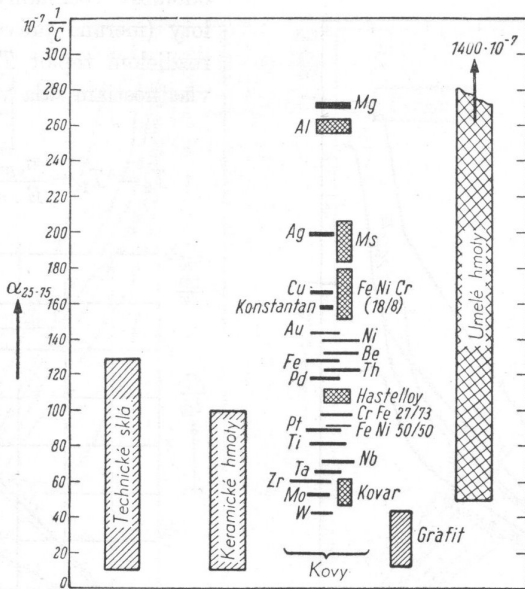
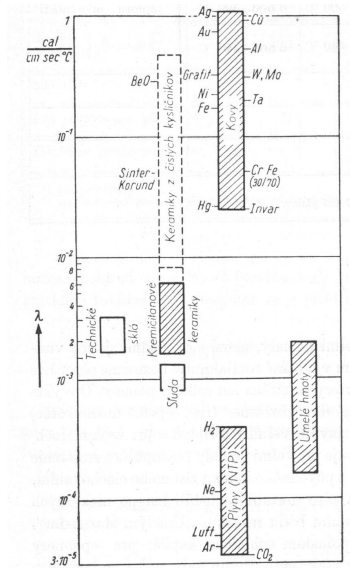


Materiály pro vakuové aparatury

- 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

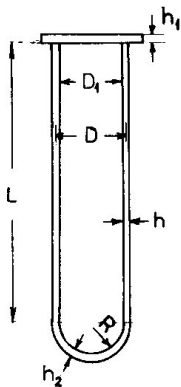


W. Espe: Technologia hmot vákuovej techniky, SAV, Bratislava 1960

Material	Surface-quality	Surface condition	Desorption rates ¹⁾		
			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

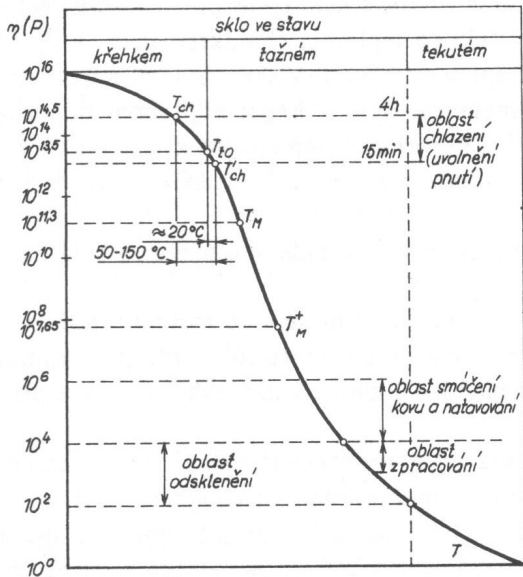
- nízká tenze par
- malá desorpce plynu
- křehké
- elektrický izolant
- chemicky odolné
- svařování a tvarování za tepla
- vznik pnutí - temperování

- sklotvorné složky SiO_2 , B_2O_3 , P_2O_5
- Na_2O , CaO - snižuje tavící teplotu
- Al_2O_3 , ZnO_2 - zvyšuje chemickou netečnost
- K_2O
- BaO
- PbO
- MgO

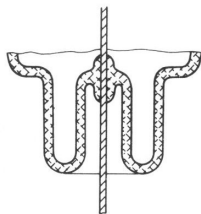
Tab. 6.2. Přehled skel a jejich některých vlastností (podle W. Espeho a kol.)

