**МЕЖГОСУДАРСТВЕННАЯ СИСТЕМА ДАННЫХ**

**О ФИЗИЧЕСКИХ КОНСТАНТАХ И СВОЙСТВАХ**

**ВЕЩЕСТВ И МАТЕРИАЛОВ**

УДК 536.21

**ТАБЛИЦЫ СТАНДАРТНЫХ СПРАВОЧНЫХ ДАННЫХ**

#### ТЕПЛОПРОВОДНОСТЬ ОПТИЧЕСКИ ПРОЗРАЧНЫХ КЕРАМИК НА ОСНОВЕ ТВЕРДЫХ РАСТВОРОВ NaLaS2 – CaS В ДИАПАЗОНЕ ТЕМПЕРАТУР ОТ 80 К ДО 400 К

#### **ССД СНГ 358–2021 (ГСССД 358–2019)**

(**ОКОНЧАТЕЛЬНАЯ РЕДАКЦИЯ, ШИФР ТЕМЫ:** [**RU.3.007-20**](http://www.mgs.gost.ru/TKSUGGEST/mgsprogact.nsf/ByUNID/E336D4892C3CC6BF44257BCE003A3FE5?OpenDocument&CountryCode=RU&ViewName=ByMTCOfSelectedCountry&Category=RU%20180&Start=1&Count=12)**21)**

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

ВНЕСЕНЫ Федеральным агентством по техническому регулированию и метрологии

АВТОРЫ: С.М. Лугуев, 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 2021 г., № –2021)

УДК 536.21

**МЕЖГОСУДАРСТВЕННАЯ СИСТЕМА ДАННЫХ**

**О ФИЗИЧЕСКИХ КОНСТАНТАХ И СВОЙСТВАХ**

**ВЕЩЕСТВ И МАТЕРИАЛОВ**

|  |  |
| --- | --- |
| **Таблицы стандартных справочных данных** |  |
| Теплопроводность оптически прозрачных керамик на основе твердых растворов NaLaS2 – CaS в диапазоне температур от 80 К до 400 К | **ССД СНГ**  **358–2021**  **ГСССД**  **358–2019** |
| **Tables of Standard Reference Data** |  |
| Thermal conductivity of optically transparent ceramics based on solid solutions of NaLaS2 – CaS in the temperature range from 80 K to 400 K | **SSD CNG**  **358–2021**  **GSSSD**  **358–2019** |

**АННОТАЦИЯ**

В таблицах стандартных справочных данных представлены данные о величине и температурной зависимости коэффициента теплопроводности оптически прозрачных керамик на основе твердых растворов NaLaS2 – CaS в диапазоне температур от 80 К до 400 К. Измерения коэффициента теплопроводности материалов выполнены абсолютным стационарным методом, основанном на создании линейного теплового потока через исследуемый образец. Расширенная неопределенность измерения коэффициента теплопроводности составляет 2–4% в зависимости от диапазона температур.

**СОДЕРЖАНИЕ**

1. Введение 6

2. Основные области для применения оптических материалов

на основе твердых растворов NaLaS2 – CaS 7

3. Общие сведения о материалах 8

4. Условные обозначения, термины и их пояснения 10

5. Методика определения теплопроводности 11

6. Таблицы стандартных справочных данных 13

7. Приложение А. Таблицы отклонений первичных экспериментальных

данных о коэффициенте теплопроводности от расчетных 22

Список литературы 31

1. **ВВЕДЕНИЕ**

Материалы для применения в приборах и устройствах, работающих в инфракрасной области оптического спектра, должны иметь пропускание в диапазоне длин волн от 0,8 до 14 мкм, быть нерастворимыми в воде, механически прочными, физически и химически стабильными, обладать возможностью выращивания в виде больших монокристаллов или получения в виде оптически прозрачных поликристаллических материалов [1].

Дисульфид натрия лантана NaLaS2 и его твердые растворы с сульфидом кальция CaS имеют высокие температуры плавления [2-4], широкую область оптического пропускания (0.45–20 мкм) [2, 4–7] и лучшие механические свойства, чем часто применяемые для оптических окон материалы на основе соединений АIIBVI [2, 4]. Кубическая структура этих материалов [2, 3] является характеристикой, определяющей оптическую изотропность как монокристаллов, так и поликристаллических заготовок для окон, зерна в которых должны быть изотропными. Наличие в составе твердых растворов NaLaS2 –CaS ионов натрия и кальция способствует стабилизации кубической структуры по сравнению с La2S3 [4, 7–12]. В области однофазных твердых растворов в зависимости от состава изменяются оптические, тепловые и механические свойства материала [12–14].

Теплопроводность является одним из свойств веществ, определяющих их функциональные возможности для применения в тех или иных областях техники. Данные о коэффициенте теплопроводности необходимы как для оптимизации технологических процессов получения кристаллов с заданными физическими свойствами, так и для проведения необходимых расчетов при проведении конструкторских работ. Во многих случаях получение и применение поликристаллических материалов, приготовленных по технологии керамик, предпочтительнее по сравнению с монокристаллами, особенно для окон инфракрасного излучения больших размеров и различной конфигурации. Это обусловливает необходимость аттестации данных о коэффициенте теплопроводности оптически прозрачных поликристаллических материалов на основе твердых растворов NaLaS2 – CaS, полученных методом горячего прессования, представляющих существенный интерес для различных технических применений.

1. **ОСНОВНЫЕ ОБЛАСТИ ПРИМЕНЕНИЯ ОПТИЧЕСКИХ МАТЕРИАЛОВ НА ОСНОВЕ ТВЕРДЫХ РАСТВОРОВ NaLaS2 – CaS**

Дисульфид натрия лантана NaLaS2 и твердые растворы NaLaS2 – CaS принадлежат к числу материалов, работающих в длинноволновой ИК области спектра. Такие материалы необходимы для использования в качестве защитных окон, куполов, линз в оптических системах тепловизионного оборудования для авиационных и космических аппаратов, приборов обнаружения, наблюдения, сигнальных устройств и управляемого вооружения. Главным условием для применения материалов для этих целей является их прозрачность в необходимом диапазоне инфракрасного спектра. Применение материалов в качестве защитных окон и куполов в авиационной и космической технике требует, чтобы они могли работать в сложных условиях окружающей среды и при высоких скоростях. Ввиду этого материалы должны иметь высокую температуру плавления, механическую и термическую прочность, стойкость к окислению, сопротивление дождевой эрозии, износостойкость. Дисульфид натрия лантана NaLaS2 и твердые растворы NaLaS2 – CaS обладают таким набором физико-химических свойств, и это позволяет использовать их в качестве идеального материала для защитных окон, линз, призм, обтекателей сенсорных систем, работающих в интервале длин волн 8-12 мкм в сложных условиях механических, термических и химических нагрузок [2, 4, 6–8, 14].

Дисульфид натрия лантана с добавками щелочных, щелочноземельных металлов может использоваться в качестве пигмента для окрашивания пластиков, керамик, красок, резины, глазури, бумаги, чернил, косметики, ламинатов. Применяемые в настоящее время пигменты обычно содержат в своем составе токсичные металлы (кадмий, свинец, хром, кобальт) [15]. Использование таких пигментов строго контролируется, а в некоторых странах запрещено, вследствие их токсичности. Ввиду этого существует экономическая и техническая необходимость поиска замещающих их нетоксичных пигментов. Редкоземельные сульфиды являются многообещающими кандидатами на использование в качестве пигментов для окрашивания пластиков, красок, резины, керамики, глазури, бумаги, чернил, косметики [11, 16 - 23]. В этом классе соединений дисульфид натрия лантана, легированный щелочными, щелочноземельными, редкоземельными элементами, представляет существенный интерес для использования в качестве пигментов [18, 22], поскольку легирование дает очень широкий интервал цветов, хорошую способность к окрашиванию и диспергированию (особенно в пластиках), термическую и химическую стабильность.

