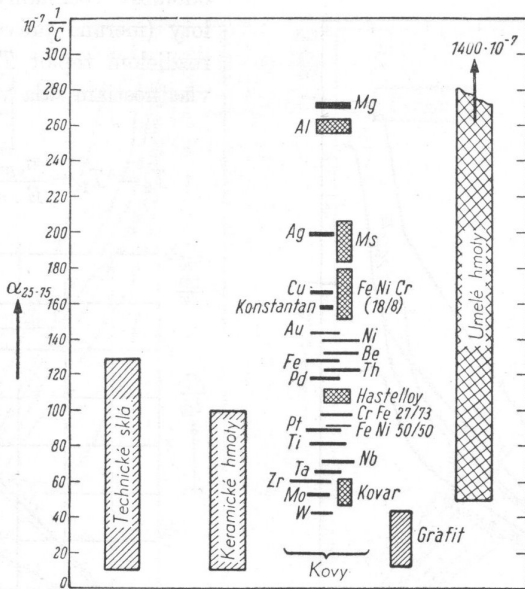
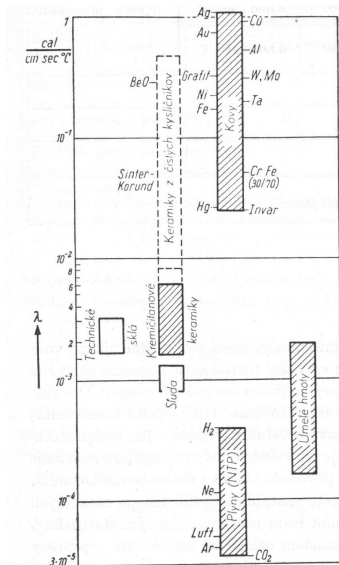


Materiály pro vakuové aparatury

- 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

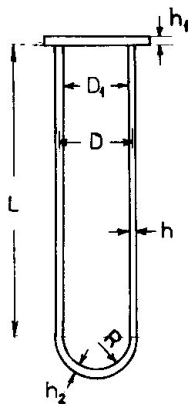


W. Espe: Technologia hmot vákuovej techniky, SAV, Bratislava 1960

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	$h_1/8$	R/h_2
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

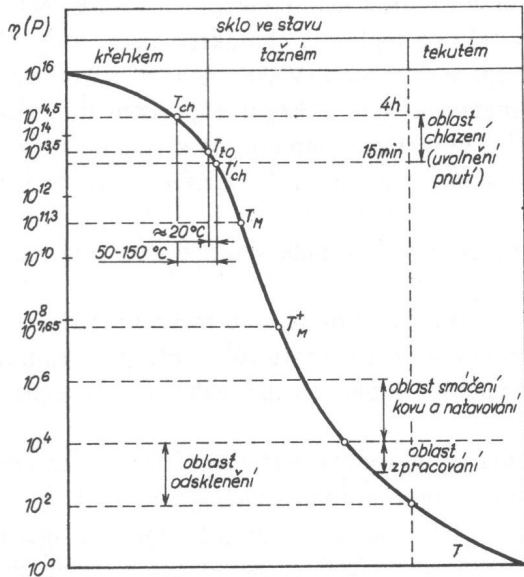
Sklo

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

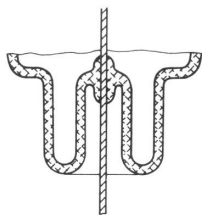
- sklotvorné složky SiO_2 , B_2O_3 , P_2O_5
- Na_2O , CaO - snižuje tavící teplotu
- Al_2O_3 , ZnO_2 - zvyšuje chemickou netečnost
- K_2O
- BaO
- PbO
- MgO