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

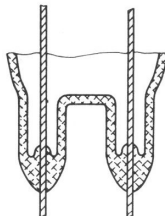
J. Groszkowski: Technika vysokého vakua, SNTL, Praha 1981



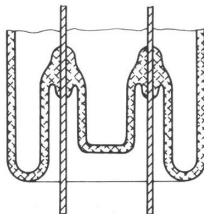
Obr. 6.3. Závislost koeficientu viskozity skla na teplotě T_{ch} – dolní chladicí teplota (při níž mizí napětí během 4 h); T'_{ch} – horní chladicí teplota (při níž vymizí napětí za 15 min); T_{10} – transformační teplota (začátek vzrůstu součinitele teplotní roztažnosti a změn dalších vlastností); T_M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



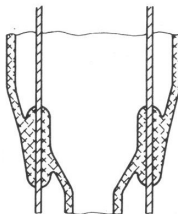
(a)



(b)

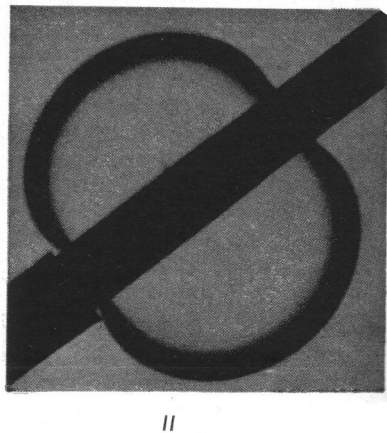
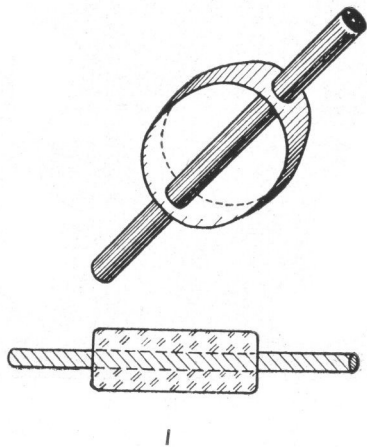


(c)

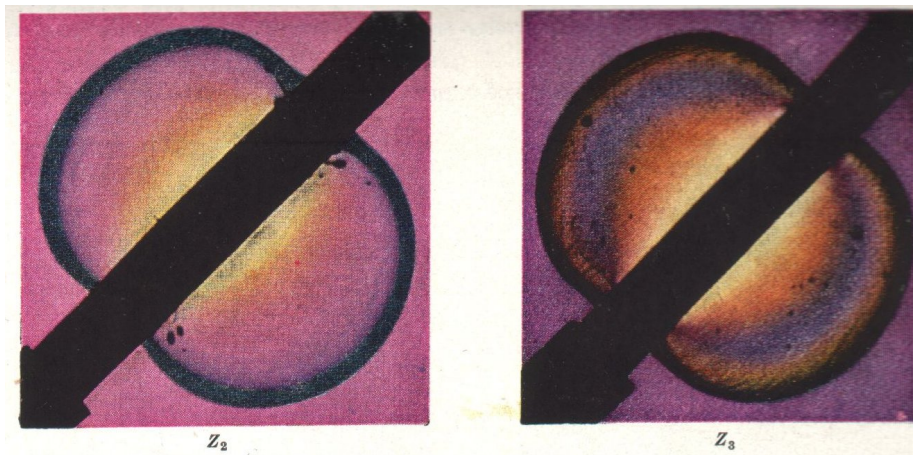


(d)

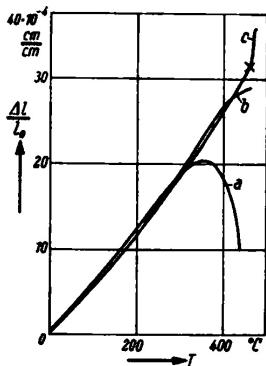
W. Espe: Technológia hmot vákuovej techniky, SAV, Bratislava 1960