1. **ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ О МАТЕРИАЛАХ**

Соединение NaLaS2 и твердые растворы системы NaLaS2 – CaS получаются методом вакуумного рекристаллизационного прессования предварительно синтезированных порошков исходного материала [9, 10]. Порошки NaLaS2 и твердых растворов системы NaLaS2 – CaS готовятся методом твердофазного синтеза [5,6,9,10]. При получении NaLaS2 смесь La2O3 и NaHCO3, содержащую избыточные 20 весовых процента NaHCO3 относительно стехиометрии, нагревается в потоке CS2 до температуры 1200 К. Избыток NaHCO3 в смеси способствует полноте реакции, лучшему формированию структуры и росту частиц за счет их рекристаллизации. Для получения твердых растворов системы NaLaS2 – CaS в смесь La2O3 и NaHCO3 вводится СаСО3. Смеси выдерживаются при температуре 1200 К 2 часа, а затем охлаждаются до комнатной температуры со скоростью 0.5 К в мин. В результате получается поликристаллический порошок с оптимальным для рекристаллизационного прессования размером частиц – 20–40 мм.

Для получения поликристаллов NaLaS2 и твердых растворов системы NaLaS2 – CaS порошки соответствующих составов прессуются при температуре 1600 К и давлении 200 МПа. Давление поднимается на 20 МПа каждые 6 минут, а температура до необходимой величины поднимается в течение 5 часов. Поскольку при этом происходит частичная потеря серы, для получения необходимого состава образцы подвергаются дополнительному отжигу в атмосфере паров серы. Полученные таким образом поликристаллические материалы однофазны и имеют кубическую структуру типа NaCl c параметром решетки, монотонно изменяющимся от 5.878 Ǻ (NaLaS2) до 5.740 Ǻ (10 мол. % NaLaS2). Средний размер зерен в поликристаллах – 30 мкм. Образцы прозрачны в области длин волн 0.45–20 мкм, полосы поглощения примесных фаз в их спектрах пропускания отсутствуют.

На аттестацию представляются данные о коэффициенте теплопроводности в диапазоне температур 80–400 К для твердых растворов NaLaS2 – CaS следующих составов: NaLaS2; NaLaS2 (80 мол. %) – CaS (20 мол. %); NaLaS2 (60 мол.%) – CaS (40 мол. %); NaLaS2 (50 мол. %) – CaS (50 мол. %); NaLaS2(30 мол. %) – CaS (70 мол. %); NaLaS2 (10 мол. %) – CaS (90 мол.%). Физико-химические характеристики этих материалов приведены в таблице 1.

Таблица 1 –Физико-химические характеристики оптических керамик на основе твердых растворов системы NaLaS2 – CaS

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Состав керамики  % NaLaS2 | Параметр решетки, Ǻ | Плотность, г/см3 | Коэффициент теплового расширения, 10-6K-1 | Микро-твердость, кГ/мм2 | Показатель прелом-ления |
| 100 | 5,881[2]  5,885 [10,12,13] | 3,65  [2] | 15,28 [12,13] | 274 [2,12,13] | 1,74 [2] |
| 80 | 5,870 [12,13] | 3,59 | 14,4 [12,13] | 265 [12,13] |  |
| 60 | 5,845 [12,13] | 3,47 | 13,85 [12,13] | 256 [12,13] |  |
| 50 | 5,823 [12,13] | 3,34 | 13,6 [12,13] | 250 [12,13] |  |
| Состав керамики  % NaLaS2 | Параметр решетки, Ǻ | Плотность, г/см3 | Коэффициент теплового расширения, 10-6K-1 | Микро-твердость, кГ/мм2 | Показатель прелом-ления |
| 30 | 5,772[12,13] | 3,05 | 13,2 [12,13] | 210 [12,13] |  |
| 10 | 5,712 [12,13] | 2,68 | 12,8 [12,13] | 164 [12,13] |  |

Имеющиеся в литературе данные о коэффициенте теплопроводности оптических материалов на основе твердых растворов NaLaS2 – CaS при 300 К представлены в таблице 2.

Таблица 2 –Данные о коэффициенте теплопроводности NaLaS2 и твердых растворов NaLaS2 – CaS при 300 К

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| Состав керамики  % NaLaS2 | Коэффициент  теплопроводности, Вт/м∙К | Литературный источник |
| 100 | 1,13 | 12, 13, 24, 25 |
| 80 | 1,18 | 12, 13, 25 |
| 60 | 1,24 | 12, 13, 25 |
| 50 | 1,39 | 12, 13, 25 |
| 30 | 1,96 | 12, 13, 25 |
| 10 | 2,93 | 12, 13, 25 |

1. **УСЛОВНЫЕ ОБОЗНАЧЕНИЯ, ТЕРМИНЫ И ИХ ПОЯСНЕНИЯ**

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

U(κ) – стандартная суммарная неопределенность измерения коэффициента теплопроводности при доверительной вероятности, равной 0.95, 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.

1. **МЕТОДИКА ОПРЕДЕЛЕНИЯ ТЕПЛОПРОВОДНОСТИ**

Измерения коэффициента теплопроводности образцов 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 [26], монографии [27] и справочнике [28] как установки, позволяющей получать надежные экспериментальные данные о коэффициенте теплопроводности. Методика экспериментального определения теплопроводности аттестована ФГУП «СТАНДАРТИНФОРМ» в качестве методики ГСССД МЭ 218-2014 [29], 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.

Ввиду прозрачности соединений на основе твердых растворов NaLaS2 – CaS в широкой спектральной области, можно было предположить возможность влияния на полученные экспериментальные результаты радиационного теплопереноса (фотонной компоненты κфот). Роль фотонной компоненты теплопроводности образцов оценена путем ее расчета. В полупрозрачных образцах длина свободного пробега фотона L определяется двумя процессами рассеяния: рассеянием на границах кристалла и собственным поглощением данного вещества:

|  |  |
| --- | --- |
| , | (1) |

где *l*погл – длина свободного пробега фотонов, определяемая внутренним поглощением исследуемого вещества;

*l*гр – длина свободного пробега, определяемая рассеянием фотонов границами образца или межкристаллитными границами внутри образца.

В случае крупноблочных образцов и монокристаллов *l*погл << *l*гр и рассеянием на границах можно пренебречь. Тогда L ≈ *l*погл = 1/α, где α – коэффициент поглощения для длин волн, соответствующих максимуму излучения при температуре Т. В этом случае учет фотонной теплопроводности возможен путем расчета ее по формуле Генцеля [30]:

|  |  |
| --- | --- |
| , | (2) |

где n – показатель преломления вещества;

σ – постоянная Стефана-Больцмана;

Т – температура.

В случае мелкокристаллических образцов, когда преобладает граничное рассеяние, L ≈ lгр = d, где d – размер отдельного кристаллика или размер образца [31]:

|  |  |
| --- | --- |
| *κфот*  . | (3) |

Для NaLaS2 коэффициент поглощения α = 350 м-1 [2], следовательно, lпогл = 1/α = 2.9 мм, что значительно превосходит размеры зерен (30 мкм) в керамике NaLaS2. Ввиду этого длина свободного пробега фотонов в керамике NaLaS2 определяется граничным рассеянием, а κфот рассчитывается по формуле (3). Показатель преломления NaLaS2 равен 1.74 [2]. Расчеты по формуле (3) при 400 К для керамики NaLaS2 с размером зерен 30 мкм дает величину κфот = 1.7∙10-3 Вт٠м-1К-1, что составляет 0.15% от измеренной величины теплопроводности. Эта величина заметно ниже погрешности измерения теплопроводности экспериментальной установки. Поскольку значения коэффициентов поглощения, преломления и размеры зерен для других составов системы NaLaS2 – CaS незначительно отличаются от NaLaS2, то вклад κфот в теплоперенос и в других составах NaLaS2 – CaS имеет такой же порядок. Таким образом в поликристаллических образцах твердых растворов системы NaLaS2 – CaS влияние радиационного теплопереноса на экспериментальные результаты коэффициента теплопроводности в области температур ниже 400 К незначительно и перенос тепла обусловлен колебаниями кристаллической решетки (фононами).

1. **ТАБЛИЦЫ СТАНДАРТНЫХ СПРАВОЧНЫХ ДАННЫХ**

Настоящие таблицы стандартных справочных данных о теплопроводности характеризуют оптические материалы на основе твердых растворов NaLaS2 – CaS следующих составов: NaLaS2; NaLaS2 (80 мол. %) – CaS (20 мол. %); NaLaS2 (60 мол. %) – CaS (40 мол. %); NaLaS2 (50 мол. %) – CaS (50 мол. %); NaLaS2(30 мол. %) – CaS (70 мол. %); NaLaS2 (10 мол. %) –CaS (90 мол.%).

