



Пьезоэлектрические и сцинтилляционные монокристаллы российского производства

А.Н. Забелин

С.А. Сахаров, О.А. Бузанов

ОАО «Фомос-Материалс»



Производство синтетических пьезоматериалов – от СССР до наших дней



Организация	Расположе ние	Материалы	Статус
ФГУП ВНИИСИМС	Александров, Владимирская обл.	Пьезокварц, ЛГС	✗
Южно-Уральский завод «Кристалл»	Южно-Уральск, Челябинская обл.	Пьезокварц	✓
БЗТХИ	Богородицк, Тульская обл.	НЛ, ТЛ, сцинтилляционные кристаллы	✗
Импульс	Черкассы, Украина	НЛ	✗
СЕВЕРНЫЕ КРИСТАЛЛЫ	Апатиты, Мурманская обл.	НЛ, сцинтилляционные кристаллы	✗
ПЬЕЗО-КВАРЦ	Кузнецк Пензенская обл.	Пьезокварц	✗
Сергачский электромеханический завод	Сергач, Нижегородская обл.	НЛ, ТЛ	✗

История предприятия берет начало в 1985 году с первого выращенного кристалла ЛГС и последующего изучения его свойств.

- ▶ **1991 год** – образовано ТОО «Фомос»
- ▶ **2001 год** – предприятие преобразовано в ОАО «Фомос-Материалс»

ОАО «Фомос-Материалс» – производственная предприятие, работающее на рынке синтетических монокристаллов и изделий из них.

- ▶ Компания экспортирует продукцию в Японию, Корею, США, Канаду и страны ЕС
- ▶ За более чем 30 лет проведено огромное количество научно-исследовательских работ для создания технологии производства пьезоэлектрических кристаллов с заданными свойствами
- ▶ Опубликовано более 100 статей, получено 16 патентов
- ▶ СМК предприятия аттестована по стандарту ISO 9001:2015

1985

2018



О нас

Основные направления деятельности предприятия

- ▶ **Синтетические монокристаллы:**

- ▶ 1. *Группа галогерманатов (пьезоэлектрики):*

- ▶ ЛГС ($\text{La}_3\text{Ga}_5\text{SiO}_{14}$)
- ▶ ЛГТ ($\text{La}_3\text{Ga}_5\text{Ta}_{0.5}\text{O}_{14}$)
- ▶ КТГС ($\text{Ca}_3\text{TaGa}_3\text{Si}_2\text{O}_{14}$)

- ▶ 2. *Сегнетоэлектрические пьезоэлектрики:*

- ▶ Ниобат лития (LiNbO_3)
- ▶ Танталат лития (LiTaO_3)

- ▶ 3. *Сцинтилляционные монокристаллы*

- ▶ Молибдат кальция ($^{40}\text{Ca}^{100}\text{MoO}_4$)
- ▶ Молибдат лития (Li_2MoO_4)
- ▶ Галлий-гадолиний-алюминиевый гранат ($\text{Gd}_3\text{Ga}_3\text{Al}_2\text{O}_{12}:\text{Ce}$)

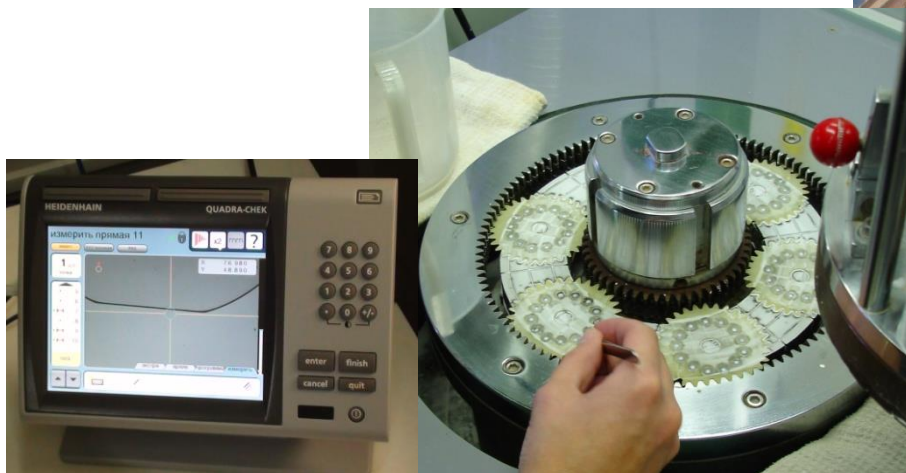
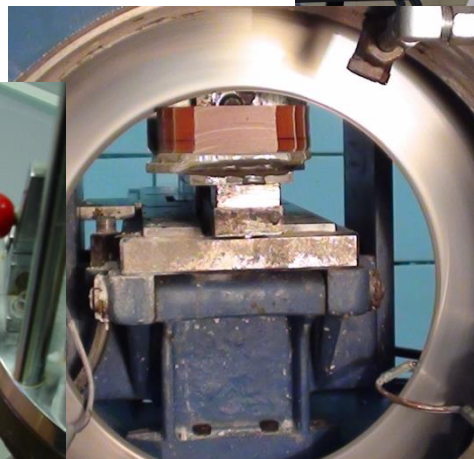
▶