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

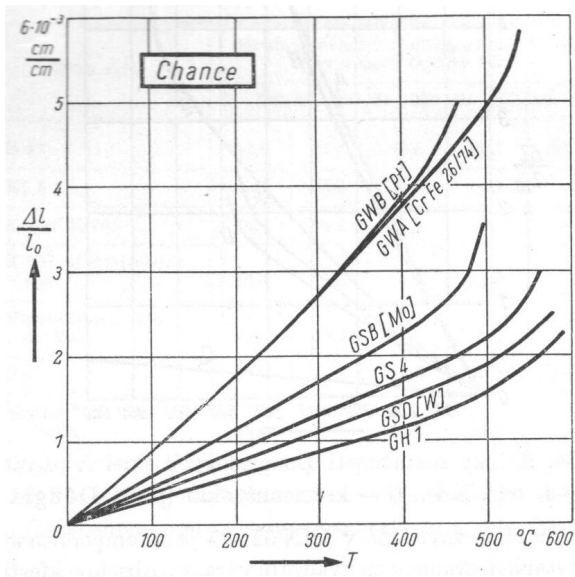


W. Espe: Technologia hmot vákuovej techniky, SAV, Bratislava 1960

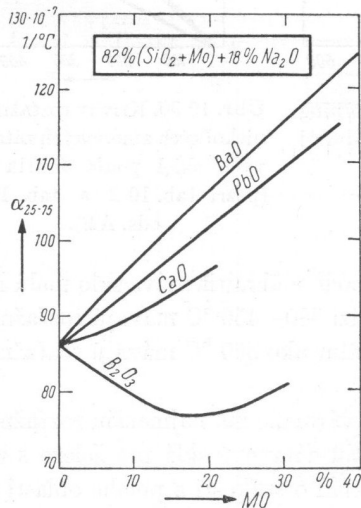


Obr. 10-258. Závislosť relatívnej tepelnej rozťažnosti $\Delta l/l_0$ od teploty T (krivky priebehu rozťažnosti) tyčinky boritého skla po rôznom tepelnom spracovaní.

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]).