Основой для разработки таблиц стандартных справочных данных явились результаты экспериментального исследования коэффициента теплопроводности оптических материалов на основе твердых растворов NaLaS2 – CaS, проведенного авторами в Институте физики им. Х.И. Амирханова Дагестанского научного центра РАН [12, 13, 24, 25].

Измерения коэффициента теплопроводности проводились по методике “Методика экспериментального определения теплопроводности твердых тел в диапазоне температур 80…450 К”, зарегистрированной в Российском научно-техническом центре информации по стандартизации, метрологии и оценке соответствия (ФГУП «СТАНДАРТИНФОРМ») под № ГСССД МЭ 218-2014 [29].

Полученные экспериментальные результаты обобщены и аппроксимированы полиномами третьей степени по методу наименьших квадратов. Ниже представлены аналитические зависимости, аппроксимирующие данные о коэффициенте теплопроводности каждого оптического материала:

**NaLaS2:**

κ = 3,442110247 0,021202427٠T + 6,5526٠10-5٠T2 – 6,88115∙10-8٠T3 (4)

**0,8 NaLaS2 – 0,2 CaS:**

κ = 3,63465194 – 0,021994165٠T + 6,70276٠10-5٠T2 – 6,9936∙10-8٠T3 (5)

**0,6 NaLaS2 – 0.4 CaS:**

κ = 3,695400123 – 0,019727054٠T + 5,34087٠10-5٠T2 – 4,9604∙10-8٠T3 (6)

**0,5 NaLaS2 – 0,5 CaS:**

κ =4,324935535 – 0,024254645٠T + 6,87894٠10-5٠T2 – 6,85999∙10-8٠T3 (7)

**0,3 NaLaS2 – 0,7 CaS:**

κ = 5,299077315 – 0,014646172٠T + 2,58459٠10-6٠T2 – 3,03502∙10-8٠T3 (8)

**0,1 NaLaS2 – 0,9 CaS:**

κ = 6,332502361– 0,020532691٠T + 3,50243٠10-5٠T2 – 1,45472∙10-8٠T3 (9)

Стандартные справочные данные о коэффициенте теплопроводности оптических материалов на основе твердых растворов NaLaS2 – CaS в диапазоне температур 80–400 К, рассчитанные по уравнениям (4)–(9) при целых значениях температуры и значения суммарной стандартной неопределенности измерения теплопроводности U(κ) при доверительной вероятности, равной 0.95, представлены в таблицах 3–8. Расчеты суммарной стандартной неопределенности проведены по ГОСТ Р 54500.3 / Руководство ИСО/МЭК 98-3:2008 [32].

В таблицах А.1–А.6 приложения приведены первичные экспериментальные данные (κэксп) о коэффициенте теплопроводности, данные (κрасч), рассчитанные по зависимостям (4) – (9), и отклонения в процентах расчетных данных от экспериментальных:

|  |  |
| --- | --- |
| κ = ∙100. | (10) |

Из таблиц А.1–А.6 следует, что это отклонение не превышает 1,5%, что составляет величину меньшую суммарной погрешности эксперимента

Таблица 3 **–** Стандартные справочные данные о теплопроводности NaLaS2

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 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 | 2,13 | 0,049 |  | 245 | 1,17 | 0,041 |
| 85 | 2,07 | 0,048 |  | 250 | 1,16 | 0,041 |
| 90 | 2,01 | 0,048 |  | 255 | 1,16 | 0,041 |
| 95 | 1,96 | 0,047 |  | 260 | 1,15 | 0,041 |
| 100 | 1,91 | 0,047 |  | 265 | 1,14 | 0,041 |
| 105 | 1,86 | 0,046 |  | 270 | 1,14 | 0,042 |
| 110 | 1,81 | 0,046 |  | 275 | 1,14 | 0,042 |
| 115 | 1,76 | 0,045 |  | 280 | 1,13 | 0,042 |
| 120 | 1,72 | 0,044 |  | 285 | 1,13 | 0,043 |
| 125 | 1,68 | 0,044 |  | 290 | 1,12 | 0,043 |
| 130 | 1,64 | 0,044 |  | 295 | 1,12 | 0,043 |
| 135 | 1,60 | 0,043 |  | 300 | 1,12 | 0,044 |
| 140 | 1,57 | 0,043 |  | 305 | 1,12 | 0,044 |
| 145 | 1,54 | 0,043 |  | 310 | 1,12 | 0,044 |
| 150 | 1,50 | 0,042 |  | 315 | 1,11 | 0,044 |
| 155 | 1,47 | 0,042 |  | 320 | 1,11 | 0,045 |
| 160 | 1,44 | 0,042 |  | 325 | 1,11 | 0,045 |
| 165 | 1,42 | 0,041 |  | 330 | 1,11 | 0,045 |
| 170 | 1,39 | 0,041 |  | 335 | 1,10 | 0,045 |
| 175 | 1,37 | 0,041 |  | 340 | 1,10 | 0,046 |
| 180 | 1,35 | 0,041 |  | 345 | 1,10 | 0,046 |
| 185 | 1,33 | 0,041 |  | 350 | 1,10 | 0,047 |
| 190 | 1,31 | 0,040 |  | 355 | 1,09 | 0,047 |
| 195 | 1,29 | 0,040 |  | 360 | 1,09 | 0,047 |
| 200 | 1,27 | 0,040 |  | 365 | 1,09 | 0,047 |
| 205 | 1,26 | 0,040 |  | 370 | 1,08 | 0,047 |
| 210 | 1,24 | 0,040 |  | 375 | 1,08 | 0,048 |
| 215 | 1,23 | 0,040 |  | 380 | 1,07 | 0,048 |
| 220 | 1,22 | 0,040 |  | 385 | 1,06 | 0,048 |
| 225 | 1,20 | 0,040 |  | 390 | 1,06 | 0,048 |
| 230 | 1,19 | 0,04 |  | 395 | 1,05 | 0,048 |
| 235 | 1,18 | 0,04 |  | 400 | 1,04 | 0,048 |
| 240 | 1,18 | 0,041 |  | 405 | 1,03 | 0,048 |

Таблица 4 **–** Стандартные справочные данные о теплопроводности твердого раствора 0,8 NaLaS2 – 0,2 CaS

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 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 | 0,052 |  | 245 | 1,24 | 0,043 |
| 85 | 2,21 | 0,052 |  | 250 | 1,23 | 0,043 |
| 90 | 2,15 | 0,051 |  | 255 | 1,22 | 0,043 |
| 95 | 2,09 | 0,051 |  | 260 | 1,22 | 0,044 |
| 100 | 2,04 | 0,050 |  | 265 | 1,21 | 0,044 |
| 105 | 1,98 | 0,049 |  | 270 | 1,21 | 0,044 |
| 110 | 1,93 | 0,049 |  | 275 | 1,20 | 0,044 |
| 115 | 1,88 | 0,048 |  | 280 | 1,20 | 0,045 |
| 120 | 1,84 | 0,048 |  | 285 | 1,20 | 0,045 |
| 125 | 1,80 | 0,047 |  | 290 | 1,19 | 0,045 |
| 130 | `1,75 | 0,046 |  | 295 | 1,19 | 0,045 |
| 135 | 1,71 | 0,046 |  | 300 | 1,18 | 0,046 |
| 140 | 1,68 | 0,046 |  | 305 | 1,18 | 0,046 |
| 145 | 1,64 | 0,045 |  | 310 | 1,17 | 0,046 |
| 150 | 1,61 | 0,045 |  | 315 | 1,17 | 0,047 |
| 155 | 1,58 | 0,045 |  | 320 | 1,17 | 0,047 |
| 160 | 1,54 | 0,044 |  | 325 | 1,16 | 0,047 |
| 165 | 1,52 | 0,044 |  | 330 | 1,16 | 0,048 |
| 170 | 1,49 | 0,044 |  | 335 | 1,16 | 0,048 |
| 175 | 1,46 | 0,044 |  | 340 | 1,16 | 0,048 |
| 180 | 1,44 | 0,044 |  | 345 | 1,15 | 0,048 |
| 185 | 1,42 | 0,043 |  | 350 | 1,15 | 0,049 |
| 190 | 1,4 | 0,043 |  | 355 | 1,14 | 0,049 |
| 195 | 1,38 | 0,043 |  | 360 | 1,14 | 0,049 |
| 200 | 1,36 | 0,043 |  | 365 | 1,14 | 0,050 |
| 205 | 1,34 | 0,043 |  | 370 | 1,13 | 0,050 |
| 210 | 1,32 | 0,043 |  | 375 | 1,12 | 0,050 |
| 215 | 1,31 | 0,044 |  | 380 | 1,12 | 0,050 |
| 220 | 1,30 | 0,043 |  | 385 | 1,11 | 0,050 |
| 225 | 1,28 | 0,043 |  | 390 | 1,10 | 0,050 |
| 230 | 1,27 | 0,043 |  | 395 | 1,09 | 0,050 |
| 235 | 1,26 | 0,043 |  | 400 | 1,08 | 0,050 |
| 240 | 1,25 | 0,043 |  | 405 | 1,08 | 0,050 |

