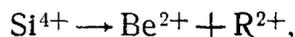


Исследование силикобериллатов щелочноземельных металлов

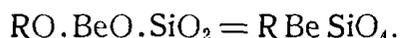
Все модификации двуокиси кремния—кварц, кристобаллит и тридимит отличаются неплотной структурой с большим количеством каналов (см., структуру кристобаллита, рис. 4, стр. 269).

Можно попытаться уплотнить структуру частичным замещением



где R^{2+} — крупный щелочноземельный ион, Ca^{2+} , Sr^{2+} или Ba^{2+} . В соответствии с величиной ионных радиусов малые катионы бериллия должны стать на место ионов кремния, а большие катионы R^{2+} расположатся в полостях и уплотнят структуру.

Состав продукта такого замещения отвечает молекулярной формуле



Известны аналогичные щелочные алюмосиликаты такие, как гексагональный калиофиллит



или псевдокубический карнегиит



естественно, что в связи с большим содержанием щелочей они отличаются относительно высокой электропроводностью.

Можно назвать лишь одно соединение упомянутого типа, в котором внутри полостей находятся двухзарядные ионы; это тримерит $(\text{MnCa})\text{SiO}_4$ [1].

Тримерит является весьма редким минералом.

Из существования природного минерала еще не вытекает возможность получения подобного рода кристаллического продукта путем синтеза при атмосферном давлении.

Синтез силикобериллатов, определение показателя преломления, плотности и термического расширения

Первоначально при синтезе применялись карбонаты щелочноземельных металлов марки „чистый“, окись бериллия „для геттера“ и горный хрусталь.

В пределах температур обжига 1200—1400°C рентгенограммы обожженных препаратов, отвечающих эквимолекулярному составу $\text{RO} \cdot \text{BeO} \cdot \text{SiO}_2$ остаются неизменными и не обнаруживают линий, характерных для модификаций SiO_2 , окиси бериллия, окислов RO , а также силикатов бериллия щелочноземельных металлов.

Микроскопическое исследование обожженных препаратов, проведенное на порошках иммерсионным методом [2], показало, что в каждом из образцов подавляющее большинство зерен относится к одной основной фазе; имеется небольшое количество зерен других фаз порядка 2%, что, вероятно, связано с загрязнениями.

Таким образом, можно считать установленным существование соединений CaBeSiO_4 , SrBeSiO_4 и BaBeSiO_4 .

Дальнейшие исследования производились с использованием сырья специальной очистки; двуокись кремния получалась разложением перегнанного тетраэтоксисиликата $\text{Si}(\text{OC}_2\text{H}_5)_4$, окись бериллия и карбонаты щелочноземельных металлов очищались обычными приемами [3].

Плотность определялась пикнометрическим методом [4].

Термическое расширение определялось с помощью чувствительного кварцевого dilatометра, с коэффициентом увеличения 6000.

Результаты измерений приведены в табл. 1 и на рис. 1 (термическое расширение).

Таблица 1

Физические свойства силикобериллатов

Соединение	пД	d г/см ³	$10^6 \cdot \alpha_{100}^{500}$
CaBeSiO ₄	1,673	3,16	7
SrBeSiO ₄	1,678	3,79	9,5
BaBeSiO ₄	1,680	4,23	11

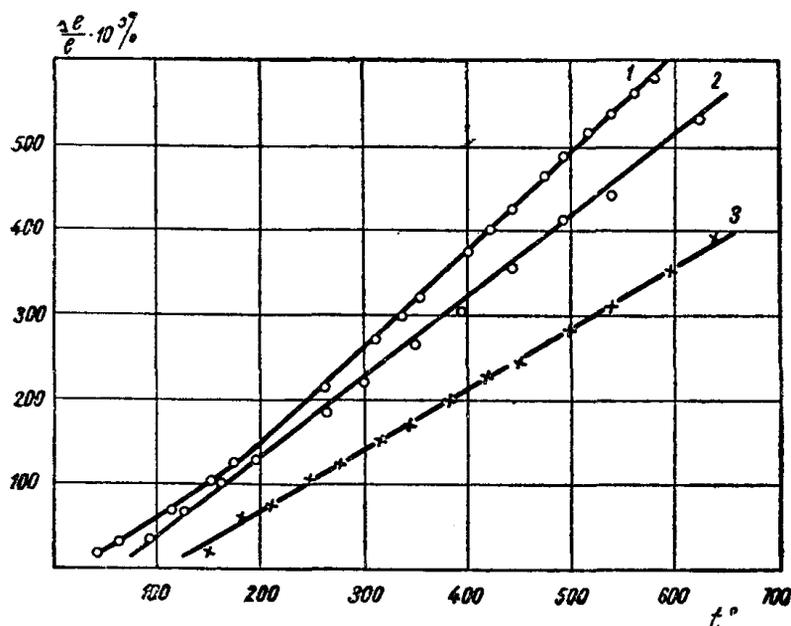


Рис. 1. Термическое расширение силикобериллатов

1. Ca Be SiO₄; 2. Sr Be SiO₄; 3. Ba Be SiO₄.

Определение межплоскостных расстояний и интенсивностей отраженных рентгеновых лучей

Рентгенографическая съемка производилась в камерах Дебая, диаметром 114,6 мм, методом асимметричной съемки.

Исследуемый порошок набивался в целлулоидный чехол диаметром 0,7 мм.

Применялось излучение $Cu_{K-\alpha}$ с никелевым фильтром для ослабления β линий.

Напряжение на трубке БСВ—Cu было равно 30 кВ, ток через трубку—10 ма.

