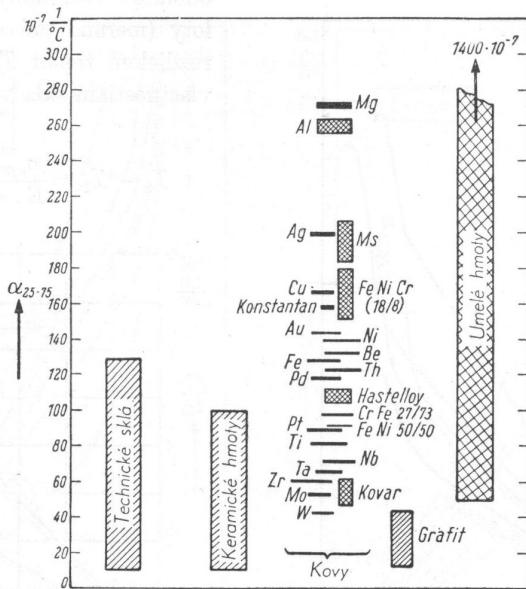
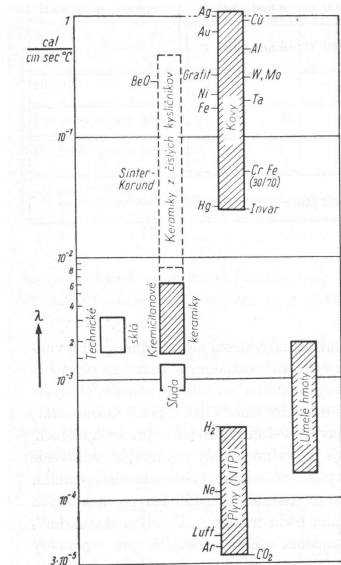


# Materiály pro vakuové aparatury

- nízká tenze par
- malá desorpce plynu
- tepelná odolnost (odplyňování)
- mechanické vlastnosti
- způsoby opracování a spojování
- elektrické a chemické vlastnosti



W. Espe: Technológia hmot vákuovej techniky, SAV, Bratislava 1960

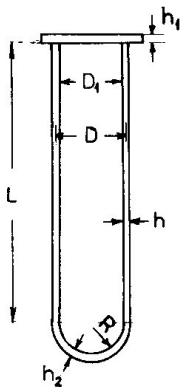


W. Espe: Technologia hmot vákuovej techniky, SAV, Bratislava 1960

Material	Surface-quality	Surface condition	Desorption rates <sup>1)</sup>		
			$q_{Des}$ 1h	$\left[ \frac{\text{mbar} \cdot \text{l}}{\text{s} \cdot \text{cm}^2} \right]$ 4h	10h
Stainless steel	blank	cleaned	$2.7 \cdot 10^{-7}$	$5.4 \cdot 10^{-8}$	$2.7 \cdot 10^{-8}$
Stainless steel	polished	cleaned	$2 \cdot 10^{-8}$	$4 \cdot 10^{-9}$	$2 \cdot 10^{-10}$
Stainless steel	pickled	heated for 1 hour,	$1.4 \cdot 10^{-9}$	$2.8 \cdot 10^{-10}$	$1.4 \cdot 10^{-10}$
Stainless steel	bead blasted	vented with normal air	$3 \cdot 10^{-10}$	$6.5 \cdot 10^{-11}$	$4 \cdot 10^{-11}$
Steel Ni plated	polished	cleaned	$2 \cdot 10^{-7}$	$1.5 \cdot 10^{-8}$	$5 \cdot 10^{-9}$
Steel Cr plated	polished	cleaned	$1.3 \cdot 10^{-8}$	$2.2 \cdot 10^{-9}$	$1.2 \cdot 10^{-9}$
Steel		rusted	$6 \cdot 10^{-7}$	$1.6 \cdot 10^{-7}$	$1 \cdot 10^{-7}$
Steel	blank	cleaned	$5 \cdot 10^{-7}$	$1 \cdot 10^{-7}$	$5 \cdot 10^{-8}$
Steel	bead blasted	cleaned	$4 \cdot 10^{-7}$	$8 \cdot 10^{-8}$	$3.8 \cdot 10^{-8}$
Aluminium		cleaned	$6 \cdot 10^{-8}$	$1.7 \cdot 10^{-8}$	$1.1 \cdot 10^{-8}$
Brass		cleaned	$1.6 \cdot 10^{-6}$	$5.6 \cdot 10^{-7}$	$4 \cdot 10^{-7}$
Copper		cleaned	$3.5 \cdot 10^{-7}$	$9.5 \cdot 10^{-8}$	$5.5 \cdot 10^{-8}$
Porcelain	glazed		$8.7 \cdot 10^{-7}$	$4 \cdot 10^{-7}$	$2.8 \cdot 10^{-7}$
Glass		cleaned	$4.5 \cdot 10^{-9}$	$1.1 \cdot 10^{-9}$	$5.5 \cdot 10^{-10}$
Acrylic glass			$1.6 \cdot 10^{-6}$	$5.6 \cdot 10^{-7}$	$4 \cdot 10^{-7}$
Neoprene			$4 \cdot 10^{-5}$	$2.2 \cdot 10^{-5}$	$1.5 \cdot 10^{-5}$
Perbunan			$4 \cdot 10^{-6}$	$1.7 \cdot 10^{-6}$	$1.3 \cdot 10^{-6}$
Viton			$1.2 \cdot 10^{-6}$	$3.6 \cdot 10^{-7}$	$2.2 \cdot 10^{-7}$
Viton		heated for 4 hours at 100 °C	$1.2 \cdot 10^{-7}$	$5 \cdot 10^{-8}$	$2.8 \cdot 10^{-8}$
Viton		heated for 4 hours at 150 °C	$1.2 \cdot 10^{-9}$	$3.3 \cdot 10^{-10}$	$2.5 \cdot 10^{-10}$
Teflon		degassed	$8 \cdot 10^{-7}$	$2.3 \cdot 10^{-7}$	$1.5 \cdot 10^{-7}$