Пьезоэлектрические кристаллы и элементы - производство

► Предприятие полного производственного цикла

- *Синтез исходной шихты*
- *Выращивание монокристаллов*
- *Ориентированная резка, шлифовка, полировка, напыление электродных покрытий*
- *СМК ISO 9001:2015*

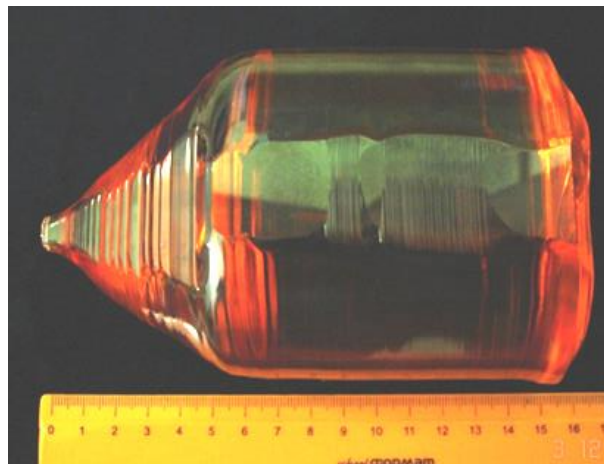


Пьезоэлектрические кристаллы - производство



► Кристалл лангасита ($\text{La}_3\text{Ga}_5\text{SiO}_{14}$)

► Кристалл лангатата ($\text{La}_3\text{Ga}_5\text{Ta}_{0.5}\text{O}_{14}$)



► Кристалл CTGS ($\text{Ca}_3\text{TaGa}_3\text{Si}_2\text{O}_{14}$)

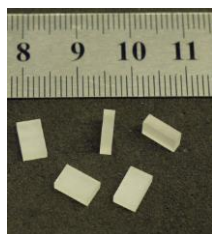
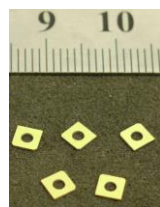
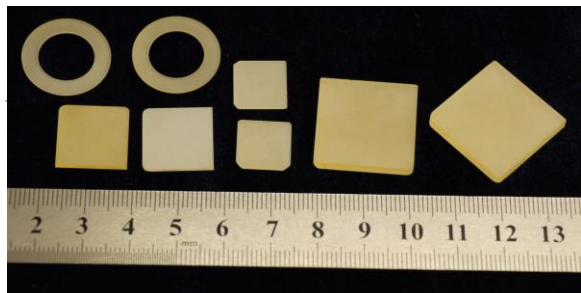


Пьезоэлектрические элементы - производство

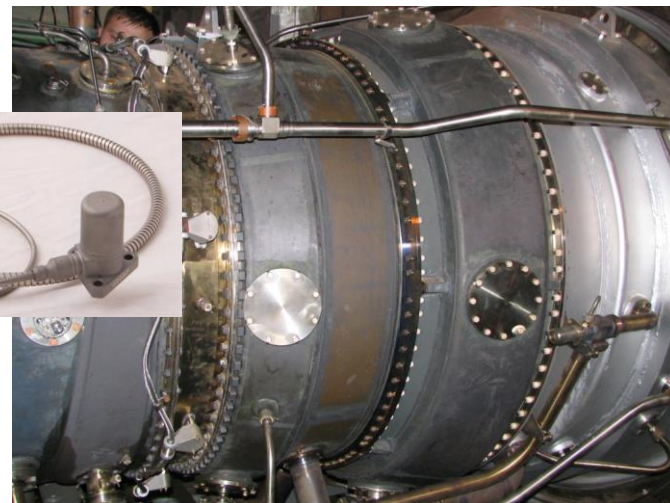
- ▶ *Пьезоэлектрические подложки и элементы
различной кристаллографической ориентации*



