

Функциональные материалы и технологии для герметизации ТОТЭ

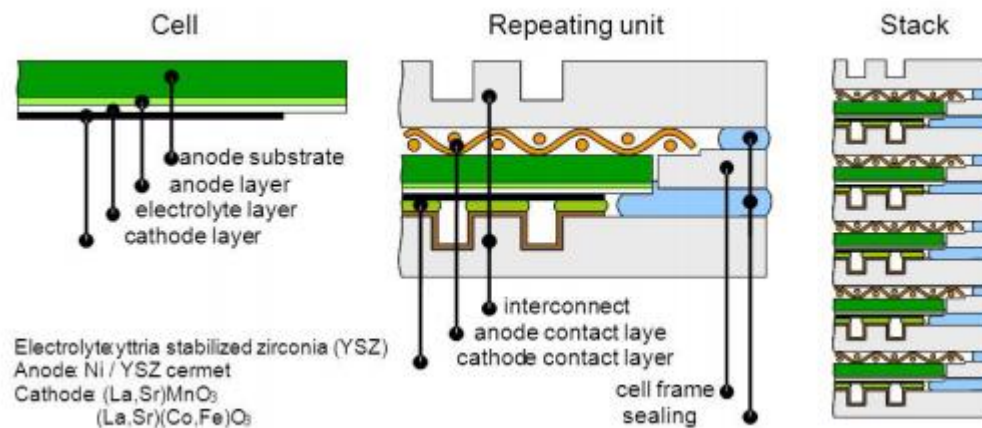
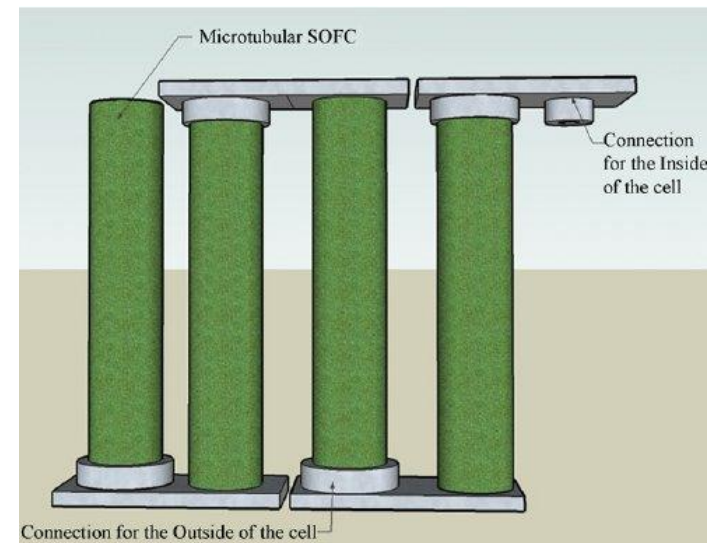
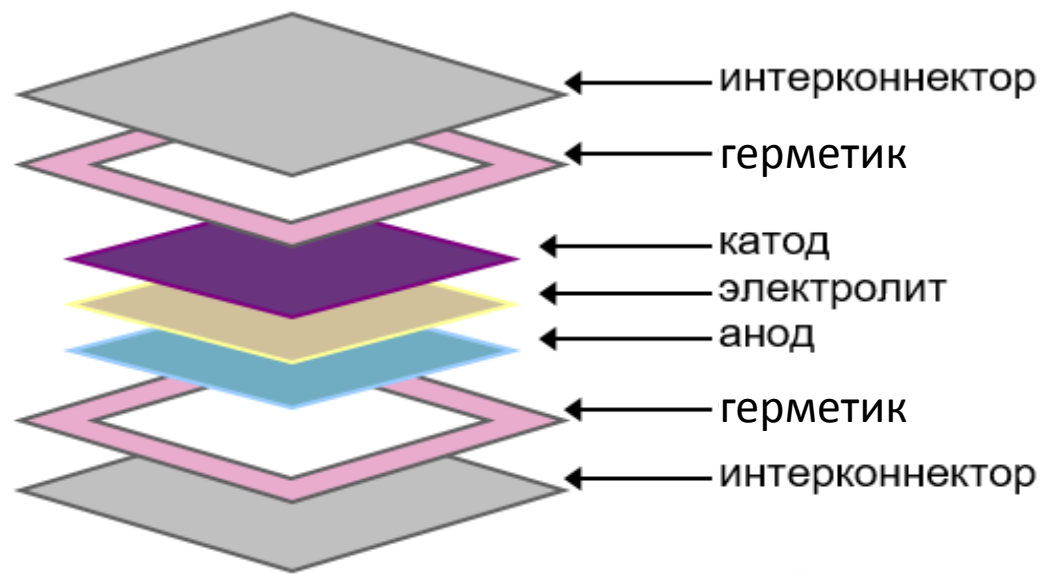
Антон Валериевич Кузьмин