Значения межплоскостных расстояний и относительных интенсивностей отраженных лучей приводятся в табл. 2—4.

Таблица 2

Межплоскостные расстояния „d“ и относительные интенсивности отраженных рентгеновых лучей для силикобериллата CaBeSiO_4

№ пп	d	I	№ пп	d	I	№ пп	d	I
1	4,120	1	31	1,552	1	61	0,9960	1
2	3,922	1	32	1,538	1	62	0,9953	2
3	3,649	2	33	1,515	4	63	0,9821	1
4	3,387	1	34	1,487	2	64	0,9724	1
5	3,231	1	35	1,469	2	65	0,9640	1
6	3,141	1	36	1,444	7	66	0,9571	1
7	2,837	10	37	1,419	1	67	0,9492	2
8	2,760	5	38	1,404	1	68	0,9415	2
9	2,686	1	39	1,370	6	69	0,9314	1
10	2,632	1	40	1,324	2	70	0,9164	1
11	2,371	7	41	1,306	1	71	0,9033	1
12	2,272	7	42	1,292	1	72	0,8957	1
13	2,218	2	43	1,272	1	73	0,8866	1
14	2,182	1	44	1,247	1	74	0,8600	2
15	2,113	3	45	1,232	1	75	0,8544	1
16	2,055	2	46	1,218	4	76	0,8484	2
17	2,032	2	47	1,281	1	77	0,8308	2
18	1,989	1	48	1,147	1	78	0,8230	1
19	1,970	3	49	1,132	3	79	0,8130	1
20	1,878	1	50	1,122	3	80	0,8040	2
21	1,848	1	51	1,111	1	81	0,7995	1
22	1,821	5	52	1,105	1	82	0,7969	1
23	1,767	1	53	1,094	5	83	0,7929	1
24	1,748	1	54	1,080	2	84	0,7895	1
25	1,706	2	55	1,070	2	85	0,7873	1
26	1,688	1	56	1,056	2	86	0,7839	1
27	1,651	1	57	1,047	2	87	0,7819	1
28	1,617	1	58	1,037	2	88	0,7800	1
29	1,598	2	59	1,024	2	89	0,7772	1
30	1,579	2	60	1,015	2	90	0,7754	2
						91	0,7736	2

Таблица 3

Межплоскостные расстояния „d“ и относительные интенсивности отраженных рентгеновых лучей для силикобериллата SrBeSiO_4

№ пп	d	I	№ пп	d	I	№ пп	d	I
1	4,171	4	24	1,518	1	47	0,9908	2
2	4,022	1	25	1,476	8	48	0,9750	2
3	3,720	3	26	1,459	2	49	0,9626	2
4	3,531	1	27	1,429	1	50	0,9540	1
5	3,227	2	28	1,397	6	51	0,9474	1
6	2,955	10	29	1,369	1	52	0,9375	2
7	2,731	1	30	1,355	1	53	0,9183	3
8	2,668	1	31	1,330	1	54	0,9046	2
9	2,416	6	32	1,317	1	55	0,8937	2
10	2,314	2	33	1,291	4	56	0,8834	2
11	2,263	1	34	1,280	6	57	0,8698	4
12	2,169	1	35	1,209	3	58	0,8570	4
13	2,079	9	36	1,185	5	59	0,8348	4
14	2,034	6	37	1,159	2	60	0,8299	2
15	1,979	1	38	1,153	4	61	0,8240	3
16	1,924	1	39	1,141	2	62	0,8215	3
17	1,863	6	40	1,119	7	63	0,8073	4
18	1,831	5	41	1,069	1	64	0,8009	2
19	1,746	1	42	1,049	1	65	0,7952	2
20	1,666	1	43	1,041	4	66	0,7924	2
21	1,631	1	44	1,032	4	67	0,7854	4
22	1,579	3	45	1,015	3	68	0,7781	5
23	1,555	6	46	1,008	3	69	0,7760	5
						70	0,7730	4

Таблица 4

Межплоскостные расстояния „d“ и относительные интенсивности отраженных рентгеновых лучей для силикобериллата BaBeSiO₄

№ пп	d	I	№ пп	d	I	№ пп	d	I
1	4,165	3	21	1,107	1	41	0,8358	1
2	3,613	7	22	1,093	1	42	0,8298	1
3	2,812	1	23	1,049	2	43	0,8249	1
4	2,555	8	24	1,035	2	44	0,8239	1
5	2,183	10	25	1,019	2	45	0,8157	1
6	2,096	4	26	1,010	2	46	0,8132	1
7	2,069	1	27	0,9999	2	47	0,8108	1
8	1,806	2	28	0,9734	1	48	0,8085	1
9	1,668	2	29	0,9606	1	49	0,8061	1
10	1,627	3	30	0,9459	1	50	0,8040	1
11	1,609	4	31	0,9129	1	51	0,7993	1
12	1,480	6	32	0,9054	1	52	0,7962	1
13	1,465	2	33	0,8803	2	53	0,7940	1
14	1,395	2	34	0,8700	1	54	0,7912	1
15	1,287	2	35	0,8611	1	55	0,7892	1
16	1,272	2	36	0,8578	1	56	0,7873	1
17	1,229	2	37	0,8506	1	57	0,7847	1
18	1,209	3	38	0,8496	1	58	0,7815	1
19	1,195	2	39	0,8435	1	59	0,7785	1
20	1,143	1	40	0,8422	1	60	0,7758	1
						61	0,7745	1

Исследование электропроводности и диэлектрических потерь в силикобериллатах при высоких температурах

Образцы для измерений изготовлялись из предварительно синтезированных силикобериллатов путем обжига в силитовой печи дисков, спрессованных из порошка. Температура синтеза и температура обжига 1400—1420°C.