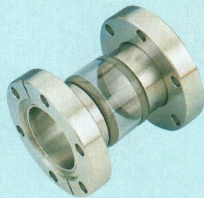


W. Espe: Technologia hmot vákuovej techniky, SAV, Bratislava 1960

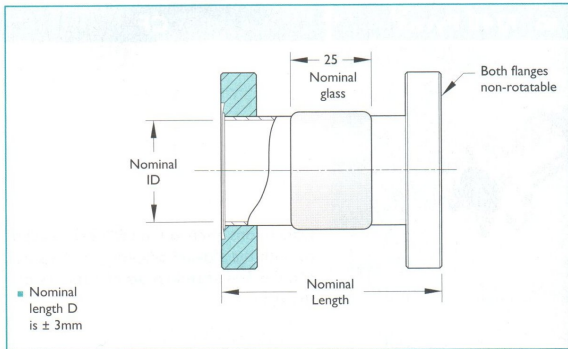


W. Espe: Technologia hmot vákuovej techniky, SAV, Bratislava 1960

CF

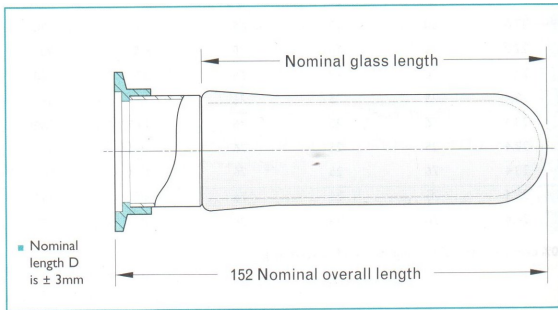


400°C maximum bakeout

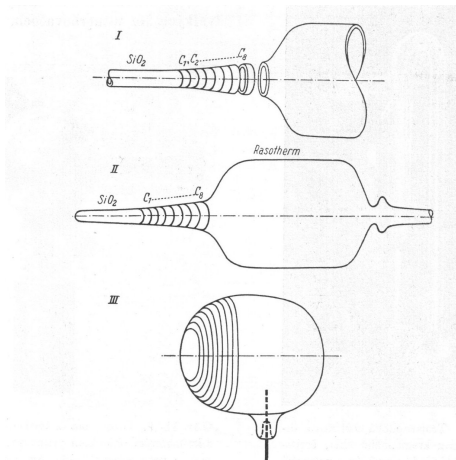


firemní mat. Caburn

ISI KF

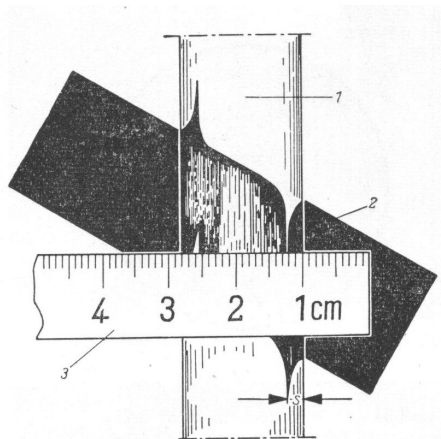


firemní mat. Caburn



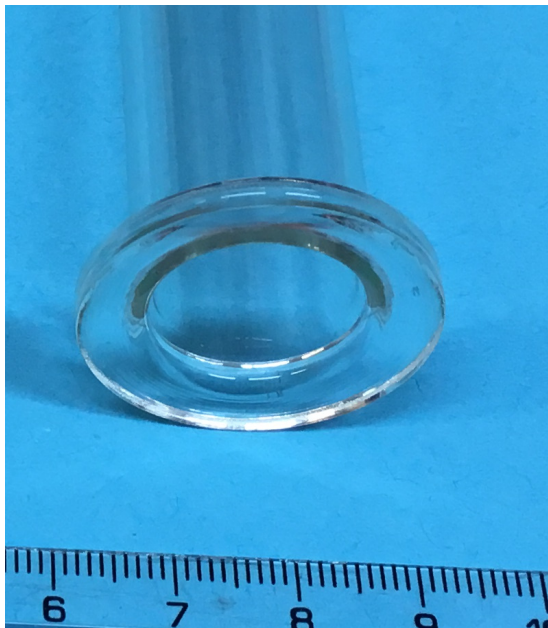
Orb. 11-19 A. K zatavovaniu okienok z kremenného skla do baniek z tvrdého skla.

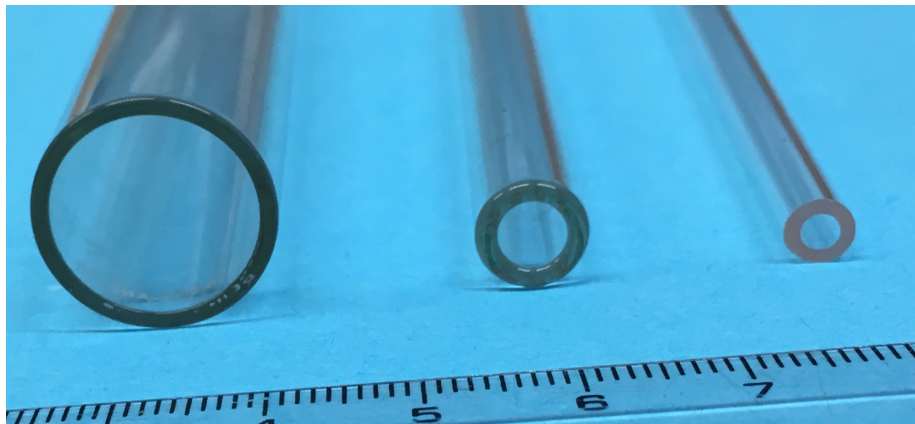
W. Espe: Technologia hmot vákuovej techniky, SAV, Bratislava 1960



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:

