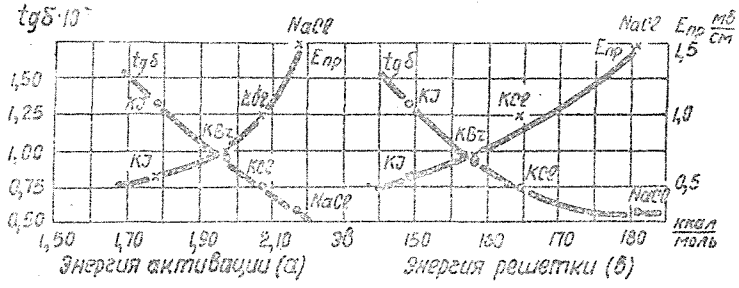
ИЗВЕСТИЯ
ТОМСКОГО ОРДЕНА ТРУДОВОГО КРАСНОГО ЗНАМЕНИ ПОЛИТЕХНИЧЕСКОГО
Том 83 ИНСТИТУТА имени С. М. КИРОВА 1956 г.

ДИЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ ПОТЕРИ, ЭЛЕКТРИЧЕСКАЯ ПРОЧНОСТЬ КРИСТАЛЛОВ ЩЕЛОЧНО-ГАЛОИДНЫХ СОЛЕЙ И ЭНЕРГИЯ РЕШЕТКИ

К. А. ВОДОПЬЯНОВ, А. А. ВОРОБЬЕВ и М. А. КРИВОВ

Электрическая прочность щелочно-галоидных кристаллов, как это показано ранее [1], связана с энергией кристаллической решетки: при повышении последней электрическая прочность закономерно увеличивается. Между степенью закрепления частиц решетки, о которой можно судить по энергии решетки, энергии активации, температуре плавления, теплоте образования и другим энергетическим характеристикам вещества и электрической прочностью кристаллов щелочно-галоидных солей существует вполне определенная зависимость. С увеличением сил связи между частицами и прочности их закрепления в решетке электрическая прочность кристалла возрастает. Дальнейшие исследования [2] показали наличие закономерной связи между другой важнейшей характеристикой вещества—диэлектрическими потерями и величинами, характеризующими прочность связей между частицами решетки. По мере увеличения энергии решетки тангенс угла диэлектрических потерь монотонно уменьшается.



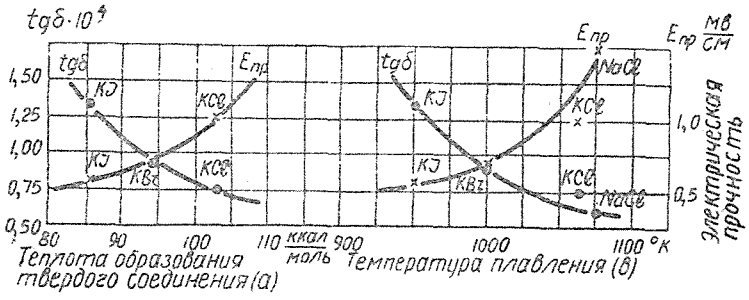
Фиг. 1. Зависимость tgδ и электрической прочности кристаллов от энергии активации (*а*) и энергии решетки (*в*), ($f = 10^6$ гц).

Зависимость электрической прочности и тангенса угла диэлектрических потерь от величины энергии решетки и энергии активации, вычисленной из электропроводности кристалла, представлена на фиг. 1. Приведенные на фиг. 1 экспериментальные данные показывают, что с увеличением энергии активации (*а*) и энергии решетки (*в*) электрическая прочность кристаллов возрастает, а тангенс угла диэлектрических потерь уменьшается.

Подобную же картину можно наблюдать и на фиг. 2, на которой нанесены экспериментальные данные для электрической прочности и тангенса угла диэлектрических потерь кристаллов в зависимости от теплоты образования твердого соединения (*а*) и от температуры плавления (*в*).

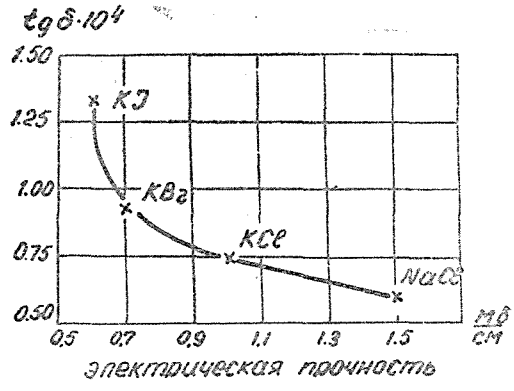
На всех представленных графиках мы наблюдаем одну и ту же закономерность: увеличение угла диэлектрических потерь в кристаллах сопровождается понижением их электрической прочности.

