
PRACE

**Instytutu Ceramiki
i Materiałów Budowlanych**

Scientific Works
of Institute of Ceramics
and Construction Materials

Nr 6

ISSN 1899-3230

Rok III

Warszawa–Opole 2010

Szkła zawierające tal Część 2

Część druga artykułu stanowi dalszy ciąg przeglądu dostępnych danych literaturowych, w tym artykułów, patentów i wyników prac doświadczalnych dotyczących szkieł zawierających tal (szkieł talowych), prowadzonych pod kątem uzyskania korzystnych właściwości fizykochemicznych, w tym zwłaszcza współczynników odbicia i załamania światła oraz współczynnika rozszerzalności termicznej. Artykuł przygotowano przede wszystkim na podstawie pracy: *Physicochemical Analysis as Applied to Investigations into the Refraction of Light and the Thermal Expansion of Optical and Gradient – Index Thallium Glasses* A.K. Yakhkind, opublikowanej w czasopiśmie „Glass Physics and Chemistry” [1].

1. Przegląd literatury

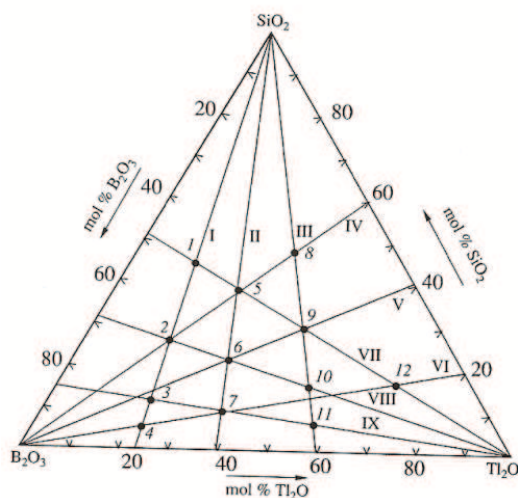
1.1. Badania szkieł talowych dla optyki o gradiencie współczynnika załamania przeprowadzone w Państwowym Instytucie Optycznym (Rosja)

1.1.1. Szkła z układu $Tl_2O-B_2O_3-SiO_2$

Obszerne badania szkieł talowych dla optyki o gradiencie współczynnika załamania zostały przeprowadzone w Państwowym Instytucie Optycznym (d. ZSRR, obecnie Rosja) przez zespół: Dokhikyan, Alaev i Elissev, który większą część badań wykonywał pod kierunkiem A.K. Yakhkinda [40–44]. Analizy chemiczne szkieł zostały przeprowadzone przez Krasnopol'skaya i Gargun [41]. Szkła były topione w skali laboratoryjnej, w piecu z karborundowymi elementami grzejnymi, w tyglach platynowych z zastosowaniem platynowego mieszcza. Składy szkieł leżące wzdłuż wyznaczonych linii w układzie trójskładnikowym $Tl_2O-B_2O_3-SiO_2$ zostały tak dobrane, żeby punkty wyznaczające skład każdego z dziewięciu szkieł przypadły w miejscach przecinania się dwóch lub trzech

* Mgr inż., Instytut Ceramiki i Materiałów Budowlanych w Warszawie, Oddział Szkła i Materiałów Budowlanych w Krakowie.

pseudopodwójnych połączeń (ryc. 1). Tego rodzaju dobór składów pozwolił uzyskać największą liczbę danych do konstruowania krzywych zależności składu od właściwości, przy możliwie najmniejszej liczbie doświadczalnych wytopów i badań [1].



