 | -0,79 |
| 143,71 | 2,42 | 2,435 | -0.62 |
| 152,58 | 2,45 | 2,462 | -0,49 |
| 158,27 | 2,46 | 2,480 | -0,81 |
| 164,25 | 2,47 | 2,498 | -1,13 |
| 168,62 | 2,50 | 2,512 | -0,48 |
| 175,86 | 2,50 | 2,535 | -1,40 |
| 184,31 | 2,54 | 2,562 | -0,87 |
| 187,84 | 2,58 | 2,574 | 0,23 |
| 192,66 | 2,62 | 2,589 | 1,18 |
| 195,29 | 2,63 | 2,597 | 1,22 |
| 200,96 | 2,65 | 2,616 | 1,28 |
| 209,14 | 2,68 | 2,642 | 1,42 |
| 212,21 | 2,68 | 2,651 | 1,04 |
| 217,26 | 2,68 | 2,667 | 0,45 |
| 228,37 | 2,69 | 2,702 | -0,45 |
| 236,41 | 2,69 | 2,726 | -1,34 |
| 252,76 | 2,76 | 2,775 | -0,54 |
| 258,38 | 2,76 | 2,790 | -1,09 |
| 270,15 | 2,84 | 2,822 | 0,63 |
| 282,68 | 2,87 | 2,854 | 0,56 |
| 293,14 | 2,88 | 2,879 | 0,03 |
| 301,25 | 2,88 | 2,897 | -0,59 |
| 302,13 | 2,89 | 2,899 | -0,31 |
| 304,58 | 2,9 | 2,904 | -0,14 |
| 310,08 | 2,93 | 2,915 | 0,51 |

*Окончание таблицы А.1*

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| T, K | κэксп,  Вт∙м-1∙К-1 | κрасч,  Вт∙м-1∙К-1 | δκ, % |
| 315,59 | 2,93 | 2,925 | 0,17 |
| 323,89 | 2,96 | 2,939 | 0,71 |
| 334,01 | 2,96 | 2,955 | 0,17 |
| 353,43 | 2,97 | 2,976 | -0,20 |
| 369,28 | 2,97 | 2,986 | -0,54 |
| 375,55 | 2,97 | 2,987 | -0,57 |
| 380,67 | 2,98 | 2,988 | -0,27 |
| 383,48 | 2,98 | 2,988 | -0,27 |
| 388,02 | 2,99 | 2,987 | 0,10 |
| 394,65 | 2,99 | 2,984 | 0,20 |
| 403,82 | 3,00 | 2,978 | 0,73 |

Таблица А.2 –Отклонение экспериментальных данных о теплопроводности LaTe1.356 от рассчитанных по (4).

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| T, K | κэксп,  Вт∙м-1∙К-1 | κрасч,  Вт∙м-1∙К-1 | δκ, % |
| 81,65 | 2,08 | 2,084 | -0,19 |
| 84,28 | 2,08 | 2,095 | -0,72 |
| 90,60 | 2,11 | 2,122 | -0,59 |
| 97,18 | 2,16 | 2,150 | 0.46 |
| 103,44 | 2,18 | 2,17 | 0,23 |
| 107,29 | 2,19 | 2,191 | -0,04 |
| 112,61 | 2,23 | 2,213 | 0,76 |
| 122,52 | 2,27 | 2,252 | 0,79 |
| 126,44 | 2,28 | 2,267 | 0,57 |
| 132,59 | 2,29 | 2,291 | -0,04 |
| 141,35 | 2,30 | 2,324 | -1,04 |
| 148,00 | 2,37 | 2,350 | 0,84 |
| 161,25 | 2,38 | 2,397 | 0,71 |
| 171,94 | 2,42 | 2,434 | -0,58 |
| 180,92 | 2,44 | 2,464 | -0,98 |
| 189,91 | 2,51 | 2,494 | 0,64 |
| 198,40 | 2,55 | 2,521 | 1,14 |
| 207,18 | 2,57 | 2,548 | 0,86 |
| 223,38 | 2,58 | 2,595 | -0,58 |
| 230,11 | 2,60 | 2,614 | -0,54 |
| 235,17 | 2,63 | 2,628 | 0,08 |
| 240,32 | 2,64 | 2,642 | -0,08 |
| 249,16 | 2,64 | 2,665 | -0,95 |