Вятский государственный университет, г. Киров

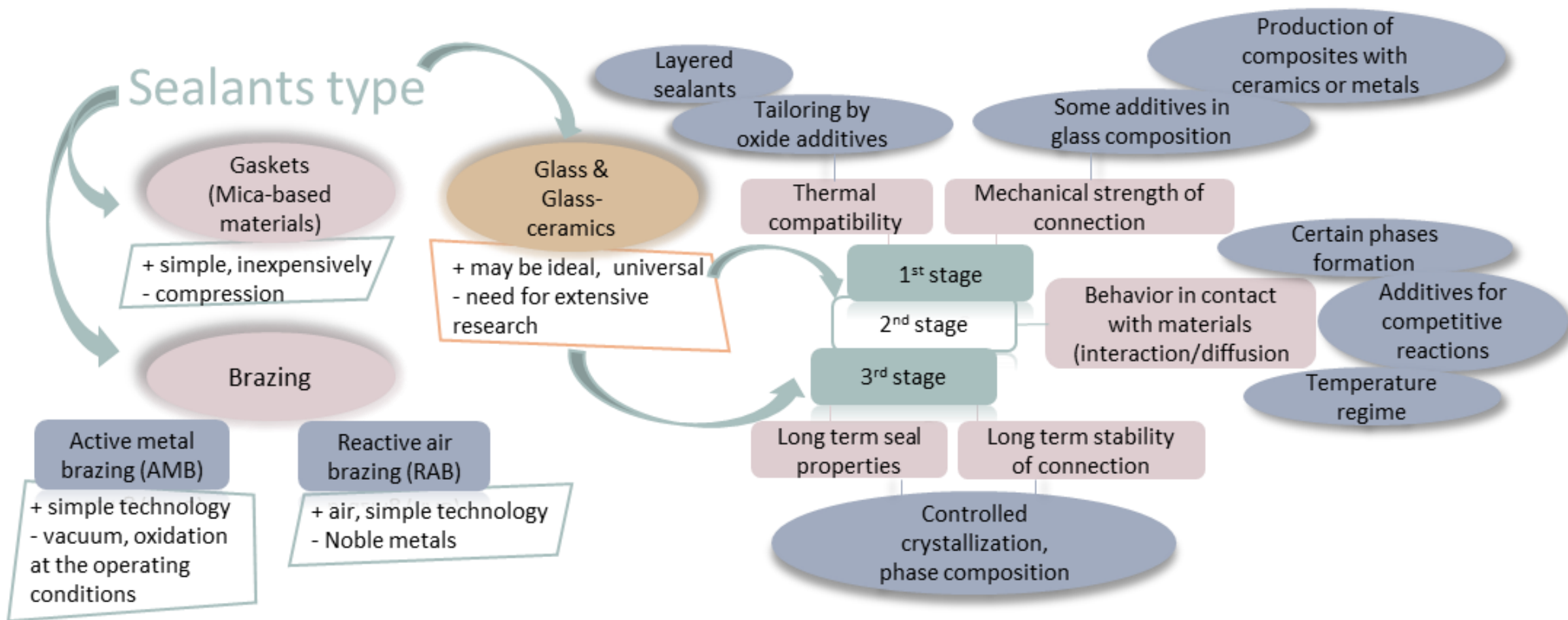
a.v.kuzmin@yandex.ru

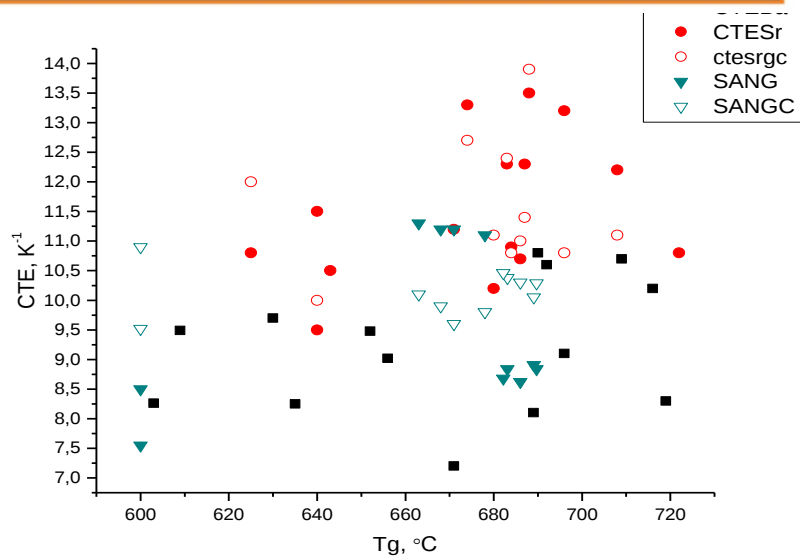
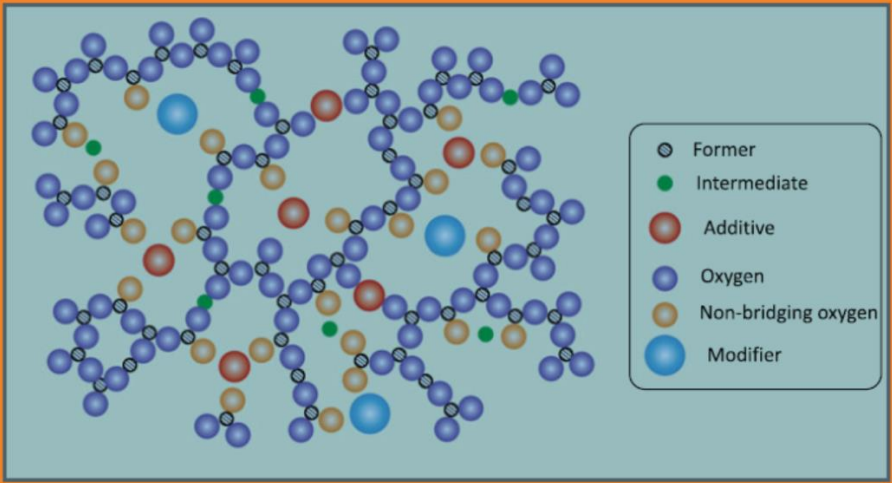


Примеры коммутации ТОТЭ трубчатой и планарной геометрии



Типы герметиков. Преимущества и недостатки



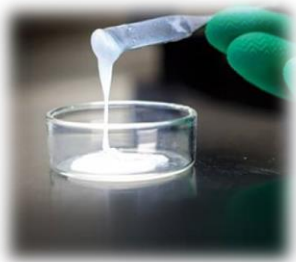


CTE dependence on glass transition temperatures. CTESr – barium-containing glasses; CTESrGC – strontium-containing glasses and glass-ceramics respectively; SANG and SANGC – glasses and glass-ceramics based on $\text{SiO}_2\text{--Al}_2\text{O}_3\text{--Na}_2\text{O}$ system.

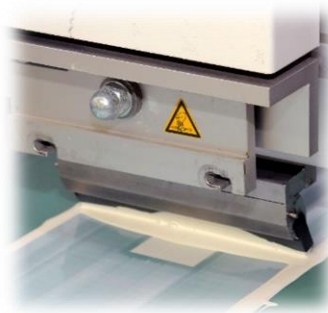
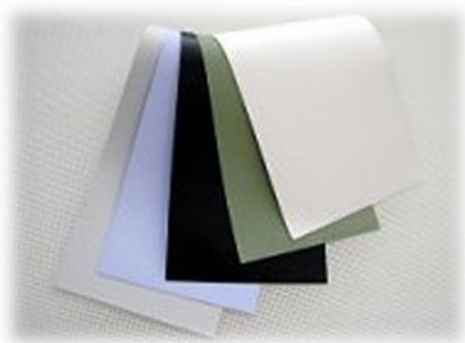
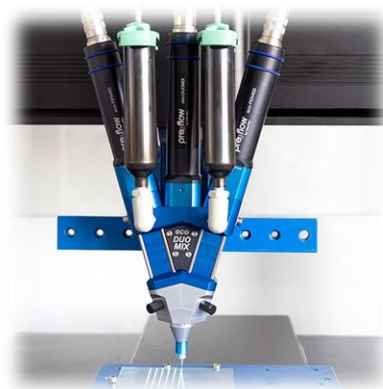
Glass constituent	Oxide	Function
Network formers	SiO_2	Base constituent in silicate glasses; increases the viscosity of the glass melt, improves mechanical properties and heat resistance
	B_2O_3	$\downarrow T_g$ and T_s and viscosity, improves wetting, $\downarrow$ CTE and crystallization ability and $\uparrow$ the thermal and chemical resistance
Network modifiers	BaO , SrO , MgO	Reduce T_g and T_s and raise CTE, improves glass forming ability
	CaO	increases the crystallization ability, density and thermal expansion Improves glass forming ability (5–22 mol%)
	MgO	increase CTE, decrease the crystallization ability
	Na_2O , K_2O	increases CTE, decreases the melting temperature, heat stability and chemical resistance
Intermediate oxides	TiO_2 , ZrO_2 , Ga_2O_3	allow one to control over viscosity and wetting through the rate of crystallization
	Al_2O_3	increases T_g , viscosity, surface tension, improves mechanical properties, decreases the crystallization ability
	Cr_2O_3	minimizes Cr depletion in adjacent metal parts and improves surface adherence
Other	Nb_2O_5	improves water resistance of glass (< 2 mol %)
	Fe_2O_3 , CuO , CoO , NiO , Lanthanoid oxides other than La_2O_3	improves the stability during production of the glass and suppress reaction with metal, improves adhesiveness between metal and the glass sealant
	Bi_2O_3	decreases the melting point, increases the CTE
	Nd_2O_3 , Y_2O_3	used as viscosity modifier and long-term CTE stabilizer