Ryc. 1. Skład wskazujący zawartość poszczególnych składników szkła układu trójskładnikowego $Tl_2O-B_2O_3-SiO_2$ [1]

Zastosowanie takiego sposobu otrzymywania wyników pozwoliło na określenie prawidłowości rządzących zmianami właściwości w zależności od systematycznie dokonywanych zmian składów pod kontrolą analiz fizykochemicznych. Odróżnia to uzyskane dane od danych innych autorów (ryc. 1–3 w część 1 artykułu), gdzie konkretne połączenia zostały scharakteryzowane za pomocą regularnej zmienności w składzie [1]. Wyniki prezentowane poniżej były nowością, gdyż tego rodzaju podejście do opracowywania danych doświadczalnych odnośnie do właściwości szkła układu talowo-borokrzemianowego nie było wcześniej stosowane [40–47].

Połączenia, wzdłuż których usytuowane są składy szkła, podano w tabeli 1 (rzymskie cyfry odpowiadają numeracji połączeń na ryc. 1). Tabela 2 przedstawia właściwości fizykochemiczne, molowo wprowadzone (addycyjne) modyfikacje współczynnika załamania (n_V) i współczynnik rozszerzalności cieplnej (αV) [47], gdzie n stanowi współczynnik załamania światła, α jest współczynnikiem rozszerzalności cieplnej i V jest objętością molową. Współczynnik załamania światła mierzono z dokładnością do 0,00005 na pięciosekundowym goniometrze. Techniki ujęte w opisie do tabeli 2 były stosowane dla szkła o niskiej odporności chemicznej lub współczynnikach załamania światła większych niż 1,74 [1].

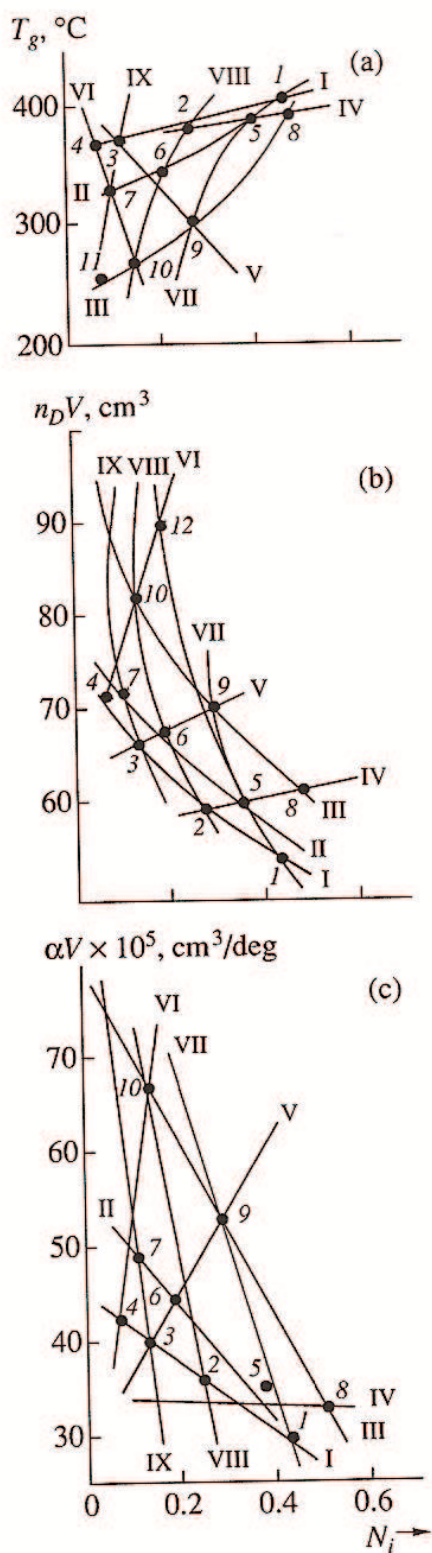
Zależności dylatometrycznego punktu mięknięcia (a) oraz molowo-addycyjnych dodatków modyfikujących, odpowiednio współczynnik załamania światła (b) i współczynnik rozszerzalności cieplnej (c), dla badanych składów szkła przedstawiono na rycinie 2 [1].