На образцы наносились серебряные электроды вжиганием соответствующей пасты.

Определение электропроводности производилось на обычной установке с зеркальным гальванометром. Во избежание развития электролитических явлений в промежутках между измерениями электроды замыкались накоротко.

Тангенс угла диэлектрических потерь определялся при частоте 1 мгц, с помощью куметра. Для ликвидации поля рассеяния в печи был сконструирован коаксиальный ввод. Испытание показало, что при такой конструкции ввода добротность контура не зависит от температуры печи.

Результаты измерений даны на рис. 2 и 3.

Как видно, удельные сопротивления всех трех силикобериллатов близки между собой и на два порядка превышают удельное сопротивление кварцевого стекла.

Дополнительные опыты показали, что замена чистого сырья техническим почти не сказывается на величине электропроводности (а также и диэлектрических потерь).

Диэлектрические потери при температурах ниже 400° малы ($\text{tg } \delta$ порядка 0,1—0,2%), при 600—800° они существенно возрастают ($\text{tg } \delta$ 3—7%), однако, не обнаруживая прогрессивного роста (выпуклые кривые).

Наименьшими диэлектрическими потерями в этой области температур обладает силикобериллат бария, наибольшими—соответствующее соединение кальция.

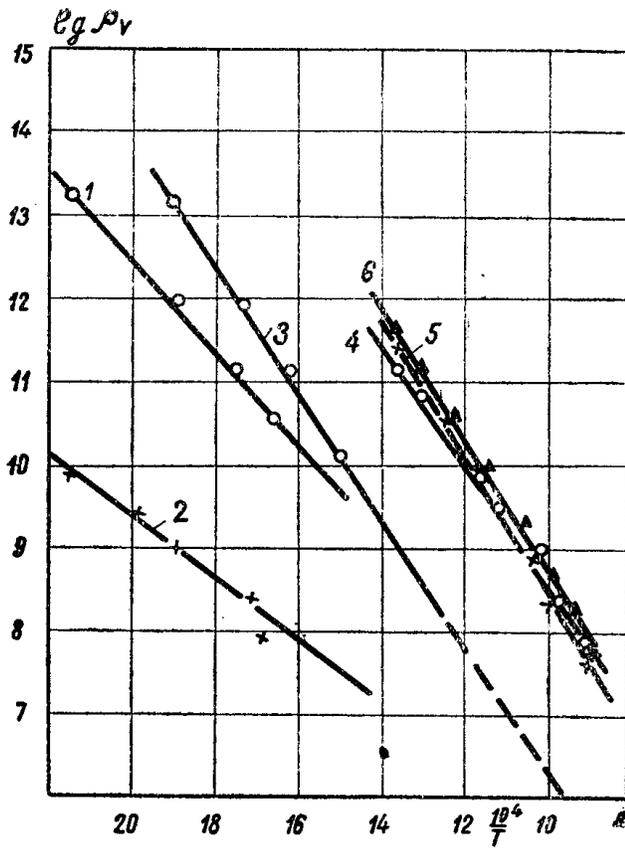


Рис. 2. Температурная зависимость удельного сопротивления: 1. кварц I оси; 2. кварц II оси; 3. кварцевое стекло; 4. CaBeSiO_4 ; 5. SrBeSiO_4 ; 6. BaBeSiO_4 .

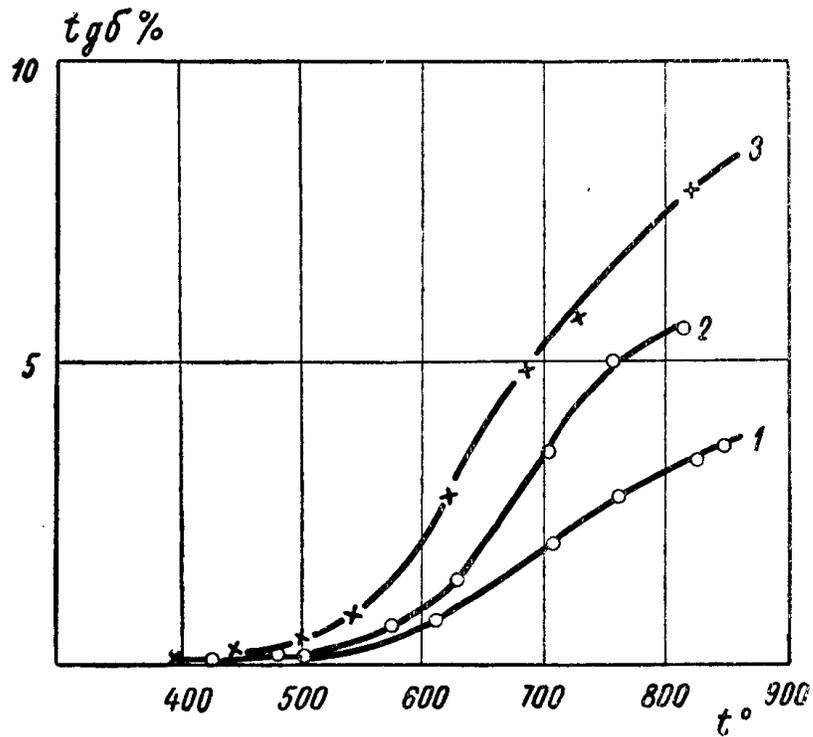


Рис. 3. Температурная зависимость угла диэлектрических потерь при $f = 10^6$ гц.