*Окончание таблицы А.2*

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| T, K | κэксп,  Вт∙м-1∙К-1 | κрасч,  Вт∙м-1∙К-1 | δκ, % |
| 257,84 | 2,68 | 2,686 | -0,22 |
| 264,33 | 2,70 | 2,702 | -0,07 |
| 275,97 | 2,72 | 2,728 | -0.29 |
| 282,47 | 2,73 | 2,742 | -0,44 |
| 288,98 | 2,75 | 2,756 | -0,22 |
| 296,34 | 2,76 | 2,770 | -0,36 |
| 298,34 | 2,76 | 2,774 | -0,51 |
| 300,94 | 2,78 | 2,779 | 0,04 |
| 306,65 | 2,80 | 2,790 | 0,36 |
| 309,64 | 2,83 | 2,795 | 1,24 |
| 312,80 | 2,83 | 2,800 | 1,06 |
| 318,81 | 2,84 | 2,810 | 1,06 |
| 333,12 | 2,84 | 2,832 | 0,28 |
| 346,54 | 2,85 | 2,850 | 0 |
| 354,34 | 2,85 | 2,859 | -0,32 |
| 366,30 | 2,86 | 2,871 | -0,38 |
| 374,37 | 2,86 | 2,878 | -0,63 |
| 379,89 | 2,87 | 2,882 | -0,42 |
| 381,20 | 2,88 | 2,883 | -0,10 |
| 386,41 | 2,88 | 2,887 | -0,24 |
| 391,56 | 2,89 | 2,890 | 0 |
| 396,58 | 2,90 | 2,892 | 0,28 |
| 401,19 | 2,91 | 2,894 | 0,55 |

Таблица А.3 –Отклонение экспериментальных данных о теплопроводности LaTe1.380 от рассчитанных по (5).

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| T, K | κэксп,  Вт∙м-1∙К-1 | κрасч,  Вт∙м-1∙К-1 | δκ, % |
| 80,17 | 2,20 | 2,204 | -0,18 |
| 83,99 | 2,23 | 2,204 | 1,12 |
| 88,85 | 2,22 | 2,205 | 0,68 |
| 94,09 | 2,21 | 2,206 | 0,18 |
| 99,35 | 2,20 | 2,207 | -0,32 |
| 104,24 | 2,20 | 2,209 | -0,41 |
| 109,41 | 2,21 | 2,212 | -0,09 |
| 114,23 | 2,21 | 2,214 | -0.18 |
| 119,87 | 2,20 | 2,218 | -0,82 |
| 125,03 | 2,21 | 2,222 | -0,54 |
| 137,13 | 2,22 | 2,232 | -0,54 |

*Окончание таблицы А.3*

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| T, K | κэксп,  Вт∙м-1∙К-1 | κрасч,  Вт∙м-1∙К-1 | δκ, % |
| 143,21 | 2,24 | 2,238 | 0,09 |
| 151,76 | 2,25 | 2,248 | 0,09 |
| 160,10 | 2,27 | 2,257 | 0,57 |
| 170,32 | 2,27 | 2,270 | 0 |
| 176,21 | 2,26 | 2,278 | -0,80 |
| 180,63 | 2,28 | 2,283 | -0,13 |
| 188,83 | 2,26 | 2,295 | -0,16 |
| 193,14 | 2,29 | 2,301 | -0,48 |
| 199,40 | 2,31 | 2,310 | 0 |
| 205,56 | 2,32 | 2,318 | 0,09 |
| 211,72 | 2,34 | 2,327 | 0,56 |
| 217,35 | 2,36 | 2,336 | 1,02 |
| 222,09 | 2,38 | 2,343 | 1,55 |
| 228,21 | 2,37 | 2,352 | 0,76 |
| 234,23 | 2,38 | 2,360 | 0,84 |
| 243,57 | 2,36 | 2,374 | -0,59 |
| 253,88 | 2,39 | 2,388 | 0,08 |
| 263,00 | 2,42 | 2,400 | 0,83 |
| 273,12 | 2,42 | 2,413 | 0,29 |
| 279,02 | 2,43 | 2,420 | 0,41 |
| 295,22 | 2,43 | 2,437 | -0,29 |
| 303,66 | 2,44 | 2,445 | -0,20 |
| 308,40 | 2,42 | 2,449 | -1,20 |
| 309,84 | 2,43 | 2,450 | -0,82 |
| 314,74 | 2,44 | 2,454 | -0,57 |
| 316,39 | 2,43 | 2,455 | -1,03 |
| 320,69 | 2,45 | 2,458 | -0,32 |
| 322,19 | 2,45 | 2,459 | -0,37 |
| 327,02 | 2,46 | 2,461 | -0,04 |
| 328,40 | 2,47 | 2,462 | 0,33 |
| 339,68 | 2,48 | 2,466 | 0,56 |
| 348,41 | 2,48 | 2,468 | 0,48 |
| 358,63 | 2,47 | 2,468 | 0,08 |
| 370,82 | 2,47 | 2,465 | 0,20 |
| 376,31 | 2,46 | 2,462 | -0,08 |
| 380,62 | 2,47 | 2,460 | 0,40 |
| 385,56 | 2,46 | 2,456 | 0,16 |
| 391,18 | 2,45 | 2,451 | -0,04 |
| 396,52 | 2,45 | 2,446 | -0,02 |
| 401,68 | 2,44 | 2,440 | 0 |