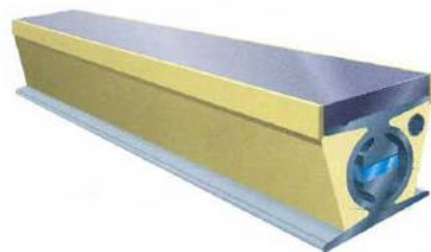
Пьезоэлектрические кристаллы - применения



ВТ датчик
вибрации



Датчик WIM



Беспроводный
датчик
температуры



Коэффициент преобразования, пКл·с ² /м (пКл/g)		1,0 (9,81)
Отклонение коэфф. преобразования от номинального значения, %		± 5
Частотный диапазон с неравномерностью частотной характеристики ± 15 %, Гц		1 - 5000
Относительный коэффициент поперечного преобразования, % не более		5
Нелинейность амплитудной характеристики в диапазоне от 0,1 до 5000 м/с ² (500 g), %		± 3
Частота установочного резонанса, кГц, не менее		13
Температурная погрешность в рабочем диапазоне -60°C... 650°C, %	от минус 60 до 20 °C	± 10
	от 20 до 650 °C	± 15
Средняя наработка на отказ, ч, не менее		5000
Срок службы, лет, не менее		15

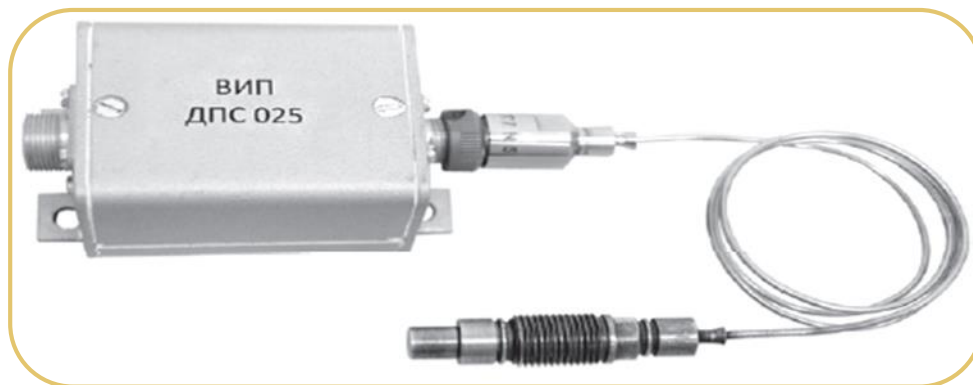
Датчики применяются для непрерывного и длительного контроля вибрационного состояния машин и механизмов в процессе эксплуатации их в энергетике, машиностроении и других отраслях промышленности и предназначены для установки в зонах повышенной температуры до 650°C



ТЕХНИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ

Диапазон измерений быстропеременных давлений	МПа	0,12-5,6
Частотный диапазон	Гц	20-20000
Основная погрешность	%	±(4-6)
Нормированный выходной сигнал	В	±6
Вибрационные ускорения	м/с ²	5000
Виброэквивалент, не более	Па/м·с ⁻²	25
Температура измеряемой среды	°С	-196/+800
Назначенный ресурс	ч	50
Срок службы	лет	5
Масса, не более	кг	0,15

Датчики предназначены для контроля, измерений и диагностики динамических характеристик ракетных и авиационных двигателей, нефте- и газопроводов

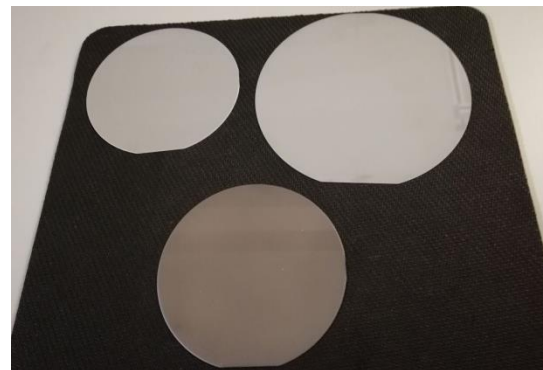
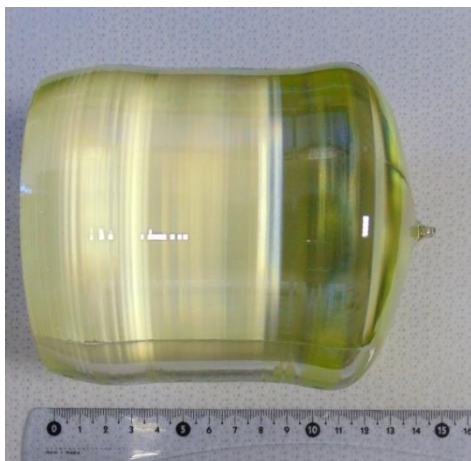


