

ОБ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ПРОЧНОСТИ ТВЁРДЫХ РАСТВОРОВ

А. Ф. ГОРОДЕЦКИЙ

Существующие теории электрического пробоя твёрдых диэлектриков по-разному учитывают влияние примесей в диэлектрическом кристалле.

Так, Хиппель [1] рассматривает ударную ионизацию электронами как основной процесс, приводящий к пробую, и приходит к выводу, что примеси должны увеличивать электрическую прочность диэлектрика за счёт нарушения примесями правильного хода потенциальной функции в кристалле. Искажения потенциальных барьеров увеличивают вероятность захвата электронов.

Фрёлих [2] рассчитывает напряженность поля из условия, что электрон должен получать от поля больше энергии, чем он отдаёт кристаллической решётке в виде тепла. Окончательное выражение, получаемое Фрёлихом, связано с длиной свободного пробега электрона в решётке таким образом, что электрическая прочность должна возрастать с уменьшением длины свободного пробега. Следовательно, чем менее упорядочена структура, тем большей должна быть электрическая прочность.

Проведённые Хиппелем эксперименты [3] с твёрдыми растворами $KCl-RbCl$ и $KCl-KBr$

показали, что в ходе зависимости электрической прочности от состава имеется максимум для системы $KCl-RbCl$ и возрастание прочности до границ области распада твёрдого раствора для системы $KCl-KBr$.

При этом наибольшее возрастание электрической прочности (около 30%) соответствует приблизительно одинаковому количеству обеих компонент (фиг. 1, 2, сплошные кривые).

Эти результаты опытов могли быть истолкованы как в рамках теории Хиппеля, так и рамках теории Фрёлиха.

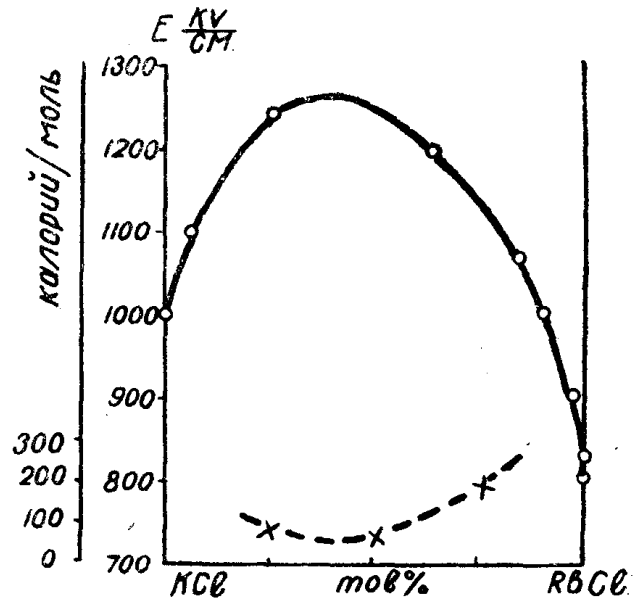
Дальнейшее изучение зависимости электрической прочности от состава в твёрдых растворах было проведено Хиппелем и Ли [4] для системы $NaCl-AgCl$, а также Богдановой [5]—для систем $KI-NaI$ и $KI-KBr$.

Хиппелем было показано, что введение к $NaCl$ до 15 мол.% $AgCl$ повышает электрическую прочность в два раза.