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

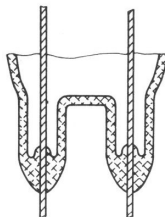
Sklo	křemičitě (tavený SiO ₂)	velmi tvrdé (borokřemičitě bez alkálií)	tvrdé (borokřemičitě)	olovnaté (olovnatokřemičitě)	měkké (alkalicko-vápenatokřemičitě) a) s Al ₂ O ₃ b) bez Al ₂ O ₃
B ₂ O ₃ Al ₂ O ₃		5–23 % 3–25 %	> 10 % < 5 %	< 8 %	a) 0 b) 1–5 %
Na ₂ O+K ₂ O CaO PbO SiO ₂	> 95 %	< 10 % zbytek	5–8 % 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 @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	



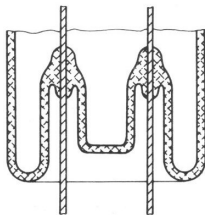
Obr. 6.3. Závislost koeficientu viskozity skla na teplotě
 T_{ch} – dolní chladicí teplota (při níž mizí napětí během 4 h); T'_{ch} – horní chladicí teplota (při níž vymizí napětí za 15 min); T_{10} – transformační teplota (začátek vzrůstu součinitele teplotní roztažnosti a změn dalších vlastností);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



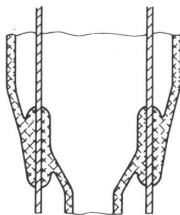
(a)



(b)

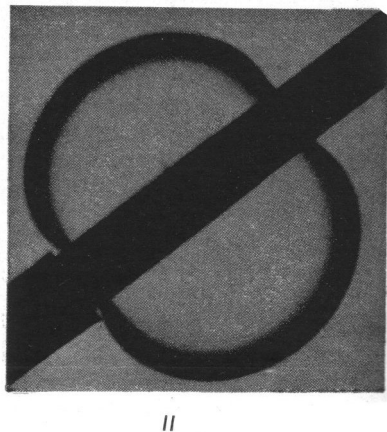
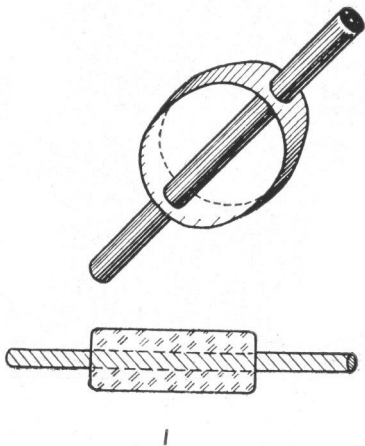


(c)

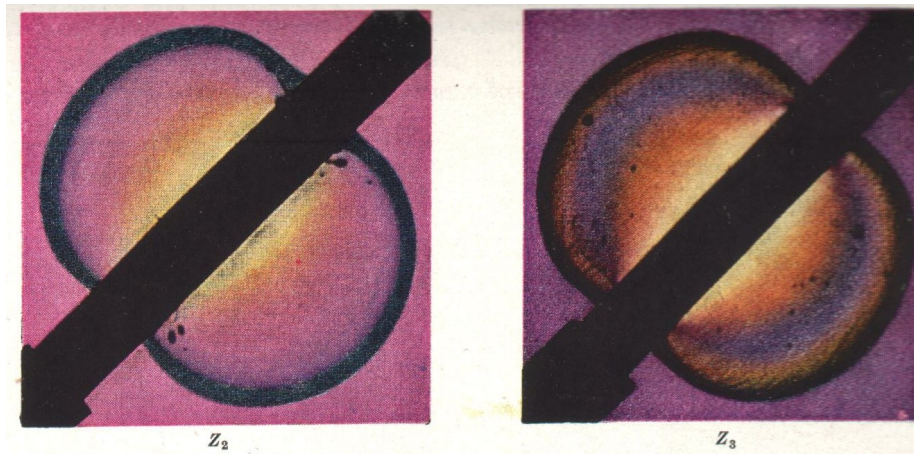


(d)

