ИЗВЕСТИЯ ТОМСКОГО ОРДЕНА ТРУДОВОГО КРАСНОГО ЗНАМЕНИ ПОЛИТЕХНИЧЕСКОГО Том 95 ИНСТИТУТА имени С. М. КИРОВА 1958

ЗАВИСИМОСТЬ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ПРОЧНОСТИ КРИСТАЛЛОГИДРАТОВ ОТ ВРЕМЕНИ ВОЗДЕЙСТВИЯ НАПРЯЖЕНИЯ И КРИСТАЛЛОГРАФИЧЕСКОГО НАПРАВЛЕНИЯ

К. М. КЕВРОЛЕВА

(Представлено научным семинаром по диэлектрикам)

Исследование электрической прочности кристаллогидратов от времени воздействия напряжения представляет интерес не только с точки зрения выявления процесса пробоя и определения его закономерностей, но и из-за чисто структурных особенностей кристаллогидратов. Как следует из работ К. А. Водопьянова [1, 2] и его сотрудников [3, 4], молекулы кристаллизационной воды, ориентируясь под действием внешнего поля, обусловливают собой релаксационные потери в кристаллогидратах. В зависимости от степени закрепления молекул кристаллизационной воды обнаруживается то или иное количество максимумов диэлектрических потерь в температурно-частотной зависимости tg д Величина максимума $1g^{\delta}$ определяется изменением структуры кристаллогидрата и концентрации диполей при дегидратации, вызванной условиями исследования.

На основании экспериментальных данных авторами вычислены энергия активации, время релаксации и частоты собственных колебаний молекул кристаллизационной воды. По данным К. А. Водопьянова [5] и М. П. Тонконогова [4] время релаксации диполей воды в решетке кристаллогидратов талька, медного купороса, гипса порядка 10⁻⁸ сек, частота собственных колебаний молекул кристаллизационной воды 10⁸ сек⁻¹ энергия активации молекул кристаллизационной воды (0,6—1,62) эрг.

В результате исследования необходимо было выяснить, проявляет ли себя процесс максимальной ориентационной поляризации молекул кристаллизационной воды при разной скорости воздействия напряжения в сильных полях и как это скажется на величине электрической прочности исследуемых кристаллогидратов. Образцы из кристаллов сегнетовой соли, льда, талька онотского, прессованные образцы из полугидрата гипса подвергались воздействию одиночных импульсов различной длительности в условиях однородного поля (фиг. 1—4). Как следует из фиг. 1—4, значения пробивной напряженности имеют большой разброс, поэтому ставится вопрос о статистической обработке результатов измерений [6, 7].

Наиболее близкими к истинному значению электрической прочности являются максимальные значения Е_{ир}, что соответствует 100% вероят-

26



соли от времени воздействия напряжения. Поле однородное. t = 18°C. Пробой по оси *a*.



Фиг. 2. Зависимость электрической прочности талька онотского от времени воздействия напряжения. Толщина образца 140±10% мкн. Поле однородное. t=20°C.



Фиг. 3. Зависимость электрической прочности льда речного от времени воздействия напряжения. Поле однородное. Толщина образца 180±3 мкн. Пробой в смеси спирта с углекислотой. t = - 4°C.

ности пробоя, однако случайно максимальные значения могут быть не получены, поэтому для установления зависимости мы строим кривые по значениям, соответствующим 90% вероятности пробоя.



В ряде случаев (фиг. 5) ход зависимости Е_{пр}, построенной по вероятности пробоя 100% и 90%, отличается весьма незначительно. На фиг. 6 представлена зависимость электрической прочности кристаллогидратов от времени воздействия напряжения, построенная по вероятности пробоя, равной 90%.



Фиг. 5. Вольтвременная характеристика сегнетовой соли в олнородном поле при различных вероятностях пробоя.

Вольтвременные характеристики кристаллогидратов (фиг. 6) показы. вают возрастание электрической прочности при времени воздействия напряжения 10⁻⁷ сек и меньше, что следует отнести за счет запаздывания разряда, которое определяется временем формирования разряда при данных условиях [7]. Результаты по определению максимального и минимального времени формирования разряда τ , средней максимальной и минимальной скорости распространения разряда при разных величинах перенапряжения поля U сведены в таблицу 1.

