

О СВЯЗИ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ПРОЧНОСТИ ТВЕРДЫХ
ДИЭЛЕКТРИКОВ С ЭНТРОПИЕЙ

А. Ф. ГОРОДЕЦКИЙ

Поскольку при электрическом пробое твердых диэлектриков имеет место разрушение связей между частицами, его образующими, постольку представляет интерес сопоставление величины электрической прочности с величинами, связанными с энергетическими характеристиками решетки.

Наиболее обстоятельное исследование диэлектриков с точки зрения этих позиций было выполнено А. А. Воробьевым [1], А. А. Воробьевым и Е. К. Завадовской [2], Е. К. Завадовской [3].

Авторы указывают на наличие зависимости между величиной электрической прочности кристаллов щелочно-галогидных солей и энергией решетки, теплотой образования, постоянной решетки и др.

На основании таких энергетических соображений Е. К. Завадовская [4] рассмотрела большую группу диэлектриков, обладающих высокой электрической прочностью. В цитированной работе приведена эмпирическая формула, позволяющая выражать электрическую прочность кристаллов через величины, характеризующие плотность упаковки и валентную связь частиц. Значения электрической прочности, вычисленные по этой формуле, оказались в хорошем согласии с экспериментальными данными для щелочно-галогидных солей.

Последнее обстоятельство позволило сделать определенные выводы о высоких значениях электрической прочности ряда оксидов, сульфидов и фторидов.

Плодотворность исследований в таком направлении привела к мысли о целесообразности сопоставления электрической прочности с различными термодинамическими характеристиками и в частности с энтропией.

В табл. 1 и на фиг. 1 приведены данные об электрической прочности и стандартных энтропиях [5] некоторых солей щелочно-галогидного ряда

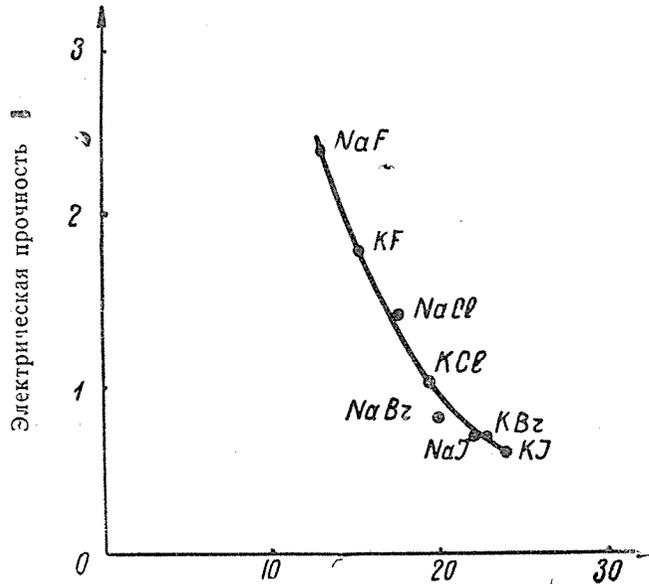
Таблица 1

Соль	$E_{пр} \frac{Мв}{см}$	Стандартная энтропия S°
NaF	2,4	13,1
NaCl	1,5	17,3
NaBr	0,8	20,0
NaJ	0,7	22,0
KF	1,8	15,8
KCl	1,0	19,8
KBr	0,7	22,6
KJ	0,6	24,1

Как видно из таблицы и из графика, между сопоставляемыми величинами имеется вполне отчетливая зависимость.

Таким образом, можно утверждать, что возрастание стандартных энтропий для веществ с одинаковой структурой характеризует соответствующее понижение их электрической прочности.

Следовательно, для веществ с одинаковой структурой по значениям стандартных энтропий можно судить о соотношениях между электрическими прочностями данных веществ.



Фиг. 1 Стандартная энтропия

Так, для некоторых оксидов, имеющих решетку типа NaCl, приведенных в работе [4], значения стандартных энтропий приведены в табл. 2.