1. BaBeSiO_4 ; 2. SrBeSiO_4 ; 3. CaBeSiO .

Очевидно, при температурах выше 800°C и частоте 1 мГц величина $\text{tg } \delta$ будет в основном определяться электропроводностью (рис. 4); однако, при частотах $10^7\text{--}10^8\text{ Гц}$ удельный вес потерь проводимости резко снижается, и дополнительные потери приобретают существенное значение.

Исследование диэлектрических потерь при температурах порядка 800°C и частотах $10^7\text{--}10^8\text{ Гц}$ ведется.

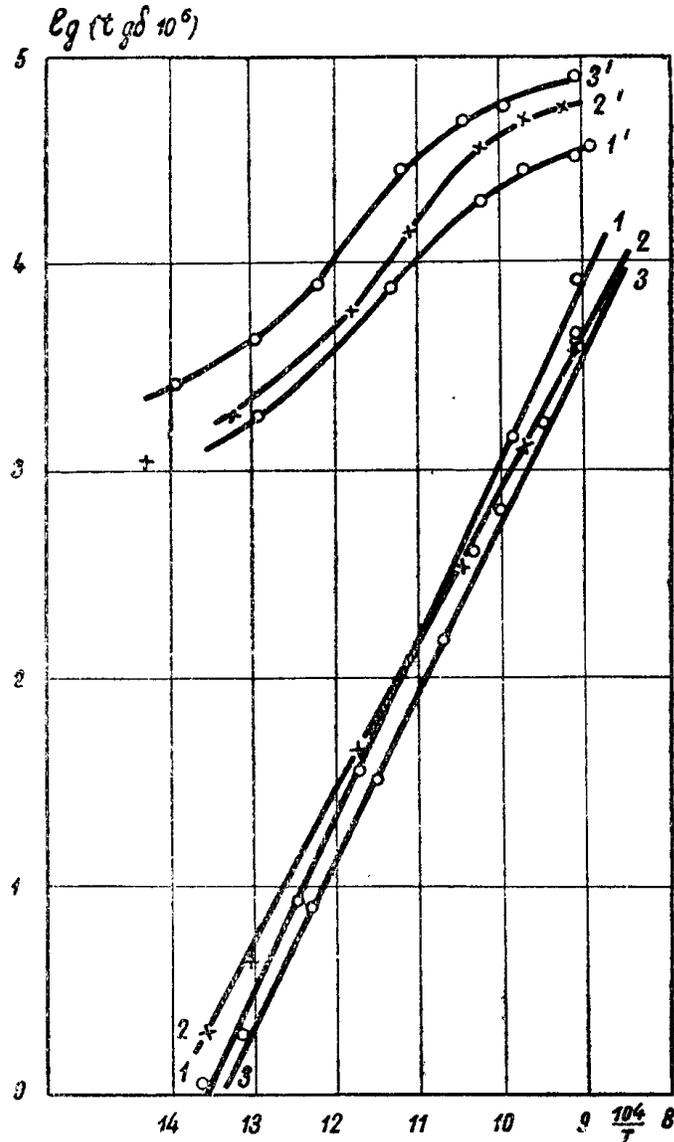


Рис. 4. Сравнение суммарных диэлектрических потерь с потерями проводимости.

1-1'. BaBeSiO_4 ; 2-2'. SrBeSiO_4 ; 3-3'. CaBeSiO_4 .

Дополнительные потери могут быть вызваны релаксацией примесных ионов либо иным сходным релаксационным механизмом. Пока нет достаточных экспериментальных данных для более определенного заключения.

Синтез и исследование различных модификаций алюмосиликата бария

Минерал цельзиан, состава $\text{BaAl}_2\text{Si}_2\text{O}_8$, моноклинный, по структуре весьма близок к анортиту $\text{CaAl}_2\text{Si}_2\text{O}_8$ и альбиту $\text{NaAlSi}_3\text{O}_8$.

В 1915 году Гинзберг открыл вторую модификацию алюмосиликата бария—гексагональную [5].

Синтетический цельзиан пытались применять, как огнеупор.

В последние годы интерес к цельзиану возрос в связи с его хорошими электрическими свойствами и низким термическим расширением [6].

Для технических целей, в особенности, если иметь в виду внутривольтовые изоляторы, интерес представляет, именно, моноклинный цельзиан, а не гексагональная модификация $BaAl_2Si_2O_8$, которую мы будем в дальнейшем именовать „гексацельзиан“.

Недостатком гексацельзиана является его низкая стойкость к термическим ударам, связанная с модификационным превращением при температуре 300°C [7].

Твердофазный синтез из каолина и карбоната бария при $1300\text{--}1400^\circ\text{C}$ дает всегда моноклинную модификацию; однако, каолин содержит щелочные загрязнения, что ухудшает электрические свойства при высоких температурах.

Попытка получения цельзиана твердофазной реакцией из чистого сырья (очищенный гидрат окиси алюминия и горный хрусталь) дала отрицательный результат: продуктом синтеза оказался гексацельзиан (по данным рентгеноструктурных и дилатометрических исследований).

Литературные данные об условиях образования цельзиана и гексацельзиана противоречивы [5—10]; неизвестно также было, которая модификация является термодинамически устойчивой в области обычных температур синтеза; поэтому, было выполнено небольшое исследование условий образования и сравнительной стабильности двух модификаций.