Таблица 5 – Стандартные справочные данные о теплопроводности твердого раствора 0,6 NaLaS2 – 0,4 CaS.

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 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 | 2,43 | 0,056 |  | 245 | 1,34 | 0,047 |
| 85 | 2,37 | 0,055 |  | 250 | 1,33 | 0,047 |
| 90 | 2,32 | 0,055 |  | 255 | 1.32 | 0,047 |
| 95 | 2,26 | 0,055 |  | 260 | 1,30 | 0,047 |
| 100 | 2,21 | 0,054 |  | 265 | 1,30 | 0,047 |
| 105 | 2,16 | 0,054 |  | 270 | 1,29 | 0,047 |
| 110 | 2,10 | 0,053 |  | 275 | 1,28 | 0,047 |
| 115 | 2,06 | 0,052 |  | 280 | 1,27 | 0,048 |
| 120 | 2,01 | 0,052 |  | 285 | 1,26 | 0,048 |
| 125 | 1,97 | 0,052 |  | 290 | 1,26 | 0,048 |
| 130 | 1,92 | 0,051 |  | 295 | 1,25 | 0,048 |
| 135 | 1,88 | 0,051 |  | 300 | 1,24 | 0,048 |
| 140 | 1,84 | 0,050 |  | 305 | 1,24 | 0,049 |
| 145 | 1,81 | 0,050 |  | 310 | 1,23 | 0,049 |
| 150 | 1,77 | 0,050 |  | 315 | 1,23 | 0,049 |
| 155 | 1,74 | 0,049 |  | 320 | 1,23 | 0,049 |
| 160 | 1,70 | 0,049 |  | 325 | 1,22 | 0,050 |
| 165 | 1,67 | 0,049 |  | 330 | 1,22 | 0,050 |
| 170 | 1,64 | 0,048 |  | 335 | 1,22 | 0,050 |
| 175 | 1,61 | 0,048 |  | 340 | 1,21 | 0,050 |
| 180 | 1,58 | 0,048 |  | 345 | 1,21 | 0,051 |
| 185 | 1,56 | 0,048 |  | 350 | 1,21 | 0,051 |
| 190 | 1,54 | 0,048 |  | 355 | 1,20 | 0,051 |
| 195 | 1,51 | 0,047 |  | 360 | 1,20 | 0,052 |
| 200 | 1,49 | 0,047 |  | 365 | 1,20 | 0,052 |
| 205 | 1,47 | 0,047 |  | 370 | 1,20 | 0,053 |
| 210 | 1,45 | 0,047 |  | 375 | 1,19 | 0,053 |
| 215 | 1,43 | 0,047 |  | 380 | 1,19 | 0,053 |
| 220 | 1,41 | 0,047 |  | 385 | 1,19 | 0,053 |
| 225 | 1,40 | 0,047 |  | 390 | 1,18 | 0,054 |
| 230 | 1,38 | 0,047 |  | 395 | 1,18 | 0,054 |
| 235 | 1,36 | 0,047 |  | 400 | 1,18 | 0,054 |
| 240 | 1,35 | 0,047 |  | 405 | 1,17 | 0,054 |

Таблица 6 – Стандартные справочные данные о теплопроводности твердого раствора 0,5 NaLaS2 – 0,5 CaS

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 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 | 2,79 | 0,064 |  | 245 | 1,50 | 0,052 |
| 85 | 2,72 | 0,063 |  | 250 | 1,49 | 0,052 |
| 90 | 2,65 | 0,063 |  | 255 | 1,48 | 0,052 |
| 95 | 2,58 | 0,062 |  | 260 | 1,46 | 0,052 |
| 100 | 2,52 | 0,062 |  | 265 | 1,45 | 0,053 |
| 105 | 2,46 | 0,061 |  | 270 | 1,44 | 0,053 |
| 110 | 2,40 | 0,060 |  | 275 | 1,43 | 0,053 |
| 115 | 2,34 | 0,060 |  | 280 | 1,42 | 0,053 |
| 120 | 2,29 | 0,059 |  | 285 | 1,41 | 0,053 |
| 125 | 2.23 | 0,058 |  | 290 | 1,40 | 0,053 |
| 130 | 2,18 | 0,058 |  | 295 | 1,40 | 0,054 |
| 135 | 2,14 | 0,058 |  | 300 | 1,39 | 0,054 |
| 140 | 2,09 | 0,057 |  | 305 | 1,38 | 0,054 |
| 145 | 2,04 | 0,056 |  | 310 | 1,37 | 0,054 |
| 150 | 2,00 | 0,056 |  | 315 | 1,37 | 0.055 |
| 155 | 1,96 | 0,056 |  | 320 | 1,36 | 0,055 |
| 160 | 1,92 | 0,055 |  | 325 | 1,35 | 0,055 |
| 165 | 1,89 | 0,055 |  | 330 | 1,35 | 0,055 |
| 170 | 1,85 | 0,054 |  | 335 | 1,34 | 0,055 |
| 175 | 1,82 | 0,054 |  | 340 | 1,33 | 0,055 |
| 180 | 1,79 | 0,054 |  | 345 | 1,33 | 0,056 |
| 185 | 1,76 | 0,054 |  | 350 | 1,32 | 0,056 |
| 190 | 1,73 | 0,053 |  | 355 | 1,31 | 0,056 |
| 195 | 1,70 | 0,053 |  | 360 | 1,31 | 0,056 |
| 200 | 1,68 | 0,053 |  | 365 | 1,30 | 0,056 |
| 205 | 1,65 | 0,053 |  | 370 | 1,29 | 0,056 |
| 210 | 1,63 | 0,053 |  | 375 | 1,28 | 0,056 |
| 215 | 1,61 | 0,053 |  | 380 | 1,28 | 0,057 |
| 220 | 1,59 | 0,053 |  | 385 | 1,27 | 0,057 |
| 225 | 1,57 | 0,052 |  | 390 | 1,26 | 0,057 |
| 230 | 1,55 | 0,052 |  | 395 | 1,25 | 0,057 |
| 235 | 1,53 | 0,052 |  | 400 | 1,24 | 0,057 |
| 240 | 1,52 | 0,052 |  | 405 | 1,23 | 0,057 |

Таблица 7 **–** Стандартные справочные данные о теплопроводности твердого раствора 0,3 NaLaS2 – 0,7 CaS