Восстановлено производство монокристаллов ниобата и танталата лития в России

- ▶ В рамках выполнения ОРК по ГК № 16411.4432017.11.075 от 16.11.2016г. между ООО «БУТИС» (головной исполнитель) и Министерством промышленности и торговли РФ в целях обеспечения мероприятий государственной программы «Развитие оборонно-промышленного комплекса» предприятием выполнена СЧ ОКР **«Разработка и освоение серийного производства пьезоэлектрических пластин ниобата лития и танталата лития»**
- ▶ В рамках выполнения СЧ ОКР разработаны технологии выращивания кристаллов ниобата и танталата лития и изготовления пьезоэлектрических подложек для ПАВ применений. Выпущены ТУ на подложки ниобата лития и танталата лития.



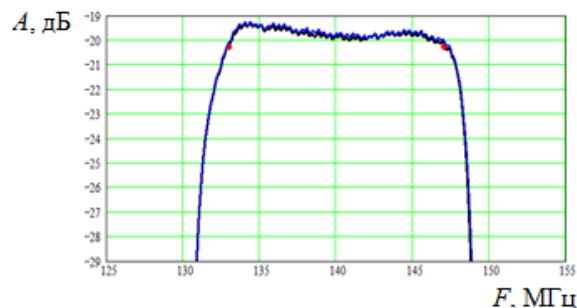
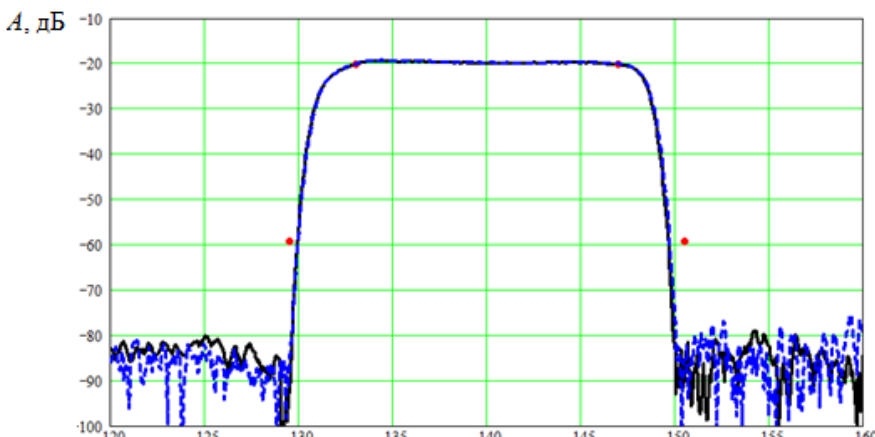
Пьезоэлектрические кристаллы - производство ▶ *Ниобат лития (LiNbO_3)*



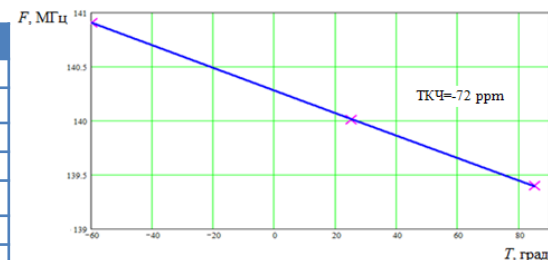
Характеристики пластин

Диаметр, мм			76,2±0,25	
			100,0±0,5	
Угол среза пластины				
64°Y-X	Y-Z	128°Y-X	41°Y-X	36°Y-X
Скорость ПАВ, м/сек				
4680±5	3488±5	3980±5	4750±5	4754±5
Сопротивление НЛ, Ом				
1x10 ¹⁰ -4x10 ¹²				
Сопротивление черного НЛ, Ом				
1x10 ⁸ -1x10 ¹⁰				