Таблица А.4 – Отклонение экспериментальных данных о теплопроводности LaTe1.439 от рассчитанных по (6).

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| T, K | κэксп,  Вт∙м-1∙К-1 | κрасч,  Вт∙м-1∙К-1 | δκ, % |
| 82,22 | 2,89 | 2,867 | 0,80 |
| 87,18 | 2,84 | 2,807 | 1,16 |
| 92,54 | 2,73 | 2,745 | -0,55 |
| 98,02 | 2,64 | 2,683 | -1,63 |
| 109,39 | 2,54 | 2,561 | -0,83 |
| 120,05 | 2,46 | 2,454 | 0,24 |
| 125,9 | 2,42 | 2,399 | 0,87 |
| 137,53 | 2,29 | 2,294 | -0,17 |
| 143,74 | 2,24 | 2,242 | -0,09 |
| 151,71 | 2,16 | 2,178 | -0,83 |
| 162,8 | 2,08 | 2,094 | -0,67 |
| 180,71 | 1,98 | 1,972 | 0,40 |
| 188,07 | 1,92 | 1,927 | -0,36 |
| 195,3 | 1,91 | 1,885 | 1,31 |
| 202,44 | 1,87 | 1,846 | 1,28 |
| 209,15 | 1,84 | 1,811 | 1,58 |
| 214,79 | 1,78 | 1,783 | -0,17 |
| 218,58 | 1,75 | 1,765 | -0,86 |
| 227,71 | 1,71 | 1,724 | -0,82 |
| 234,39 | 1,69 | 1,696 | -0,36 |
| 246,55 | 1,65 | 1,650 | 0 |
| 253,7 | 1,62 | 1,625 | -0,31 |
| 263,1 | 1,61 | 1,595 | 0,99 |
| 272,83 | 1,57 | 1,566 | 0,25 |
| 285,78 | 1,53 | 1,532 | -0,13 |
| 291,7 | 1,5 | 1,518 | -1,20 |
| 298,87 | 1,49 | 1,503 | -0,87 |
| 303,24 | 1,49 | 1,494 | -0,27 |
| 308,44 | 1,48 | 1,483 | -0,27 |
| 313,53 | 1,48 | 1,474 | 0,40 |
| 328,52 | 1,46 | 1,449 | 0,75 |
| 338,57 | 1,44 | 1,435 | 0,35 |
| 344,34 | 1,43 | 1,427 | 0,21 |
| 353,17 | 1,41 | 1,417 | -0.50 |
| 363,22 | 1,4 | 1,406 | -0,43 |
| 372,48 | 1,4 | 1,396 | 0,28 |
| 378,53 | 1,39 | 1,390 | 0 |
| 383,8 | 1,39 | 1,385 | 0,36 |

*Окончание таблицы А.4*

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| T, K | κэксп,  Вт∙м-1∙К-1 | κрасч,  Вт∙м-1∙К-1 | δκ, % |
| 386,74 | 1,38 | 1,383 | -0,22 |
| 392,37 | 1,38 | 1,378 | 0,14 |
| 396,22 | 1,37 | 1,374 | -0,29 |
| .404,61 | 1,37 | 1,367 | 0,22 |

Таблица А.5 – Отклонение экспериментальных данных о теплопроводности LaTe1.441 от рассчитанных по (7).