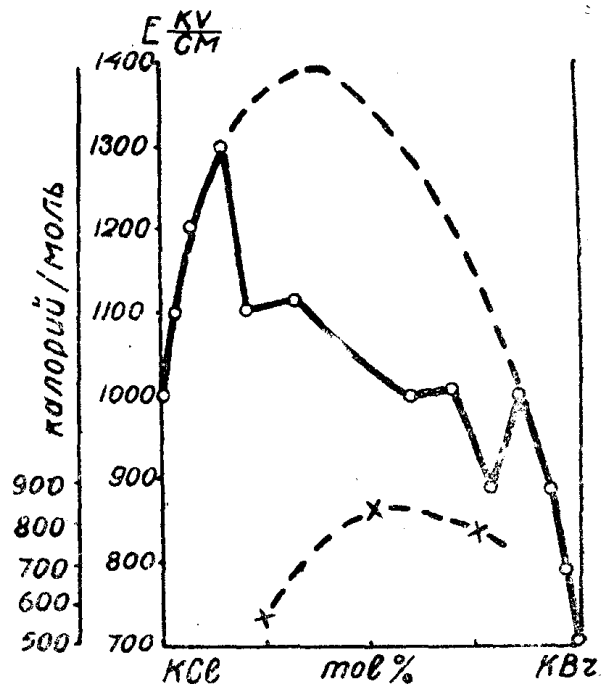
Однако результаты, полученные Богдановой, показали, что примеси также могут понижать электрическую прочность. Так, в случае системы $KI-NaI$ прибавление к чистому KI примесей до 40 мол.% NaI ведет к понижению электрической прочности смешанных кристаллов, по сравнению с чистым KI , примерно вдвое. Для системы $KI-KBr$ наблюдалось понижение электрической прочности от значения её для чистого KI до минимума при составе 50 мол.% $KI + 50$ мол.% KBr , а затем возрастание до значения электрической прочности чистого KBr (фиг. 3, 4, сплошные линии).

Результаты Богдановой, таким образом, противоречили предсказаниям теорий Хиппеля и Фрёлиха.

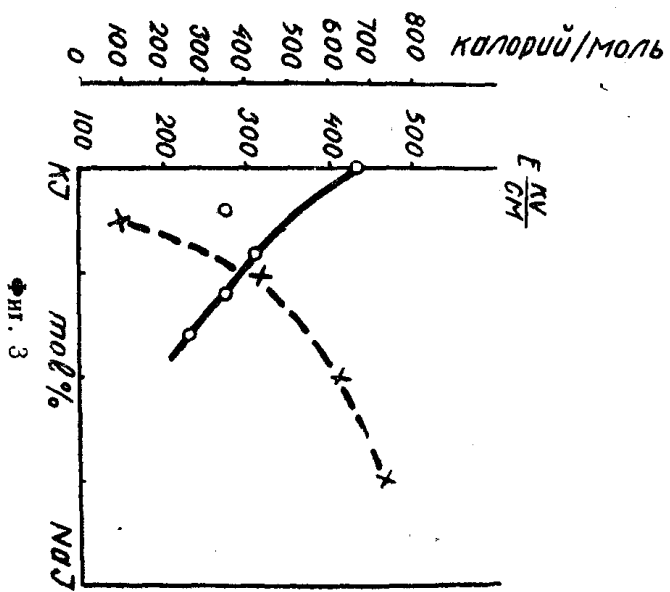
Предпринятая Богдановой попытка связать электрическую прочность твёрдых растворов с температурой плавления, по нашему мнению, также не привела к положительным результатам. Единой закономерности построить не удалось [6].