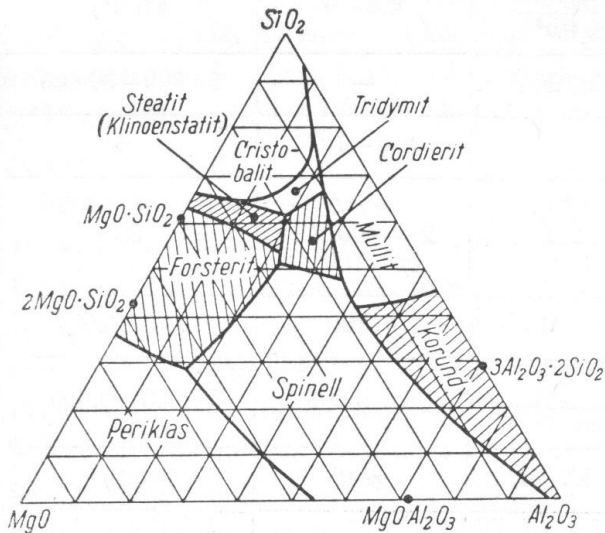
- osvětlovací technika
- manometry
- elektrické průchodky
- obrazovky
- okénka do reaktorů
- elektronky
- speciální kalibrační lampy
- ventily
- ...

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:

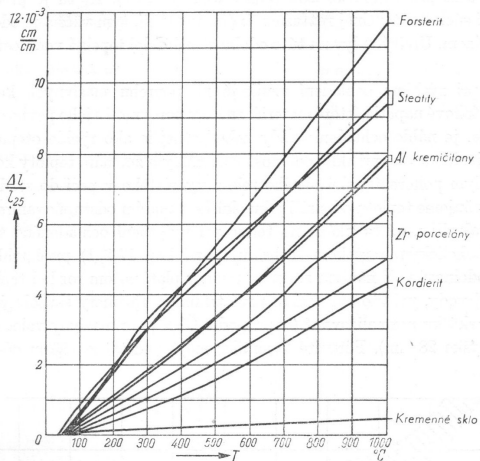
- Al_2O_3 - max. teplota ve vakuu $1800\text{ }^\circ\text{C}$
- MgO - max. teplota ve vakuu $1600\text{ }^\circ\text{C}$
- ZrO_2 - max. teplota ve vakuu $1700\text{ }^\circ\text{C}$
- BeO - max. teplota ve vakuu $2000\text{ }^\circ\text{C}$
- ThO_2 - max. teplota ve vakuu $> 2300\text{ }^\circ\text{C}$



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

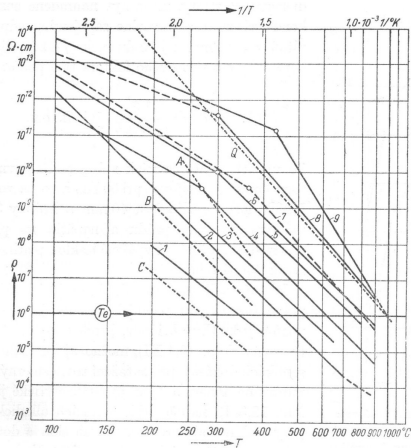
1	Zloženie východiskových surovín	váh. %	Al ₂ O ₃ : 95	Rozbor pozri túto tab., pol.2
		váh. %	íl: 2	pozri tab. 12-19, pol. 4
		váh. %	talk.: 3	pozri tab. 12-19, pol. 2
2	Rozbor Al ₂ O ₃ (druh Norton 38 900)	váh. %	SiO ₂ : 0,04 Fe ₂ O ₃ : 0,01 Na ₂ O: 0,05 CaO: 0,00 MgO: 0,00 Al ₂ O ₃ : (zvyšok): 99,90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

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).

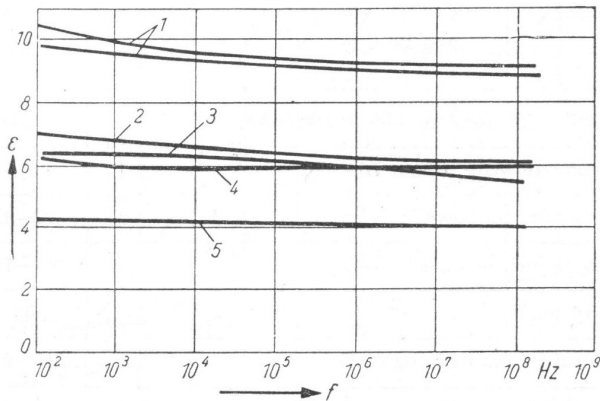
W. Espe: Technológia hmot vákuovej techniky, SAV, Bratislava 1960