Tabela 1
Składy szkielek leżące wzdłuż wyznaczonych połączeń w układzie $Tl_2O-B_2O_3-SiO_2$ [1]

Nr szkła	Składnik [% mol]		Wartość x dla szkielek (patrz ryc. 1)												
	B_2O_3	Tl_2O	SiO_2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
I	75	25	x	43,08	26,74	12,98	37,50	19,69	8,83						
II	60	40	x												
III	40	60	x												
IV	x	40	60		5,47	65,85	34,50	48,19		21,05	43,79	26,89	12,69	5,59	
V	x	60	40												
VI	x	80	20				71,46	25,00	54,70		29,25	34,92			16,32
VII	50	x	50	13,84							43,86				67,36
VIII	66,7	x	33,3		17,79				32,12	36,47		53,29	5,05		
IX	85	x	15	15		21,71									

Tabela 2
Właściwości fizykochemiczne szkielek układu $Tl_2O-B_2O_3-SiO_2$ [47, 1]

Nr szkła	Gęstość [g/cm ³]	Objętość molowa [cm ³]	n_D	$n_D V$ [cm ³]	Współczynnik rozszerzalności cieplnej [$\alpha \times 10^7 K^{-1}$]	$\alpha V \times 10^5$ [cm ³ /K ⁻¹]	T_g [°C]
1	3,726	33,55	1,6136	54,136	89	29,86	414
2	4,038	36,75	1,6314	59,950	91	33,44	385
3	4,178	38,58	1,7550	67,710	101	38,97	375
4	4,267	39,26	1,8391	72,200	107	42,01	371
5	4,857	33,42	1,7760	59,350	96	32,08	396
6	5,313	38,03	1,8423	70,060	118	44,87	344
7	5,478	38,93	1,8534	72,153	123	47,88	338
8	5,721	32,73	1,8950	62,020	103	33,71	402
9	6,155	36,20	1,9650	71,130	147	53,21	311
10	6,388	40,55	2,0110	81,550	168	68,12	236
11	6,479	44,28	2,0380	90,240	164	76,62	252
12	7,096	43,30	2,0620	89,280	-	-	-



Ryc. 2. Zależności (a) dylatometrycznego punktu mięknienia, (b) molowo-addycyjnych modyfikacji współczynnika załamania światła i (c) molowo-addycyjnych modyfikacji współczynnika rozszerzalności cieplnej od molowych udziałów SiO_2 (połączenia I-III), B_2O_3 (połączenia IV-VI), Tl_2O (połączenia VII-IX). Numerowanie i składy szkieł podano w tabeli 1 [47, 1]

1.1.2. Omówienie wyników dla szkieł układu $Tl_2O-B_2O_3-SiO_2$ [1]

Na rycinie 2 można zauważyć, że liniowe zależności molowo-addycyjnych modyfikacji współczynnika załamania światła od składu w odpowiednio szerokim zakresie (prawie do $x_{B_2O_3} = 70$), obserwuje się tylko dla połączeń IV ($40Tl_2O \cdot xB_2O_3 \cdot 60SiO_2$), V ($60Tl_2O \cdot xB_2O_3 \cdot 40SiO_2$) i VI ($80Tl_2O \cdot xB_2O_3 \cdot 20SiO_2$) ponad wystarczająco szeroki zakres. Dla innych badanych połączeń zależności molowo-addycyjnych modyfikacji współczynnika załamania światła od składu są nieliniowe, przy tej samej orientacji zakrzywienia ze zwrotem w kierunku krzywizny. Sugeruje to, że kiedy stosunek pomiędzy zawartościami molowymi SiO_2 i Tl_2O zmienia się od 0,25 do 1,5 (co pokrywa prawie cały obszar tworzenia szkła), dodanie B_2O_3 nie wprowadza takich zmian w oddziaływaniach chemicznych, które mogłyby być odpowiedzialne za odchylenia molowo-addycyjnych modyfikacji współczynnika załamania światła od zachowania addycyjnego [1].