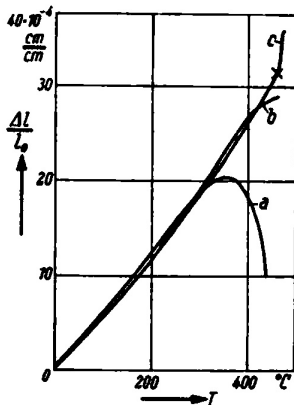
W. Espe: Technológia hmot vákuovej techniky, SAV, Bratislava 1960



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

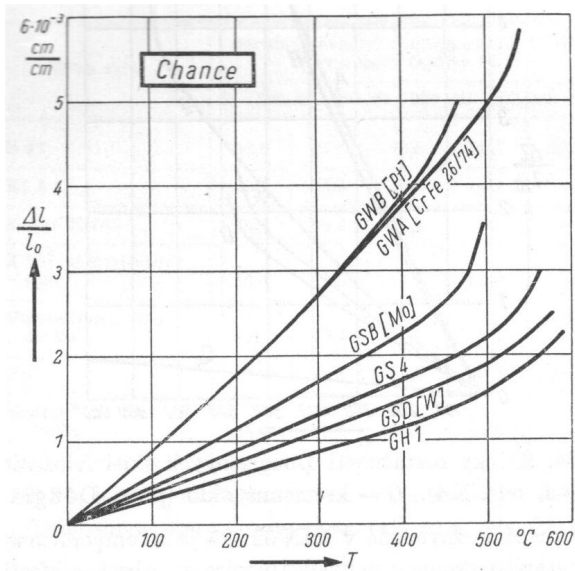


W. Espe: Technologia hmot vákuovej techniky, SAV, Bratislava 1960

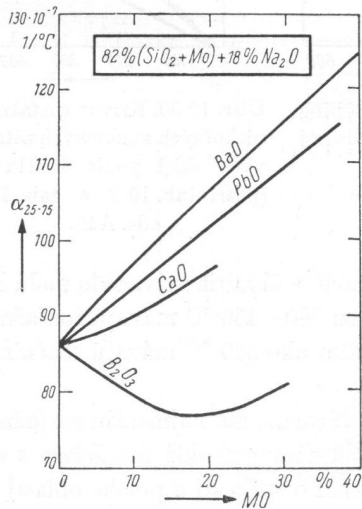


Obr. 10-258. Závislosť relatívnej tepelnej rozťažnosti $\Delta l/l_0$ od teploty T (krivky priebehu rozťažnosti) tyčinky boritého skla po rôznom tepelnom spracovaní.

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]).

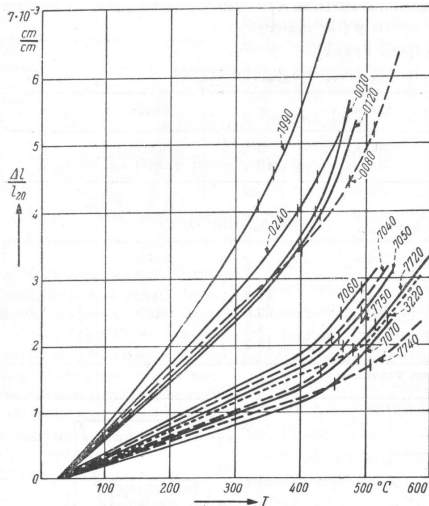


W. Espe: Technologia hmot vákuovej techniky, SAV, Bratislava 1960



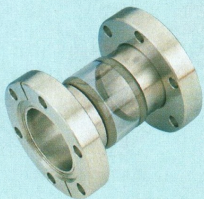
W. Espe: Technologia hmot vákuovej techniky, SAV, Bratislava 1960

