

ДИЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ ПОТЕРИ В ОКИСЛАХ И ГАЛОИДНЫХ СОЕДИНЕНИЯХ ЭЛЕМЕНТОВ II ГРУППЫ

А. А. ВОРОБЬЕВ, А. П. НАХОДНОВА

С увеличением энергии решетки кристаллов щелочно-галогидных солей возрастает их электрическая прочность, температура плавления, твердость, уменьшаются диэлектрические потери и др. [1, 2, 3, 4]. Установлена связь между другими физико-химическими свойствами.

Проведено исследование температурно-частотной зависимости $\operatorname{tg} \delta$ окислов, фтористых и хлористых соединений и элементов II группы.

Измерения зависимости $\operatorname{tg} \delta = f(T)$ проводились в вакууме ($P = 10^{-5}$ мм рт. ст.) при помощи куметра на спеченных поликристаллических образцах, плотность которых составляла 65—70 и 95% плотности монокристалла. Образцы имели форму дисков диаметром 14—17 мм и 0,5—0,8 мм толщиной, на которые распылением наносились серебряные электроды.

Исследование температурной зависимости $\operatorname{tg} \delta$ для окислов проводилось в интервале 25—480°C, галогидных соединений—25—260°C.

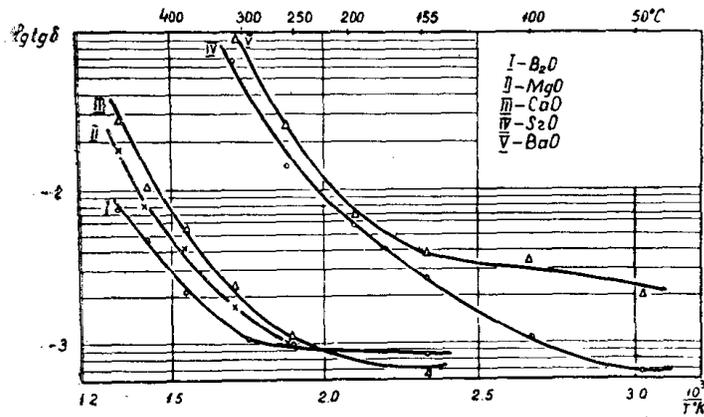
Результаты измерений показывают, что диэлектрические потери окислов металлов II группы, имеющих кубическую решетку, малы. Для BeO , MgO и CaO при 155°C и $f = 900$ кГц $\operatorname{tg} \delta$ не превышает 5×10^{-4} , у SrO и BaO потери несколько больше, но и здесь при $T = 25^\circ\text{C}$ и $f = 900$ кГц $\operatorname{tg} \delta$ не превышает $8 \cdot 10^{-4}$.

Для всех окислов наблюдается относительно быстрый рост $\operatorname{tg} \delta$ с повышением температуры (фиг. 1).

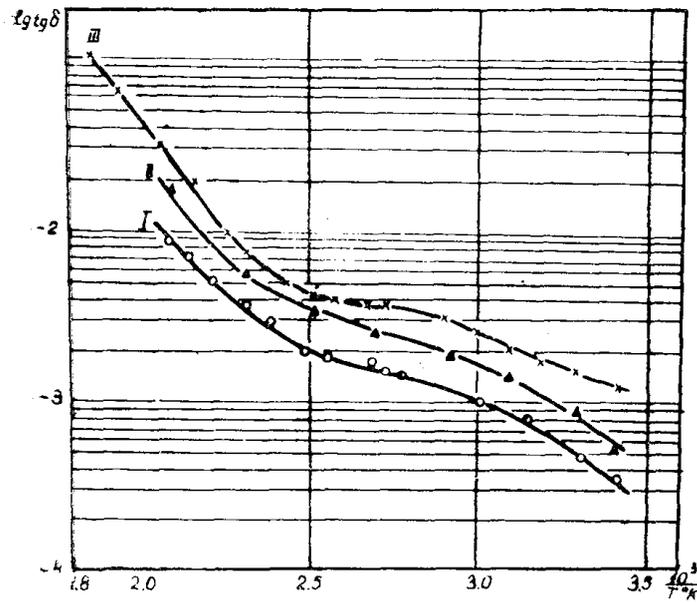
Замена ионов Be^{++} , M^{++} на ионы металлов, имеющих больший радиус, сопровождается разрыхлением кристаллической решетки и увеличением величины $\operatorname{tg} \delta$. Диэлектрические потери окислов в ряду $\text{BeO} - \text{BaO}$ тем больше, чем меньше энергия кристаллической решетки вещества (фиг. 1).