Технологии склейки

Методы изготовления изделий

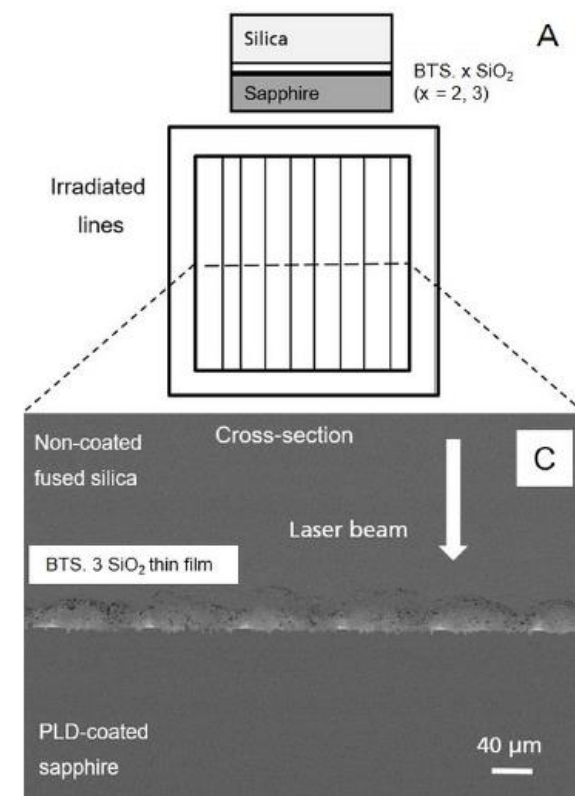


- Paste technology:
screen printing
robot dispensing
- Films
tape casting

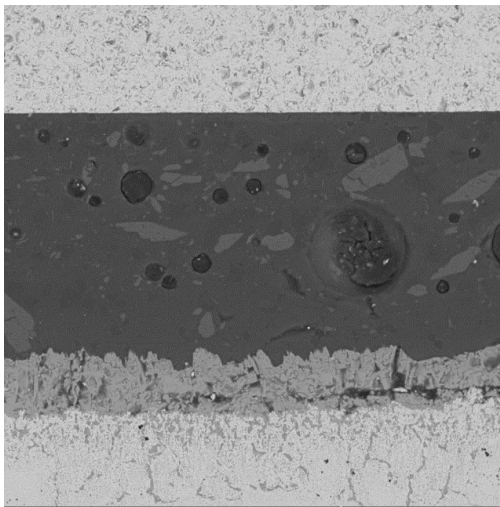


Методы склейки

- Furnace sealing
- Laser welding

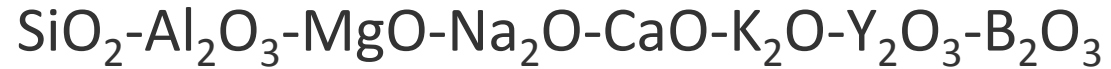


Коммерческие стеклокерамические герметики

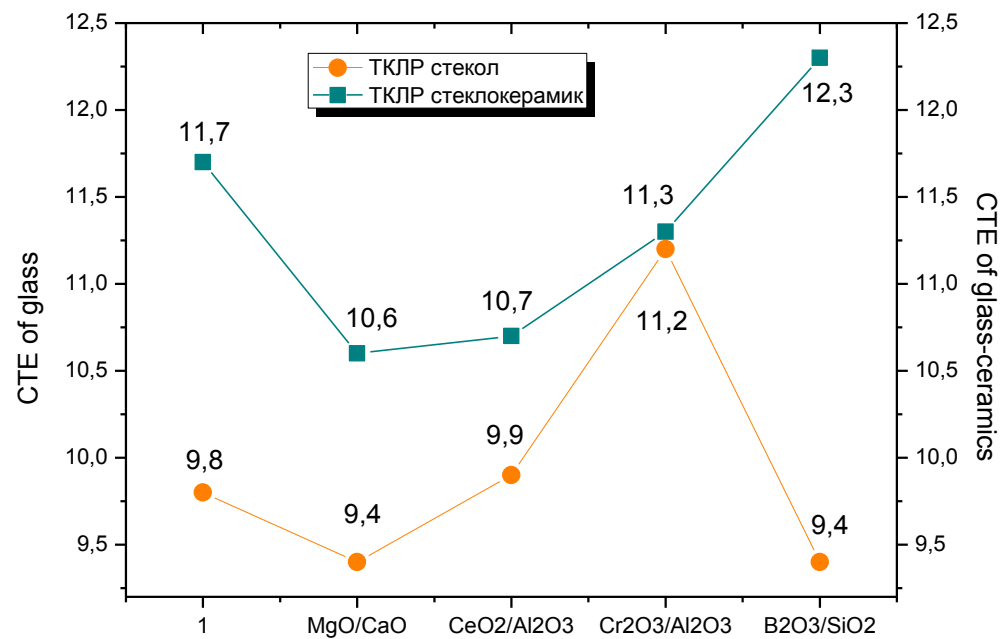


Свойство	Материал				
	Schott ($\text{MO-Al}_2\text{O}_3\text{-BaO-SiO}_2\text{-B}_2\text{O}_3$ (M=Mg, Ca))				Ceramobond
	GM31107	G018-311	G018-354	G018-391	Aremco 617
α_{20-300} ($10^{-6}/\text{K}$)	9,8	9,9	9,2	9,8	7,7
Tg (°C)	543	612	637	640	неизвестна
Температура склейки (°C)	700	850	850	900	~900 (многостадийная склейка)
Рабочая температура (°C)	650-750	750-850	800-850	800-850	816
Сочленяемые материалы	Crofer, ITM, StS	Crofer, ITM, StS	Crofer, ITM, StS	Crofer, ITM, StS	не указаны

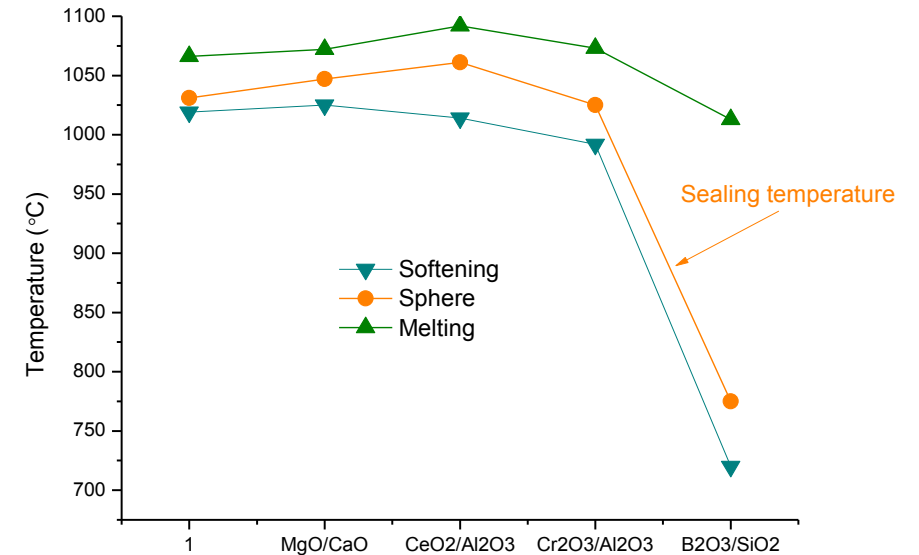
Стеклокерамические герметики



- ✓ MgO/CaO - ↑ хим. устойчивость к Crofer22APU
- ✓ $\text{SiO}_2/\text{B}_2\text{O}_3$ - ↓ Ts
- ✓ $\text{CeO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ - ↓ ΔTKЛР(крист. – аморфн.)
- ✓ $\text{Cr}_2\text{O}_3/\text{Al}_2\text{O}_3$ - ↑ ТКЛР



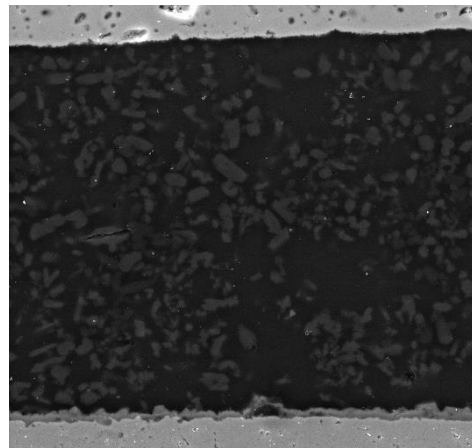
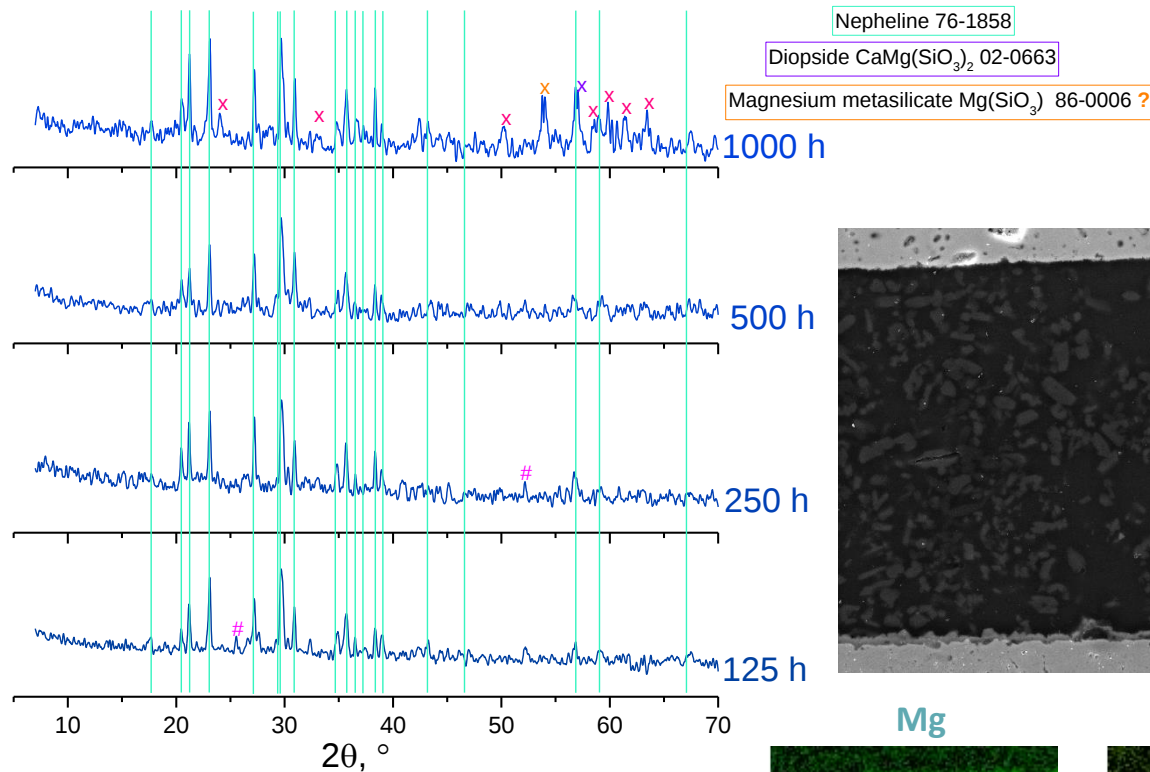
ТКЛР аморфных и
стеклокристаллических образцов