Wzory dokładne do obliczeń współczynników załamania światła szkieł na podstawie ich składów mogą być wyprowadzone dla pierwszych trzech połączeń. Inne połączenia: I ($25Tl_2O \cdot 75B_2O_3 \cdot xSiO_2$), II ($40Tl_2O \cdot 60B_2O_3 \cdot xSiO_2$), III ($60Tl_2O \cdot 40B_2O_3 \cdot xSiO_2$), VII ($xTl_2O \cdot 50B_2O_3 \cdot 50SiO_2$), VIII ($xTl_2O \cdot 66,7B_2O_3 \cdot 33,3SiO_2$) i IX ($xTl_2O \cdot 83,3B_2O_3 \cdot 16,7SiO_2$) rozważanego układu szkiełotwórczego charakteryzują odchylenia molowo-addycyjnych modyfikacji współczynnika załamania światła od działania addycyjnego. W tym przypadku molowy stosunek zawartości $B_2O_3 : Tl_2O$ zmienia się od 0,7 do 3,8, co w warunkach dwuskładnikowego układu talowo-boranowego odpowiada zmianom zawartości Tl_2O od 20 do 60 mol %. Wyniki otrzymane z badań nad molowo-addycyjnymi modyfikacjami wartości współczynników załamania światła szkieł leżących wzdłuż powyższych sześciu połączeń mogą być uważane za zgodne ze strukturalną interpretacją zależności przewodnictwa elektrycznego od koncentracji [22–23] i ze strukturalnymi różnicami ujawnionymi przy badaniu rozpraszania promieniowania X dla szkieł odpowiadających różnym obszarom składów [24]. W warunkach analizy fizykochemicznej wyżej wspomniane działanie molowo-addycyjnej modyfikacji współczynnika załamania światła wskazuje na występowanie chemicznych oddziaływań pomiędzy tlenkiem talu i tlenkiem boru [1].

Te szczególne właściwości stwierdzone w zależnościach molowo-addycyjnych modyfikacji współczynnika załamania światła od składu chemicznego mogą być wyjaśnione w następujący sposób. Wyniki różnicowej analizy termicznej szkieł w dwuskładnikowym układzie talowo-krzemianowym i produkty ich krystalizacji [13] pozwalają postawić wniosek dotyczący występowania inkongruentnie topiącego się dwukrzemianu talu i względnie trwałego metakrzemianu talu.

Składy chemiczne przedstawione w diagramie równowagowym dwuskładnikowego układu talowo-boranowego [20] zostały omówione wyżej. Jak wynika z rycin 1 i 2, dodatek tlenku boru do szkieł talowo-krzemianowych wzdłuż

połączeń IV, V i VI (w których molowo-addycyjna modyfikacja zachowuje się w sposób addycyjny) nie łączy się z przejściem w stosunku stechiometrycznym $Tl_2O : B_2O_3$ równym 1:5 lub 1:3, jak ma to miejsce w przypadku trwałego pięcioboranu i trójboranu talu. Tego rodzaju sytuacja mogłaby występować w sąsiedztwie borokrzemianowego składnika układu dwuskładnikowego w układzie trójskładnikowym. Jednakże w tym obszarze składów nie badano szkieł z powodu tendencji do likwacji. Tlenek krzemu został dodany do szkieł talowo-boranych wzdłuż połączeń I–III w proporcjach molowych $Tl_2O : B_2O_3 = 1:3, 2:3, \text{ i } 3:2$. W tym przypadku, stosunek $Tl_2O : B_2O_3$ zmieniał się od ok. 1 do 10. Pozornie istnieją wówczas warunki stechiometryczne do tworzenia się dwukrzemianu talu i metakrzemianu talu. Jednakże metakrzemian talu jest nietrwały (topienie inkongruentne) i jest silnie zdysocjowany. Jednocześnie boran krzemu charakteryzuje się wyższą odpornością termiczną. Zatem można zakładać, że odchylenia od działania addycyjnego są związane z tworzeniem się boranu talowego i tlenek krzemu odgrywa rolę rozpuszczalnika rozcieńczającego mieszaninę dwóch składników, co dla alkalicznych szkieł borokrzemianowych stwierdzili Bray [48] i Krogh-Moe [49, 1].