Влияние исходного сырья на структуру алюмосиликата бария

Для определения содержания каждой из модификаций в продукте синтеза был использован дилатометрический анализ, широко применяемый при исследованиях дианаса [11]. Измерения производились на высокочувствительном дилатометре с коэффициентом увеличения 6000.

Было установлено, что применение каолина при синтезе обеспечивает получение цельзиана; смесь гидрата окиси алюминия с горным хрусталем дает при обжиге гексацельзиан.

Для установления равновесной модификации были приготовлены смеси гексацельзиана с цельзианом, из которых затем были изготовлены и обожжены образцы.

На рис. 5 даны кривые расширения цельзиана, гексацельзиана и обожженных смесей.

Расчет показывает, что после однократного обжига количество гексацельзиана значительно уменьшилось: с 50 до 13% и с 75 до 27%; следовательно, при температуре обжига (1400°C) термодинамически устойчивой фазой является цельзиан.

Таким образом, можно получить образцы цельзиана с малым содержанием щелочей, если использовать метод введения каолинистой моноклинной затравки при синтезе алюмосиликата бария из чистого сырья.

Все же, несмотря на возможность такого решения, представляло интерес обследовать более детально влияние сырья на структуру продукта синтеза.

В табл. 5 приведены соответствующие данные. Если исключить каолинистое сырье, то наиболее благоприятные результаты получены при применении кварцевого песка и глинозема.

Приблизительно равноценен вариант с дисиликатом бария и глиноземом, однако, он технологически значительно сложнее из-за необходимости предварительного синтеза дисиликата бария.

Влияние сырья на относительное содержание гексацельзиана в продукте синтеза

№ пп	Употребляемое сырье	Величина скачка в расширении $\frac{\Delta l}{l} \%$	Объемное содержание гексацельзиана $\%$	Примечание
1	Al(OH) ₃ ; горный хрусталь	0,12	100	
2	каолин	—	0	
3	Al ₂ O ₃ ; горный хрусталь	0,074	62	
4	Al ₂ O ₃ ; кварцевое стекло	0,036	30	
	„	0,004	3	после переработки
5	Al ₂ O ₃ ; дисиликат бария	0,020	17	
	„	0,006	5	после переработки
6	Al ₂ O ₃ ; кварцевый песок	0,016	13	
	„	0,005	4	после переработки

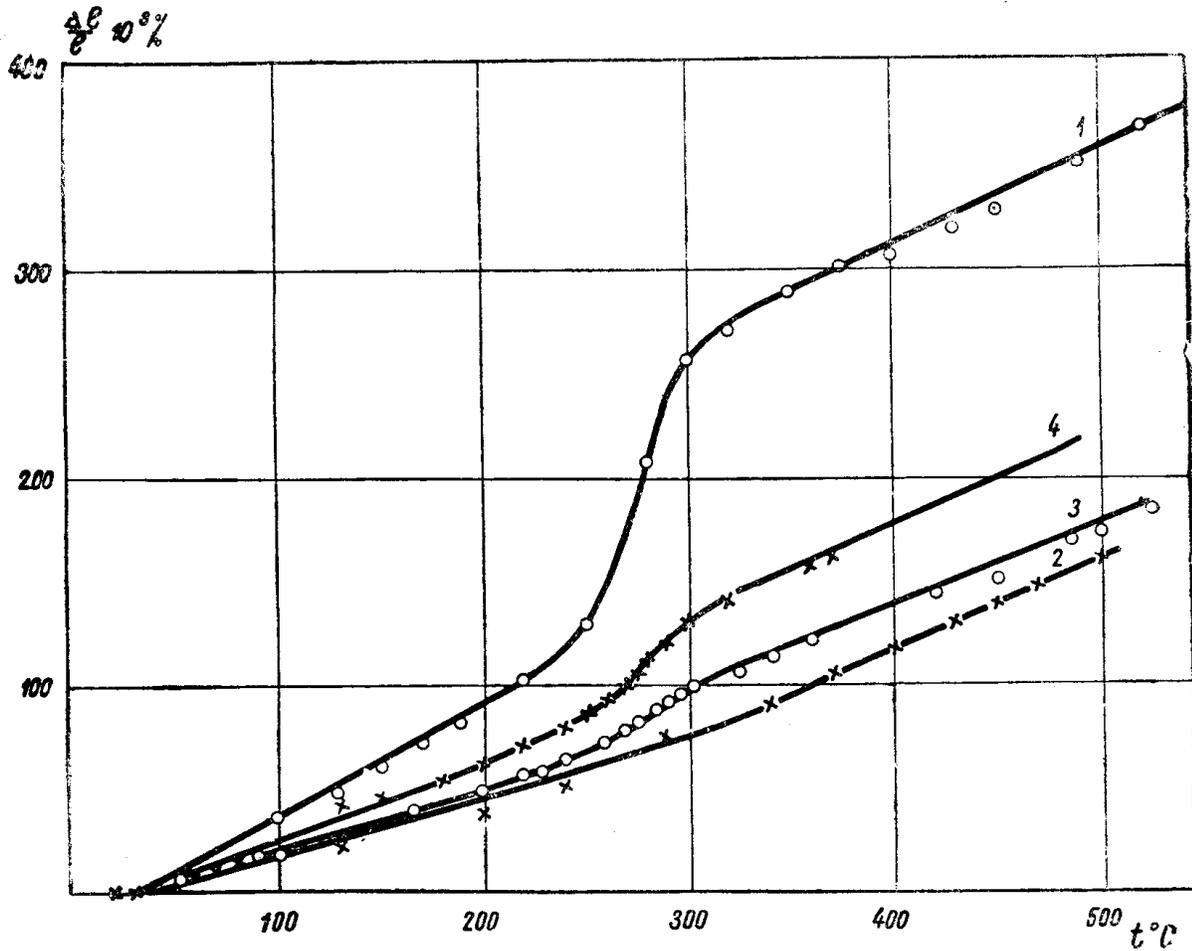


Рис. 5. Термическое расширение алюмосиликата бария (влияние количества моноклинной добавки). 1. гексагональный; 2. моноклинный; 3. 50% моноклинной добавки; 4. 25% моноклинной добавки.