firemní mat. Pfeiffer

# Pevnost



Material	Cylinders		End plates		Hemispherical
	$D/h$	$L_c/D$	$D_1/h_1$	$h_1/8$	
Copper at 20°C	84	10	52	15	600
Copper at 500°C	58	8.5	—	—	—
Nickel at 20°C	100	11	73	8	780
Nickel at 500°C	90	10.5	—	—	—
Aluminum 20°C	70	9	37	57	470
Aluminum 500°C	62	8.7	—	—	—
Stainless steel 20°C	105	11.6	89	3	830
Stainless steel 500°C	89	10.5	—	—	—
Glass (hard) 20°C	70	9	16	117	470
Neoprene 20°C	2.5	1.7	10	0.2	30
Teflon 20°C	12	3.8	14	9	—
PVC (Tygon)	3.7	2.1	—	—	—
Perspex	—	—	30	—	—
Mica	—	—	58	15	—

A. Roth: Vacuum technology, Elsevier, 1990

Válec,  $D_1 \sim D = 25 \text{ cm}$ ,  $T = 20 \text{ }^\circ\text{C}$

	$h[\text{mm}]$	$h_1[\text{mm}]$	$\delta[\text{mm}]$
Cu	3	5	0,33
Al	3,6	6,76	0,12
nerezová ocel	2,4	2,81	0,93
tvrdé sklo	3,6	15,6	0,13
teflon	20,8	17,9	1,88

# Sklo

- nízká tenze par
- malá desorpce plynu
- křehké
- elektrický izolant
- chemicky odolné
- svařování a tvarování za tepla
- vznik pnutí - temperování

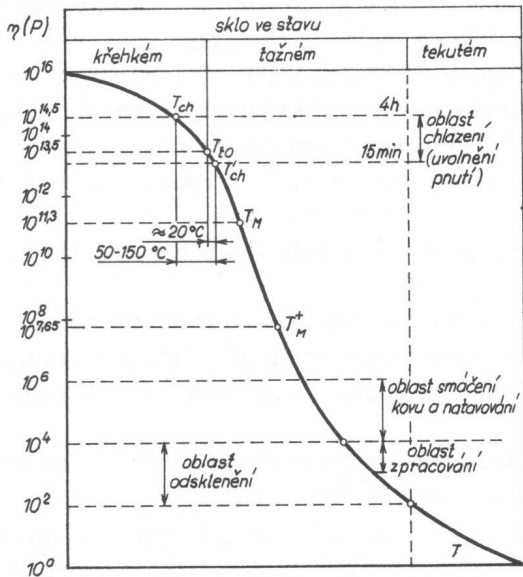
- sklotvorné složky  $\text{SiO}_2$  ,  $\text{B}_2\text{O}_3$  ,  $\text{P}_2\text{O}_5$
- $\text{Na}_2\text{O}$  ,  $\text{CaO}$  - snižuje tavicí teplotu
- $\text{Al}_2\text{O}_3$  ,  $\text{ZnO}_2$  - zvyšuje chemickou netečnost
- $\text{K}_2\text{O}$
- $\text{BaO}$
- $\text{PbO}$
- $\text{MgO}$



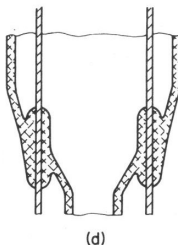
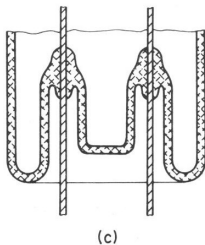
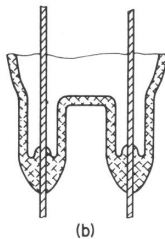
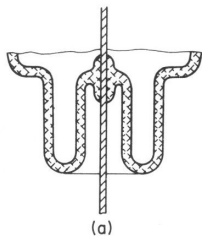
Tab. 6.2. Přehled skel a jejich některých vlastností (podle W. Espeho a kol.)