Зависимость $\operatorname{tg} \delta$ от температуры для CaF_2 , SrF_2 и BaF_2 изучалась на образцах, плотность которых составляла 65—70% и 95% монокристалла. Наблюдалось возрастание $\operatorname{tg} \delta$ с температурой (фиг. 2). Для образцов более высокой плотности в интервале 60—120°C появляется слабый максимум $\operatorname{tg} \delta$ (фиг. 3).

Наличие температурного максимума $\operatorname{tg} \delta$ для образцов относительно большой плотности дает основание полагать, что в спеченных поликристаллических образцах, кроме потерь, обусловленных проводимостью, имеются релаксационные потери, обусловленные слабо закрепленными ионами.



Фиг. 1. Температурная зависимость $\lg \operatorname{tg} \delta$ для окислов металлов II группы при $f=900$ кГц



Фиг. 2. Температурная зависимость $\lg \operatorname{tg} \delta$ для CaF_2 , SrF_2 , BaF_2 при $f=900$ кГц. Плотность образцов составляет 65—70% уд. веса вещества.

I— CaF_2 , II— SrF_2 , III— BaF_2

В группе фтористых соединений Ca, Sr и Ba, как для пористых образцов, так и для плотных, наибольшее значение $\text{tg } \delta$ имеет BaF_2 и наименьшее CaF_2 .

В группе хлористых соединений Ca, Sr и Ba наибольшие потери наблюдаются для SrCl_2 (фиг. 4).

Изменение $\text{tg } \delta$ для CaCl_2 и BaCl_2 находится в соответствии с основными физико-химическими свойствами данных соединений и энергией кристаллической решетки. Наблюдаемые отклонения от общей закономерности величины $\text{tg } \delta$ для SrCl_2 связаны, очевидно, с кристаллической структурой хлористого стронция. Тип кристаллической решетки и кристаллографическая система SrCl_2 отличны от кристаллической решетки BaCl_2 и CaCl_2 .

На фиг. 5, 6 представлены зависимости $\text{tg } \delta = f(T)$ для соединений Ba, у которых происходит последовательная замена иона кислорода на ионы F' и Cl' . Значение угла диэлектрических потерь SrO , SrF_2 , SrCl_2 и BaO , BaF_2 , BaCl_2 увеличивается с уменьшением энергии связи ионов кристаллической решетки.

Частотная зависимость $\text{tg } \delta$ рассматриваемых соединений представлена на фиг. 7, 8, 9.

Для образцов, относительная плотность которых составляет 65—70% удельного веса монокристаллов, $\text{tg } \delta$ окислов и галоидных соединений элементов II группы в интервале 450—900 кГц уменьшается с увеличением частоты. Для более плотных образцов CaF_2 , SrF_2 и BaF_2 в интервале 500—2000 кГц также уменьшается с увеличением частоты. Температурный максимум $\text{tg } \delta$ для данного вещества при этом сдвигается в сторону более высоких температур (фиг. 9).

Следует отметить, что диэлектрические потери пористых поликристаллических образцов соединений элементов II группы зависят от условий проведения опыта.

В воздухе диэлектрические потери значительно выше, чем в вакууме (фиг. 10). Величина $\text{tg } \delta$ в воздухе для BaO при $T = 25^\circ\text{C}$ и $f = 450\text{—}900$ кГц почти на два порядка выше, чем в вакууме, для SrO —больше чем на порядок. Основная причина повышенного значения $\text{tg } \delta$ в воздухе обуславливается, по-видимому, наличием открытых пор, в которых происходит адсорбция паров воды.