Если для кристаллов хлористого натрия, хлористого, бромистого и иодистого калия по экспериментальным данным построить график изменения тангенса угла диэлектрических потерь в зависимости от электрической прочности тех же кристаллов, то получается картина, изображенная на фиг. 3.



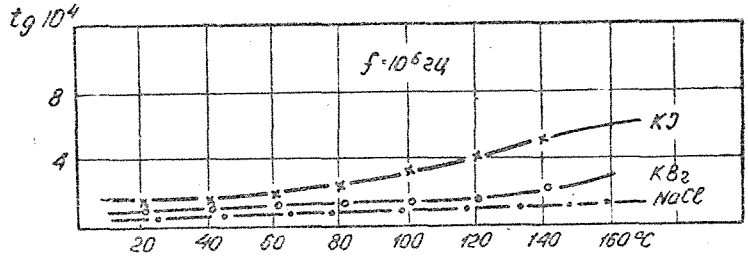
Фиг. 2. Зависимость tgδ и электрической прочности кристаллов от теплоты образования твердого соединения (*а*) и температуры плавления (*в*), ($f = 10^6$ *гц*).

Таким образом, уменьшение связи частиц в решетке приводит к увеличению диэлектрических потерь и уменьшению электрической прочности структуры.



Фиг. 3. Зависимость между tgδ и электрической прочностью кристаллов, ($f = 10^6$ *гц*).

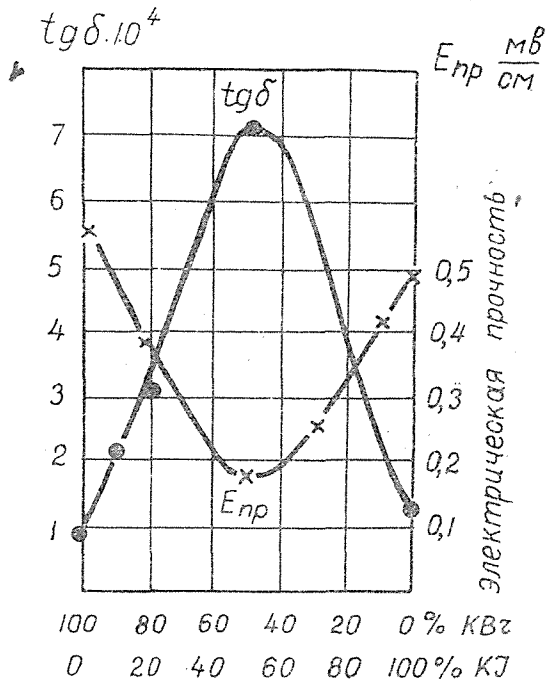
На фиг. 4 приведена температурная зависимость хода изменения тангенса угла диэлектрических потерь для некоторых кристаллов щелочно-галоидных солей. Ход кривых показывает, что по мере уменьшения энергии решетки кристаллов тангенс угла потерь возрастает. В системах с меньшей



Фиг. 4. Температурная зависимость tgδ для кристаллов щелочно-галоидных солей, ($f = 10^6$ *гц*).

энергией решетки быстрое возрастание тангенса угла потерь начинается раньше и с повышением температуры происходит быстрее.

Связь между диэлектрическими потерями и электрической прочностью можно проследить и на смешанных кристаллах щелочно-галоидных солей. Опыты показали, что, если по мере увеличения количества примеси одной соли в другой, тангенс угла диэлектрических потерь возрастает, то электрическая прочность таких кристаллов закономерно уменьшается. При некотором соотношении количества смешиваемых солей тангенс угла проходит через максимум, вершина которого соответствует минимуму электрической прочности. Это можно наблюдать на системе бромистый калий—иодистый калий, ход изменения тангенса угла потерь для частоты 10^6 *гц* и электрической прочности, для которой в зависимости от концентрации компонентов нанесены на фиг. 5. Значения электрической прочности системы нанесены по данным Н. Б. Богдановой [3].