Sklo	křemičité (tavený SiO <sub>2</sub> )	velmi tvrdé (borokřemičité bez alkálií)	tvrdé (borokřemičité)	olovnaté (olovnato- křemičité)	měkké (alkalicko-vápenato- křemičité) a) s Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> b) bez Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>
B <sub>2</sub> O <sub>3</sub> Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>		5–23 % 3–25 %	> 10 % < 5 %	< 8 %	a) 0 b) 1–5 %
Na <sub>2</sub> O+K <sub>2</sub> O CaO PbO SiO <sub>2</sub>	> 95 %	< 10 % zbytek	5–8 % zbytek	20–35 zbytek	13–15 % 5–15 % zbytek
$\alpha$ (°C) <sup>-1</sup>	(0,55–0,65) · 10 <sup>-6</sup>	(3–6) · 10 <sup>-6</sup>	(3,5–6) · 10 <sup>-6</sup>	(8–9) · 10 <sup>-6</sup>	a) (6,8–9,5) · 10 <sup>-6</sup> b) (8–11) · 10 <sup>-6</sup>
T <sub>ch</sub> (°C) <sup>1</sup>	990–1 040	450–700	430–540	400–450	a) 450–500 b) 40–480
T' <sub>ch</sub> (°C) <sup>1</sup>	1 140	490–730	470–590	430–480	a) 480–540 b) 430–510
T <sub>i</sub> (°C) <sup>1</sup>	1 100	470–720	450–570	410–470	a) 470–530 b) 410–500
T <sub>m</sub> (°C) <sup>1</sup>	1 600	700–950	690–780	580–650	490–750
Měrný odpor ρ <sub>20°C</sub> (Ω cm)	10 <sup>17</sup> –10 <sup>18</sup>	10 <sup>18</sup>	10 <sup>14</sup> –10 <sup>18</sup>	10 <sup>17</sup>	a) 10 <sup>15</sup> b) 10 <sup>13</sup>
Měrná tepelná vodivost	0,013–0,026	0,01	0,013	0,08	0,01
κ (J cm <sup>-1</sup> s <sup>-1</sup> K <sup>-1</sup> )					
Měrné teplo (J g <sup>-1</sup> K <sup>-1</sup> )	0,8–1,26			0,4–1,7	

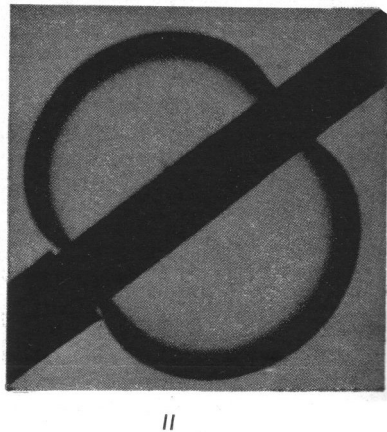
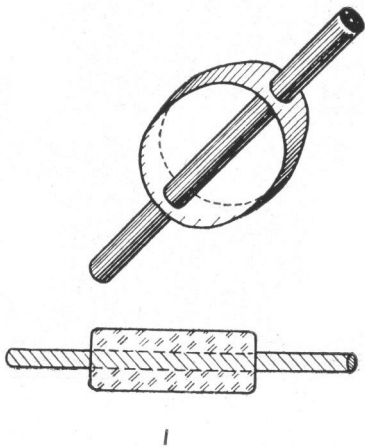
J. Groszkowski: Technika vysokého vakua, SNTL, Praha 1981



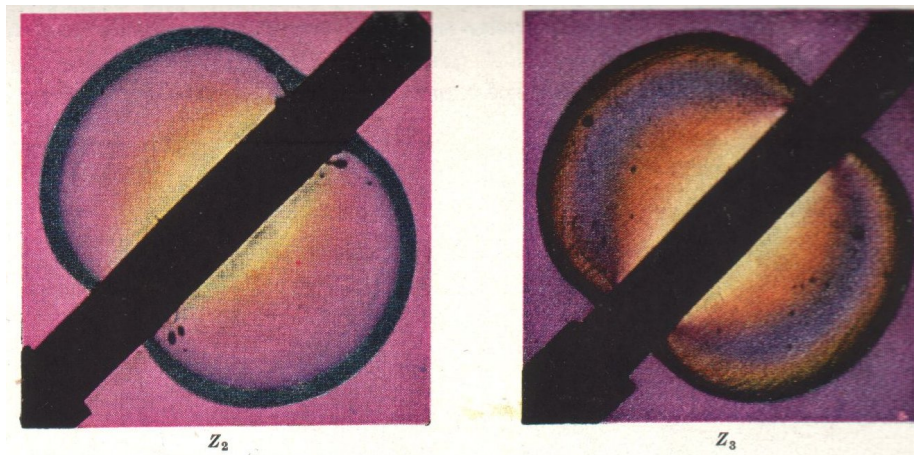
Obr. 6.3. Závislost koeficientu viskozity skla na teplotě  $T_{ch}$  – dolní chladicí teplota (při níž mizí napětí během 4 h);  $T'_{ch}$  – horní chladicí teplota (při níž vymizí napětí za 15 min);  $T_{10}$  – transformační teplota (začátek vzrůstu součinitele teplotní roztažnosti a změn dalších vlastností);  $T_M$  – bod měknutí (určuje se dilatometricky);  $T_M^+$  – bod měknutí (podle Littletona);