Выводы

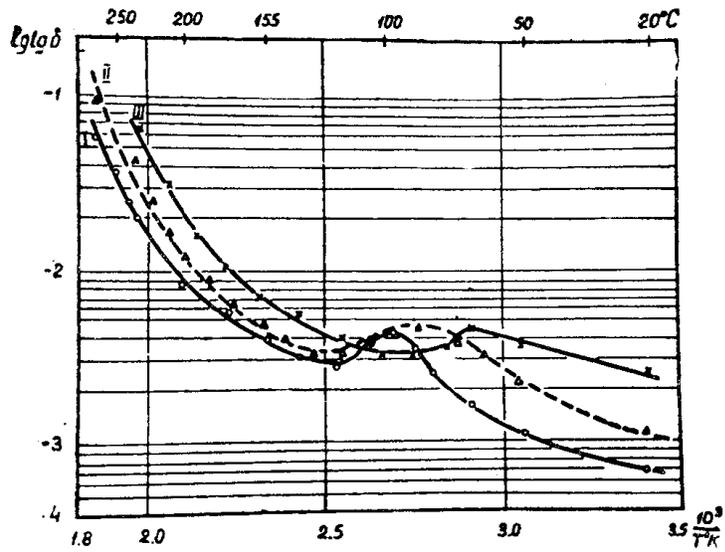
1. Угол диэлектрических потерь окислов и галоидных соединений элементов II группы в вакууме при 25°C и $f = 450\text{—}900$ кГц имеет относительно небольшую величину и за исключением ZnO и SrCl_2 не превышает $4 \cdot 10^{-3}$.

2. Диэлектрические потери для поликристаллических образцов соединений в воздухе значительно выше, чем в вакууме.

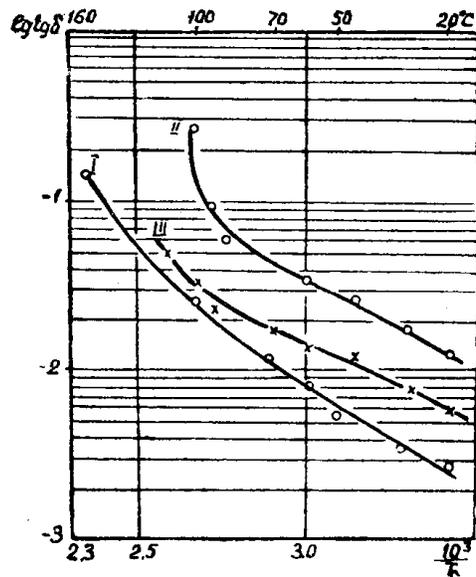
3. Тангенс угла диэлектрических потерь в интервале 450—900 кГц изменяется обратно пропорционально частоте.

4. С ростом температуры диэлектрические потери для образцов, относительная плотность которых составляет 65—70% удельного веса монокристалла, увеличиваются. Для образцов, имеющих относительно высокую плотность, обнаруживается температурный максимум.

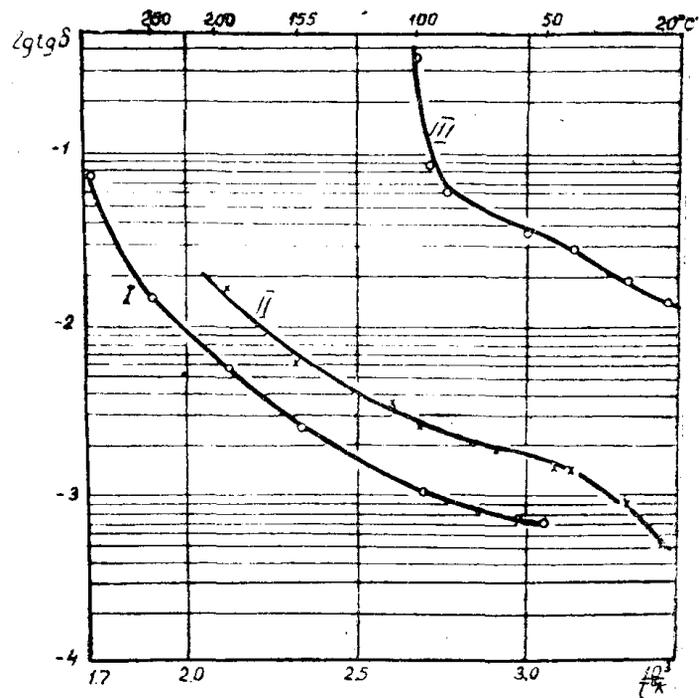
Для данной температуры $\text{tg } \delta$ поликристаллических спеченных образцов соединений металлов второй группы увеличивается с уменьшением энергии кристаллической решетки вещества. Отмеченная закономерность имеет место как для соединений, имеющих общий катион, так и для соединений с переменным катионом.