Skla Corning

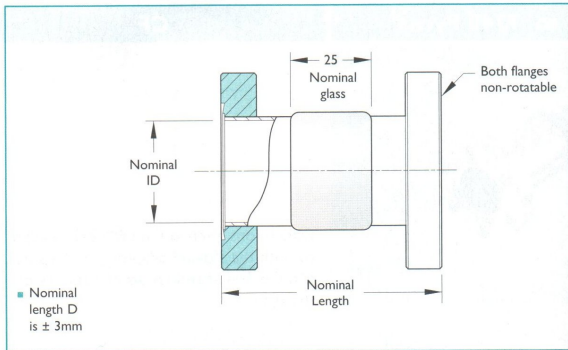


W. Espe: Technologia hmot vákuovej techniky, SAV, Bratislava 1960

CF

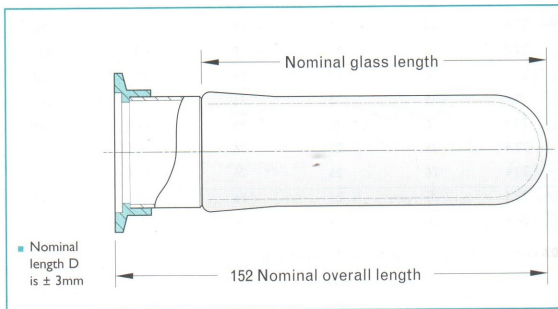


400°C maximum bakeout

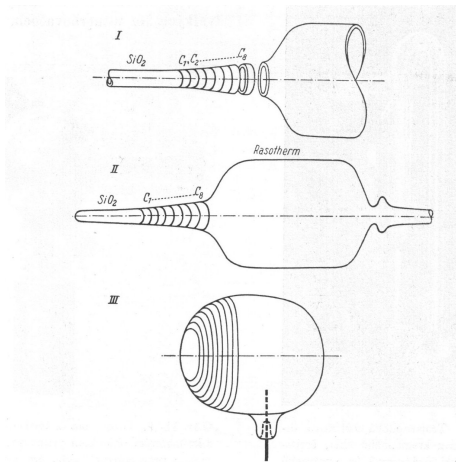


firemní mat. Caburn

ISI KF

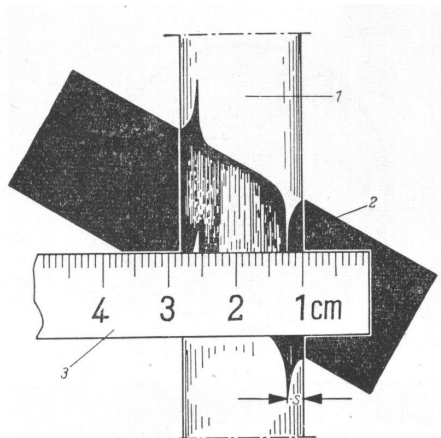


firemní mat. Caburn



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

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



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

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

Použití:

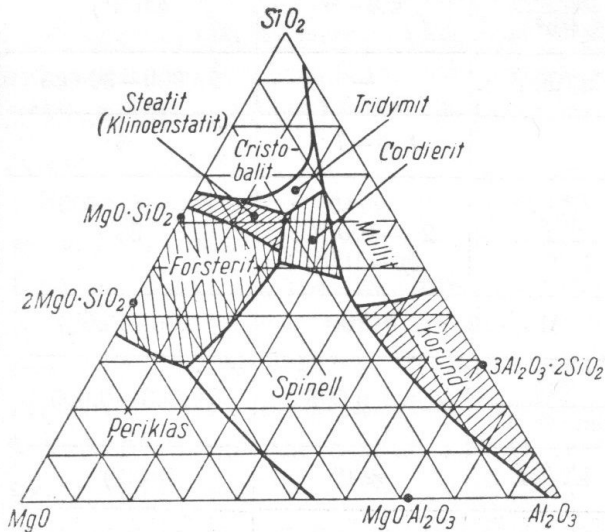
- osvětlovací technika
- manometry
- elektrické průchodky
- obrazovky
- okénka do reaktorů
- elektronky
- speciální kalibrační lampy
- ...