Данные высокотемпературной
микроскопии

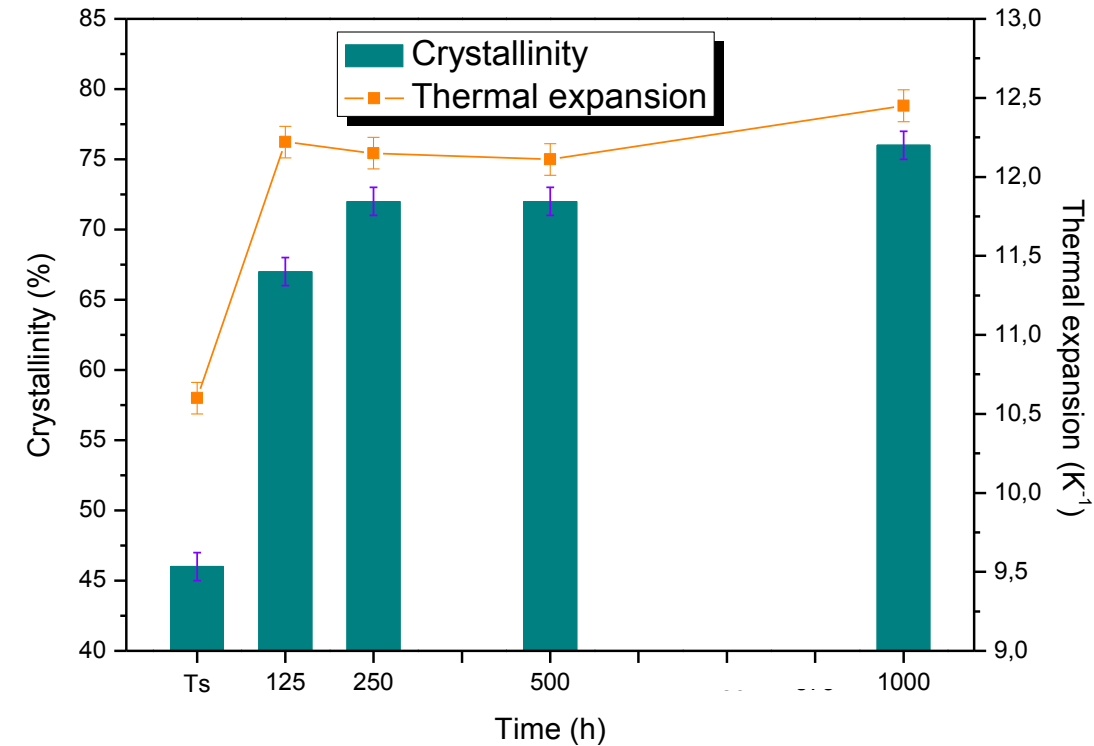
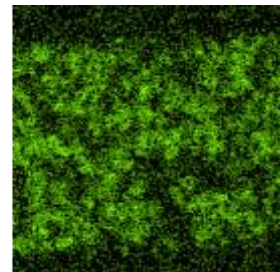
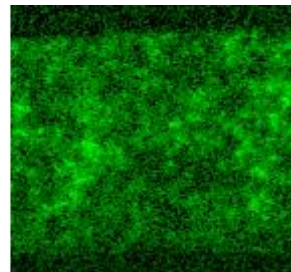
Стеклокерамические герметики. Кристаллизация

Рентгенограммы стекла после выдержки
в течение 1000 ч при 850°C



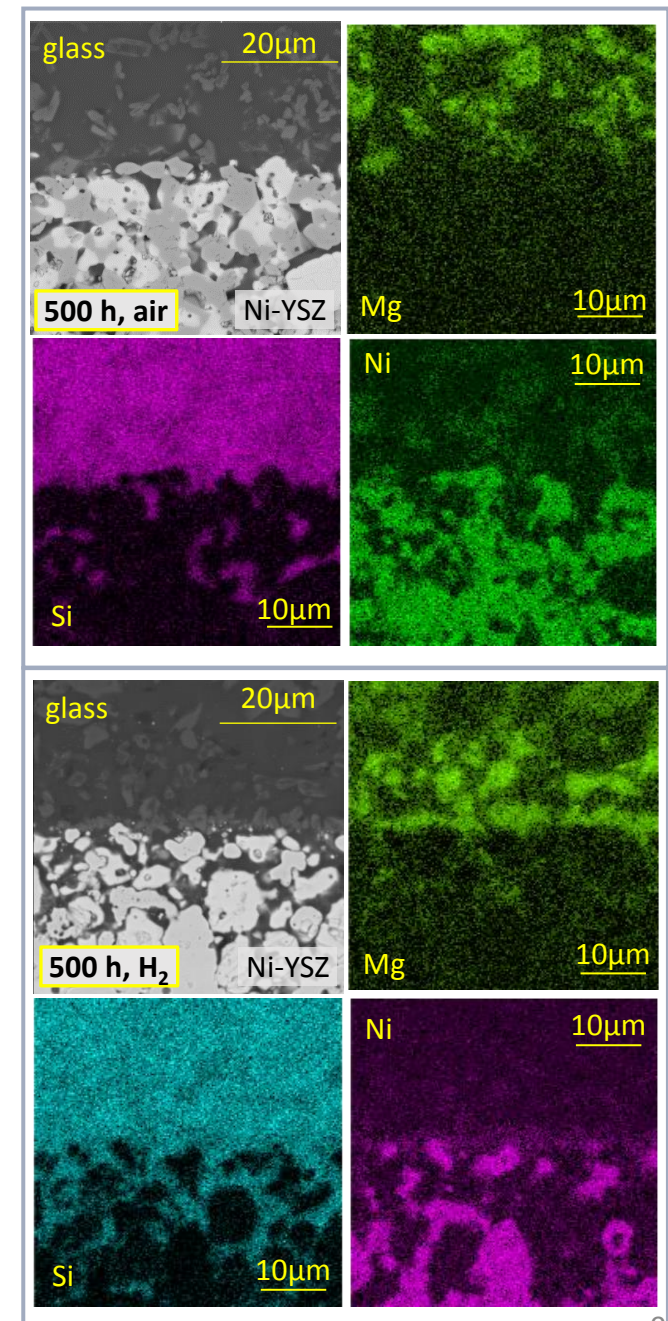
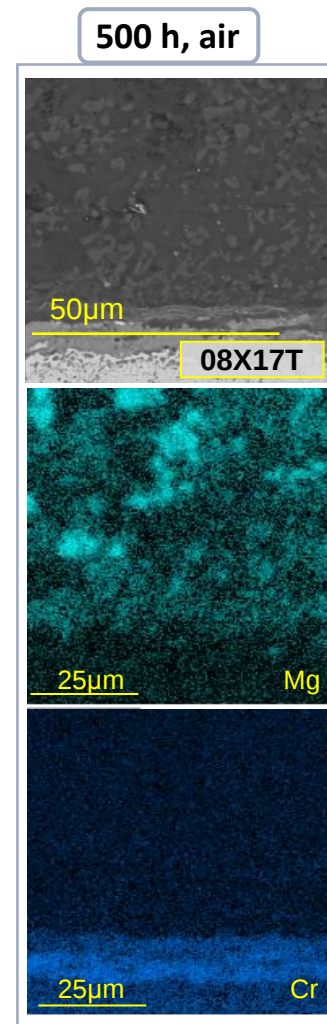
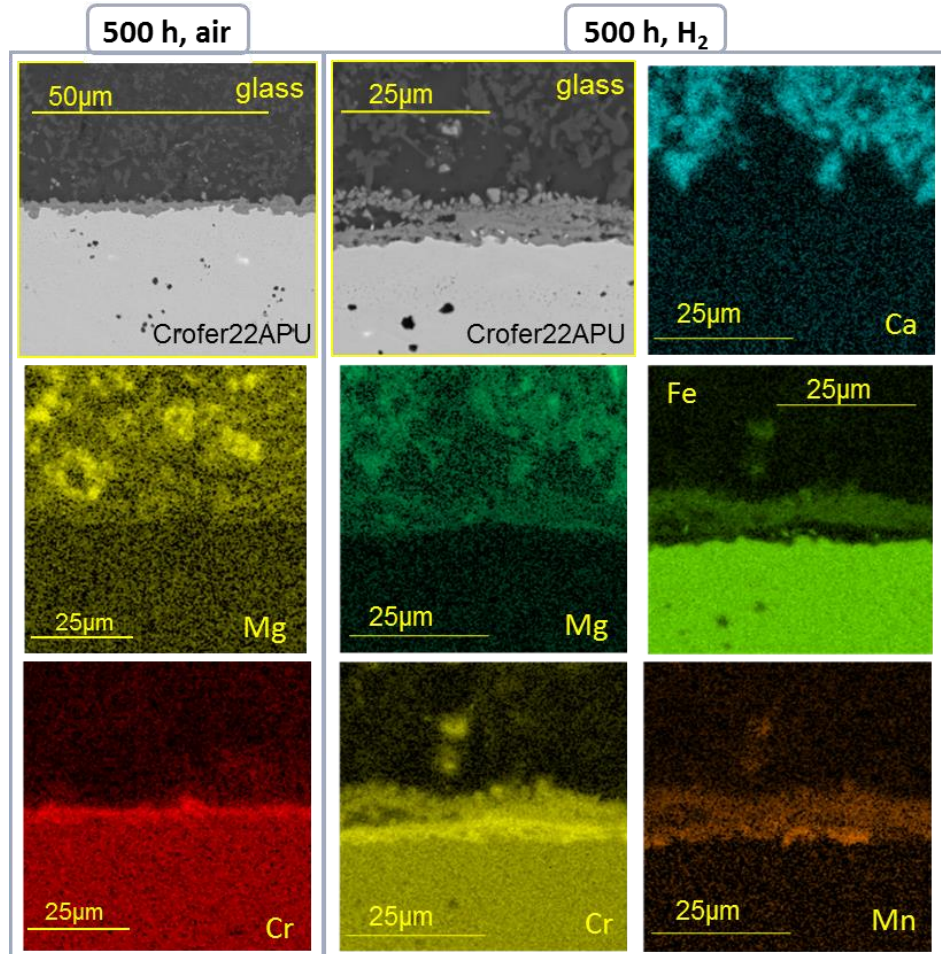
Mg