2. Podsumowanie

Na podstawie przeprowadzonego przeglądu danych dostępnych w literaturze i patentach na temat szkieł talowych, szkła te można podzielić na następujące grupy:

- wieloskładnikowe układy przeznaczone do eliminowania widma wtórnego soczewek obiektywów w fotografii kolorowej, z naukowego punktu widzenia interesujące są tu dwuskładnikowe układy Tl_2O-SiO_2 i $Tl_2O-B_2O_3$;
- proste i wieloskładnikowe układy proponowane dla celów produkcji cylindrycznych skupiających elementów o gradiencie współczynnika załamania i z adialnie parabolicznym rozkładem współczynnika załamania światła obejmują szkła opracowane i przebadane w Państwowym Instytucie Optycznym.

Biorąc pod uwagę zawartość głównych składników, dostępne składy szkieł talowych dla optyki z gradientem współczynnika załamania światła należą do dwóch grup:

- szkła talowo-alkaliczno-krzemianowe zawierające tlenki ołowiu i cynku,
- szkła talowo-alkaliczno-borokrzemianowe.

Zawartość tlenku talu mieści się w zakresie od 1 do 15% mol. Wszystkie szkła topią się we względnie wysokich temperaturach (1200–1450°C), ponieważ zawartość głównych składników odpowiada obszarom składów o wysokiej zawartości tlenku krzemu. W porównaniu z innymi szklami opisanymi w literaturze, szkło opracowane przez Państwowy Instytut Optyczny zawiera największą ilość

tlenku talu (26% mol.), jest nisko topliwe (temperatura topienia wynosi ok. 750–800°C) i umożliwia uzyskanie najwyższych gradientów współczynnika załamania, aż do 0,07.

Dane doświadczalne uzyskane w wyniku badań własności fizykochemicznych i zdolności do krystalizacji szkieł układu talowo-borokrzemianowego oraz wiele szkieł, w których tlenek talu został zastąpiony przez tlenki litu, sodu, potasu otrzymano i przebadano w ramach analiz fizykochemicznych. Umożliwiło to wyprowadzenie wzorów do obliczania współczynnika załamania światła i współczynnika rozszerzalności cieplnej szkieł uzyskiwanych przy zastępowaniu tlenku talu tlenkami metali alkalicznych w szklach przeznaczonych do wytwarzania elementów optycznych o gradientowym współczynniku załamania i o radialnie skupiającym rozkładzie współczynnika załamania. Osiągnięciu tego celu służy zastosowanie wymiany jonowej pomiędzy szklami rozmiękczonej w wyniku działania wysokiej temperatury i ze stopionymi solami. Maksymalne gradienty współczynnika załamania dla tych szkieł wynoszą 0,07, co przewyższa gradienty opisane w innych źródłach literaturowych i patentach [1].