Keramika

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

Složení:

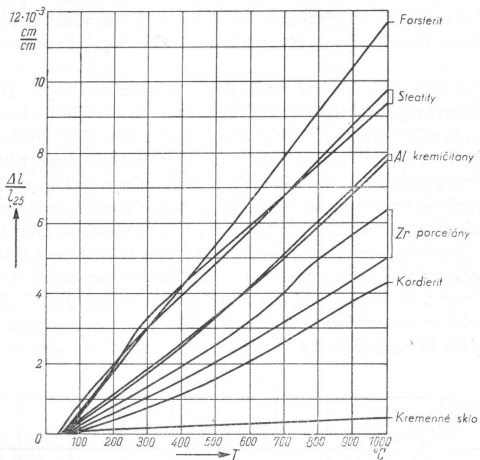
- Al_2O_3 - max. teplota ve vakuu $1800\text{ }^\circ\text{C}$
- MgO - max. teplota ve vakuu $1600\text{ }^\circ\text{C}$
- ZrO_2 - max. teplota ve vakuu $1700\text{ }^\circ\text{C}$
- BeO - max. teplota ve vakuu $2000\text{ }^\circ\text{C}$
- ThO_2 - max. teplota ve vakuu $> 2300\text{ }^\circ\text{C}$



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

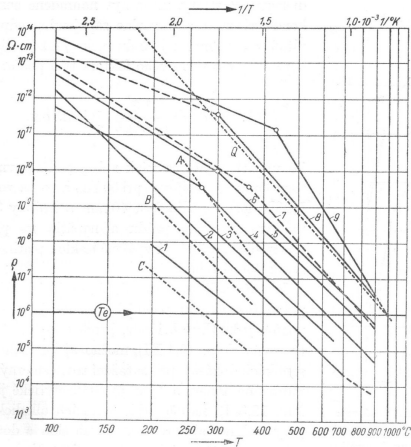
1	Zloženie východiskových surovín	váh. %	Al_2O_3 : 95	Rozbor pozri túto tab., pol.2
		váh. %	íl: 2	pozri tab. 12-19, pol. 4
		váh. %	talk.: 3	pozri tab. 12-19, pol. 2
2	Rozbor Al_2O_3 (druh Norton 38 900)	váh. %	SiO ₂ : 0,04 Fe ₂ O ₃ : 0,01 Na ₂ O: 0,05 CaO: 0,00 MgO: 0,00 Al_2O_3 : (zvyšok): 99,90	
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: Technológia 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

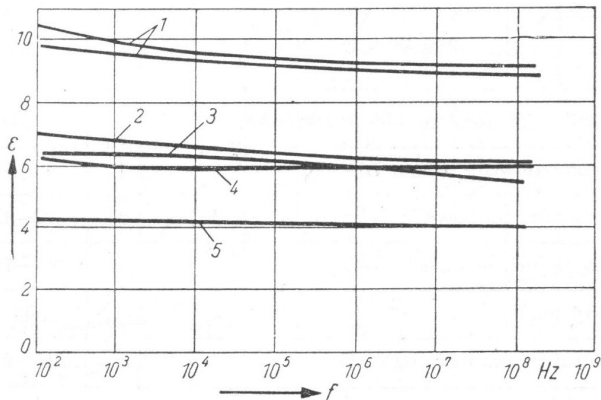


Obr. 12-18 A. Závislosť merného elektrického odporu ρ niekoľkých obchodných druhov keramiky od teploty T .

1 — živecový 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 $T_e = T_e$ -value.