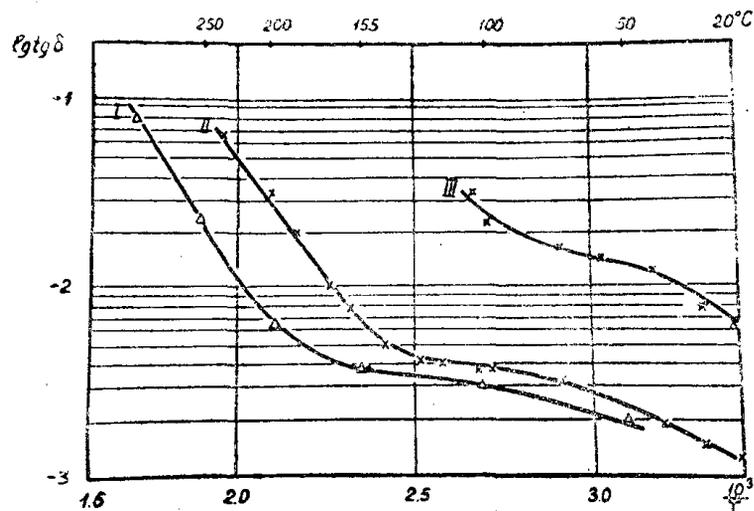
Фиг. 3. Температурная зависимость $\lg \operatorname{tg} \delta$ для CaF_2 , SrF_2 , BaF_2 при $f = 900 \text{ кгц}$. Относительная плотность образцов составляет 95% уд. веса вещества.
I — CaF_2 , II — SrF_2 , III — BaF_2



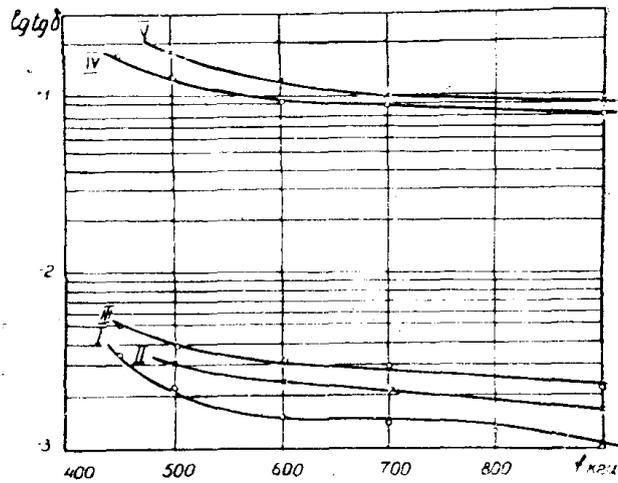
Фиг. 4. Температурная зависимость $\lg \operatorname{tg} \delta$ для CaCl_2 , SrCl_2 , BaCl_2 при $f = 900 \text{ кгц}$.
I — CaCl_2 , II — SrCl_2 , III — BaCl_2