Literatura*

- [1] Y a k h k i n d A.K., *Physicochemical Analysis as Applied to Investigations into the Refraction of Light and the Thermal Expansion of Optical and Gradient-Index Thallium Glasses*, „Glass Physics and Chemistry” 2002, Vol. 28, No 6, s. 341–351.
- [2] P o l u k h i n V.N., *Optical Glass with a Decreased Dispersion in Blue Spectral Range*, *USSR Inventor's Certificate No. 158 405*, „Bull. Izobret.” 1963, No. 21.
- [3] D e m k i n a L.I., P o l u k h i n V.N., *Optical Glass*, *USSR Inventor's Certificate No. 180 316*, „Bull. Izobret.” 1966, No. 7.
- [4] P o l u k h i n V.N., *Investigation into Dispersion Properties of Glasses Containing Periodic Table Group III and V Element Oxides*, „Opt.-Mech. Promysl.” 1960, nr 11, s. 18–22.
- [5] P o l u k h i n V.N., *Investigation into Dispersion Properties of Silicate and Borosilicate Systems Containing Yttrium, Indium, Lanthanum, Thallium, Antimony, Tantalum, and Bismuth Oxides*, „Opt.-Mech. Promysl.” 1961, nr 3, s. 40–44.
- [6] P o l u k h i n V.N., *Optical Properties of Silicate and Borosilicate Glasses with Rare-Earth Element Oxides*, „Opt.-Mech. Promysl.” 1965, nr 9, s. 29–35.
- [7] P e t r o v s k i i G.T., P o l u k h i n V.N., *Glasses Containing Thallium*, [w:] *Tallii i ego primeneniye v sovremennoi technike* (Thallium and Its Application in Modern Engineering), Tsvetmetinformatsiya, Moscow 1968, s. 48–53.
- [8] P o l u k h i n V.N., *New Cadmium, Germanate, and Thallium Glasses*, [w:] *Stekloobraznyye sistemy i novye stekla na ich osnove* (Vitreous Systems and Glasses on Their Base), TsNII Informatsii, Moscow 1971, s. 172–177.
- [9] P o l u k h i n V.N., U r u s o v s k a y a L.N., S m i r n o v a R.P., A r t y u k h E.P., *New Optical Glasses Forming Achromatic Pair*, „Opt.-Mech. Promysl.” 1975, nr 11, s. 71–72.

* Wykaz literatury zachowano w formie sporządzonej przez Autorkę – przyp. red.