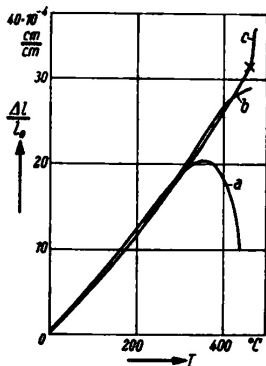
W. Espe: Technológia hmot vákuovej techniky, SAV, Bratislava 1960



W. Espe: Technologia hmot vákuovej techniky, SAV, Bratislava 1960

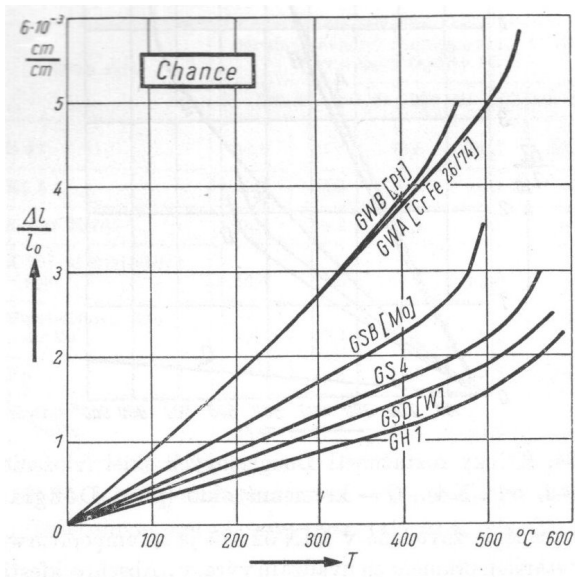


W. Espe: Technologia hmot vákuovej techniky, SAV, Bratislava 1960

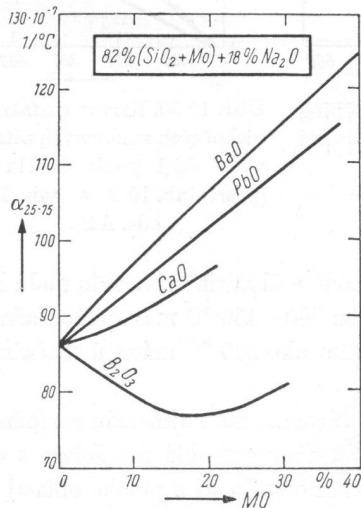


Obr. 10-258. Závislosť relatívnej tepelnej rozťažnosti  $\Delta l/l_0$  od teploty  $T$  (krivky priebehu rozťažnosti) tyčinky boritého skla po rôznom tepelnom spracovaní.

*a* — nevychladené sklo; *b* — vychladené sklo pri 450 °C, potom ochladzované rýchlosťou 2 °C/min; *c* — vychladené pri 450 °C, potom ochladzované v oblasti 450—300 °C rýchlosťou 0,5 °C/min, v oblasti pod 300 °C rýchlosťou 2 °C/min (pozri Dale [3]).