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 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 | 4,16 | 0,096 |  | 245 | 2,31 | 0,080 |
| 85 | 4,09 | 0,095 |  | 250 | 2,27 | 0,080 |
| 90 | 4,02 | 0,095 |  | 255 | 2,24 | 0,080 |
| 95 | 3,96 | 0,095 |  | 260 | 2,20 | 0,079 |
| 100 | 3,89 | 0,095 |  | 265 | 2,16 | 0.078 |
| 105 | 3,82 | 0,095 |  | 270 | 2,13 | 0,078 |
| 110 | 3,76 | 0,095 |  | 275 | 2,10 | 0,078 |
| 115 | 3,70 | 0,094 |  | 280 | 2,07 | 0,077 |
| 120 | 3,63 | 0,094 |  | 285 | 2,04 | 0.077 |
| 125 | 3,57 | 0,094 |  | 290 | 2,01 | 0,077 |
| 130 | 3,50 | 0,093 |  | 295 | 1,98 | 0,076 |
| 135 | 3,44 | 0,092 |  | 300 | 1,96 | 0,076 |
| 140 | 3,38 | 0,092 |  | 305 | 1,93 | 0,076 |
| 145 | 3,32 | 0,092 |  | 310 | 1,91 | 0,075 |
| 150 | 3,26 | 0,091 |  | 315 | 1,89 | 0,075 |
| 155 | 3,20 | 0,091 |  | 320 | 1,87 | 0,075 |
| 160 | 3,15 | 0,091 |  | 325 | 1,85 | 0,075 |
| 165 | 3,09 | 0,090 |  | 330 | 1,84 | 0,075 |
| 170 | 3,03 | 0,089 |  | 335 | 1,82 | 0,075 |
| 175 | 2,98 | 0,089 |  | 340 | 1,81 | 0,075 |
| 180 | 2,92 | 0,088 |  | 345 | 1,80 | 0,076 |
| 185 | 2,87 | 0,088 |  | 350 | 1,79 | 0,076 |
| 190 | 2,82 | 0,087 |  | 355 | 1,78 | 0,076 |
| 195 | 2,77 | 0,087 |  | 360 | 1,78 | 0,077 |
| 200 | 2,72 | 0,086 |  | 365 | 1,77 | 0,077 |
| 205 | 2,67 | 0,085 |  | 370 | 1,77 | 0,078 |
| 210 | 2,62 | 0,085 |  | 375 | 1,77 | 0,078 |
| 215 | 2,57 | 0,084 |  | 380 | 1,77 | 0,079 |
| 220 | 2,52 | 0,083 |  | 385 | 1,78 | 0.080 |
| 225 | 2,48 | 0,083 |  | 390 | 1,78 | 0,081 |
| 230 | 2,44 | 0,082 |  | 395 | 1,79 | 0,082 |
| 235 | 2,39 | 0,081 |  | 400 | 1,80 | 0,083 |
| 240 | 2,35 | 0,081 |  | 405 | 1,80 | 0,083 |

Таблица 8 **–** Стандартные справочные данные о теплопроводности твердого раствора 0,1 NaLaS2 – 0,9 CaS

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 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 | 4,91 | 0,112 |  | 245 | 3,19 | 0,111 |
| 85 | 4,83 | 0,112 |  | 250 | 3,16 | 0,111 |
| 90 | 4,76 | 0,113 |  | 255 | 3,13 | 0,111 |
| 95 | 4,68 | 0,113 |  | 260 | 3,10 | 0,111 |
| 100 | 4,61 | 0,113 |  | 265 | 3,08 | 0,112 |
| 105 | 4,54 | 0,113 |  | 270 | 3,06 | 0,112 |
| 110 | 4,48 | 0,113 |  | 275 | 3,03 | 0,112 |
| 115 | 4,41 | 0,113 |  | 280 | 3,01 | 0,112 |
| 120 | 4,35 | 0,113 |  | 285 | 2,99 | 0.113 |
| 125 | 4,28 | 0,112 |  | 290 | 2,97 | 0,113 |
| 130 | 4,22 | 0,112 |  | 295 | 2,95 | 0,113 |
| 135 | 4,16 | 0,112 |  | 300 | 2,93 | 0,114 |
| 140 | 4,10 | 0,112 |  | 305 | 2,91 | 0,114 |
| 145 | 4,05 | 0,112 |  | 310 | 2,90 | 0,114 |
| 150 | 3,99 | 0,112 |  | 315 | 2,88 | 0,115 |
| 155 | 3,94 | 0,112 |  | 320 | 2,87 | 0,115 |
| 160 | 3,88 | 0,112 |  | 325 | 2,86 | 0,116 |
| 165 | 3,83 | 0,111 |  | 330 | 2,85 | 0,117 |
| 170 | 3,78 | 0,111 |  | 335 | 2,84 | 0,117 |
| 175 | 3,73 | 0,111 |  | 340 | 2,83 | 0,118 |
| 180 | 3,69 | 0,111 |  | 345 | 2,82 | 0,118 |
| 185 | 3,64 | 0,111 |  | 350 | 2,81 | 0,119 |
| 190 | 3,60 | 0,111 |  | 355 | 2,81 | 0,120 |
| 195 | 3,55 | 0,111 |  | 360 | 2,80 | 0,121 |
| 200 | 3,51 | 0,111 |  | 365 | 2,80 | 0,122 |
| 205 | 3,47 | 0,111 |  | 370 | 2,79 | 0,122 |
| 210 | 3,43 | 0,111 |  | 375 | 2,79 | 0,123 |
| 215 | 3,39 | 0,111 |  | 380 | 2,79 | 0,124 |
| 220 | 3,36 | 0,111 |  | 385 | 2,79 | 0,125 |
| 225 | 3,32 | 0,111 |  | 390 | 2,79 | 0,126 |
| 230 | 3,28 | 0,111 |  | 395 | 2,79 | 0,127 |
| 235 | 3,25 | 0,111 |  | 400 | 2,79 | 0,128 |
| 240 | 3,22 | 0,111 |  | 405 | 2,80 | 0,130 |

**ПРИЛОЖЕНИЕ А**

**Таблицы отклонений первичных экспериментальных данных о коэффициенте теплопроводности от расчетных**

Таблица А.1 **–** Отклонение экспериментальных данных о теплопроводности NaLaS2 от рассчитанных по (4).

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| T,K | κэксп,  Вт∙м-1∙К-1 | κрасч,  Вт∙м-1∙К-1 | δκ, % |
| 81,39 | 2,13 | 2,113 | 0,78 |
| 83,87 | 2,14 | 2,084 | 0,75 |
| 84,28 | 2,10 | 2,079 | 0,98 |
| 85,18 | 2,08 | 2,069 | 0,53 |
| 87,78 | 2,05 | 2,039 | 0,52 |
| 92,48 | 1,98 | 1,987 | -0,36 |
| 97,77 | 1,92 | 1,931 | -0,58 |
| 98,78 | 1,90 | 1,921 | -1,09 |
| 108,39 | 1,81 | 1,826 | -0,89 |
| 119,44 | 1,71 | 1,727 | -1,01 |
| 123,18 | 1,68 | 1,696 | -0,95 |
| 130,80 | 1,62 | 1,636 | -0,98 |
| 136,74 | 1,58 | 1,592 | -0,77 |
| 143,80 | 1,53 | 1,544 | -0,89 |
| 151,30 | 1,50 | 1,496 | 0,28 |
| 160,81 | 1,44 | 1,441 | -0,06 |
| 163,94 | 1,42 | 1,424 | 0,06 |
| 168,80 | 1,40 | 1,399 | 0,05 |
| 171,03 | 1,40 | 1,388 | 0,83 |
| 174,82 | 1,38 | 1,370 | 0,69 |
| 178,61 | 1,35 | 1,353 | -0,25 |
| 189,86 | 1,31 | 1,308 | 0,18 |
| 199,66 | 1,28 | 1,273 | 0,52 |
| 205,93 | 1,26 | 1,254 | 0,50 |
| 213,74 | 1,24 | 1,232 | 0,65 |
| 221,16 | 1,22 | 1,214 | 0,50 |
| 236,51 | 1,20 | 1,182 | 1,05 |
| 239,23 | 1,19 | 1,178 | 1,02 |
| 252,87 | 1,16 | 1,158 | 0,17 |
| 260,48 | 1,15 | 1,149 | 0,08 |
| 268,55 | 1,14 | 1,141 | -0,10 |
| 276,41 | 1,14 | 1,135 | 0,46 |