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| T, K | κэксп,  Вт∙м-1∙К-1 | κрасч,  Вт∙м-1∙К-1 | δκ, % |
| 82,04 | 2,71 | 2,664 | 1,70 |
| 85,63 | 2,62 | 2,611 | 0,34 |
| 89,28 | 2,58 | 2,560 | 0,78 |
| 91,14 | 2,51 | 2,534 | -0,96 |
| 93,05 | 2,48 | 2,508 | -1,13 |
| 96,91 | 2,45 | 2,456 | -0,24 |
| 100,80 | 2,41 | 2,406 | 0,17 |
| 104,57 | 2,33 | 2,359 | -1,24 |
| 108,52 | 2,33 | 2,311 | 0,82 |
| 118,22 | 2,20 | 2,201 | -0,04 |
| 122,16 | 2,16 | 2,159 | 0,05 |
| 129,24 | 2,08 | 2,087 | -0,34 |
| 140,46 | 1,99 | 1,982 | 0,40 |
| 149,07 | 1,90 | 1,909 | -0,45 |
| 153,62 | 1,85 | 1,874 | -1,30 |
| 163,22 | 1,79 | 1,803 | -0,73 |
| 173,81 | 1,72 | 1,734 | -0,81 |
| 176,42 | 1,70 | 1,718 | -1,06 |
| 181,76 | 1,67 | 1,687 | -1,02 |
| 184,08 | 1,67 | 1,6741 | -0,24 |
| 190,22 | 1,65 | 1,642 | 0,53 |
| 198,00 | 1,63 | 1,604 | 1,60 |
| 205,62 | 1,58 | 1,570 | 0,63 |
| 214,14 | 1,56 | 1,537 | 1,47 |
| 221,88 | 1,52 | 1,509 | 0,72 |
| 225,03 | 1,51 | 1,499 | 0,73 |
| 230,10 | 1,48 | 1,483 | -0,20 |
| 238,62 | 1,47 | 1,460 | 0,68 |
| 246,80 | 1,44 | 1,439 | 0,07 |
| 253,76 | 1,44 | 1,424 | 1,11 |
| 260,16 | 1,42 | 1,411 | 0,63 |

*Окончание таблицы А5*

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| T, K | κэксп,  Вт∙м-1∙К-1 | κрасч,  Вт∙м-1∙К-1 | δκ, % |
| 265,95 | 1,42 | 1,400 | 1,41 |
| 272,16 | 1,39 | 1,390 | 0 |
| 280,22 | 1,39 | 1,377 | 0,94 |
| 289,25 | 1,36 | 1,365 | -0,37 |
| 297,07 | 1,35 | 1,355 | -0,37 |
| 300,20 | 1,34 | 1,351 | -0,82 |
| 302,01 | 1,34 | 1,349 | -0,82 |
| 305,69 | 1,33 | 1,344 | -,1,05 |
| 307,61 | 1,33 | 1,342 | -0,90 |
| 308,87 | 1,33 | 1,340 | -0,75 |
| 311,46 | 1,34 | 1,337 | 0,22 |
| 314,90 | 1,34 | 1,333 | 0,52 |
| 317,47 | 1,34 | 1,330 | 0,75 |
| 324,99 | 1,31 | 1,322 | -0,92 |
| 338,12 | 1,30 | 1,306 | -0,46 |
| 349,02 | 1,28 | 1,291 | -0,86 |
| 359,19 | 1,26 | 1,275 | -1,19 |
| 369,32 | 1,25 | 1,257 | -0,56 |
| 377,13 | 1,24 | 1,242 | -0,16 |
| 380,29 | 1,23 | 1,235 | -0,41 |
| 385,80 | 1,23 | 1,222 | 0,65 |
| 388,79 | 1,22 | 1,215 | 0,41 |
| 393,75 | 1,21 | 1,202 | 0,66 |
| 398,09 | 1,19 | 1,190 | 0 |
| 402,65 | 1,19 | 1,176 | 1,18 |

Таблица А.6 –Отклонение экспериментальных данных о теплопроводности LaTe1.466 от рассчитанных по (8).