Заметим попутно, что при синтезе алюмосиликата бария из окислов и карбоната бария необходимо применять выдержку в 3—4 часа при 1200°C, иначе возникают неудобства из-за неполноты протекания реакции, возникают легкоплавкие эвтектики, заготовки растекаются и т. п.

Облегчение образования равновесной моноклинной фазы при замене горного хрусталя кварцевым песком можно объяснить минерализующим действием примесей (окислы железа и др.), содержащихся в кварцевом песке в заметно большем количестве, чем в горном хрустале.

Переработка (измельчение с последующим обжигом) ведет к дальнейшему уменьшению содержания гексацельзиана. Практически достаточно одной переработки.

Исследование электрических свойств алюмосиликата бария при высоких температурах

На рис. 6 и 7 представлены температурные зависимости удельного сопротивления и $\text{tg } \delta$ для различных образцов алюмосиликата бария.

Малые количества щелочных примесей, порядка сотых долей процента, не сказываются на электропроводности: образцы на глиноземе и кварцевом песке оказались, по меньшей мере, равноценными образцам, приготовленным из очищенного гидрата окиси алюминия и горного хрусталя; однако, десятые доли процента щелочных загрязнений (образцы на каолине) уже несколько снижают удельное сопротивление.

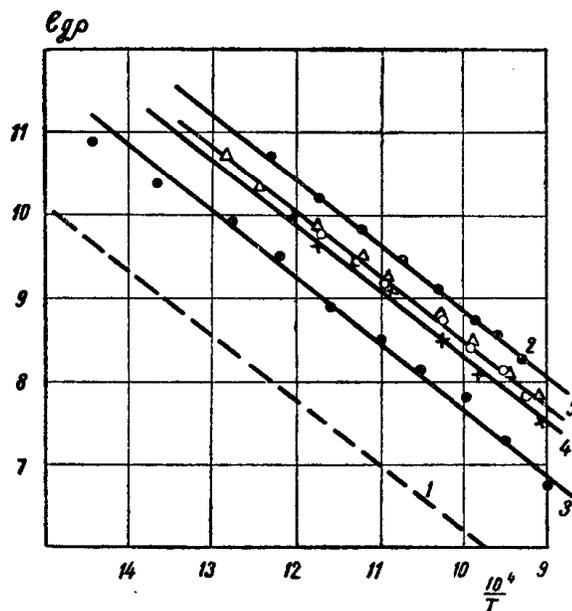


Рис. 6. Температурная зависимость удельного сопротивления. 1. Кварцевое стекло. 2, 3, 4, 5 — алюмосиликат бария. Сырье: 2. Al_2O_3 , кварцевый песок; 3. каолин; 4. горный хрусталь, Al_2O_3 ; 5. $\text{Al}(\text{OH})_3$, горный хрусталь; Δ то же +5% дисиликата бария.

Добавление небольшого количества плавня (5% дисиликата бария) не сказывается на электропроводности.

Алюмосиликат бария, приготовленный с применением недефицитного и недорогого глинозема и кварцевого песка, по удельному сопротивлению при высоких температурах в 100 раз превосходит кварцевое стекло.

Щелочные загрязнения сильнее сказываются на диэлектрических потерях, чем на электропроводности.

Наименьшие диэлектрические потери при высоких температурах имеют образцы, приготовленные на чистом сырье ($\operatorname{tg} \delta = 0,17$ при 800°C); далее следует образец, приготовленный из технических окислов ($\operatorname{tg} \delta = 0,026$) и, наконец, на каолине ($\operatorname{tg} \delta = 0,14$).

Как видно, разница между первыми двумя образцами невелика.

Обращают на себя внимание исключительно низкие диэлектрические потери образцов, приготовленных на технических окислах и на чистом сырье при температуре 500°C : $\operatorname{tg} \delta$ равен всего $0,05-0,1\%$. Присутствие 10% стекловатой фазы (образец с дисиликатом бария) в отличие от случая электропроводности несколько увеличивает $\operatorname{tg} \delta$ (с $0,026$ до $0,037$ при 800°C). Участки стекла при малом его количестве можно рассматривать, как разобщенные включения, что и объяс-