Сравнение параметров ПАВ-фильтра ($f_{ном}=140$ МГц) на основе стандартных пластин ниобата лития ориентации $128^\circ Y-X$ производства ОАО «Фомос-материалс» и «YAMAJU CERAMICS CO.LTD», Япония



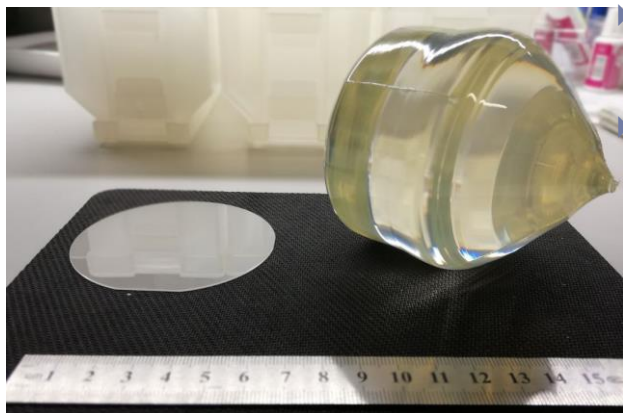
Температурные испытания фильтров



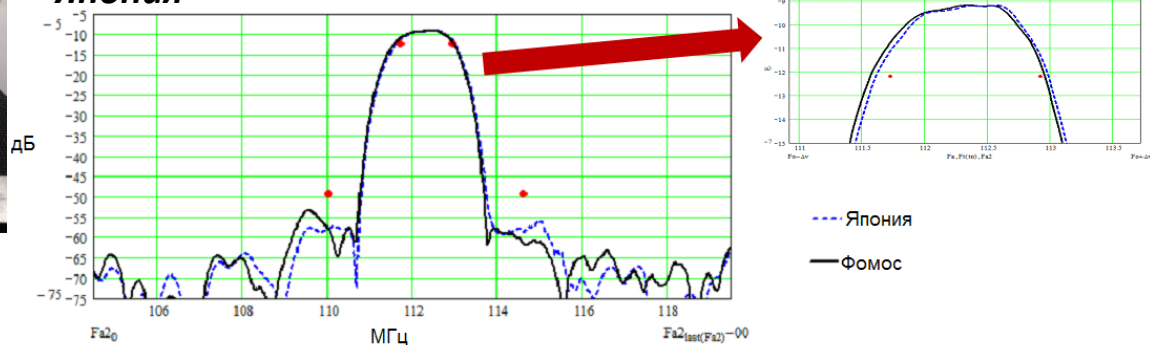
Параметры фильтров						
№ образца	1	2	3	4	5	6
Вносимое затухание, дБ						
«Фомос»	-19,2	-19,3	-19,7	-19,7	-19,6	-19,9
Япония	-19,2	-19,3	-19,2	-19,2	-19,2	-19,9
Средняя частота по уровню -3 дБ, МГц						
«Фомос»	140,05	140,05	140,21	140,21	140,22	140,18
Япония	140,14	140,03	140,05	140,19	140,03	140,16
Полоса пропускания по уровню -3 дБ						
«Фомос»	16,25	16,27	16,41	16,4	16,35	16,4
Япония	16,32	16,24	16,29	16,32	16,23	16,34
Неравномерность АЧХ в полосе пропускания, дБ						
«Фомос»	0,87	0,84	0,93	0,95	1,03	0,88
Япония	0,95	0,89	0,82	1,01	0,87	0,96
Гарантированное затухание слева от полосы пропускания, дБ						
«Фомос»	-60,3	-61,1	-59,4	-61,1	-60,8	-59,8
Япония	-61,5	-61,2	-63,4	63,5	-62,5	-64,6
Гарантированное затухание справа от полосы пропускания, дБ						
«Фомос»	-49,7	-50,2	-50,2	-49	-46,2	-47,2
Япония	58,6	-58,3	-59,6	-59,8	-59,4	-59,5
Неравномерность группового времени запаздывания в полосе пропускания, нс						
«Фомос»	54	52,78	47,42	54,85	48,7	47,46
Япония	55,43	53,43	60,27	54,72	59,28	54,93

Фильтры изготовлены на научно-производственном предприятии ООО «БУТИС» в рамках государственному контракта №16411.4432017.11.075