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

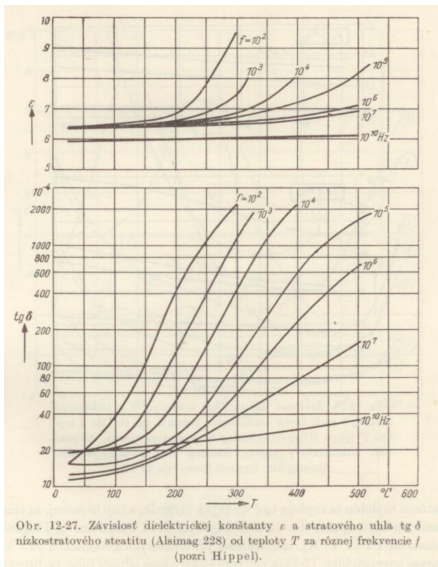
1 — živcový porcelán (Almanox 11 838); 2 — normálny steatit Alsmag 35; 3 — zirkónový mullit Almanox 2570; 4 — prírodný alumosilikát Lava A; 5 — hutná keramika s vysokým obsahom Al_2O_3 Almanox 6096; 6 — pórovitá keramika s vysokým obsahom Al_2O_3 Alsmag 393; 7 — prírodný horečnatý silikát Alsmag Lava 1136; 8 — hutná keramika s vysokým obsahom Al_2O_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

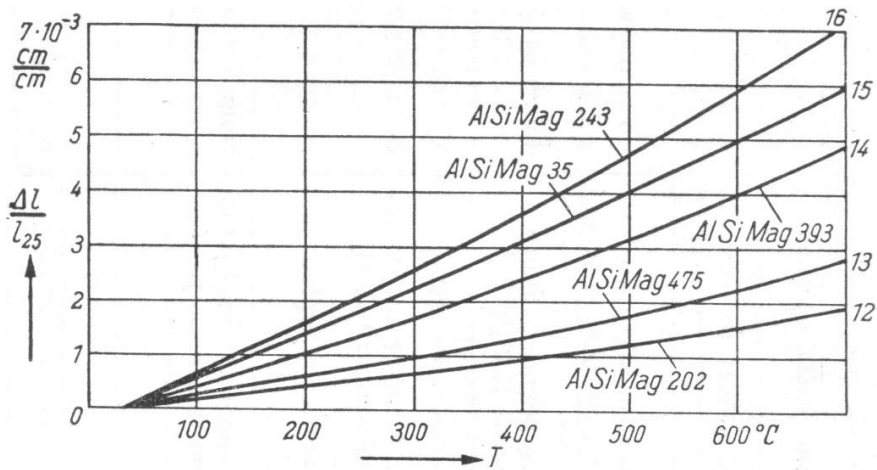


Obr. 12-25. Závislosť dielektrickej konštanty ϵ rôznych druhov keramiky pri normálnej teplote od frekvencie f (pozri Russell [1]); pozri aj tab. 12-12.

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



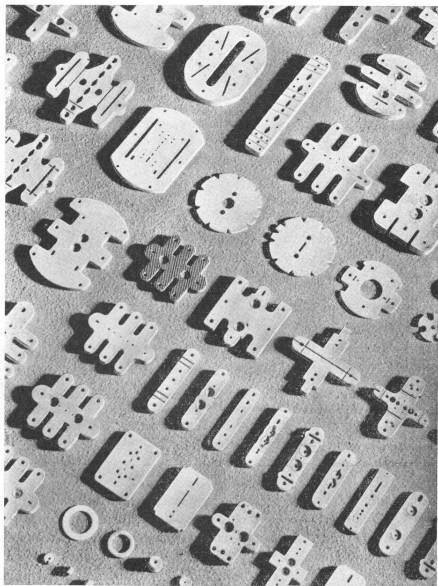
W. Espe: Technologia hmot vákuovej techniky, SAV, Bratislava 1960