W. Espe: Technologia hmot vákuovej techniky, SAV, Bratislava 1960



W. Espe: Technologia hmot vákuovej techniky, SAV, Bratislava 1960

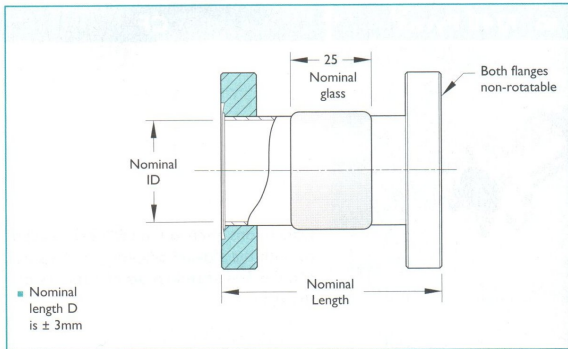




CF

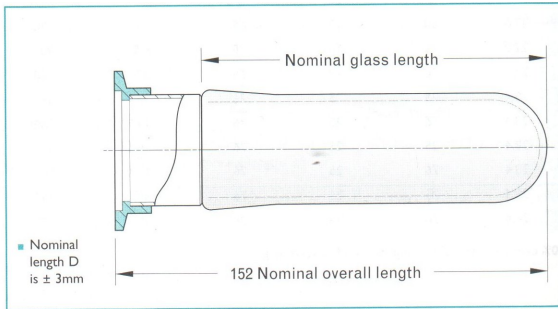


400°C maximum bakeout

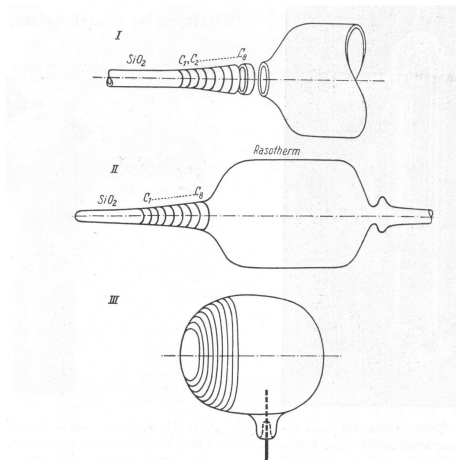


firemní mat. Caburn

ISI KF

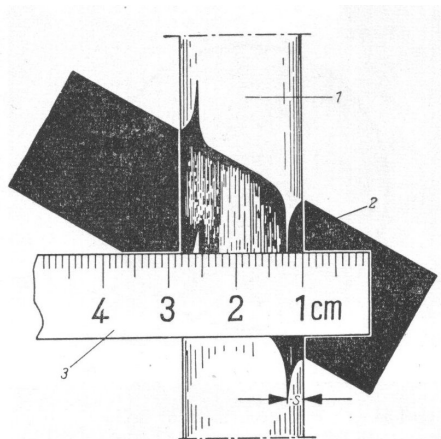


firemní mat. Caburn



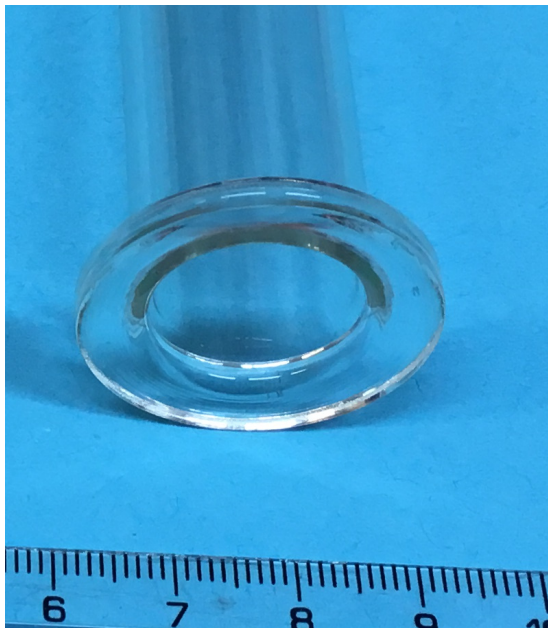
Orb. 11-19 A. K zatavovaniu okienok z kremenného skla do baniek z tvrdého skla.

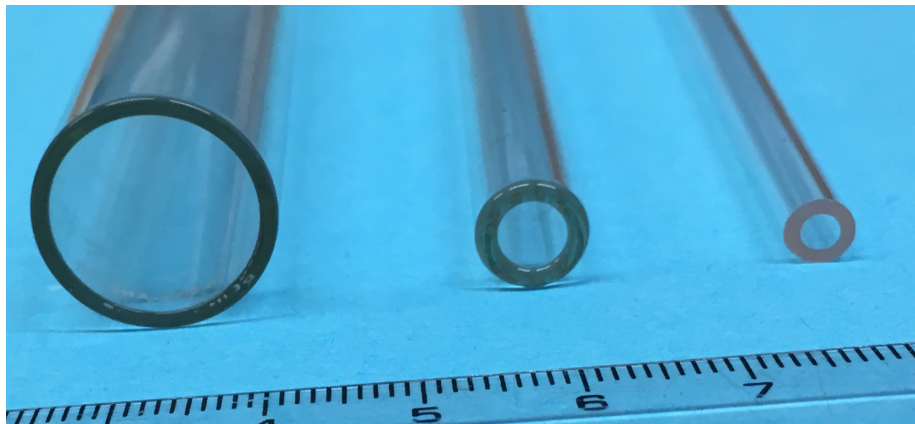
W. Espe: Technologia hmot vákuovej techniky, SAV, Bratislava 1960



Obr. 10-120 B. Meranie hrúbky steny sklených trubíc (podľa Wittwera).

1 — sklenená rúrka ležiaca na bielom papieri; 2 — pásik čierneho papiera zasunutý pod rúrkou šikmo k jej osi; 3 — meradlo položené na rúrkou na zmeranie hrúbky steny  $S$ .





## Použití:

- osvětlovací technika
- manometry
- elektrické průchodky
- obrazovky
- okénka do reaktorů
- elektronky
- speciální kalibrační lampy
- ventily
- ...

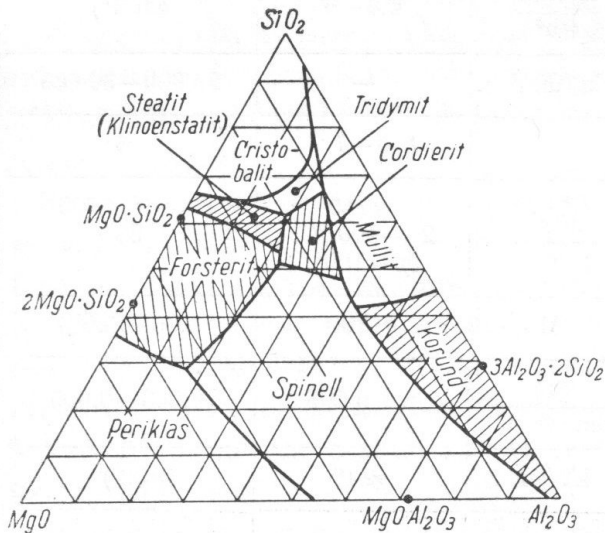


# Keramika

- nízká tenze par
- malá desorpce plynu
- velká pevnost
- elektrický izolant
- chemická odolnost
- velká tepelná odolnost (vyšší teplota pro odplynění)
- změna rozměrů při výrobě