Ca



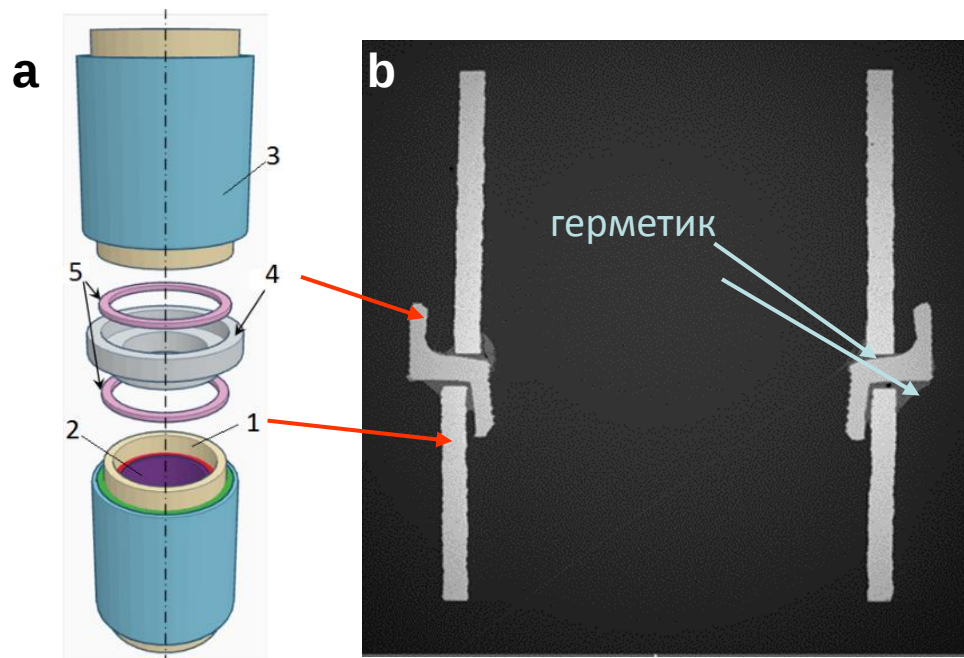
Зависимость степени кристалличности и
ТКЛР стекла от времени выдержки при
850°C

Стеклокерамические герметики. Контакт с функциональными материалами



Стеклокерамические герметики. Применение

Свойство	Материал
	SAN-2
α_{20-300} (10^{-6} K^{-1})	9,8
Tg (°C)	608
Температура склейки (°C)	1050
Рабочие температуры (°C)	800-900
Подходящие для склейки материалы	Crofer, YSZ, Ni- YSZ

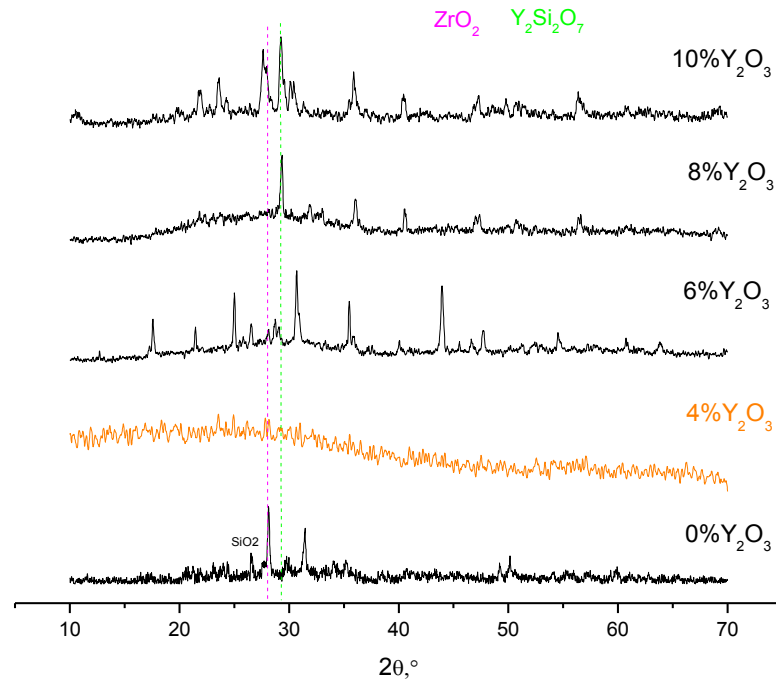


1 – электролит,
2 – катод,
3 – анод,
4 – интерконнектор,
5 - стеклогерметик

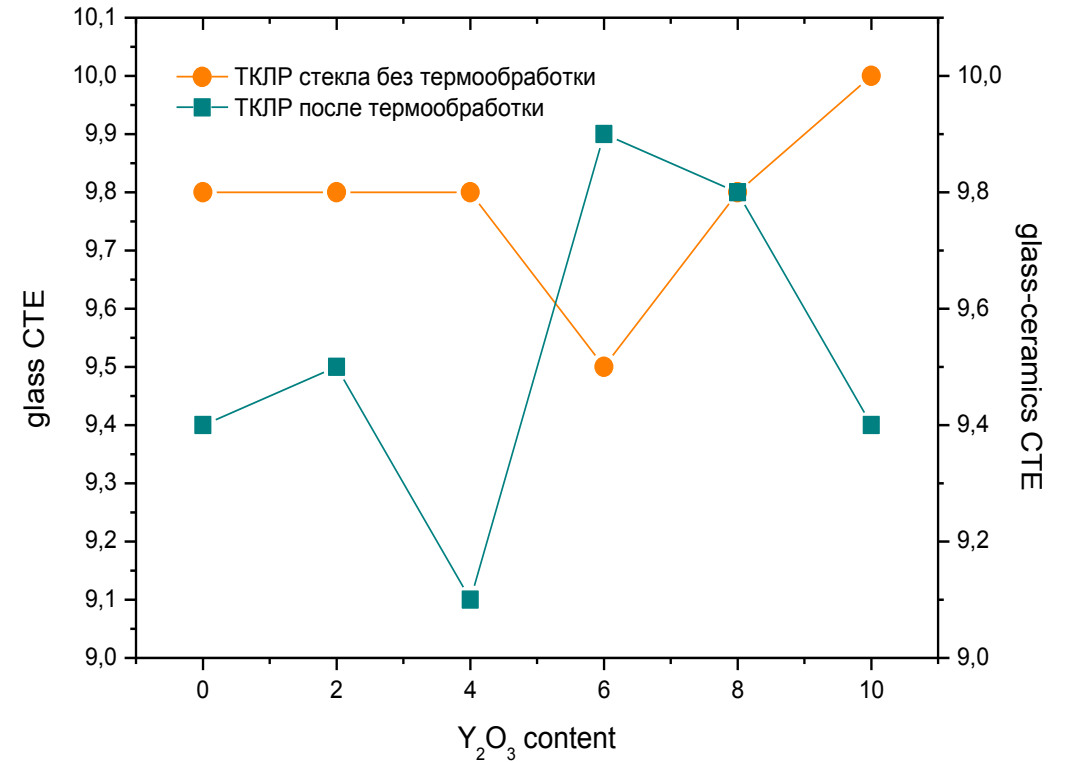


Некристаллизующиеся стеклогерметики

$59.6\text{SiO}_2-11.0\text{Al}_2\text{O}_3-(10.6-x)\text{ZrO}_2-3.4\text{CaO}-15.4\text{Na}_2\text{O}-x\text{Y}_2\text{O}_3$
($x = 0; 2; 4; 6; 8; 10$ wt. %)