Пьезоэлектрические кристаллы - производство ▶ *Танталат лития (LiTaO_3)*

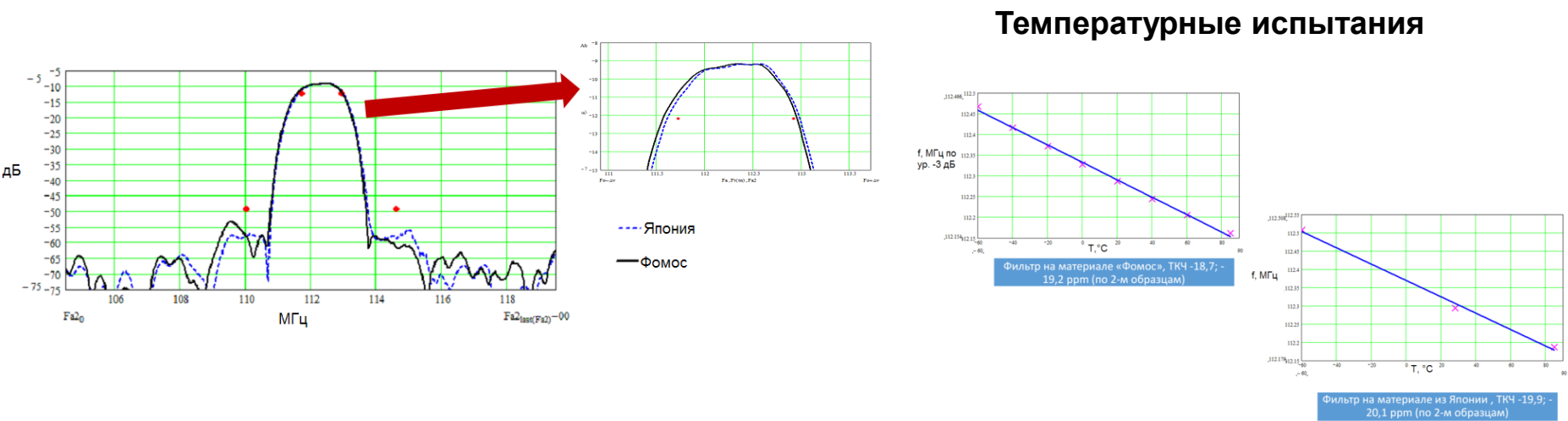


Сравнение параметров ПАВ-фильтра ($f_{\text{ном}}=112$ МГц) на основе пластин танталата лития ориентации X-112Y производства
ОАО «Фомос-материалс» и «YAMAJU CERAMICS CO.LTD», Япония



Параметры фильтров				
№ образца	1	2	3	4
Вносимое затухание, дБ				
«Фомос»	-9,17	-9,32	-9,1	-9,09
Япония	-9,17	-9,22	-9,21	-9,22
Средняя частота, МГц				
«Фомос»	112,26	112,25	112,26	112,25
Япония	112,3	112,29	112,29	112,3
Полоса по уровню -3 дБ				
«Фомос»	1,39	1,38	1,39	1,38
Япония	1,37	1,37	1,37	1,37
Коэффициент прямоугольности -40дБ/-3дБ				
«Фомос»	2,1	2,1	2,1	2,1
Япония	2,14	2,15	2,15	2,16

Сравнение параметров ПАВ-фильтра (fном=112 МГц) на основе пластин танталата лития ориентации Х-112Y производства ОАО «Фомос-материалс» и «YAMAJU CERAMICS CO.LTD», Япония



Параметры фильтров				
№ образца	1	2	3	4
Вносимое затухание, дБ				
«Фомос»	-9,17	-9,32	-9,1	-9,09
Япония	-9,17	-9,22	-9,21	-9,22
Средняя частота, МГц				
«Фомос»	112,26	112,25	112,26	112,25
Япония	112,3	112,29	112,29	112,3
Полоса по уровню -3 дБ				
«Фомос»	1,39	1,38	1,39	1,38
Япония	1,37	1,37	1,37	1,37
Коэффициент прямоугольности -40дБ/-3дБ				
«Фомос»	2,1	2,1	2,1	2,1
Япония	2,14	2,15	2,15	2,16

Фильтры изготовлены на научно-производственном предприятии ООО «БУТИС» в рамках государственному контракта №16411.4432017.11.075