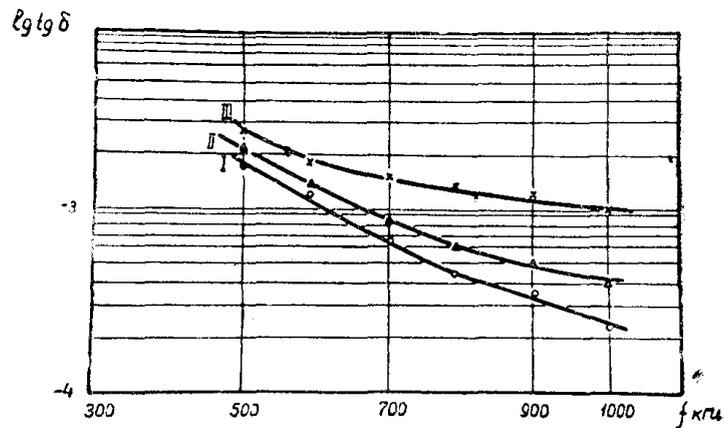
Фиг. 5. Температурная зависимость $\lg \operatorname{tg} \delta$ для SrO, SrF₂, SrCl₂, при $f = 900$ кГц.
I — SrO, II — SrF₂, III — SrCl₂



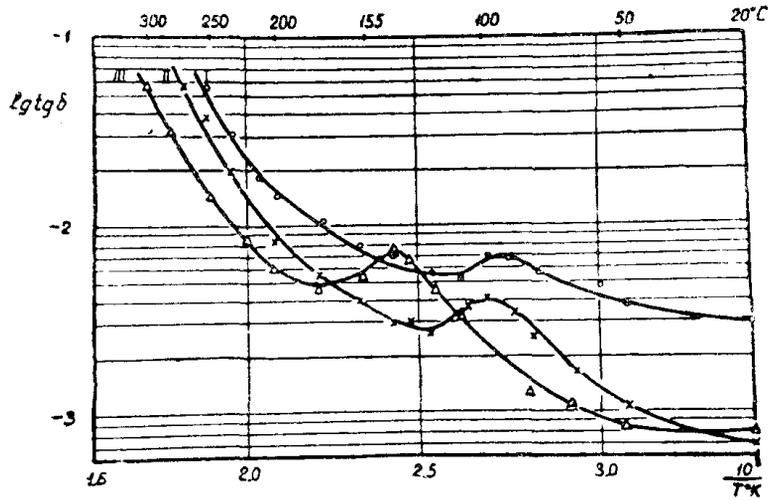
Фиг. 6. Температурная зависимость $\lg \operatorname{tg} \delta$ для BaO, BaF₂, BaCl₂ при $f = 900$ кГц.
I — BaO, II — BaF₂, III — BaCl₂



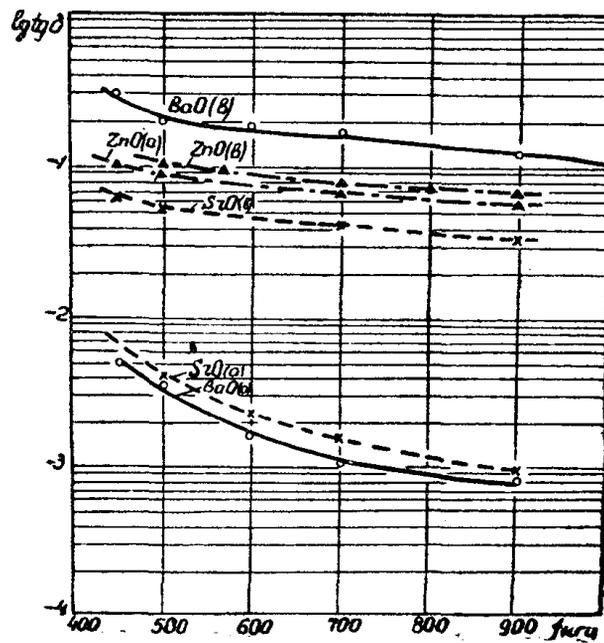
Фиг. 7. Зависимость $\lg \operatorname{tg} \delta$ от частоты для BeO, MgO, CaO, SrO, BaO при $T=310^\circ\text{C}$
 I—BeO, II—MgO, III—CaO, IV—SrO, V—BaO



Фиг. 8. Зависимость $\lg \operatorname{tg} \delta$ от частоты для CaF₂, SrF₂, BaF₂ при $T=20^\circ\text{C}$.
 Плотность образцов составляет 65—70% уд. веса вещества.
 I—CaF₂, II—SrF₂, III—BaF₂