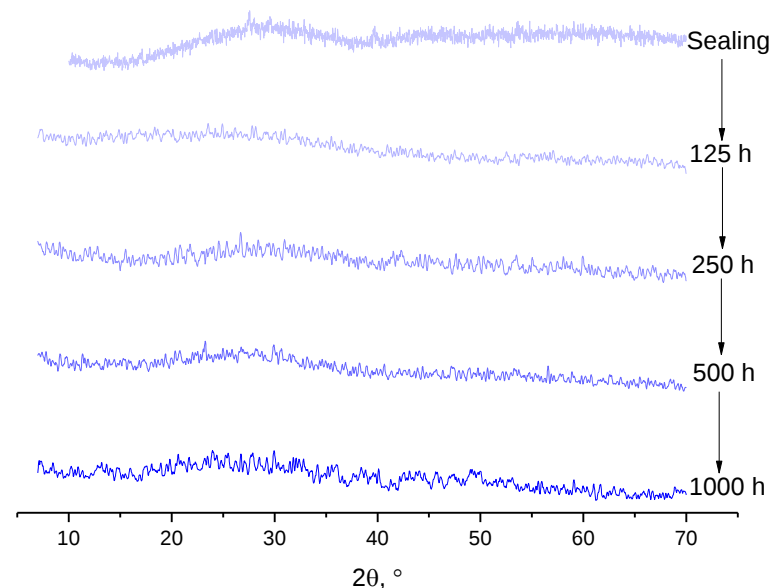


РФА после выдержки стекол при 850°C в течение 125 ч

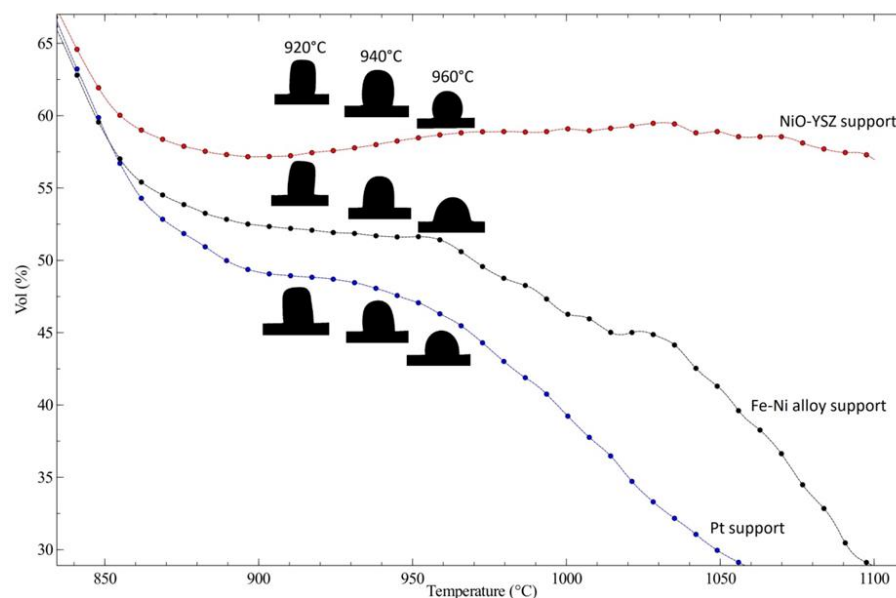
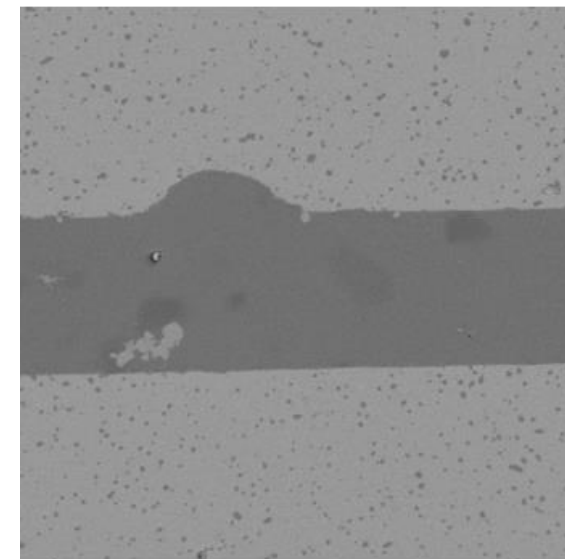


Некристаллизующиеся стеклогерметики. Основные характеристики

Свойство	Материал
	SZY-3
α_{20-300} ($10^{-6}/K$)	9,8
Tg (°C)	630
Температура склейки (°C)	950
Рабочая температура (°C)	750-850
Подходящие для склейки материалы	Fe-Ni alloys, YSZ, SSZ

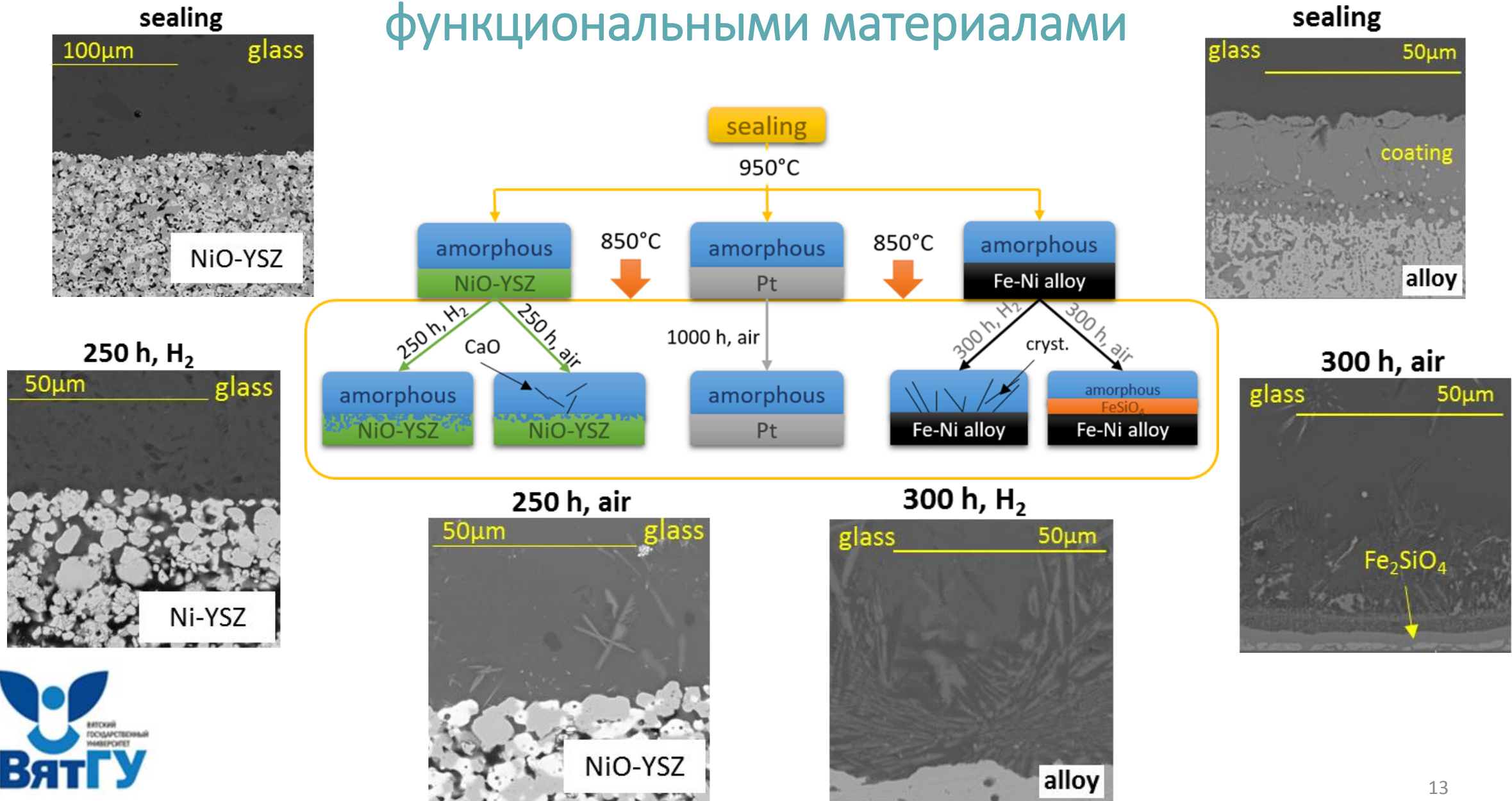


Соединение керамика | стекло | керамика после 5 термических циклов от 100 до 750 °C



Поведение стекла при нагреве на различных подложках

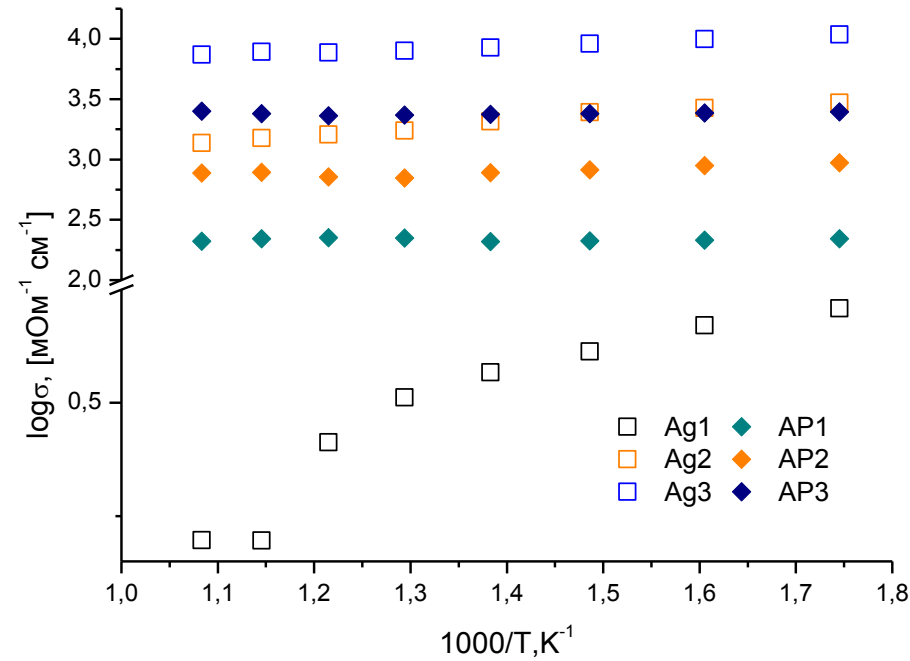
Некристаллизующиеся стеклогерметики. Контакт с функциональными материалами