Сцинтилляционные кристаллы - производство

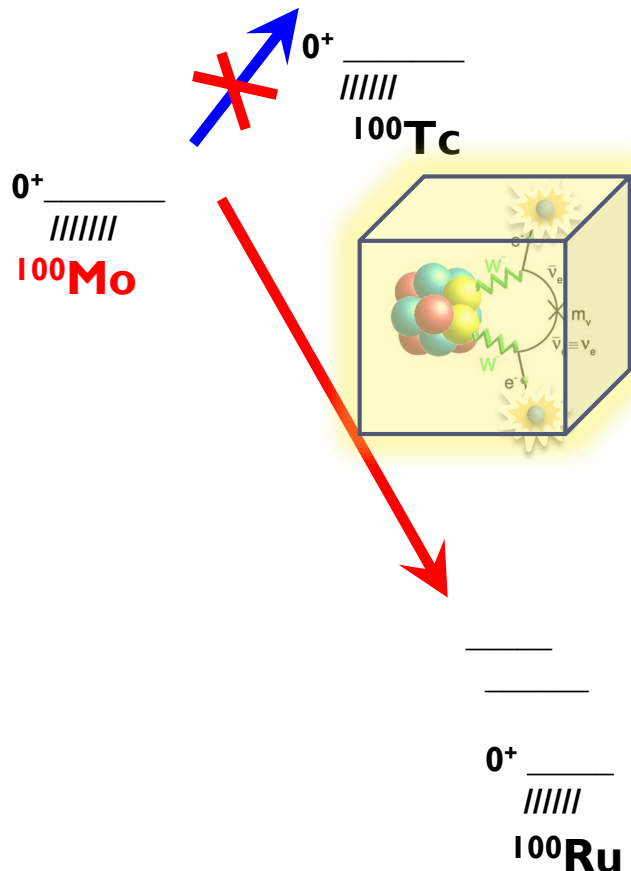
- ▶ *Кристалл молибдата кальция*
($^{40}\text{Ca}^{100}\text{MoO}_4$)
- ▶ *Кристалл молибдата лития* (Li_2MoO_4)
- ▶ *Кристалл галлий-гадолиний-
алюминиевого граната*
($\text{Gd}_3\text{Ga}_3\text{Al}_2\text{O}_{12}:\text{Ce}$)



Сцинтилляционные кристаллы - применения

Безнейтринный двойной бета-распад ^{100}Mo

Цель: поиск Майорановской массы нейтрино



Если существует безнейтринный двойной бета-распад: это означает наличие у нейтрино Майорановской массы

«новая» физика»



Это очень редкий процесс:

период полураспада $T_{1/2} > 10^{25}$ лет !

Для сравнения:

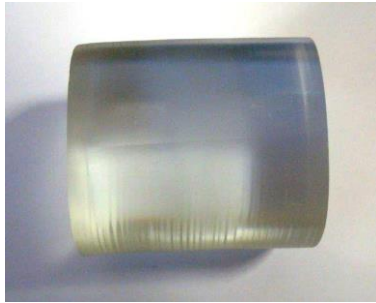
$\text{U-238} = 4.5 \cdot 10^9$ лет

$\text{Th-232} = 14 \cdot 10^9$ лет

Эти изотопы - источники фона!!

- Для эксперимента нужны особочистые кристаллы
- Для эксперимента нужны кристаллы с высоким содержанием ^{100}Mo
- Необходимо использовать Mo , обогащенный по изотопу ^{100}Mo ,
- Огромный рынок для предприятий РОСАТОМА

Сцинтилляционные кристаллы - применения



Сцинтилляционный элемент из
кристалла молибдата кальция ($^{40}\text{Ca}^{100}\text{MoO}_4$)

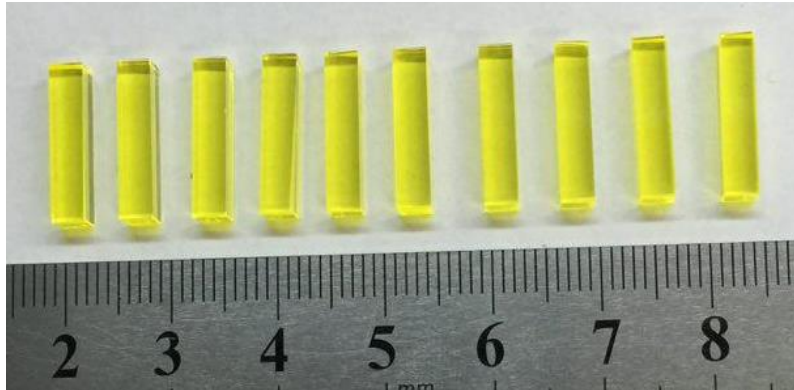


Сцинтилляционный элемент из
кристалла молибдата кальция ($^{40}\text{Ca}^{100}\text{MoO}_4$)
в сборе с сверхпроводящим болометром