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| T, K | κэксп,  Вт∙м-1∙К-1 | κрасч,  Вт∙м-1∙К-1 | δκ, % |
| 81,54 | 2,24 | 2,221 | 0,85 |
| 85,39 | 2,18 | 2,175 | 0,23 |
| 89,26 | 2,14 | 2,130 | 0,47 |
| 93,41 | 2,06 | 2,083 | -1,12 |
| 97,28 | 2,02 | 2,040 | -0,99 |
| 104,93 | 1,98 | 1,959 | -1,01 |
| 116,03 | 1,85 | 1,849 | 0,05 |
| 127,69 | 1,74 | 1,744 | -0,23 |
| 133,10 | 1,69 | 1,698 | -0,47 |
| 143,32 | 1,61 | 1,616 | -0,37 |

*Окончание таблицы А.6*

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| T, K | κэксп,  Вт∙м-1∙К-1 | κрасч,  Вт∙м-1∙К-1 | δκ, % |
| 150,87 | 1,55 | 1,560 | -0,64 |
| 155,05 | 1,52 | 1,531 | -0,72 |
| 161,02 | 1,49 | 1,491 | -0,07 |
| 171,54 | 1,42 | 1,425 | -0,35 |
| 180,30 | 1,37 | 1,375 | -0,36 |
| 188,12 | 1,35 | 1,333 | 1.26 |
| 193,68 | 1,32 | 1,305 | 1,14 |
| 199,68 | 1,27 | 1,277 | 0,55 |
| 206,29 | 1,25 | 1,248 | 0,16 |
| 213,12 | 1,22 | 1,219 | 0,08 |
| 219,08 | 1,20 | 1,196 | 0,33 |
| 224,68 | 1,18 | 1,176 | 0,34 |
| 230,27 | 1,16 | 1,156 | 0,34 |
| 238,88 | 1,14 | 1,128 | 1,05 |
| 245,90 | 1,11 | 1,108 | 0,18 |
| 254,09 | 1,08 | 1,085 | -0,46 |
| 259,15 | 1,07 | 1,072 | -0,19 |
| 265,57 | 1,06 | 1,057 | 0,28 |
| 278,00 | 1,02 | 1,030 | -0,98 |
| 288,02 | 1,01 | 1,010 | 0 |
| 301,52 | 0,99 | 0,987 | 0,30 |
| 307,98 | 0,98 | 0,976 | 0,41 |
| 309,09 | 0,98 | 0,974 | 0,61 |
| 314,70 | 0,97 | 0,966 | 0,41 |
| 321,32 | 0,96 | 0,956 | 0,42 |
| 327,90 | 0,95 | 0,946 | 0,42 |
| 332,41 | 0,93 | 0,939 | -0,97 |
| 345,31 | 0,91 | 0,921 | -1,21 |
| 359,61 | 0,89 | 0,900 | -1.12 |
| 367,33 | 0,88 | 0,888 | -0,91 |
| 375,37 | 0,87 | 0,875 | -0,57 |
| 380,43 | 0,86 | 0,866 | -0,70 |
| 386,41 | 0,86 | 0,856 | 0,46 |
| 392,86 | 0,84 | 0,844 | -0,47 |
| 399,60 | 0,84 | 0,831 | 1,07 |
| 405,92 | 0,83 | 0,818 | 1,44 |

**Список литературы**

1. Иоффе А.Ф. Полупроводниковые термоэлементы. Изд. АН СССР: М.- Л. 1956. 103 с.

2. Nolas G.S., Sharp J., Goldsmid J. Thermoelectrics: Basic Principles and New Materials Developments. Springer Science & Business Media. 2013. 293 p.

3. Rowe D.M. General Principles and Basic Considerations // Thermoelectric handbook: macro to nano. Ed. by Rowe D.M. Taylor & Francis Group. Roca Raton. London. New York. 2006. P. 1-1 – 1-10.