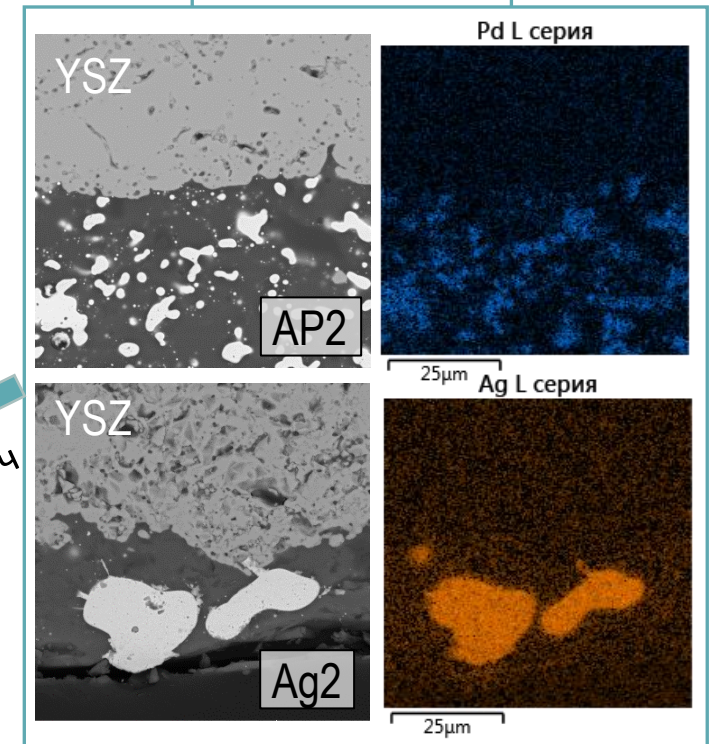
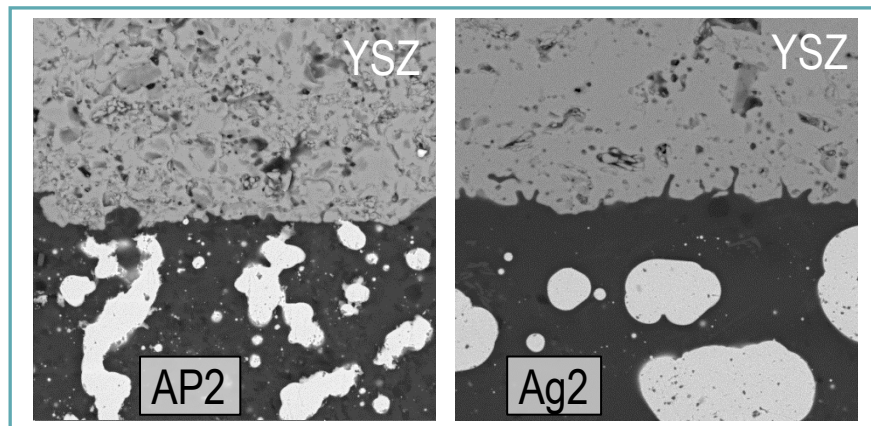
Композиты для электрической коммутации

Температурная зависимость
электропроводности композитных материалов

Обозначение	α , 10^6 K^{-1}
Исходные материалы	
SZY-3	9,6
Ag-Pd (70/30)	~14,2
Ag	19,5
Композиты SZY-3:Ag	
Ag1	9,9
Ag2	10,6
Ag3	11,1
Композиты SZY-3:Ag-Pd	
AP1	9,8
AP2	10,5
AP3	11,2

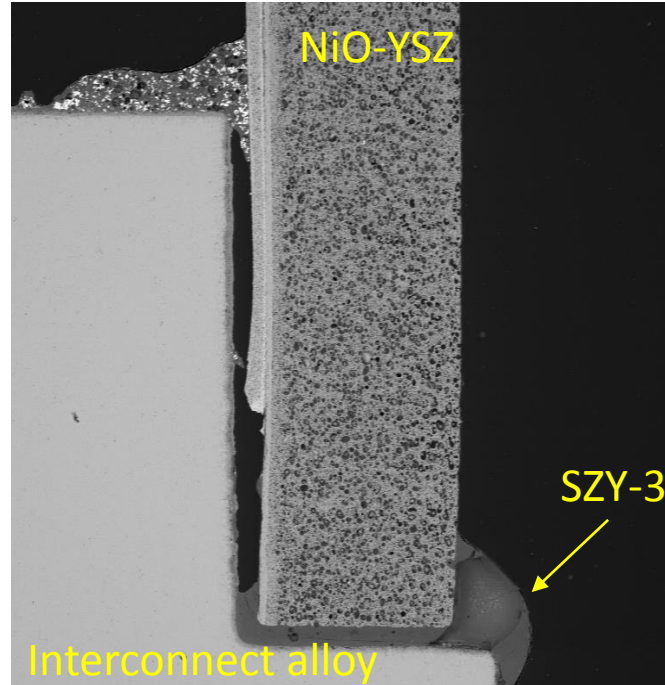


Склейка, 950°C

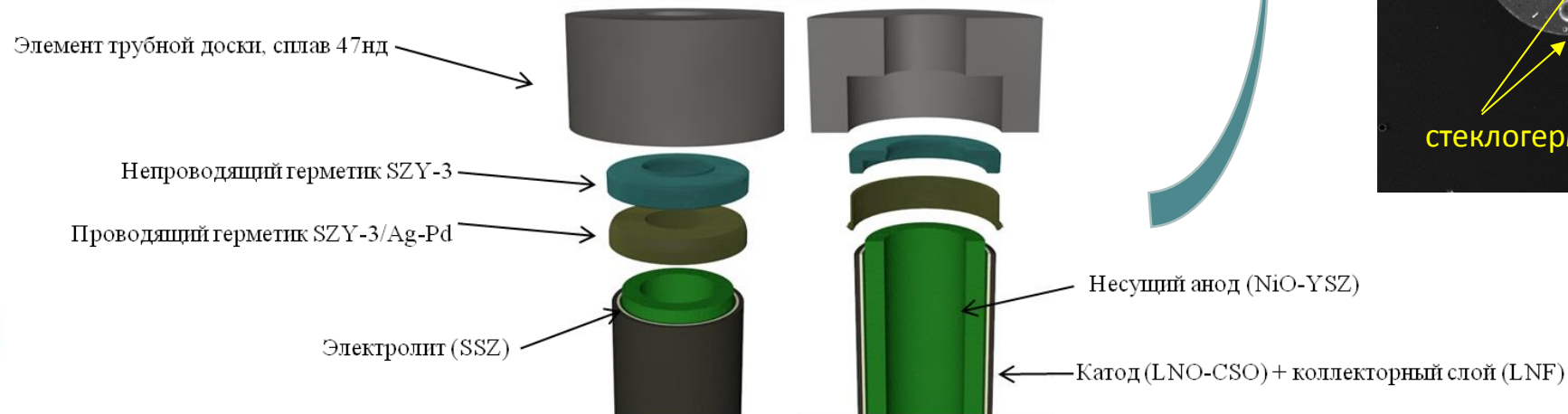
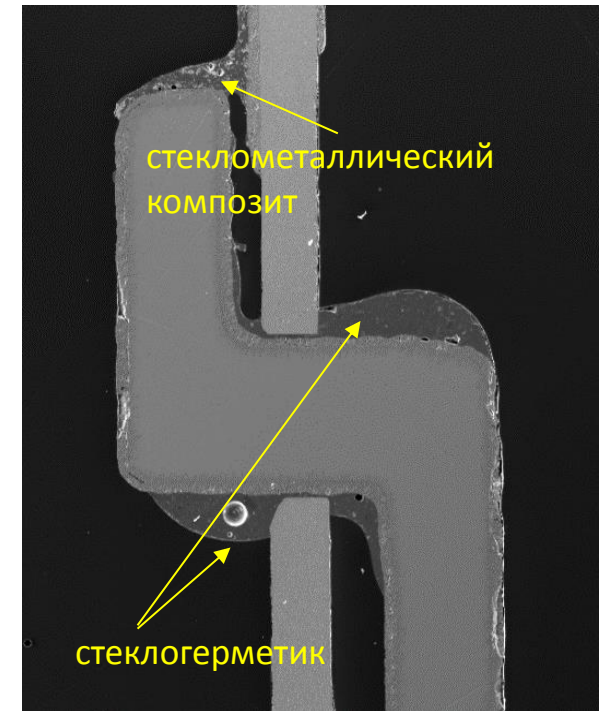