## Složení:

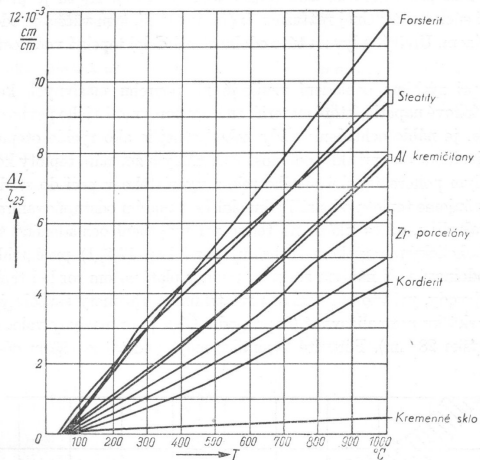
- $\text{Al}_2\text{O}_3$  - max. teplota ve vakuu  $1800\text{ }^\circ\text{C}$
- $\text{MgO}$  - max. teplota ve vakuu  $1600\text{ }^\circ\text{C}$
- $\text{ZrO}_2$  - max. teplota ve vakuu  $1700\text{ }^\circ\text{C}$
- $\text{BeO}$  - max. teplota ve vakuu  $2000\text{ }^\circ\text{C}$
- $\text{ThO}_2$  - max. teplota ve vakuu  $> 2300\text{ }^\circ\text{C}$



W. Espe: Technologია hmot vakuovej techniky, SAV, Bratislava 1960

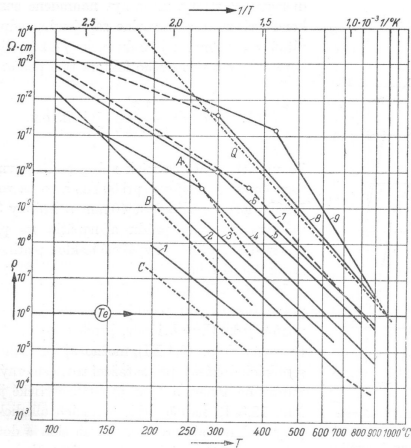
1	Zloženie východiskových surovín	váh. %	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> : 95	Rozbor pozri túto tab., pol.2
		váh. %	íl: 2	pozri tab. 12-19, pol. 4
		váh. %	talk.: 3	pozri tab. 12-19, pol. 2
2	Rozbor Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (druh Norton 38 900)	váh. %	SiO <sub>2</sub> : 0,04 Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> : 0,01 Na <sub>2</sub> O: 0,05 CaO: 0,00 MgO: 0,00 Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> : (zvyšok): 99,90	
3	Vypaľovacia teplota (vo vodíkovej peci)	°C	1775	
4	Merná váha	g/cm <sup>3</sup>	3,5	
5	Pevnosť v ohybe	kg/mm <sup>2</sup>	17,5–21	
6	Súčiniteľ rozťažnosti 25–500 °C	10 <sup>-7</sup> 1/°C	asi 78,5 (pozri aj obr. 12-40)	
7	Merný elektrický odpor	Ω . cm	pozri obr. 12-39	
8	Hodnota T <sub>e</sub>	°C	asi 950°	
9	Dielektrická konštanta ε (10 <sup>10</sup> Hz)	—	8,2–8,6	
10	Dielektrický stratový uhol tg δ (10 <sup>6</sup> Hz) (10 <sup>10</sup> Hz)	—	asi 4 . 10 <sup>-4</sup>	
		—	5–8 . 10 <sup>-4</sup>	

W. Espe: Technologia hmot vákuovej techniky, SAV, Bratislava 1960



Obr. 12-14. Krivky tepelnej rozťažnosti niekoľkých typických keramik (ďalšie vlastnosti obchodných druhov keramiky pozri obr. 12-33, 34, 38, 40, 43 a 77).

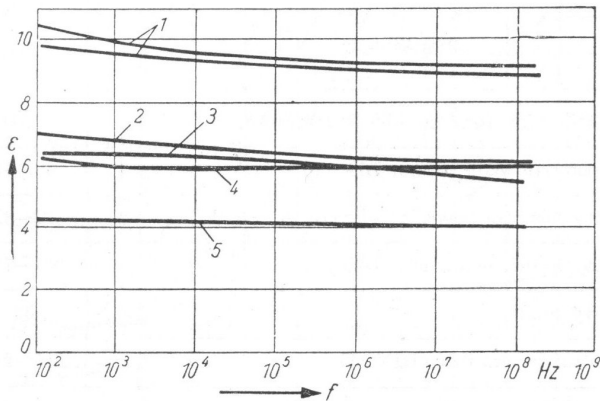
W. Espe: Technológia hmot vákuovej techniky, SAV, Bratislava 1960



Obr. 12-18 A. Závislosť merného elektrického odporu  $\rho$  niekoľkých obchodných druhov keramiky od teploty  $T$ .