- [10] Polukhin V.N., *The State of the Art and Prospects of Developing Optical Glasses for Apochromats*, „Opt.-Mech. Promysl.” 1978, nr 2, s. 26–29.
- [11] Polukhin V.N., Nefedov B.L., *On the Techniques of Further Improvement of Apochromatic Pairs of Glasses*, „Opt.-Mech. Promysl.” 1978, nr 7, s. 21–23.
- [12] Polukhin V.N., Smirnova R.P., Makarova L.A., Mal'tseva Z.S., Krymova S.V., *Investigation into the Influence of Periodic Table Group I–VI Element Oxides on Optical Constants and Density of Germanate Glasses*, „Fiz. Chim. Stekla” 1983, nr 4, s. 40–55.
- [13] Demkina L.I., Polukhin V.N., Urusovskaya L.N., Shcheglova Z.N., *New Optical Glasses*, „Tr. Gos. Opt. Inst.” 1972, No. 170, s. 10–45.
- [14] Zubareva E.P., Florinskaya V.A., *IR Spectra and Structure of Thallium Silicates*, [w:] *Struktura i fizikokhimicheskie svoistva neorganicheskikh stekol* (Structure and Physicochemical Properties of Inorganic Glasses), ed. A.G. Vlasov, V.A. Florinskaya, Chimiya, Leningrad 1974.
- [15] Otto K., Milberg M.E., *Ionic Conduction and Structure in Cesium and Thallium Silicate Glasses*, „Am. Ceram. Soc.” 1967, Vol. 50, No. 10, s. 513–516.
- [16] Otto K., Milberg M.E., *Ionic Conduction in Alkali and Thallium Silicate Glasses*, „Am. Ceram. Soc.” 1968, Vol. 51, No. 6, s. 326–329.
- [17] Blair H.D., Milberg M.E., *Structure of Thallium Silicate Glasses*, „Am. Ceram. Soc.” 1970, Vol. 57, No. 6, s. 257–260.
- [18] Milberg M.E., Peterson N.L., *Cation Distribution in Thallium Silicate Glasses*, „Phys. Chem. Glasses” 1969, Vol. 10, No. 2, s. 46–49.
- [19] Milberg M.E., Otto K., Kushida K., *Electrical Conductivity and NMR Chemical Shift in Cesium Silicate Glasses*, „Phys. Chem. Glasses” 1969, Vol. 7, No. 1, s. 14–18.
- [20] Tourboul M., Bouazis R., *Chimie minerale: Sur les borates du thallium monovalent*, „Compt. Rend. seances Acad. Sci.” 1964, Vol. 258, No. 26, s. 6429–6432.
- [21] Imakoka M., *Glass Formation in Binary Borate Systems*, [w:] *Adv. Glass Technol., Techn. Papers VI Int. Congress on Glass. Part 1*, New York 1969, s. 149–164.
- [22] Markin B.I., *Electrical Conductivity of Thallium Borate Glasses*, „Zh. Tech. Fiz.” 1952, Vol. 22, No. 6, s. 914–915.
- [23] Nemilov S.V., *Kinetics of Elementary Processes in Condensed State: VII. Ionic Conduction in Glasses as Process Occurring in a Viscous Medium*, „Zh. Fiz. Chim.” 1973, Vol. 47, No. 6, s. 1479–1485.
- [24] Krogh-Moe J., Jurine H., *An X-ray Study of Thallium Borate Glasses*, „Phys. Chem. Glasses” 1965, Vol. 6, No. 11, s. 30–31.
- [25] Karpechenko V.G., *Investigation of Glasses Containing Thallium*, [w:] *Issledovaniya v oblasti khimii silikatov i okislov* (Investigations in the Field of the Silicate and Oxide Chemistry), Izd. Nauka, Moscow 1965, s. 84–90.
- [26] Mazurin O.V., Strel'tsina M.V., Shvaiko-Shvaikovskaya T.P., *Svoistva stekol I stekloobrazuyushchikh rasplavov* (Properties of Glasses and Glass-Forming Melts: A Handbook), „Spravochnik” 1973, Vol. 1.
- [27] Mazurin O.V., Strel'tsina M.V., Shvaiko-Shvaikovskaya T.P., *Svoistva stekol I stekloobrazuyushchikh rasplavov* (Properties of Glasses and Glass-Forming Melts: A Handbook), „Spravochnik” 1979, Vol. 3, part 2.