Композит для электрической коммутации. Применение

Свойство	Материал
	AP2
α_{20-300} ($10^{-6}/K$)	10,5
Температура склейки ($^{\circ}C$)	950
Рабочая температура ($^{\circ}C$)	750-850
Подходящие для склейки материалы	Fe-Ni alloys, YSZ, SSZ



Трубчатая конструкция на несущем электролите



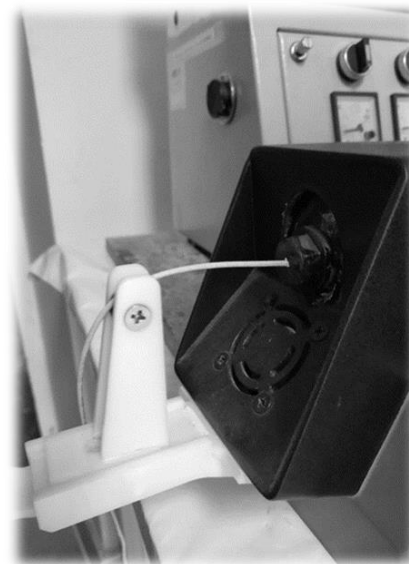
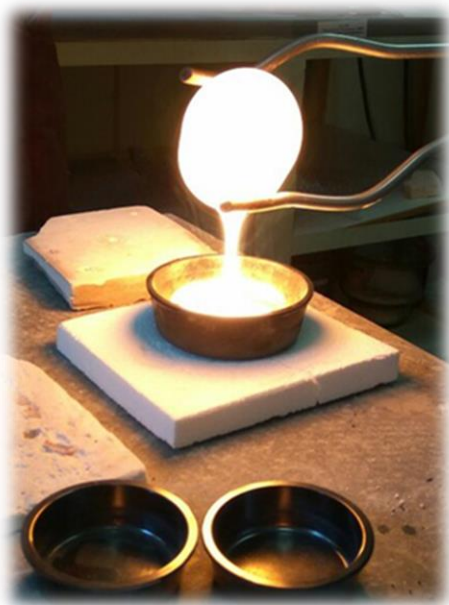
Метод изготовления изделий из стекол

Варка стекла

Помол и просев

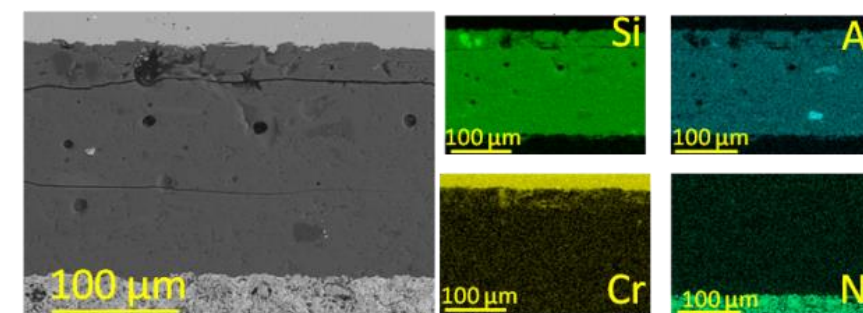
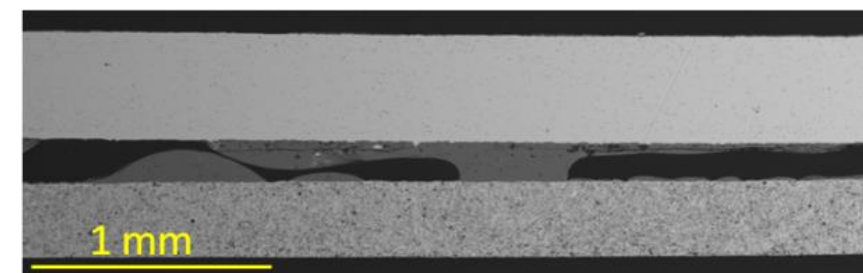
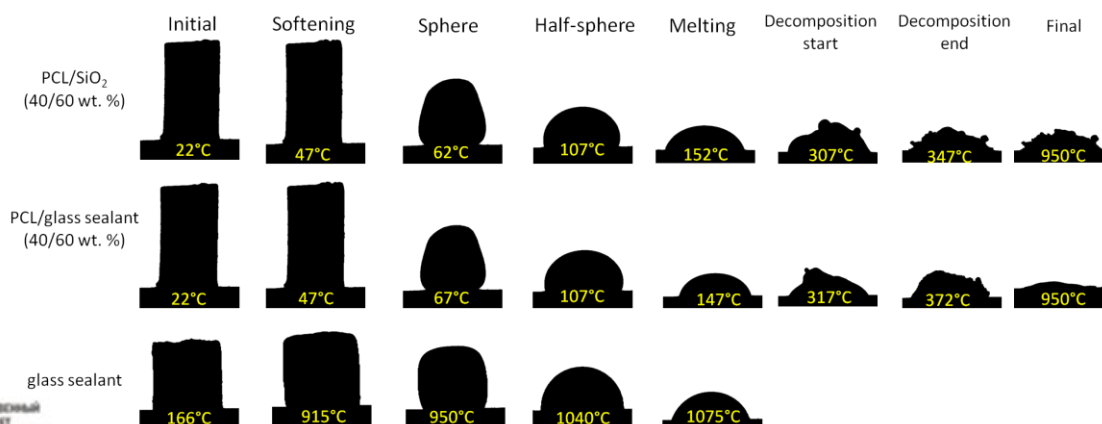
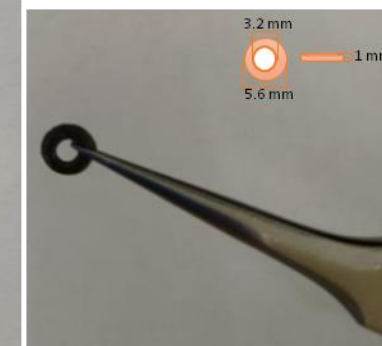
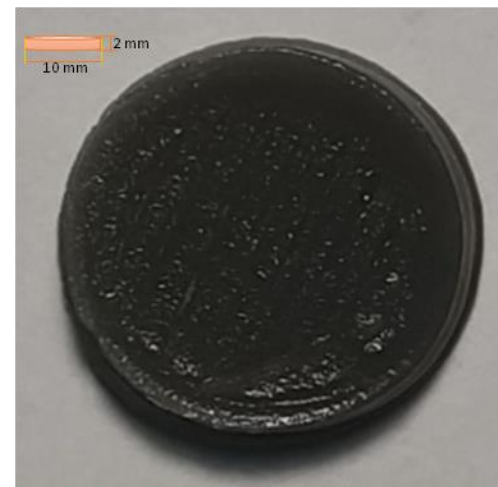
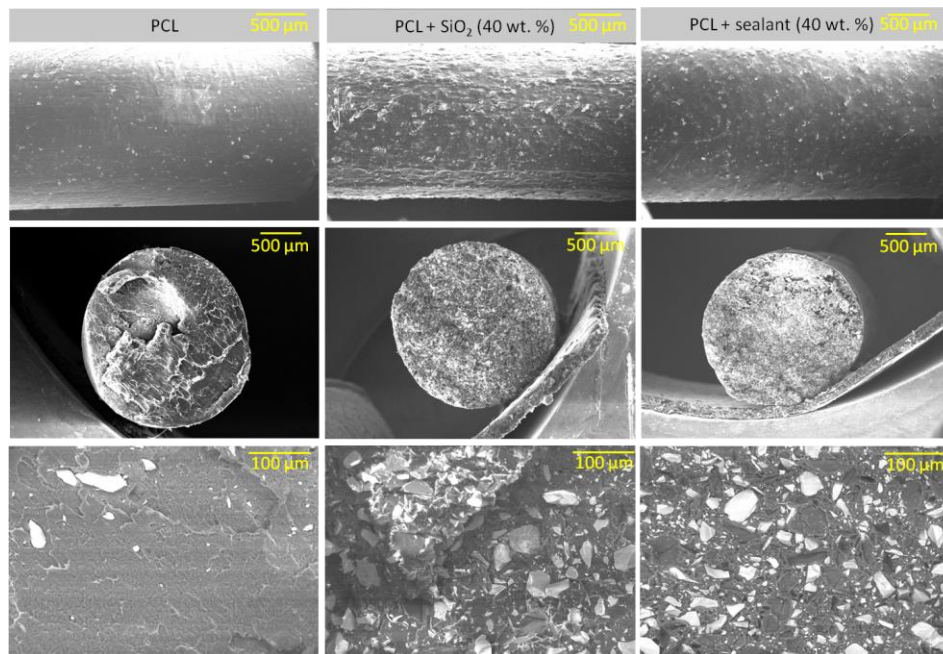
Получение филамента
(стеклополимерной нити)

3D печать



Готовое изделие





Спасибо за внимание!