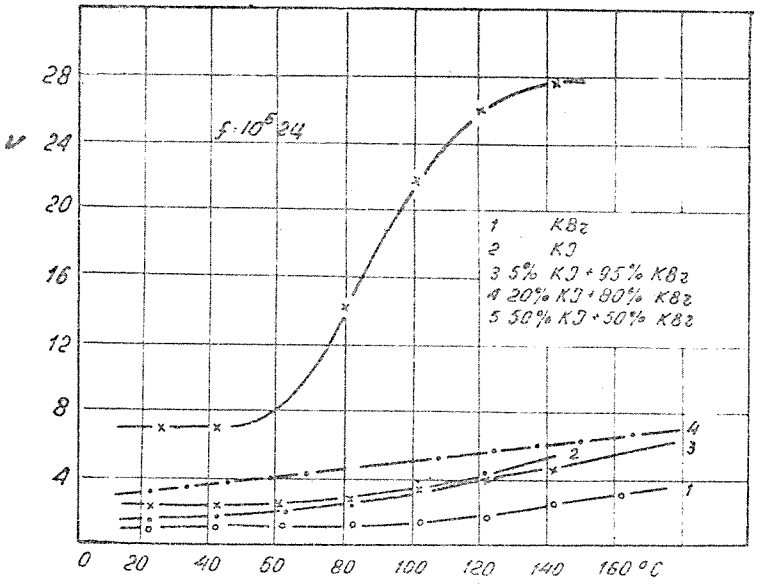
Фиг. 5. Значение tgδ и электрической прочности для смешанных кристаллов системы KBr — KI ($f = 10^6$ *гц*).

На фиг. 6 приведен температурный ход изменения тангенса угла диэлектрических потерь исследованной системы. Тангенс угла диэлектрических потерь для смешанных кристаллов с повышением температуры возрастает более резко, чем в чистых кристаллах.

На фиг. 7 представлен температурный ход изменения тангенса угла диэлектрических потерь и электрической прочности кристаллов каменной соли. Сравнение кривых для тангенса угла потерь и электрической прочности показывает, что ослабление связей между ионами решетки по мере повышения температуры сопровождается возрастанием тангенса угла потерь и уменьшением электрической прочности кристалла.

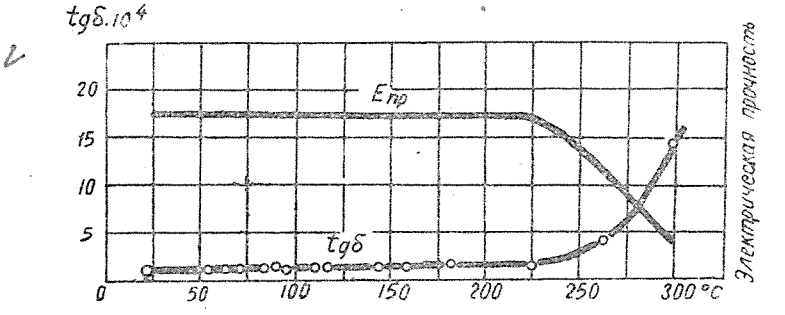
Из фиг. 7 видно, что до температуры порядка 200°С тангенс угла диэлектрических потерь и пробивное напряжение каменной соли мало зависят от температуры. Считают, что в этом интервале температур пробой

имеет электрическую форму [4]. При более высоких температурах, когда пробивное напряжение сильно понижается с повышением температуры, пробой имеет тепловую форму.



Фиг. 6. Температурная зависимость tgδ для смешанных кристаллов системы KBr—KI ($f = 10^6$ гц).

Однако наблюдаемая закономерность может иметь и другое объяснение. При невысоких температурах энергия взаимодействия частиц в решетке с увеличением температуры изменяется мало, связи в решетке остаются прочными, вследствие чего не заметно изменения электрических характеристик кристалла по мере роста температуры. При более высоких температурах



Фиг. 7. Зависимость tgδ и электрической прочности от температуры для кристалла каменной соли ($f = 10^6$ гц).

увеличивается постоянная решетки, связи между частицами ослабевают, энергия взаимодействия частиц уменьшается. Уменьшение энергии решетки согласно закономерности, представленной на фиг. 1, сопровождается увеличением угла диэлектрических потерь и уменьшением электрической прочности кристалла.

Таким образом, между диэлектрическими потерями и электрической прочностью кристаллов щелочно-галоидных солей можно наблюдать вполне определенную закономерность, объясняющуюся тем, что оба эти явления—

диэлектрические потери и пробой — зависят от энергии решетки кристалла и определяются, в конечном счете, прочностью связей частиц в кристалле.

ЛИТЕРАТУРА

1. Воробьев А. А. Тр. СФТИ V, 3, 234, 1939.
2. Воробьев А. А. и Водопьянов К. А. ДАН СССР, 94, 429—432, 1954.
3. Богданова Н. ЖЭТФ, 14, 30—31, 1944.
4. Физика диэлектриков (под редакцией Л. Ф. Вальтера). ГТТИ, 1932.