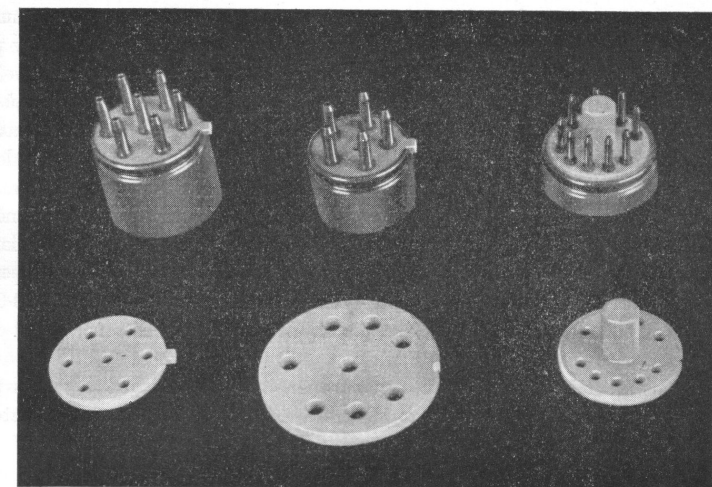
W. Espe: Technologia hmot vákuovej techniky, SAV, Bratislava 1960



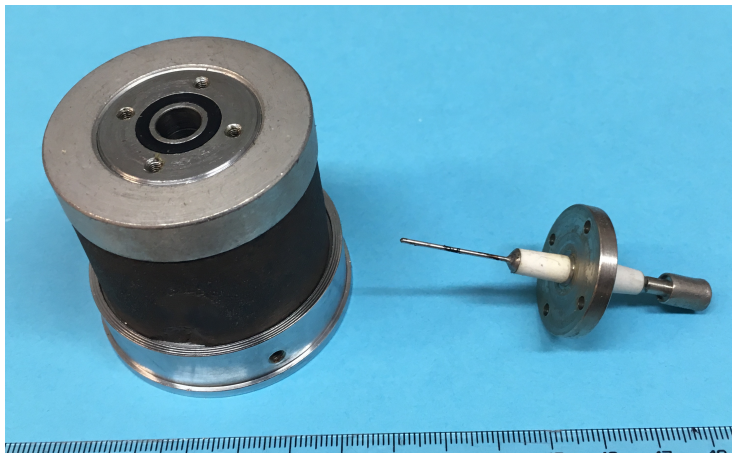
firemní mat. Caburn



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



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







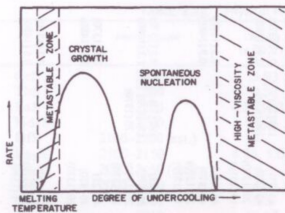
Obr. 12-79. Vákuová vysokoteplotná piecka so sklopným téglikom so stabilizovanou keramikou ZrO_2 a odporovým kúrením do 30 kW; najvyššia teplota 2000 °C; kapacita až 6 kg ocele; dosiahnuteľné vákuum $5 \cdot 10^{-6}$ torov (výrobca: High Vacuum Equipment Corp., Hingham—Mass., USA).

Použití

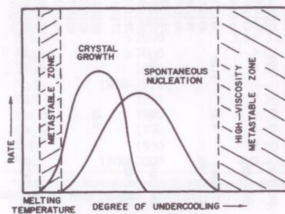
- elektrické průchodky
- elektrické izolátory
- topné systémy
- kalíšky pro depozici tenkých vrstev - Al_2O_3 - Al, Bi, Ge, In, Ni
- ...

Sklokeramika

- polykrystalický materiál, začátky 1968
- malá tepelná roztažnost
- vysoká homogenita
- tvrdost podobna 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,¹⁵⁴ (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
$\text{MgO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{SiO}_2$	$2\text{MgO} \cdot 2\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 5\text{SiO}_2$	TiO_2
$\text{Li}_2\text{O} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{SiO}_2$	$\text{Li}_2\text{O} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2$	TiO_2
	$\text{Li}_2\text{O} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 4\text{SiO}_2$	TiO_2
	$\text{Li}_2\text{O} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 6\text{SiO}_2$	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 Maurer¹³³

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

materiál	obsah SiO ₂ [%]	[K ⁻¹] $\times 10^{-7}$	[°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