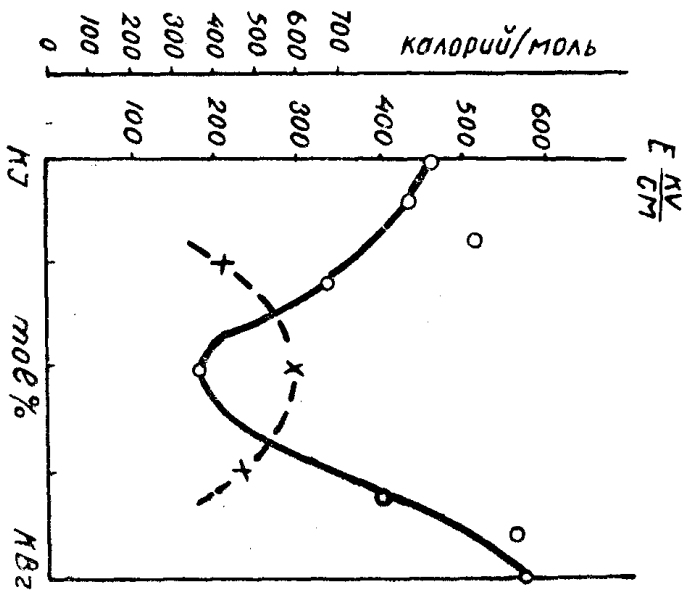
Фиг. 1



Фиг. 2



Фиг. 3



Фиг. 4

Анализ этих результатов, а также имевшиеся в нашем распоряжении данные о сравнительно малой термодинамической устойчивости твёрдых растворов щёлочно-галогидных солей [7, 8, 9] указывали на целесообразность сопоставления данных по электрической прочности твёрдых растворов с их термодинамической устойчивостью.

Используя данные Жемчужного и Рамбаха [8], а также Курнакова и Жемчужного [9] о поглощённой при образовании твёрдых растворов энергии, мы нанесли эти значения на диаграммы электрическая прочность—состав (фиг. 1-4, пунктирные кривые).

Как легко видеть, зависимость получается совершенно однозначной: системы, характеризуемые убылью электрической прочности KI—NaI, KI—KBr, поглощали относительно большую энергию. При этом для одной и той же системы рост поглощаемой энергии при её образовании соответствует убыли электрической прочности.

В случае системы KCl—KBr имеет место аналогичная, по существу, зависимость для состава соответствующего области распада твёрдых растворов.

Характерно, что при комнатной температуре через 2,5 месяца твёрдый раствор 50 мол. % KI в системе KI—NaI распадается примерно на $\frac{2}{3}$; твёрдый раствор 50 мол. % KI в системе KI—KBr распадается примерно на $\frac{1}{2}$; твёрдый раствор 50 мол. % KCl в системе KCl—KBr распадался на $\frac{2}{3}$ при комнатной температуре через 1,5 месяца после его образования.

В то же время в случае твёрдого раствора KCl—RbCl при этих же условиях не обнаружено никаких следов распада.

Изложенные результаты позволяют высказать предположение о том, что в случае систем KI—NaI, KI—KBr и частично KCl—KBr процесс распада твёрдого раствора приводит к понижению электрической прочности, наблюдаемому на опыте. При этом перекрывается эффект упрочнения, связанный с выводами теорий Хиппеля и Фрелиха.

Наоборот, в системе KCl—RbCl, где явление распада практически не имеет места, основную роль играет эффект упрочнения примесями.

Таким образом, в связи с диффузионным характером процесса распада твёрдых растворов [10] при изучении электрической прочности необходимо учитывать диффузионные явления в системах.

Накопление дополнительных экспериментальных данных, начатое в нашей лаборатории, позволит, вероятно, сделать дальнейшие выводы.

Пользуюсь случаем выразить благодарность профессору - доктору А. А. Воробьеву за интересные дискуссии по затронутым вопросам.

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

1. A. v. Hippel, I. Appl. Phys., 8, 815, 1937.
2. H. Frölich, Proc. Roy. Soc., (A) 160, 230, 1937.
3. A. v. Hippel, Zs. f. Physik, 88, 358, 1934.
4. A. v. Hippel and G. M. Lee, Phys. Rev., 59, 824, 1941.
5. Н. Б. Богданова, ЖЭТФ, 14, 30, 1944.
6. А. А. Воробьев, Известия Томского политехнического института, 63, 3, 1944.
7. В. Я. Аносов и С. А. Погодин, Основные начала физико-химического анализа, изд. АН СССР, 1947.
8. С. Ф. Жемчужный и Ф. Рамбах, Известия СПб ПИ, 12, 349, 1909.
9. Н. С. Курнаков и С. Ф. Жемчужный, Собрание избранных работ Н. С. Курнакова, т. 1, стр. 186, 1938.
10. Я. С. Уманский, Б. Н. Финкельштейн, М. Е. Блантер, Физические основы металловедения, 1949.