Фиг. 9. Температурно-частотная зависимость $\lg \operatorname{tg} \delta$ для CaF_2 . Плотность образцов составляет 95% уд. веса вещества.
 I — $f = 500$ кгц, II — $f = 900$ кгц, III — $f = 2000$ кгц



Фиг. 10. Зависимость $\lg \operatorname{tg} \delta$ от частоты в воздухе и в вакууме для SrO , BaO и ZnO при $T = 25^\circ\text{C}$
 а) в воздухе, б) в вакууме

ЛИТЕРАТУРА

1. Воробьев А. А. и Завадовская Е. К. Изв. Томского политехн. ин-та, 71, 3, 1953.
 2. Воробьев А. А. и Завадовская Е. К. Электрическая прочность твердых диэлектриков, Гостехиздат, 1956.
 3. Водопьянов К. А. и Галибина Т. И. Изв. Томского политехн. ин-та, 91, 269, 1955.
 4. Сканави Г. И. и Сарафанов В. И. ЖЭТФ 27, 735, 1954.
 5. Сканави Г. И. и Маслов В. В. ЖЭТФ 27, 1954.
 6. Bever R. S and Sproull R. L. Phys. Rev. 83. 804. 1951.
-

Стр.	Строка	Напечатано	Следует читать
3	11 стр.	10^{16}	10^{-6}
9	9 стр.	$5 \cdot 10^{-9}$ сек	$5 \cdot 10^{-9}$ сек
11	1 стр.	$2 \div 3 \cdot 10^{-8}$ сек	$2 \div 3 \cdot 10^{-8}$ сек
29	6 стр.	10^{-6} см/сек	10^6 см/сек
29	2 стр.	большой	большин
30	3 стр.	10^{-6} сек	10^{-6} сек
32	6 стр.	спаянности	спайности
33	17 стр.	10^{-8} сек	10^{-8} сек
34	3 стр.	10^{-6} сек	10^{-6} сек
34	4,5 стр.	$10^{-4} - 10^{-1}$ сек	$10^{-4} - 10^{-1}$ сек
34	19 стр.	10^{-8} и 10^{-6} см/сек	10^{-8} сек и 10^6 см/сек
56	форм. 9	В конце фигурной скобки следует — 1.	
65	3 стр.	формулу	форму
91	5 стр.	1350 ом и $R_T = 30 \text{ ком}$	$R_T = 1350 \text{ ом}$ $R_T = 30 \text{ ком}$
107	6 стр.	$\tau = 10^{-6}$ сек	$\tau = 10^{-6}$ сек
109	16 стр.	образцов	микротвердости образцов
111	4 стр.	E	$E_{пр}$
112	рис. 9, 5 стр.	поле однородное	поле неоднородное
116	12 стр.	Винчелла	Винчелл
123	7 стр.	спаянность	спайность
128	32 стр.	40 мол %	90 мол %
170	1 стр.	ангенса	тангенса
217	15 стр.	При введении примесей типа внедрения	При введении примесей в твердые растворы типа внедрения
218	24 стр.	Измерялась зависимость	Определялась зависимость
219	8 стр.	хлористый рубидий	бромистый калий
219	22 стр.	хранения из монокристаллов	хранения монокристаллов
220	фиг. 2	В точке начала координат слева по оси $\lg z$ следует поставить — 12	
228	1 стр.	выражение	выражение
228	5 стр.	огла	тогда
228	6 стр.	арфора	фарфора
228	7 стр.	каркасном	в каркасном
228	8 стр.	етальной	детальной
228	16 стр.	гатушек	катушек
228	форм. 3	C_g	C_g
242	2 стр.	Из фиг. 1	Из диаграммы плавкости
244	11—12 стр.	рентгенограммы смещены	рентгенограммы сплава смещены
251	24 стр.	с ионизованном	с ионизированным
301	7 стр.	монизирующих	ионизирующих
302	18 стр.	-процентного	50-процентного
306	9 стр.	95% монокристалла	95% плотности монокристалла
325	24 стр.	группы	II группы
332	6 стр.	$10^7 - 10^8$ ом/сек	$10^7 - 10^8$ см/сек
343	1 стр.	„438—1“	„ИЗВ—1“
394	8 стр.	Co	Co