- [28] Mazurin O.V., Strel'tsina M.V., Shvaiko-Shvaikovskaya T.P., *Svoistva stekol i stekloobrazuyushchikh rasplavov* (Properties of Glasses and Glass-Forming Melts: A Handbook), „Spravočnik” 1996, Vol. 6, part 1.
- [29] Kita H., Kitano J., Uchida T., Furukawa M., *Light Focusing Glass Fibers and Rods*, „Am. Ceram. Soc.” 1971, Vol. 54, No. 7, s. 321–326.
- [30] Yoshigawa M., Method of Making of Light-Conducting Glass Fibers, FRG Patent 1 949 275, 1970.
- [31] Kitano J., Koizumi K., Ikeda Y., Matsumura H., Production of Light-Conducting Glass Structures with Refractive Index Gradient, USA Patent 3 830 640, 1974.
- [32] Nippon Selfoc Co., Light-Conducting Glass Fibre or Fibre Structures Thereof, UK Patent 1 266 521, 1972.
- [33] Noguchi Y., Yamagishi T., Thallium-Containing Optical Glass, UK Patent 2 100 247, 1981.
- [34] Krakau K.A., Mukhin E.Ya., Genrikh M.S., *Equilibrium Diagram of Na₂O–PbO–SiO₂ Ternary System*, [w:] *Fiziko-khimicheskie svoistva troinoi sistemy okis' natriya-okis' svintsa-kremnezem* (Physicochemical Properties of Sodium Oxide–Lead Oxide–Silica Ternary System), Akad. Nauk SSSR, Moscow 1949, s. 15–30.
- [35] Yamagishi T., Noguchi Y., Thallium-Containing Optical Glass, USA Patent 4 495 298, 1985.
- [36] Nogushi Y., Yamagishi T., Thallium-Containing Optical Glass Composition, USA Patent 4 495 299, 1985.
- [37] Yoshiyama M., Ikeda Y., Nishizawa K., Optical Glass Body Having a Refractive Index Gradient, USA, Patent 3 859 103, 1975.
- [38] Uchida T., Yoshikawa S., Koizumi K., Process Exchanging Alkali Ions for Thallium Ions in Glass Fibers, USA Patent 3 894 857, 1972.
- [39] Nippon Selfoc Co., Production of Light Conducting Glass Fibers, UK Patent 1 331 514, 1973.
- [40] Yakhkind A.K., Dokhikyan L.G., *Optical and Physicochemical Properties of Borosilicate Glass Containing Thallium and Alkali Metal Oxides*, „Fiz. Chim. Stekla” 1986, Vol. 12, No. 4, s. 424–433.
- [41] Yakhkind A.K., Dokhikyan L.G., Krasnopol'skaya M.B., Garkun A.I., *Physicochemical Properties of Thallium Borosilicate Glasses*, „Fiz. Chim. Stekla” 1986, Vol. 12, No. 5, s. 591–595.
- [42] Yakhkind A.K., Dokhikyan L.G., Alaev V.Ya., *Ion-Exchange Interaction of Thallium Borosilicate Glass with Molten Alkali Nitrates*, „Fiz. Chim. Stekla” 1987, Vol. 13, No. 2, s. 190–195.
- [43] Yakhkind A.K., Dokhikyan L.G., Eliseev K.V., *Mixed Alkali Effect in Electrical Conductivity of Alkali Thallium Silicate Glasses*, „Fiz. Chim. Stekla” 1987, Vol. 13, No. 5, s. 690–695.
- [44] Yakhkind A.K., Dokhikyan L.G., Polyanskii M.N., Alaev V. Ya., *Change in Refractive Index upon Tl–K Ion Exchange in Borosilicate Glass*, „Fiz. Chim. Stekla” 1988, Vol. 14, No. 3, s. 429–433.
- [45] Yakhkind A.K., *Concentration Criteria for Focusing Distribution of Refractive Index in Gradient-Index Glasses*, „Fiz. Chim. Stekla” 1991, Vol. 17, No. 2, s. 299–306.

- [46] Y a k h k i n d A.K., D o k h i k y a n L.G., *Optical Glass, USSR Inventor's Certificate no. 1 326 567*, „Bull. Izobret.” 1987, No. 28.
- [47] Y a k h k i n d A.K., P o l y a n s k i i M.N., *Development of Physicochemical Methods and Their Application to Gradient-Index Media and Calculation of Optical Constants of Glass*, „Opt. Zh.” 2000, Vol. 67, No. 6, s. 3–14.
- [48] B r a y P.J., *NMR Studies of Borates*, [w:] *Materials Science Research*, Vol. 12: *Borate Glasses*, ed. L.D. Pye, V.D. Prechette, N.J. Kreidl, Plenum, New York 1977.
- [49] K r o g h - M o e J.J., *Structural Models of Borate Glasses*, „Phys. Chem. Glasses” 1962, Vol. 3, No. 2, s. 101–112.

AGNIESZKA MARCZEWSKA

THALLIUM GLASSE
PART 2

The paper presents a brief overview of the available science literature data, patent information and experimental results on a chemical composition and physical properties, especially on the refraction of light, thermal expansion of the thallium glasses. This paper has been among others prepared on a base of the data given in the article *Physicochemical Analysis as Applied to Investigations into the Refraction of Light and the Thermal Expansion of Optical and Gradient – Index Thallium Glasses* by A.K. Yakhkind [1].