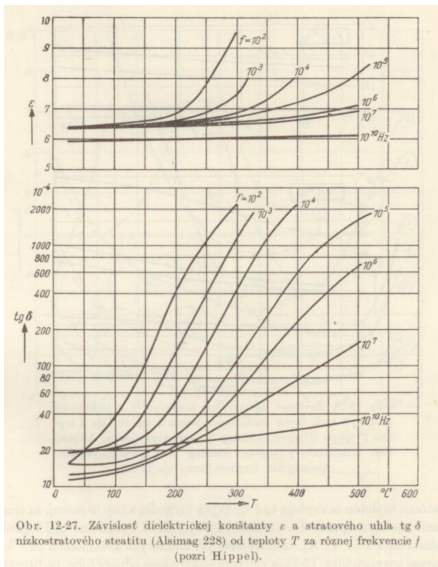
1 — živcový porcelán (Almanox 11 838); 2 — normálny steatit Alsmag 35; 3 — zirkónový mullit Almanox 2570; 4 — prírodný alumosilikát Lava A; 5 — hutná keramika s vysokým obsahom  $\text{Al}_2\text{O}_3$  Almanox 6096; 6 — porovitá keramika s vysokým obsahom  $\text{Al}_2\text{O}_3$  Alsmag 393; 7 — prírodný horečnatý silikát Alsmag Lava 1136; 8 — hutná keramika s vysokým obsahom  $\text{Al}_2\text{O}_3$  Alsmag 614; 9 — forsterit Alsmag 243. Pre porovnanie: Q — kremenné sklo; A — olovnaté sklo Corning 0120; B — pyrexové sklo Corning 7740; C — sodnovápenaté sklo Corning 0080  $T_e = T_e\text{-value}$ .

W. Espe: Technologia hmot vákuovej techniky, SAV, Bratislava 1960



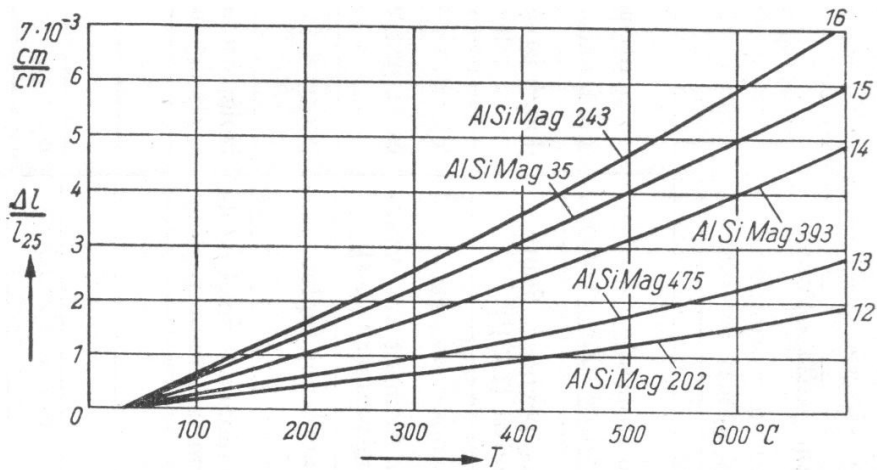
Obr. 12-25. Závislosť dielektrickej konštanty  $\epsilon$  rôznych druhov keramiky pri normálnej teplote od frekvencie  $f$  (pozri Russell [1]); pozri aj tab. 12-12.

1 — zirkónové porcelány; 2 — normálny steatit; 3 — vysokonapäťový porcelán;  
4 — špeciálne steatity. Pre porovnanie: 5 — kremenné sklo.



W. Espe: Technologia hmot vákuovej techniky, SAV, Bratislava 1960

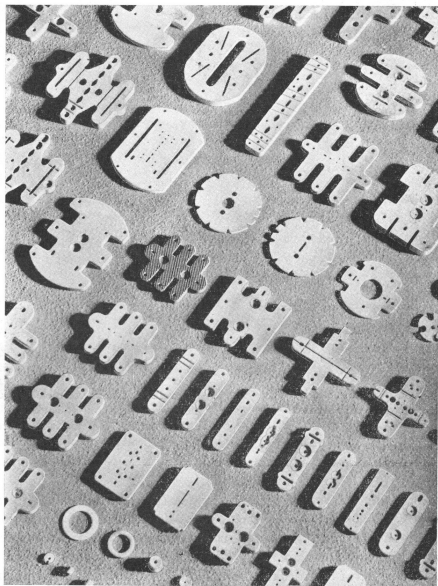




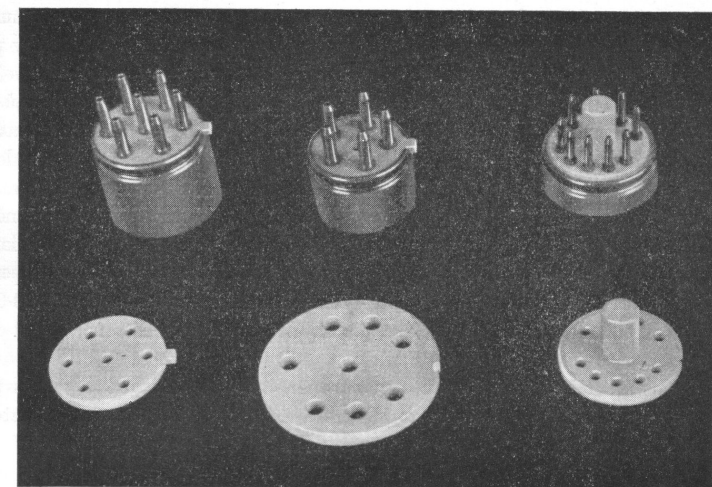
W. Espe: Technologia hmot vákuovej techniky, SAV, Bratislava 1960