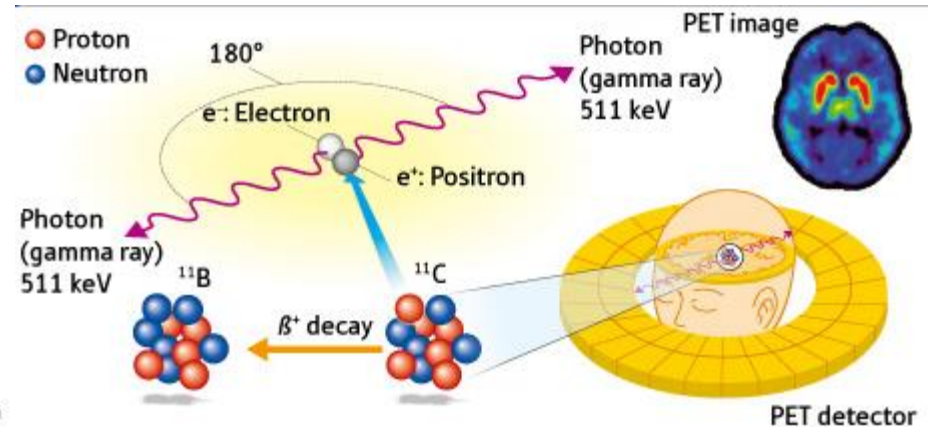
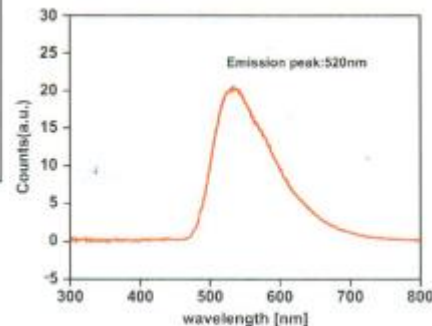
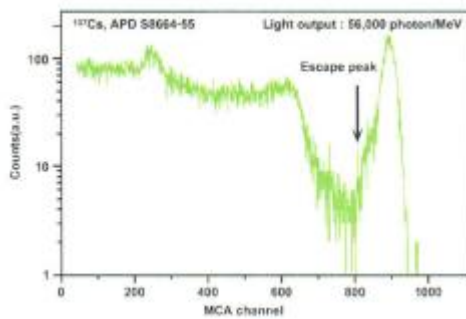
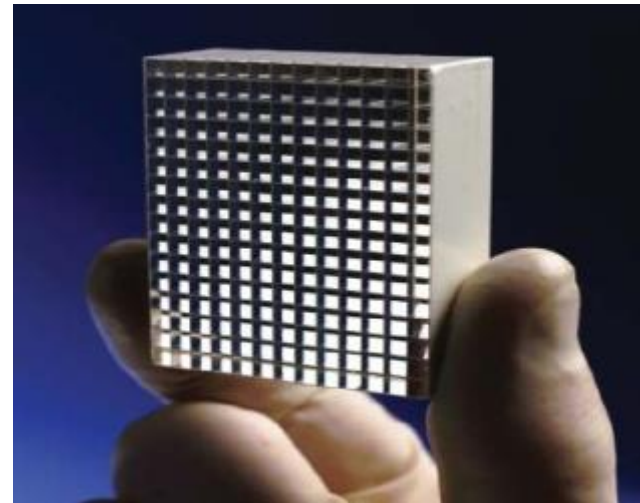
Сборка из элементов $^{40}\text{Ca}^{100}\text{MoO}_4$ Фаза I
эксперимента коллаборации **AMoRE**
в Республике Корея



Сцинтилляционные кристаллы - применения



- ▶ Пиксели из кристалла галлий-гадолиний-алюминиевого граната ($\text{Gd}_3\text{Ga}_3\text{Al}_2\text{O}_{12}:\text{Ce}$)



***СПАСИБО ЗА
ВНИМАНИЕ!***

**Пьезоэлектрические и сцинтилляционные
монокристаллы российского производства**