1. Cutler M., Leavy J.F., Fitzpatrick R.L. Electronic transport in Semimetallic Cerium Sulfide // 1964. Phys. Rev. V. 133. N 4A. P. 1143–1152.
2. Жузе В.П., Голикова О.А., Сергеева В.М., Рудник И.М. Электрические свойства и теплопроводность редкоземельных халькогенидов типа Ln3X4 // ФТТ. 1971. Т. 13. № 3. С. 811–814.
3. Лугуев С.М., Оскотский В.С., Васильев Л.Н., Быстрова В.Н., Комарова Т.И., Смирнов И.А. Особенности теплопроводности системы La3Te4-La2Te3 // ФТТ. 1975. Т. 17. № 11. С. 3229-3233.
4. Лугуев С.М., Смирнов И.А. Высокотемпературная теплопроводность La3Te4 // ФТТ. 1977. Т. 19. № 4. С. 1209–1210.
5. Голикова О.А., Рудник И.М. Механизмы проводимости и термоэлектрическая эффективность халькогенидов редкоземельных элементов // Неорган. материалы. 1978. Т. 14. № 1. С. 17–20.
6. Физические свойства халькогенидов редкоземельных элементов. Под ред. Жузе В.П. Л.: Наука. 1973. 304 с.
7. Wood C. Materials for thermoelectric energy conversion // 1988. Rep. Prog. Phys. V. 51. N 4. P. 459–539.
8. Gao H.L., Zhu T.J., Wang H., Ren Z.F., Zhao X.B. Study of Pb partial substitution for Te on the thermoelectric properties of La3Te4-xPbx // J. of Phys. D: Appl. Phys. 2012. V. 45. 185303 (6 pp).
9. Ma J.M., Clarke S.M., Zeier W.G., Vo T., von Allmen P., Snyder G.J., Kaner R.B., Fleureal J.P., Bux S.K. Mechanochemical synthesis and high temperature thermoelectric properties of calcium doped lanthanum telluride La3-xCaxTe4 // J. Mater. Chem. 2015. V. 3. P. 10459–10466.
10. Vo T., von Allmen P., Huang C.K., Ma J.M., Bux S.K. // Electronic and thermoelectric properties of Ce3Te4 and La3Te4 computed with density functional theory with on-site Coulomb interaction correction // J. Appl. Phys. 2016. V. 116. 133701 (6 pp).
11. May A.F., Fleureal J.-P., Snyder G.J. Thermoelectric performance of lanthanum telluride produced via mechanical alloying // Phys. Rev. 2008. V. B78. N 12. P. 125205 (12 p.)
12. Cheikh D., Hogan B. E., Vo T., Von Allmen P., Lee K., Smiadak D. M., Zevalkink A., Dunn B. S., Fleurial J.-P., Bux S. K. Praseodymium telluride: A high-temperature, high-ZT thermoelectric material // Joule. 2018. V. 2. P. 698–709.
13. Brown S.R., Kauzlarich S.M., Gascoin F., Snyder G.J. Yb14MnSb11: New High Efficiency Thermoelectric Materials for Power Generation // Chem Mater. 2006. V. 18. N 7. P. 1873–1877.
14. Toberer E. S., Brown S. R., Ikeda T., Kauzlarich S. M., Snyder G. J. High fthermoelectric efficiency in lanthanum doped Yb14MnSb11 // Appl. Phys. Lett. 2008. V. 93. 062110 (3pp).
15. Hendricks T.E. Thermoelectric Generator Energy Harvesting Research at NASA- JPL – Where We are now & Where Can We Go // Rep. at Mc Master Inst. of Energy Studies. Hamilton, Ontario, Canada. 2016.
16. Hu Y., Cerretti G., Wille E. L. K., Bux S. K., Kauzlarich S. M., The remarkable crystal chemistry of the Ca14AlSb11 structure type, magnetic and thermoelectric properties // J. Solid State Chem. 2019. V. 271, N 1. P. 88–102.
17. Perez C.J., Wood M., Ricci F., Yu G., Vo T., Bux S.K., Hautier G., Rignanese G.-M., Snyder G.J., Kauzlarich S.M. Discovery of multivalley Fermi surface responsible for the high thermoelectric performance in Yb14MnSb11 and Yb14MgSb11 // Sci. Adv. 2021. V. 7. N 4. P. 9439 (9p.).