*Окончание таблицы А.1*

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| 290,78 | 1,13 | 1,125 | 0,40 |
| 296,81 | 1,13 | 1,122 | 0,68 |
| 301,88 | 1,12 | 1,118 | 0,18 |
| 307,58 | 1,12 | 1,115 | 0,45 |
| 313,11 | 1,11 | 1,117 | -0,22 |
| 318,24 | 1,10 | 1,113 | -1,18 |
| 322,28 | 1,10 | 1,111 | -1,00 |
| 327,76 | 1,10 | 1,109 | -0,82 |
| 332,28 | 1,10 | 1,107 | -0,64 |
| 341,13 | 1,09 | 1,103 | -1,19 |
| 357,18 | 1,08 | 1,093 | -1,20 |
| 361,68 | 1,08 | 1,090 | -0,89 |
| 378,96 | 1,08 | 1,072 | 0,80 |
| 380,25 | 1,07 | 1,071 | -0,09 |
| 383,70 | 1,06 | 1,067 | -0,66 |
| 385,17 | 1,06 | 1,065 | -0,47 |
| 389,32 | 1,06 | 1,059 | 0,11 |
| 394,34 | 1,06 | 1,051 | 0,85 |
| 396,36 | 1,06 | 1,050 | 0,94 |
| 400,76 | 1,05 | 1,040 | 0,95 |
| 402,24 | 1,04 | 1,037 | 0,29 |

Таблица А.2 – Отклонение экспериментальных данных о теплопроводности 0,8 NaLaS2 – 0,2 CaS от рассчитанных по (5)

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| T,K | κэксп,  Вт∙м-1∙К-1 | κрасч,  Вт∙м-1∙К-1 | δκ, % |
| 81,52 | 2,27 | 2,249 | 0,91 |
| 83,91 | 2,24 | 2,220 | 0,90 |
| 85,82 | 2,21 | 2,196 | 0,61 |
| 89,04 | 2,16 | 2,158 | 0,08 |
| 91,88 | 2,12 | 2,125 | -0,26 |
| 95,10 | 2,09 | 2,089 | 0,04 |
| 98,03 | 2,05 | 2,057 | -0,33 |
| 101,19 | 2,02 | 2,023 | -0,14 |
| 106,69 | 1,95 | 1,966 | -0,83 |
| 111,51 | 1,91 | 1,918 | -0,45 |
| 115,09 | 1,87 | 1,884 | -0,78 |
| 122,07 | 1,81 | 1,821 | -0,63 |
| 126,12 | 1,78 | 1,787 | -0,37 |

*Окончание таблицы А.2*

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| 133,02 | 1,72 | 1,730 | -0,60 |
| 138,43 | 1,68 | 1,690 | -0,53 |
| 147,58 | 1,62 | 1,624 | -0,24 |
| 155,73 | 1,57 | 1,571 | -0,06 |
| 162,05 | 1,53 | 1,533 | -0,20 |
| 167,76 | 1,50 | 1,501 | -0,07 |
| 171,13 | 1,48 | 1,483 | -0,22 |
| 177,89 | 1,45 | 1,450 | 0 |
| 186,10 | 1,42 | 1,412 | 0,55 |
| 196,38 | 1,38 | 1,371 | 0,67 |
| 203,70 | 1,35 | 1,344 | 0,40 |
| 208,93 | 1,34 | 1,327 | 0,93 |
| 212,11 | 1,33 | 1,318 | 0,92 |
| 228,83 | 1,28 | 1,274 | 0,50 |
| 234,34 | 1,27 | 1,261 | 0,68 |
| 251,12 | 1,24 | 1,231 | 0,74 |
| 258,13 | 1,23 | 1,220 | 0,76 |
| 269,21 | 1,21 | 1,207 | 0,26 |
| 273,83 | 1,20 | 1,202 | -0,17 |
| 288,72 | 1,19 | 1,189 | 0,11 |
| 291,08 | 1,18 | 1,187 | -0,59 |
| 298,82 | 1,18 | 1,181 | -0,12 |
| 302,05 | 1,18 | 1,179 | 0,06 |
| 309,24 | 1,17 | 1,175 | -0,42 |
| 311,98 | 1,17 | 1,173 | -0,28 |
| 319,77 | 1,16 | 1,169 | -0,75 |
| 327,19 | 1,16 | 1,164 | -0,38 |
| 331,08 | 1,15 | 1,162 | -1,04 |
| 343,91 | 1,15 | 1,154 | -0,32 |
| 358,11 | 1,14 | 1,142 | -0,21 |
| 364,41 | 1,13 | 1,136 | -0,57 |
| 377,12 | 1,12 | 1,122 | -0,18 |
| 383,18 | 1,11 | 1,114 | -0,34 |
| 386,61 | 1,11 | 1,109 | 0,11 |
| 393,18 | 1,10 | 1,098 | 0,17 |
| 396,21 | 1,10 | 1,093 | 0,65 |
| 403,80 | 1,09 | 1,072 | 1,10 |

Tаблица А.3 – Отклонение экспериментальных данных о теплопроводности 0,6 NaLaS2 – 0,4 CaS от рассчитанных по (6)

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| T,K | κэксп,  Вт∙м-1∙К-1 | κрасч,  Вт∙м-1∙К-1 | δκ, % |
| 81,18 | 2,44 | 2,419 | 0,84 |
| 82,81 | 2,41 | 2,400 | 0,42 |
| 84,48 | 2,39 | 2,380 | 0,41 |
| 87,05 | 2,36 | 2,350 | 0,42 |
| 89,74 | 2,33 | 2,319 | 0,46 |
| 92,48 | 2,30 | 2,228 | 0,50 |
| 95,54 | 2,26 | 2,254 | 0,22 |
| 99,96 | 2,19 | 2,208 | -0,80 |
| 102,00 | 2,17 | 2,166 | -0,75 |
| 105,66 | 2,13 | 2,118 | -0,88 |
| 108,86 | 2,10 | 2,116 | -0,80 |
| 112,44 | 2,07 | 2,082 | -0,52 |
| 121,81 | 1,98 | 1,995 | -0,77 |
| 126,02 | 1,97 | 1,958 | 0.59 |
| 134,75 | 1,87 | 1,885 | -0,83 |
| 142,81 | 1,81 | 1,822 | -0,72 |
| 159,10 | 1,70 | 1,708 | -0,53 |
| 167,60 | 1,65 | 1,656 | -0,35 |
| 173,72 | 1,61 | 1,620 | -0,63 |
| 185,07 | 1,57 | 1,559 | 0,68 |
| 192,93 | 1,53 | 1,521 | 0,57 |
| 198,95 | 1,50 | 1,494 | 0,40 |
| 204,06 | 1,48 | 1,472 | 0,52 |
| 209,40 | 1,46 | 1,451 | 0.62 |
| 215,12 | 1,44 | 1,429 | 0,73 |
| 220,88 | 1,42 | 1,409 | 0,76 |
| 227,21 | 1,40 | 1,388 | 0,82 |
| 233,38 | 1,38 | 1,370 | 0,73 |
| 250,81 | 1,33 | 1,325 | 0,40 |
| 254,72 | 1,32 | 1,316 | 0,30 |
| 275,33 | 1,29 | 1,277 | 0,98 |
| 295,32 | 1,25 | 1,250 | 0 |
| 297,16 | 1,24 | 1,248 | -0,73 |
| 300,44 | 1,24 | 1,244 | -0,34 |
| 303,62 | 1,23 | 1,241 | -0,89 |
| 307,72 | 1,23 | 1,237 | -0,56 |
| 313,03 | 1,22 | 1,227 | -0,98 |
| 318,96 | 1,22 | 1,227 | -0,59 |

*Окончание таблицы А.3*

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| 326,94 | 1,21 | 1,221 | -0,91 |
| 331,59 | 1,21 | 1,218 | -0,66 |
| 346,74 | 1,20 | 1,208 | -0,67 |
| 354,36 | 1,20 | 1,204 | -0,35 |
| 358,97 | 1,19 | 1,202 | -1,01 |
| 367,83 | 1,19 | 1,197 | -0,59 |
| 378,14 | 1,19 | 1,191 | -0,05 |
| 382,46 | 1,18 | 1,188 | -0,68 |
| 391,19 | 1,18 | 1,182 | -0,17 |
| 395,12 | 1,18 | 1,179 | 0,08 |
| 398,85 | 1,18 | 1,177 | 0,25 |
| 404,37 | 1,18 | 1,172 | 0,68 |