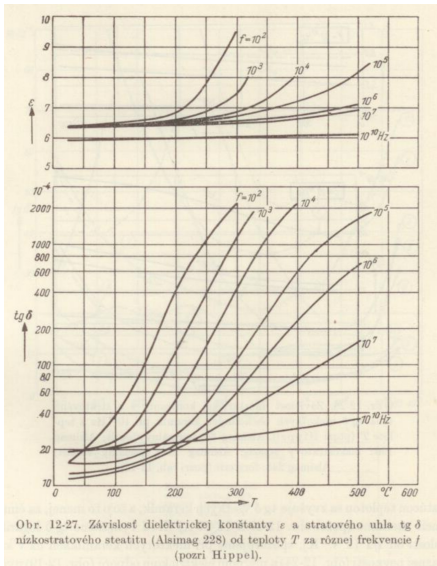
Druh keramiky (prípadne typ alebo obchodná značka)	T_e °C	Výroba
Jemne pórovitá keramika prevažne z Al_2O_3 (druh DIN 520)	< 800	3)
Mastenec (prírodná hornina z Bavorska)	800	4)
Hlinitokremičitan	800	2)
Prírodná hornina horečnatokremičitanová (Lava 1136)	810	2)
Steatit (Alsimag 228)	820	2)
Korundová keramika (Alsimag 393)	835	2)
Steatit (Alsimag 197)	840	2)
Kremičitan zirkónu (Alsimag 475)	870	2)
Hlinitokremičitan (pyrofyilit), prírodná hornina z Transvaalu	600–900	
Hlinitokremičitan (Alsimag 614) (hlinitokremičitá keramika)	930	2)
Pórovitý opracovateľný steatit (druh DIN 240) napr. Ergon	< 1000	2)
Špeciálny steatit (druh DIN 221)	< 1000	2)
Horečnatý kremičitan (Alsimag 222)	> 1000	2)
Hlinitokremičitan (Alsimag 652) (hlinitokremičitá keramika)	> 1000	2)
Forsterity (Alsimag 243) (Frequenta M)	> 1000 > 1000	2) 4)

W. Espe: Technológia 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.



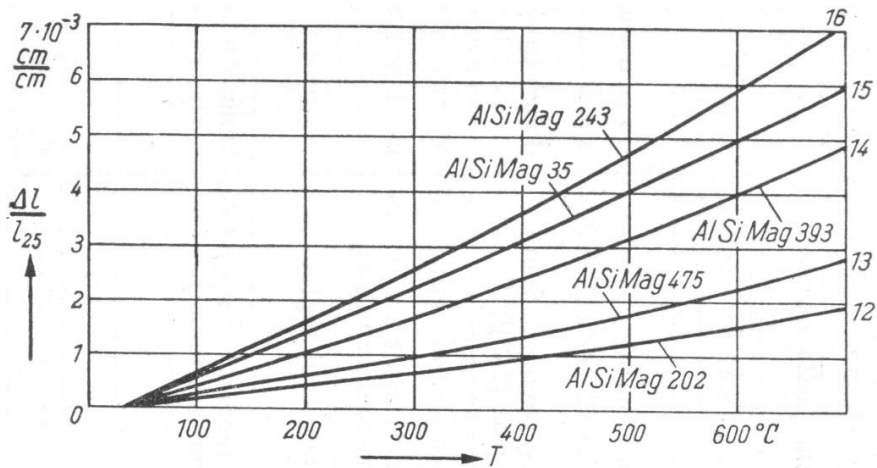
Obr. 12-27. Závislosť dielektrickej konštanty ϵ a stratového uhla $\text{tg } \delta$ nízkostratového steatitu (Alsimag 228) od teploty T za rôznej frekvencie f (pozri Hippel).