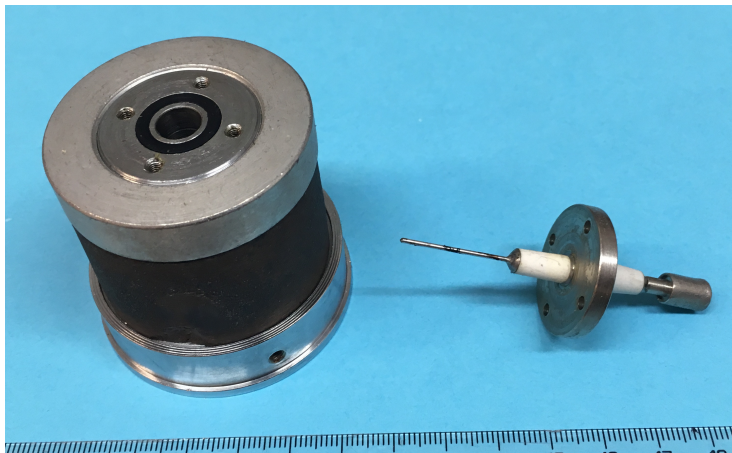
firemní mat. Caburn



W. Espe: Technológia hmot vákuovej techniky, SAV, Bratislava 1960



W. Espe: Technológia hmot vákuovej techniky, SAV, Bratislava 1960







Obr. 12-79. Vákuová vysokoteplotná piecka so sklopným téglikom so stabilizovanou keramikou  $ZrO_2$  a odporovým kúrením do 30 kW; najvyššia teplota 2000 °C; kapacita až 6 kg ocele; dosiahnuteľné vákuum  $5 \cdot 10^{-6}$  torov (výrobca: High Vacuum Equipment Corp., Hingham—Mass., USA).

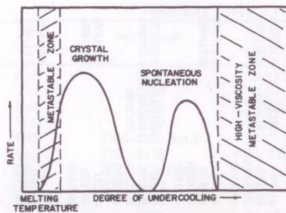
## Použití

- elektrické průchodky
- elektrické izolátory
- topné systémy
- kalíšky pro depozici tenkých vrstev - $\text{Al}_2\text{O}_3$  - Al, Bi, Ge, In, Ni
- ...

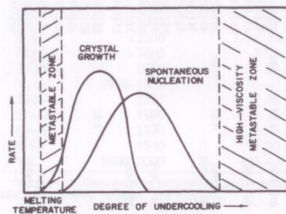


# Sklokeramika

- polykrystalický materiál, začátky 1968
- malá tepelná roztažnost
- vysoká homogenita
- tvrdost podobná jako borokřemičité sklo, dobře se leští
- dobrá adheze vrstev
- malá propustnost pro He
- neporézní
- dobrá chemická odolnost
- výroba sklokeramických desek pro vařiče
- výroba zrcadel pro dalekohledy, Keck I a II (10 m), VLT (8,2 m) ...



(a) Ordinary glass



(b) Seeded glass

FIG. 2.11. Crystal growth and nucleation rates in different types of glasses: a) ordinary glass; b) seeded glass. After Stookey,<sup>144</sup> (Courtesy American Ceramic Society)

W.H.Kohl: Handbook of materials and techniques for vacuum devices, AIP Press 1995

**TABLE 2.24. Some Representative Glass-Ceramic Composition Fields\***

Glass	Crystal phases	Catalysts
$\text{MgO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{SiO}_2$	$2\text{MgO} \cdot 2\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 5\text{SiO}_2$	$\text{TiO}_2$
$\text{Li}_2\text{O} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{SiO}_2$	$\text{Li}_2\text{O} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2$	$\text{TiO}_2$
	$\text{Li}_2\text{O} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 4\text{SiO}_2$	$\text{TiO}_2$
	$\text{Li}_2\text{O} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 6\text{SiO}_2$	$\text{TiO}_2$
	$\text{Li}_2\text{O} \cdot \text{SiO}_2$	Au, Ag, Cu, Pt
	$\text{Li}_2\text{O} \cdot 2\text{SiO}_2$	Au, Ag, Cu, Pt
$\text{Na}_2\text{O} \cdot \text{BaO} \cdot \text{SiO}_2$	$\text{BaO} \cdot 2\text{SiO}_2$	Au, Ag, Cu, Pt

\*After Stookey and Maurer<sup>123</sup>

W.H.Kohl: Handbook of materials and techniques for vacuum devices, AIP Press 1995

materiál	obsah SiO <sub>2</sub> [%]	[K <sup>-1</sup> ] $\times 10^{-7}$	[ °C ]
fused silica	99,5	5,5	0 – 300
silica glass	96	8	0 – 300
borosilicate glass	65,8	51	0 – 300
aluminosilicate glass	56,5	45	0 – 300
Zerodur	Schott	0,5 $\pm$ 1	20 – 300
Zerodur - extreme	Schott	0 $\pm$ 0,07	0 – 50

