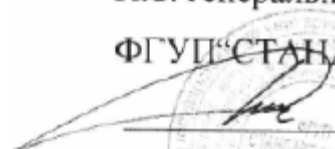
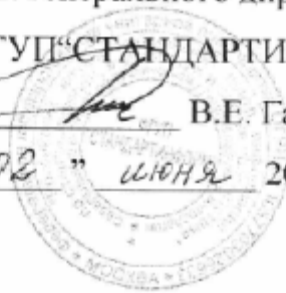


**ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО  
ПО ТЕХНИЧЕСКОМУ РЕГУЛИРОВАНИЮ И МЕТРОЛОГИИ**

**ГОСУДАРСТВЕННАЯ СЛУЖБА  
СТАНДАРТНЫХ СПРАВОЧНЫХ ДАННЫХ  
(ГСССД)**

Разрешаю на депонирование  
И.о. генерального директора  
ФГУП «СТАНДАРТИНФОРМ»

  
В.Е. Галкин  
“02” июня 2011 г.  


УДК [621.317.335.3]:537.226.2 [08]

**ТАБЛИЦЫ СТАНДАРТНЫХ СПРАВОЧНЫХ ДАННЫХ**

**ГСССД 278 – 2011**

**ГРАНАТ ИТТРИЙ - АЛЮМИНИЕВЫЙ  
ОТНОСИТЕЛЬНАЯ ДИЭЛЕКТРИЧЕСКАЯ  
ПРОНИЦАЕМОСТЬ В ДИАПАЗОНЕ  
ТЕМПЕРАТУР 77...373 К**

**(ОКОНЧАТЕЛЬНАЯ РЕДАКЦИЯ, тема RU.3.001-2013)**

Москва – 2011

РАЗРАБОТАНЫ ФГУП «САНДАРТИНФОРМ» (ПНС-2010, тема 3.17.180-4.002.10) с участием Федерального государственного унитарного предприятия «Всероссийский научно-исследовательский институт физико-технических и радиотехнических измерений» Восточно-Сибирский филиал»

АВТОРЫ: канд. техн. наук В.Н. Егоров, М.В. Кащенко, В.Л. Масалов, Е.Ю. Токарева

ОДОБРЕНЫ экспертной комиссией в составе:

канд. техн. наук В. В. Костромина, канд. физ.–мат. наук В. И. Суслева, канд. физ.–мат. наук Г. Г. Гаджиева, канд. техн. наук П. В. Попов

ПОДГОТОВЛЕНЫ к утверждению Российским научно-техническим центром информации по стандартизации, метрологии и оценке соответствия (ФГУП «САНДАРТИНФОРМ»)

УТВЕРЖДЕНЫ Федеральным агентством по техническому регулированию и метрологии **02 июня 2011 г. (протокол № 7д.)**

УДК [621.317.335.3]:537.226.2 [08]

**ГОСУДАРСТВЕННАЯ СЛУЖБА  
СТАНДАРТНЫХ СПРАВОЧНЫХ ДАННЫХ**

---

**Таблицы стандартных справочных данных**

ГРАНАТ ИТТРИЙ - АЛЮМИНИЕВЫЙ	ГСССД
ОТНОСИТЕЛЬНАЯ ДИЭЛЕКТРИЧЕСКАЯ	<b>278-2011</b>
ПРОНИЦАЕМОСТЬ В ДИАПАЗОНЕ	
ТЕМПЕРАТУР 77...373 К	

**Tables of standard reference data**

GARNET YTTRIUM – ALUMINIUM	GSSSD
THE RELATIVE PERMITTIVITY IN THE	<b>278-2011</b>
TEMPERATURE RANGE 77 K...373 K	

---

## ДЕПОНИРОВАННАЯ РУКОПИСЬ

УДК [621.317.335.3]:537.226.2 [08]

Таблицы стандартных справочных данных ГСССД 278 – 2011.

Гранат иттрий - алюминиевый. Относительная диэлектрическая проницаемость в диапазоне температур 77...373 К / В.Н. Егоров, М.В. Кащенко, В.Л. Маслов, Е.Ю. Токарева. Росс. научно-техн. центр информации по стандартизации, метрологии и оценке соответствия. М., 2011. – 11 с. Ил. – Библиогр. 6 назв. Рус. 4 назв. Деп. в ФГУП “СТАНДАРТИНФОРМ” 02.06.2011 г., № 870-2011 кк.

Таблицы содержат стандартные справочные данные относительной диэлектрической проницаемости монокристалла  $Y_3Al_5O_5$  -граната иттрий-алюминиевого (YAG) в диапазоне температур от 77 К до 373 К. Измерения проведены методом металлодиэлектрического резонатора на частоте 7,5 ГГц. При расчете значений относительной проницаемости учитывалось изменение размеров образца с температурой. Данные приведены через 10 К. Расширенная неопределённость данных не более 0,2 % при коэффициенте охвата  $k=2$  и доверительной вероятности 0,95.