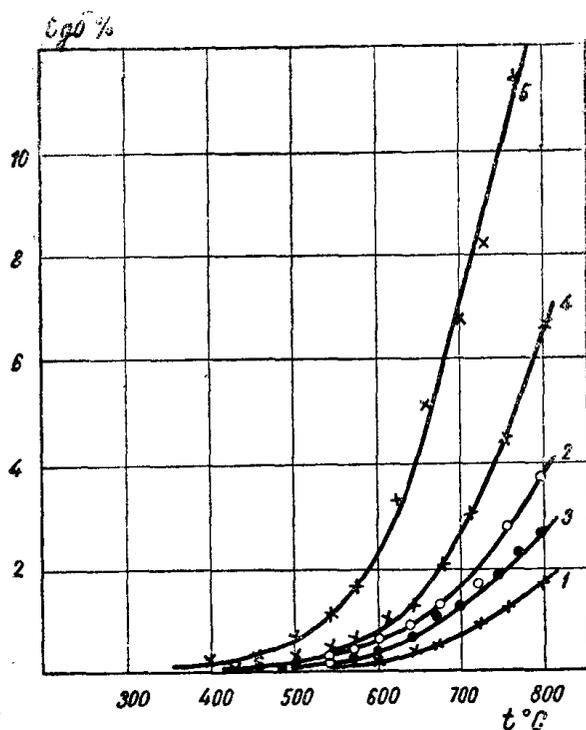


Рис. 7. Температурная зависимость угла диэлектрических потерь алюмосилката бария. 1. $\text{Al}(\text{OH})_3$, горный хрусталь; 2. То же + 5% дисиликата бария; 3. Al_2O_3 , кварцевый песок; 4. Al_2O_3 , горный хрусталь; 5. каолин.

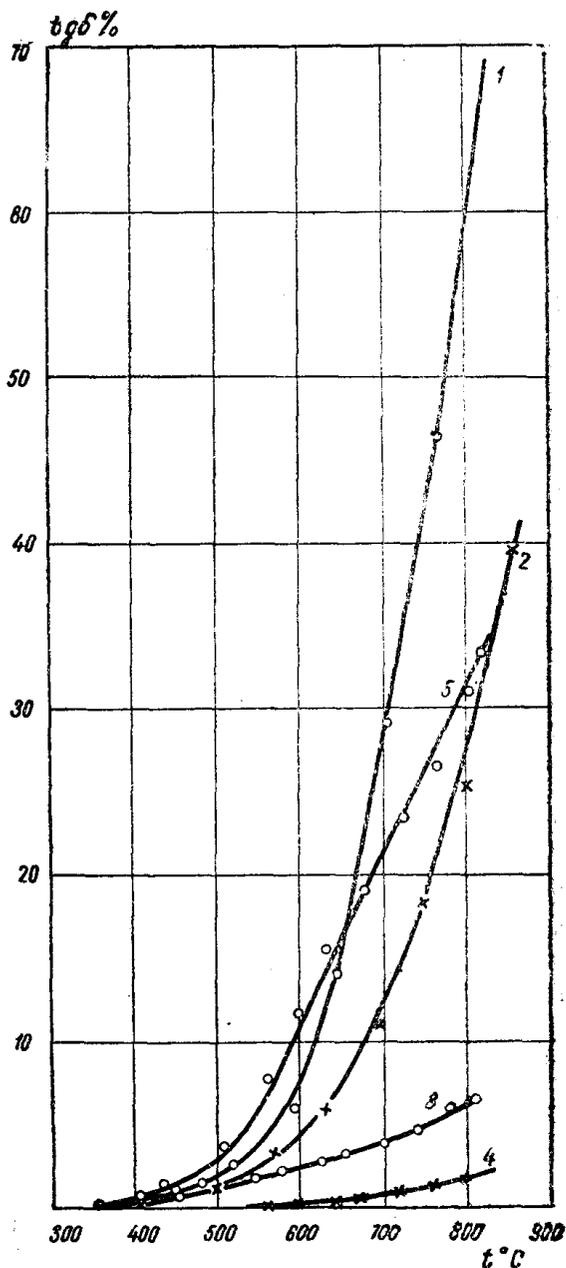


Рис. 8. Температурная зависимость угла диэлектрических потерь: 1. кварцевое стекло; 2. ультрафарфор пористый; 3. алюмосилкат бария с цирконосиликатом; 4. алюмосилкат бария на чистом сырье.

сняет эту разницу во влиянии стекловатой фазы на электропроводность (при постоянном напряжении) и диэлектрические потери.

Образцы алюмосилката бария имеют гораздо меньшие диэлектрические потери при высоких температурах, чем применяющиеся в настоящее время для внутриламповых изоляторов плавленный кварц, пористый ультрафарфор и пористая тальковая масса. Достаточно хорошие свойства имеет также цельзиановая масса, в которую для улучшения спекания добавлен цирконосиликат бария (рис. 8).

Заклучение

В настоящей работе:

1) Получены новые соединения силикобериллаты кальция, стронция и бария; определены для них межплоскостные расстояния и соответствующие интенсивности отражений рентгеновых лучей.

2) Определены показатели преломления, удельные веса и коэффициенты термического расширения силикобериллатов.

3) Исследована электропроводность и диэлектрические потери силикобериллатов при высоких температурах.

Показано, что электропроводность силикобериллатов при 800°C в 100 раз, а диэлектрические потери в 10 раз ниже, чем соответствующие характеристики плавленого кварца.

4) Найдены условия получения моноклинной модификации алюмосиликата бария из технических окислов.

Показано, что термодинамически равновесной при температуре порядка 1400°C является моноклинный цельзиан.

5) Исследованы электрические свойства образцов алюмосиликата бария, изготовленных с применением различных видов сырья.

Установлено, что диэлектрические потери алюмосиликата бария, изготовленного на технических окислах, сравнительно невелики, даже при 800°C : $\text{tg } \delta = 0,03 - 0,04$ при частоте 1 мггц, т. е. в 20 раз ниже, чем у плавленого кварца.

Особенно выделяются исключительно низкие диэлектрические потери алюмосиликата бария при температуре 500°C ($\text{tg } \delta = 0,0005 - 0,001$ при частоте 1 мггц).