Таблица 2

Вещество	Стандартная энтропия,
MgO	6,4
CaO	9,5
FeO	14,2
BaO	16,8

Исходя из наших соображений, следует ожидать изменения электрической прочности в сторону понижения в последовательности: MgO, CaO, FeO, BaO.

По вычислениям Е. К. Завадовской соответствующие электрические прочности имеют значения: FeO—25,0; MgO—24,0; CaO—21,7; BaO—19,5.

Экспериментальных данных для этих диэлектриков, к сожалению, нет, за исключением MgO, для которого приводится значение $E_{np} = 4,4 \cdot 10^2$ кВ/см; последний результат резко отличается от вычисленного в [4].

Попытаемся дать трактовку полученным результатам.

Как известно из статистической физики, энтропия системы может быть представлена при помощи выражения:

$$S = 3Nk \ln \frac{T}{\theta_c} + 4Nk \quad \text{при } T \gg \theta_c, \quad (1)$$

где

$$\theta_c = \frac{h\nu_{max}}{k} = \frac{h}{k} \left(\frac{9N}{4\pi v} \right)^{1/3} \left(\frac{c_t^3 c_t^3}{c_t^3 + c_t^3} \right)^{1/3} \quad (2)$$

характеристическая температура кристалла, а величины h , N , k , универсальные постоянные, имеющие обычный смысл, $\frac{N}{V}$ — плотность кристалла, c_l , c_t — скорости звука в кристалле.

Исходя из значений величин, входящих в (1) и (2), можно высказать следующую гипотезу.

Электроны, накопив энергию в электрическом поле, путем соударений с узлами решетки передают последним свою энергию. Полученная ионами энергия рассеивается в виде упругих волн.

Если среднюю энергию, накапливаемую электронами, обозначить:

$$\omega = \frac{ne^2 E^2}{m} \tau(\omega), \quad (3)$$

где n — число электронов в единице объема, e — заряд электрона, m — масса электрона, $\tau(\omega)$ — время свободного движения электрона и E — напряженность электрического поля [1], а энергию, переносимую звуковой волной за одну секунду через cm^2 , выразим как обычно

$$\omega' = \frac{1}{2} \rho c \xi_0^2 \omega^2, \quad (4)$$

где ρ — плотность, c — скорость звука, ξ_0 — колебательная скорость (амплитудное значение) и ω — частота колебаний, то нам кажется возможным положить, что пробой твердого диэлектрика может иметь место только при условии, что

$$\omega - \omega' > 0. \quad (5)$$

Из этих рассуждений следует, что в тех веществах, в которых скорость звука выше, можно ожидать большей электрической прочности.

Таблица 3

Вещество	$E_{пр} \frac{Mв}{см}$	$\rho \frac{2}{см^3}$	Модуль Юнга $E \times 10^{-11}$	$\frac{E}{\rho}$	Скорость звука $\times 10^{-5}$
LiF	3,1	2,601	9,74	3,73	6,107
NaCl	1,5	2,18	4,85	2,22	4,72
KCl	1,0	1,989	3,65	1,88	4,336
NaBr	0,6	3,213	2,5	0,777	2,787
KBr	0,7	2,73	3,45	1,26	3,550
KJ	0,57	3,115	2,69	0,86	2,933

Данные табл. 3, в которой приведены вычисленные нами значения скорости распространения звука в некоторых щелочно-галонидных кристаллах, показывают, что наше заключение имеет под собой базу.

В заключение приношу благодарность профессору доктору А. А. Воробьеву за обсуждение затронутых в статье вопросов.

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

1. Воробьев А. А. Известия ТПИ, т. 63, 3, 1944.
2. Воробьев А. А. и Завадовская Е. К. ДАН СССР, 81, 375, 1951.
3. Завадовская Е. К. Известия ТПИ, т. 73, 15, 1952.
4. Завадовская Е. К. ДАН СССР, т. 82, 709, 1952.
5. Справочник химика, т. 1, Госхимиздат, 1901.