18. Методика ГСССД МЭ 218–2014. Методика экспериментального определения теплопроводности твердых тел в диапазоне температур 80–450 К / С.М. Лугуев, И.А. Смирнов, Н.В. Лугуева; Росс.научно-техн. центр информации по стандартизации, метрологии и оценке соответствия. М., 2014. – 30 с.: Ил. – 5; Табл. – 3; Библиогр. назв. 31. – Рус. назв. 27. Деп. в ФГУП “СТАНДАРТИНФОРМ” 31.03.2014, № 912а-2014кк.
19. Snyder G.J., Toberer E.S. Complex Thermoelectric Materials // Nat. Mater. 2008. V. 7. P. 105–114.
20. Fleurial J.-P. Thermoelectric power generation materials: Technology and application opportunities // JOM 2009. V. 61. P. 74–85.
21. Toberer E. S., Brown S. R., Ikeda T., Kauzlarich S. M., Snyder G. J. High thermoelectric efficiency in lanthanum doped Yb14MnSb11 // Appl. Phys. Lett. 2008. V. 93. 062110 (3pp).
22. Caillat T., Firdosy S., Li B.C-Y., Huang C.-K., Cheng B., Chase J., Arakelian T., Lara L., Fleurial P. Progress Status of the Development of High-Efficiency Segmented // Nucl. Emerg. Techn. Space. 2012. P. 3077–3078.
23. Smith M.B.R., Whiting C., Barklay C. Nuclear Consideration for the Application of Lanthanum Telluride in Future Radioisotope Power Systems // 2019 IEEE Aerospace Conference. IEEE, 2019. P. 1-11.
24. Baranowski L.L., Warren E.L., Toberer E.S. High Temperature High-Efficiency Solar Thermoelectric Generators // J. Electronic Mater. 2014. V. 43. N 6. P. 2348–2355.
25. Olsen M.R., Warren E.L., Parilla P.A., Toberer E.S., Kennedy C.E., Snyder G.J., Firdosy S.A., Nesmith B., Zakutaev A., Goodrich A., Turachi C.S., Netler J., Gray M.H., Ndione P.F., Tirawat R., Baranowski L.L., Gray A. A Нigh-temperature, high-efficiency solar thermoelectric generator prototype // Energy Procedia. 2014. V. 49. P. 1460–1469.
26. Хвесюк В.И., Останко Д.А., Скрябин А.С., Цыганков П.А., Челмодеев Р.И., Чирков А.Ю. Предельная эффективность термоэлектрического преобразования теплоты в высокотемпературных энергоустановках // Наука и образование. МГТУ им. Н.Э. Баумана. Электрон. журн. 2016. № 03. С. 81–105.
27. Голубков А. В., Жукова Т. Б., Сергеева В. М. Синтез халькогенидов редкоземельных элементов // Неорган. материалы. 1966. Т. 2. № 1. С. 77–80.
28. Лугуев С.М., Лугуева Н.В. Методика ГСССД МЭ 276 – 2019. Методика экспериментального определения однородности твердых полупроводниковых материалов.Всеросс. научно-иссл. институт метрологической службы. М., 2019. – 20 с***.*:** Ил. – 6; Табл. – 1; Библиогр. назв. 19 – Рус. назв. 16. Деп. в ФГУП «ВНИИМС» 22. 03.2019 г., № 268а - 2019 кк.
29. Чучалина Л.С., Васильева И.Г., Камарзин А.А., Соколов В.В. Косвенный газохроматографический метод определения состава сульфидов лантана // ЖАХ. 1978. Т. 33. N 1. C. 190-192.
30. Vandersande J.W., Wood C., Whittenberger D. Phonon Scattering by Defects and Grain Boundaries at High Temperature in Polycrystalline Lanthanum Tellurides of Various Compositions // Phonon Scattering in Condensed Matter. Springer Series in Solid State Sciences. 1986. V. 68. P. 245-247.
31. Девяткова Е.Д., Петров А.В., Смирнов И.А., Мойжес Б.Я. Плавленый кварц как образцовый материал при измерении теплопроводности // ФТТ. 1960. Т. 2, N 4. С. 738–746.
32. Охотин А.С., Пушкарский А.С., Горбачев В.С. Теплофизические свойства полупроводников. М.: Атомиздат. 1972. 200 c.
33. Теплопроводность твердых тел. М.: Энергоатомиздат. 1984. 321 c.
34. ГОСТ 34100.3 – 2017/ ISO/ IEC Guide 98-3:2008. Неопределенность измерения. Часть 3. Руководство по выражению неопределенности измерения. Москва. Стандартинформ. 2017.