Авторы: \_\_\_\_\_ В.Н. Егоров  
\_\_\_\_\_ М.В. Кащенко  
\_\_\_\_\_ В.Л. Маслов  
\_\_\_\_\_ Е.Ю. Токарева

## ВВЕДЕНИЕ

Настоящие таблицы содержат стандартные справочные данные значений относительной диэлектрической проницаемости ( $\varepsilon$ ) иттрий-алюминиевого граната ( $Y_3Al_5O_{12}$ ) в диапазоне температур от 77 К до 373 К.

Кристаллы иттрий-алюминиевого граната имеют кубическую симметрию и изотропные диэлектрические и другие свойства. Высокое совершенство кристаллической решетки иттрий-алюминиевого граната приводит к воспроизводимости его свойств при выращивании различными методами в условиях различных изготовителей, а высокая твердость и химическая стойкость - к стабильности свойств во времени. Благодаря этим свойствам, высокой прозрачности и малым диэлектрическим потерям, иттрий-алюминиевый гранат используется для изготовления оптических деталей (призмы, линзы, окна, подложки для эпитаксиального осаждения и т.д.), подложек для СВЧ микросхем, диэлектрических резонаторов, в том числе охлаждаемых до криогенных температур. Активированный иттрий-алюминиевый гранат используется в лазерной технике для изготовления лазерных активных элементов. При проектировании устройств с элементами из иттрий-алюминиевого граната необходимы точные данные о его диэлектрической проницаемости при различных температурах.

### 1 Метод получения данных

Требования на кристаллы иттрий-алюминиевого граната, из которых изготовлены образцы для получения данных по относительной диэлектрической проницаемости, изложены в технических условиях ТУ 4492-005-51969300-2003 «Заготовки из монокристаллов иттрий-алюминиевого граната (YAG)».

Стандартные справочные данные получены путем обработки результатов выполненных измерений и анализа литературных данных по относительной диэлектрической проницаемости иттрий-алюминиевого граната.

В диапазоне температуре от 77 К до 373 К измерения  $\varepsilon$  проводились методом металлодиэлектрического резонатора (МДР) на частоте 7,5 ГГц (тип колебаний  $H_{021}$ ) в соответствии с ИЕС 61338 1-3 [1], ГОСТ Р 8.623-2006 [2]. Диэлектрическая проницаемость относительно вакуума рассчитывалась по формуле

$$\varepsilon = \left( \frac{c}{2\pi f} \right)^2 \left[ \left( \frac{u(y)}{a} \right)^2 + h^2 \right], \quad (1)$$

где  $u(y)$  находилось из уравнения для спектра резонансных частот  $H_{0mp}$  - колебаний МДР:

$$\frac{J_1(u(y))}{u(y)J_0(u(y))} + \frac{K_1(y)}{yK_0(y)} = 0, \quad (2)$$

в котором  $y = 2\pi a \sqrt{(p/2L)^2 - (f/c)^2 \varepsilon_e}$ ;

$f$  – резонансная частота (Гц);

$c$  – скорость света в вакууме ( $c = 299,792458 \cdot 10^{11}$  мм/с);

$a = D/2$  – радиус образца (мм);

$D$  – диаметр образца (мм);

$L$  – высота образца (мм);

$\varepsilon_e$  – относительная диэлектрическая проницаемость окружающего воздуха;

$p = 1, 2, 3, \dots$  – продольный индекс колебания;

$J_n, K_n$  – функции Бесселя и Макдональда  $n$ -го порядка ( $n = 0; 1$ ).

Исходными данными для расчета  $\varepsilon$  из уравнения (1) являются: геометрические размеры образца  $D, L$ , проницаемость окружающей среды  $\varepsilon_e$  и набор экспериментальных резонансных частот  $f$  колебаний  $H_{0mp}$  с идентифицированными индексами  $m, p$ . Корни  $u_e$  (2) находятся в интервалах  $v_{0m} \leq u_e \leq v_{1m}$ , где  $v_{0m}, v_{1m}$  –  $m$ -ые корни функций  $J_0(u), J_1(u)$ . В измеряемом образце сосредоточено не менее 80-90 % полной энергии резонатора, поэтому влияние окружающей атмосферы на его резонансные частоты незначительно. Отклонение  $\varepsilon_e$  в интервале температур от значения 1,00058 при нормальных условиях учитывается расчетным путем.