Таблица А.4 **-** Отклонение экспериментальных данных о теплопроводности 0,5 NaLaS2 – 0,5 CaS от рассчитанных по (7)

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| T,K | κэксп,  Вт∙м-1∙К-1 | κрасч,  Вт∙м-1∙К-1 | δκ, % |
| 82,28 | 2,78 | 2,757 | 0,84 |
| 83,95 | 2,75 | 2,733 | 0,62 |
| 86,13 | 2,72 | 2,702 | 0,65 |
| 89,36 | 2,66 | 2,658 | 0,08 |
| 95,50 | 2,59 | 2,576 | 0,53 |
| 99,96 | 2,51 | 2,519 | -0,37 |
| 102,04 | 2,48 | 2,493 | -0,54 |
| 108,48 | 2,39 | 2,416 | -1,07 |
| 118,85 | 2,28 | 2,299 | -0,82 |
| 124,67 | 2,22 | 2,237 | -0,78 |
| 127,58 | 2,19 | 2,208 | -0,81 |
| 141,66 | 2,06 | 2,074 | -0,70 |
| 146,41 | 2,02 | 2,033 | -0,65 |
| 161,31 | 1,91 | 1,914 | -0,23 |
| 165,41 | 1,89 | 1,885 | 0,284 |
| 174,91 | 1,83 | 1,820 | 0,55 |
| 186,47 | 1,75 | 1,749 | 0,04 |
| 196,71 | 1,70 | 1,693 | 0,39 |
| 201,81 | 1,67 | 1,668 | 0,13 |
| 207,44 | 1,65 | 1,641 | 0,53 |
| 213,36 | 1,62 | 1,615 | 0,30 |
| 220,11 | 1,60 | 1,587 | 0,78 |
| 227,12 | 1,58 | 1,561 | 1,21 |

*Окончание таблицы А.4*

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| 237,93 | 1,53 | 1,524 | 0,38 |
| 249,33 | 1,50 | 1,480 | 0,66 |
| 253,22 | 1,49 | 1,480 | 0,66 |
| 266,27 | 1,46 | 1,449 | 0,77 |
| 278,92 | 1,43 | 1,423 | 0,50 |
| 288,49 | 1,41 | 1,406 | 0,30 |
| 299,66 | 1,38 | 1,388 | -0,57 |
| 303,81 | 1,37 | 1,382 | -0.86 |
| 308,36 | 1,37 | 1,375 | =0,38 |
| 313,86 | 1,36 | 1,368 | -0,57 |
| 319,58 | 1,35 | 1,360 | -0,75 |
| 328,67 | 1,34 | 1,348 | -0,63 |
| 340,16 | 1,32 | 1,334 | -1,06 |
| 346,66 | 1,32 | 1,326 | -0,43 |
| 360,38 | 1,30 | 1,307 | -0,56 |
| 367,14 | 1,29 | 1,297 | -0,58 |
| 378,12 | 1,28 | 1,280 | 0 |
| 381,88 | 1,27 | 1,274 | -0,31 |
| 386,41 | 1,27 | 1,266 | 0,32 |
| 401,06 | 1,25 | 1,237 | 1,04 |

Таблица А.5 – Отклонение экспериментальных данных о теплопроводности 0,3 NaLaS2 – 0,7 CaS от рассчитанных по (8)

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| T,K | κэксп,  Вт∙м-1∙К-1 | κрасч,  Вт∙м-1∙К-1 | δκ, % |
| 81,82 | 4,17 | 4,134 | 0,85 |
| 84,91 | 4,11 | 4,093 | 0,42 |
| 88,85 | 4,03 | 4,039 | -0,23 |
| 91,02 | 4,00 | 4,010 | -0,26 |
| 98,03 | 3,89 | 3,917 | -0,69 |
| 101,19 | 3,86 | 3,875 | -0,39 |
| 104,41 | 3,81 | 3,832 | -0,59 |
| 116,79 | 3,64 | 3,672 | -0,88 |
| 121,51 | 3,59 | 3,612 | -0,61 |
| 129,20 | 3,51 | 3,515 | -0,15 |
| 137,16 | 3,44 | 3,417 | 0,66 |
| 142,34 | 3,39 | 3,354 | 1,05 |
| 152,13 | 3,27 | 3,238 | 0,99 |
| 167,41 | 3,08 | 3,062 | 0,58 |
| 172,24 | 3,03 | 3,008 | 0,72 |

*Окончание таблицы А.5*

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| 182,21 | 2,92 | 2,900 | 0,69 |
| 191,61 | 2,81 | 2,801 | 0,32 |
| 202,27 | 2,71 | 2,694 | 0,81 |
| 208,43 | 2,63 | 2,633 | -0,19 |
| 217,58 | 2,55 | 2,547 | 0,10 |
| 221,15 | 2,51 | 2,515 | -0,19 |
| 227,32 | 2,45 | 2,460 | -0,40 |
| 235,11 | 2,37 | 2,393 | -0,97 |
| 243,32 | 2,31 | 2,326 | -0,68 |
| 247,76 | 2,27 | 2,29 | -0,91 |
| 253,33 | 2,23 | 2,248 | -0,81 |
| 263,78 | 2,16 | 2,172 | -0,58 |
| 269,61 | 2,12 | 2,133 | -0,61 |
| 276,38 | 2,08 | 2,089 | -0,45 |
| 283,70 | 2,03 | 2,045 | -0,74 |
| 291,12 | 1,99 | 2,003 | -0,66 |
| 303,89 | 1,93 | 1,939 | -0,45 |
| 308,39 | 1,91 | 1,918 | -0,43 |
| 314,34 | 1,90 | 1,893 | 0,36 |
| 319,83 | 1,89 | 1,872 | 0,95 |
| 325,11 | 1,87 | 1,854 | 0,88 |
| 338,34 | 1,83 | 1,815 | 0,82 |
| 344,37 | 1,82 | 1,801 | 1,02 |
| 351,18 | 1,80 | 1,789 | 0,62 |
| 358,51 | 1,79 | 1,779 | 0,62 |
| 368,20 | 1,79 | 1,772 | 1,02 |
| 372,90 | 1,79 | 1,771 | 1,08 |
| 379,18 | 1,78 | 1,772 | 0,46 |
| 388,51 | 1,78 | 1,779 | 0,07 |
| 392,21 | 1,78 | 1,783 | -0,19 |
| 398,03 | 1,78 | 1,793 | -0,73 |
| 401.94 | 1,78 | 1,800 | -1,12 |

Таблица А.6 – Отклонение экспериментальных данных о теплопроводности 0,1 NaLaS2 – 0,9 CaS от рассчитанных по (9)

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| T,K | κэксп,  Вт∙м-1∙К-1 | κрасч,  Вт∙м-1∙К-1 | δκ, % |
| 82,03 | 4,87 | 4,876 | -0,13 |
| 86,37 | 4,79 | 4,811 | -0,44 |
| 91,58 | 4,78 | 4,735 | 0,95 |
| 97,20 | 4,60 | 4,654 | -1,18 |