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

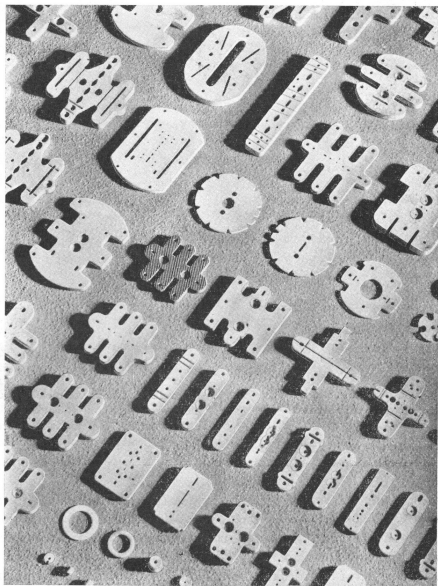
Zostavenie stratového uhla $\operatorname{tg} \delta$ (meraného za normálnej teploty pri 10^6 Hz) najdôležitejších druhov keramik podľa klesajúcich hodnôt

Druh keramiky	$\operatorname{tg} \delta$ 10^{-4}
Prírodná hornina Lava A (hlinitokremičitan)	100
Tvrдый porcelán, napr. druhu DIN 110	60–120
Cordierity pórovité (nasiakavosť vody $A = 8,5\%$)	40–82
Cordierity hutné, napr. druh DIN 410	40–70
Zirkónový mulit	32
Hutné steatity ako druh DIN 220	15–20
Steatity Alsimag	12–35
Zirkónový kremičitan	8–17
Forsterit (Alsimag 243)	4
Keramiky s vysokým obsahom Al_2O_3 (Alsimag)	3–7
Špeciálny steatit druh DIN 221	3–5
Mastenec, Lava 1136 (horečnaté kremičitany)	3
Horečnaté kremičitany, pórovité (Alsimag 222)	2–4

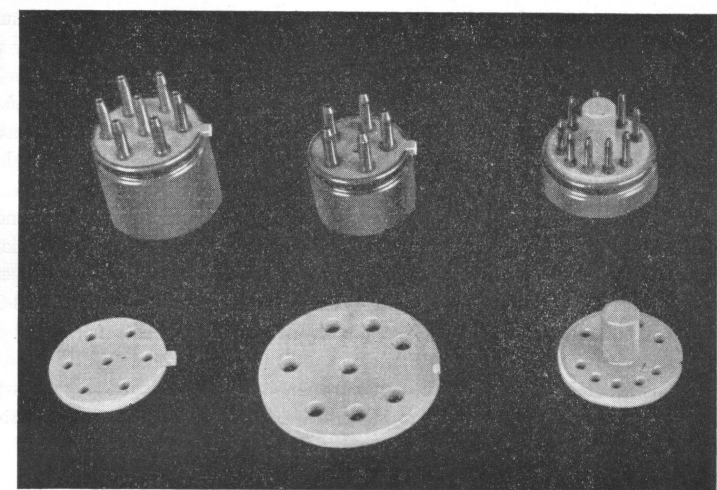
W. Espe: Technologia hmot vákuovej techniky, SAV, Bratislava 1960



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



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



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

Použití

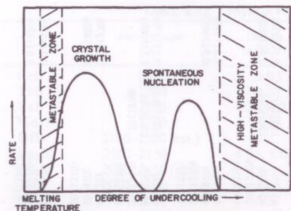
- elektrické průchodky
- elektrické izolátory
- topné systémy
- kalíšky pro depozici tenkých vrstev $\text{-Al}_2\text{O}_3$ - Al, Bi, Ge, In, Ni
- ...



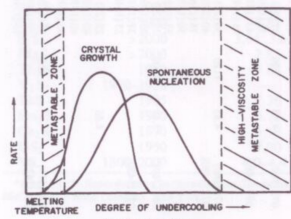
Obr. 12-79. Vákuová vysokoteplotná piecka so sklopným téglikom so stabilizovanou keramikou ZrO_2 a odporovým kúrením do 30 kW; najvyššia teplota 2000 °C; kapacita až 6 kg ocele; dosiahnuteľné vákuum $5 \cdot 10^{-6}$ torov (výrobca: High Vacuum Equipment Corp., Hingham—Mass., USA).

Sklokeramika

- polykrystalický materiál, začátky 1968
- malá tepelná roztažnost, menší než u křemene
- 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)

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 Maurer¹²⁴

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