Монокристалл иттрий-алюминиевого граната выращен методом направленной кристаллизации в НПФ «Экситон» (г. Ставрополь). Из монокристалла изготовлен цилиндрический образец диаметром 24,988 мм, высотой 14,788 мм. Допуски плоскостности и параллельности торцевых поверхностей образца не более 2 мкм, допуск перпендикулярности боковой поверхности к торцевой не более 5 мкм (ГОСТ 24643-81). Качество обработки поверхностей – параметр  $R_a = 0,025$  мкм (ГОСТ 2789-73). Диаметр образца измерен микрометром рычажным МР 25 с погрешностью  $\pm 3$  мкм, высота образца измерителем линейных размеров TESA-μНТЕ с погрешностью  $\pm 1$  мкм. Образец не имел окраски, видимых внутренних дефектов, включений и сколов на поверхностях.

Образец зажимался между двумя плоскими полированными медными зеркалами диаметром 90 мм. Возбуждение  $H_{0mp}$ -колебаний осуществлялось по цилиндрической поверхности отрезками полужесткого коаксиального кабеля с петлей на конце и возможностью регулировки связи резонатора с трактом. С целью исключения неконтролируемых

механических напряжений при измерениях в широком диапазоне температур, зеркала выполнены «плавающими» и подпружинены.

Резонатор включался в коаксиальный тракт измерителя модуля коэффициента передачи Р2М-18 по проходной схеме и возбуждался на частоте 7,5 ГГц. Связь резонатора с трактом регулировалась и устанавливалась малой (коэффициенты связи  $\beta_{1,2} < 0,016$ ). Для получения данных в диапазоне температур резонатор помещался в термостат ТК-500. Измерение температуры резонатора осуществлялось термпарным термометром «Center-302» с погрешностью  $\pm 1$  К. При определении  $\varepsilon$  учитывалось изменение размеров образца в исследуемом диапазоне температур по данным, взятым из [3].

В приложении А приведены литературные данные значений относительной диэлектрической проницаемости иттрий-алюминиевого граната [4-6].

## 2 Стандартные справочные данные

В таблице приведены стандартные справочные данные значений относительной диэлектрической проницаемости иттрий-алюминиевого граната в диапазоне температур от 77 К до 373 К.

Значения относительной диэлектрической проницаемости  
иттрий-алюминиевого граната в диапазоне температур от 77 К до 373 К

$T, \text{ К}$	$\varepsilon$	$T, \text{ К}$	$\varepsilon$
77	10,436	233	10,536
83	10,438	243	10,545
93	10,441	253	10,554
103	10,445	263	10,564
113	10,449	273	10,574
123	10,454	283	10,584
133	10,460	293	10,594
143	10,466	303	10,604
153	10,472	313	10,614
163	10,479	323	10,624
173	10,486	333	10,634
183	10,493	343	10,644
193	10,501	353	10,654
203	10,509	363	10,664
213	10,518	373	10,674
223	10,527		

Расширенная неопределённость данных не более 0,2 % при коэффициенте охвата  $k=2$  и доверительной вероятности 0,95 во всем диапазоне температур.



## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. IEC 61338 1-3 Waveguide type dielectric resonators - Part 1-3: General information and test condition. Measurement method of complex relative permittivity for dielectric resonator materials at microwave frequency.
2. ГОСТ Р 8.623-2006 Относительная диэлектрическая проницаемость и тангенс угла диэлектрических потерь твердых диэлектриков. Методики выполнения измерений в диапазоне сверхвысоких частот.
3. Акустические кристаллы. Справочник. Блистанов А.А., Бондаренко В.С., Чкалова В.В. и др./ Под ред. М.П. Шаскольской. М.: Наука. Главная редакция физико-математической литературы. 1982.
4. А.П. Андреев, С.Ф. Ахметов, А.Г. Давыдченко, С.В. Колодиева, А.А. Фотченков. Диэлектрическая проницаемость монокристаллов иттриево-алюминиевого и редкоземельного алюминиевого граната в диапазоне частот  $10^2$ - $10^9$  Гц// ФТТ. 1985. Т. 27, вып.5. С. 1592.
5. J. Krupka, K. Derzakowski, M. Tobar, J. Hertnett and R.G. Geyer. Complex permittivity of some ultralow loss dielectric crystals at cryogenic temperatures// Meas. Sci. Technol. 1999. V. 10. P. 387.
6. Р.Ф. Кулагин, Я Дойчилович. Структурные и радиационные центры окраски и диэлектрические свойства примесных кристаллов алюмоиттриевого граната // ФТТ. 2007. Т. 49, вып.2. С. 234.

## ПРИЛОЖЕНИЕ А

### Литературные данные по относительной диэлектрической проницаемости иттрий-алюминиевого граната

Автор (год публикации)	Литературный источник	$\varepsilon$	$\Delta\varepsilon$	$T$ , К	$f$ , Гц
А.П. Андреев и др. (1985)	[4]	10,98	0,1	293	$3,3 \cdot 10^9$
J. Krupka et.al. (1999)	[5]	10,60 10,40	0,01 0,01	300 50	$20,2 \cdot 10^9$
Н.А. Кулагин, Я. Дойчилович (2007)	[6]	10,75 10,60	0,01 0,01	200 50	$10^6$