*Окончание таблицы А.6*

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| 102,98 | 4,56 | 4,574 | -0,30 |
| 108,25 | 4,48 | 4,502 | -0,49 |
| 116,50 | 4,39 | 4,392 | -0,06 |
| 122,76 | 4,31 | 4,313 | -0,06 |
| 129,63 | 4,25 | 4,228 | 0,52 |
| 135,93 | 4,19 | 4,152 | 0,90 |
| 144,96 | 4,08 | 4,048 | 0,79 |
| 153,15 | 4,00 | 3,957 | 1,07 |
| 162,78 | 3,89 | 3,855 | 0,89 |
| 174,52 | 3,75 | 3,738 | 0,30 |
| 182,37 | 3,67 | 3,664 | 0,15 |
| 188,01 | 3,58 | 3,613 | -0.94 |
| 194,06 | 3,56 | 3,561 | -0,02 |
| 201,18 | 3,50 | 3,501 | -0,02 |
| 207,92 | 3,43 | 3,447 | -0,49 |
| 214,30 | 3,38 | 3,398 | -0,52 |
| 224,91 | 3,31 | 3,321 | -0,32 |
| 232,84 | 3,27 | 3,267 | 0,09 |
| 246,41 | 3,16 | 3,188 | -0,88 |
| 248,22 | 3,15 | 3,171 | -0,68 |
| 253,85 | 3,12 | 3,139 | -0,62 |
| 261,52 | 3,08 | 3,098 | -0,58 |
| 267,36 | 3,05 | 3,068 | -0.60 |
| 278,10 | 3,01 | 3,018 | -0,27 |
| 284,19 | 2,97 | 2,992 | -0,74 |
| 298,83 | 2,96 | 2,936 | 0,80 |
| 302,07 | 2,94 | 2,925 | 0,51 |
| 305,81 | 2,92 | 2,913 | 0,24 |
| 310,08 | 2,91 | 2,900 | 0,36 |
| 316,95 | 2,89 | 2,880 | 0,35 |
| 327,54 | 2,86 | 2,853 | 0,22 |
| 349,46 | 2,84 | 2,814 | 0,93 |
| 356,30 | 2,83 | 2,805 | 0,88 |
| 362,73 | 2,82 | 2,799 | 0,76 |
| 373,52 | 2,81 | 2,792 | 0,66 |
| 377,55 | 2,80 | 2,790 | 0,36 |
| 381,50 | 2,78 | 2,789 | -0,31 |
| 385,90 | 2,78 | 2,789 | -0,31 |
| 390,40 | 2,77 | 2,789 | -0.69 |
| 396,30 | 2,77 | 2,791 | -0,75 |
| 402,22 | 2,77 | 2,794 | -0,85 |

**СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ**

1. Kumta P. N., Risbud S. H. Rare-earth chalcogenides — an emerging class of optical materials // Journal of materials science. 1994. Т. 29. №. 5. С. 1135–1158.
2. Isaaсs I.J., Hopkins R.H., Kramer W.E. Study of NaLaS2 as an Infrared Window Material // J. Electron. Mater. 1975. V. 4. N 6. P. 1181–1189.
3. Sato M., Adachi G., Shiokava J. Preparation and Structure of Sodium Rare-Earth Sulfides, NaLnS2 (Ln; Rare Earth Elements) // Mat. Res. Bull. 1984. V. 19. P. 1215–1220.
4. Li H., Li P., Zhang J., Tian L., Li H., Zhao J., Luo F. Powder preparation and high infrared performance of NaLaS2 transparent ceramics // Ceramics International (2017), <http://dx.doi.org/10.1016/j.ceramint.2017.09.120>.
5. Трушникова Л.Н., Камарзин А.А., Шелудякова Л.А., Дронова Г.Н., Соколов В.В., Кононова Н.Г., Бескровная Р.А. Совершенствование метода получения дисульфида натрия – лантана // В сб. Физика и химия редкоземельных полупроводников. Новосибирск: Наука. 1990. С. 150 –154.
6. Sokolov V.V., Kamarzin A.A., Trushnikova L.N., Savelyeva M.V. Optical Materials Containing rare earth Ln2S3 Sulfides // J. Alloys and Comp. 1995. V. 225. N 2. P. 567–570.
7. Li H., Ding W., Gu Z., Li H., Zhao J., Fu L. Preparation and infrared transmittance of NaLaS2 ceramics // Materials Letters. 2015. V. 156. P. 62– 64.
8. Morgan P.E.D., Koutsoutis M.S. Fused Salt Synthesis of Materials for IR Windows // Mat. Res. Bull. 1987. V. 22, P. 617–621.
9. Dronova G.N., Mironov I.A., Roze O.P., Kamarzin A.A., Sokolov V.V., Trushnikova L.N. Conditions for obtaining an optical ceramics based on solid solutions of NaLaS2 – CaS for the 8–14 μm spectral region // J. Opt. Technology. 1996. V. 63. N 3. P. 249–251.
10. Трушникова Л.Н., Савельева М.В, Соколов В.В., Потапова О.Г. Твердые растворы в системеNaLaS2 – CaS // V Всесоюзная конференция по физике и химии редкоземельных полупроводников. Саратов. Изд-во Саратовского университета. 1990. Ч. 2. С. 61.
11. Biswas K., Varadaraju U.V. Stabilization of γ–La2S3 by alkali metal ion doping // Mat. Res. Bull. 2007. P. 385–388.
12. Лугуев С.М., Лугуева Н.В., Исмаилов Ш.М., Соколов В.В. Теплофизические свойства твердых растворов системы NaLaS2 – CaS // Фазовые превращения в твердых растворах и сплавах. Труды Международного симпозиума ОМА–2002. Сочи, 2002. Ч.2. С. 11–14.
13. Luguev S.M., Lugueva N.V., and Sokolov V.V. The thermal conductivity of NaLaS2 – CaS solid solutions // High Temp.–High Press. 2010. V. 39. N 1. P. 33–41.
14. Li P., Jie W., Li H. Infrared transmission of Na+–doped γ–La2S3 ceramics densified by hot pressing // J. Phys. D: Appl. Phys. 2011. V. 44. 095402 (5pp).
15. High Performance Pigments. Ed. by Faulkner E.B., Schwartz Z.R.J. 2009. 538 p.
16. Chopin T., Dupuis D. Rare earth metal sulfide pigment composition // Patent US 5401309. 1995.
17. Perrin M.-A., Wimmer E. Color of pure and alkali-doped cerium sulfide. A local- density-functional study // Phys. Rev. B. 1996. V. 54. N 4. P. 2428–2435.
18. Aubert M., Macandiere P. Rare-earth and alkali sulphide, method for preparing same and use as a pigment // Patent US 6221473 B1. 1996.
19. Romero S., Mosset A., Trombe J.C. Study of some ternary and quaternary systems based on γ–Ce2S3 using oxalate complexes stabilization and coloration // J. Alloys and Comp. 1998. V. 269. N 1–2. P. 98–106.
20. Vasilyeva I.G., Ayupov B.M., Vlasov V.V., Malakhov V.V. Macaudiere P., Maestro P. Color and chemical heterogeneities of γ–[Na]–Ce2S3 solid solutions // J. Alloys and Comp. 1998. V. 268. N 1. P. 72–77.
21. Kalarical J. S., Nair B. U., Thirumalahan R. Process for preparation of inorganic colorants from mixed rare earth compounds // Patent US 7279036 B2. 2007.
22. Chen G., Zhu Z., Lin H., Wu Y., Zhu Ch. Preparation of SiO2 coated Ce2S3 red pigment with improved thermal stability // J. of Rare Earth. 2013. V. 31. N 9. P. 891–896.
23. Reddy M.L. Preparation of green colorant from mixed rare earth and molybdenum compounds and process of surface coating thereof // Patent US 9240842 B2. 2016.
24. Лугуева Н.В., Дронова Г.Н., Лугуев С.М., Наумова И.А. Теплопроводность оптической керамики из NaLaS2 // ОМП. 1987. № 3. С. 29–30.
25. Лугуев С.М., Лугуева Н.В., Соколов В.В. Теплопроводность твердых растворов системы NaLaS2 – CaS // Доклады VI Международной конференции “Прикладная оптика – 2004”. С.-Петербург, 2004. Т. 2. С. 89–92.
26. 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.
27. Охотин А.С., Пушкарский А.С., Горбачев В.С. Теплофизические свойства полупроводников. М.: Атомиздат. 1972. 200 c.
28. Теплопроводность твердых тел. М.: Энергоатомиздат. 1984. 321 c.
29. 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.: М., 2014. 30 с. : Ил. – 5; Табл. – 3; Библиогр. назв. 31. – рус. 27 назв. Деп. в ФГУП “СТАНДАРТИНФОРМ” 31.03.2014, № 912а-2014кк.
30. Genzel L.Der Anteil der Wärmestrahlung bei Wärmeleitungsvorgängen // Zeitschrift für Physik. 1953. V. 135. №. 2. S. 177.
31. Сергеев О.А. Метрологические основы теплофизических измерений. М.: Издательство стандартов, 1979. 156 с.
32. ГОСТ Р 54500.3 – 2011/ Руководство ИСО/МЭК 98–3: 2008 Неопределенность измерения. Часть 3. Руководство по выражению неопределенности измерения.