Электропроводность упомянутых образцов при 800°C равна $10^8 \text{ ом}^{-1} \text{ см}^{-1}$, т. е. в сто раз ниже, чем у кварцевого стекла.

6) Можно рассчитывать, что применение моноклинного алюмосиликата бария (цельзиана) в качестве материала для внутриламповых изоляторов окажется целесообразным, учитывая его хорошие электрические свойства при высоких температурах и относительно небольшой коэффициент термического расширения. Силикобериллаты при хороших электрических свойствах имеют два недостатка: повышенное термическое расширение и наличие в рецепте дефицитного и дорогого сырья—окиси бериллия; в силу этого, они вряд ли смогут конкурировать с цельзианом.

В работе принимали участие инж. Прохвятилов В. Г. и Гиндин Е. И. (рентгеноструктурные исследования) и канд. техн. наук Кожевникова Н. В. (определение показателей преломления).

ЛИТЕРАТУРА

1. Дана Э. С. Описательная минералогия. Л. М., ОНТИ, 1937.
2. Бокый Г. Б. Иммерсионный метод. Изд. МГУ, 1948.
3. Карякин Ю. В. Чистые химические реактивы. Госхимиздат, 1947.
4. Жуковский Г. Ю., Келлер К. И., Антонович Н. К. Методы исследования керамических материалов, ГОНТИ, НКТП, 1939.
5. Гинзберг А. С. Изв. Петр. Политехн. Ин-та **23**, 34, 1915.
6. Полякова Н. Л. Доклад научно-технического совещания о радиокерамике, стр. 51, Ленинград, 1955.
7. Ioshiki B. and Matsumoto K. Journ. Amer. Cer. Soc. **34** [9] 283, 1951.
8. Eskola P. Amer. Journ. of Science [5th ser. 4 [23], 931, 1922.
9. Thomas R. Journ. Amer. Cer. Soc. **33** [2], 35, 1950.
10. Торопов Н. А., Галахов Ф. Я., Бондарь И. А. ДАН, 89, 1953.
11. Кайнарский И. С., Куколев Г. В., Смелянский И. С. Технология дигласа ОНТИ, НКТП, 1938.

ОПЕЧАТКИ

Стр.	Строка	Напечатано	Следует читать
5	15 сверху	Зинерман	Зингерман
9	2 снизу	пробивкой напряженности	пробивной напряженностью
13	4 сверху	$\varepsilon_m \cong 4 \frac{h}{2\pi}$	$\varepsilon \cong 4 \frac{h}{2\pi} \omega$
24	подпись под рисунком	рис.	рис. 9.
50	14 сверху	$\frac{1}{M_L^{ак}} = \left\{ \frac{1}{M} \right.$	$\frac{1}{M_L^{ак}} = \left\{ \frac{1}{M_-} \right.$
53	10 сверху	$\frac{df^{1/2}}{d\varepsilon}$	$\frac{df^{1/2}}{d\varepsilon}$
57	5 сверху	$\left(1 - \sqrt{1 - \frac{1}{1,3\varepsilon}} e^{-\frac{q}{E}(\varepsilon - I)^2} \right)$	$\left(1 - \sqrt{1 - \frac{1}{1,3\varepsilon}} e^{-\frac{q}{E}(\varepsilon - I)^2} \right)$
64	Уравнение (87)	$l_2(\varepsilon_2, \varepsilon_1) = l_1 e^{-\frac{1}{l_0}}$	$l_2(\varepsilon_2, \varepsilon_1) = l_1 e^{-\frac{l_1}{l_0}}$
65	18 снизу	$I \div 2\varepsilon_p$	$I + 2\varepsilon_p$
85	7 снизу	$10^{14} \cdot \frac{\pi \cdot 0,52 \cdot 10^{-2}}{4} \cdot 10^{-}$	$10^{14} \cdot \frac{\pi \cdot 0,52 \cdot 10^{-2}}{4} \cdot 10^{-2}$
111	2 сверху	производимости	проводимости
111	8 и 10 сверху	активизации	активации
120	5 сверху	прочности химического	прочности от химического
135	литерат. 6	стр. . .	стр. 113
147	11 снизу	$\varepsilon \cong 1000$	$\varepsilon \approx 1000$
148	подпись к рис. 4.	<i>Иразр. Ипроб.</i>	<i>Иразр. / Ипроб.</i>
204	рис. 1	KbBr	RbBr
253	подпись к рис. 6	$2 - f = 4 \cdot 10^3 \text{ гц}; 3 - f = 10^2 \text{ гц}$	$2 - f = 4 \cdot 10^2 \text{ гц}; 3 - f = 10^3 \text{ гц}$
273	7 сверху	KCl	KCl
290	подпись к рис. 4	$2 \cdot 10^5$	$2 \cdot 10^5$
294	1 снизу	от 10	от 10^{-4} при $f = 2 \cdot 10^7$ до 6 10
282		таблица	таблица 2
324	3 сверху	стр. 269	стр. 251
336	16 снизу	[3,4]	[3]
337	10 сверху	[5]	[4]
337	4 снизу	[6]	[5]
337	1 снизу	[7]	—
338	2 сверху	[8]	[6]
338	4 и 5 сверху	[9,10]	[7,8]
339	8 снизу	[11,12]	[9,10]
340	14 сверху	[13]	[11]
347	23 снизу	[14]	[12]
347	3,4 снизу	[15]	—
348	17 снизу	[16]	[13]
350	4 сверху	$\psi_{\varphi} [M] x = \text{Const}$	$\psi_{\varphi} [M] x = \text{Const}$
451	1 снизу	механический	технический