	Т	a	б	Л	И	Ц	а	1
--	---	---	---	---	---	---	---	---

пп.	Исстетуеный	а- ние	Время воздействия напряжения (3-8) 10 ⁻⁸ сек					
ž	диэлектрик	рен яже % %	τ _{cp} 10	⁻⁸ сек	V _{ср} 106 см/сек			
ž		а Па Па	максим.	миним.	максим.	миним.		
1	Сегнетовая соль d = 0,150 мм	• 29,1	1,67	0,67	2,24	0,9		
2	Тальк онотский d ₁ = 0.140 <u>+</u> 10% мм	50	1,91	1,41	1,15	0,79		
	$d_2 = 0,180 \pm 10\%$ мм	57	1,68	0,72	2,5	1,0 7		
3	Гипс полугидрат (прессованный)							
	d = 0,180 мм	18,8	2,18	0,36	4,17	0,69		

Наблюдаются следующие закономерности.

1. Время формирования разряда в кристаллогидратах такого же порядка как и в безводных щелочно-галоидных кристаллах и равно 10⁻⁸ сек [7] (исследование проводилось в однотипных условиях).



 Фиг. 6. Зависимость электрической прочности кристаллогидратов от времени воздействия напряжения.
1--тальк онотский, 2-лед, 3-сегнетовая соль, 4-гипс прессованный.

2. Скорость распространения разряда порядка 10⁻⁶ см/сек и увеличивается для одного и того же материала с увеличением перенапряжения поля.

3. Прессованные образцы полугидрата гипса в результате большей неоднородности структуры имеют большой разброс в скорости распространения разряда.

Анализ вольтсекундных характеристик кристаллогидратов показывает, что молекулы кристаллизационной воды не проявляют себя при малых временах воздействия напряжения 10 ⁶ сек и меньше и, вероятно, облегчают тепловой пробой при длительном времени воздействия напряжения (10⁻¹ сек), постоянном и временном токе (тальк онотский). Отмеченное положение не является общим для всех кристаллогидратов. Пробой слюды и на постоянном и на импульсном напряжении носит электрический характер.

Эффект максимальной ориентационной поляризации диполей под действием поля определенной частоты не мог быть выявленным, так как время релаксации молекул кристаллизационной воды, по данным К. А. Водопьянова, одного порядка с временем запаздывания разряда в кристаллогидратах по нашим данным, и эффект формирования разряда да является более определяющим для величины электрической прочности.

Зависимость электрической прочности кристаллогидратов от кристаллографического направления снималась на образцах сегнетовой соли и эпсомита.

Исследуемые в настоящей работе кристаллогидраты MgSO₄. 7H₂O, KNaC₄H₄O₆ · 4H₂O анизотропны. Анизотропия проявляется в неодинаковых скоростях роста, неодинаковых силах сцепления в различных направлениях, в способности кристаллов раскалываться по плоскостям, параллельным определенным плоским сеткам кристаллической решетки, а также в разных значениях теплопроводности, показателя преломления света, упругости [8].

На фиг. 7, 8 представлены фотографии исследуемых кристаллов с указанием направлений, по которым определялась электрическая прочность.



Фиг. 7. Кристалл сегнетовой соли KNaC₄H₄O₆·4H₂O. Исследование проводилось в плоскости осей *а*, *в*, и *с*.

К изотроцному или анизотропному типу относится электрическая прочность как физическое свойство, должен показать эксперимент.

Электрическая прочность эпсомита MgSO₄· 7H₂O в наших опытах определялась вдоль грани m, перпендикулярно ей и по плоскости спайности (направление, параллельное плоскости в). По первым двум нап-



Фиг. 8. Кристаллы эпсомита MgSO₄ · 7H₂O. Электрическая прочность определялась вдоль грани m, перпендикулярно ей и по плоскости спаянности (направление, параллельное плоскости в).

равлениям кристаллы разрезались мокрой ниткой (фиг. 9), по последнему — раскалывались. Пробой производился на импульсном напряжении = 10⁻⁶ сек, в условиях однородного и неоднородного поля в трансформаторном масле. Форма образцов представлена на фиг. 10. Зависимость электрической прочности эпсомита от кристаллографического направления, как показывает фиг. 11, не обнаружена.

Независимость пробивной прочности кристаллов от кристаллографического направления (по предположению А. А. Воробьева и Е. К. Завадовской [9]) объясняется тем, что в толстых слоях диэлектрика пробой развивается на микроскопически малых участках по направлению, по которому облегчено движение электронов.

В толстых слоях диэлектрика, независимо от кристаллографического направления, пробой развивается всегда в направлении, вдоль которого электрическая прочность будет наименьшей. Только для тонких слоев диэлектрика, толщина которого будет сравнима с длиной свободного пути электрона, возможно будет обнаружить зависимость электрической прочности от кристаллографического направления.

Определение зависимости электрической прочности сегнетовой соли от кристаллографического направления представляет интерес, так как сегнетова соль обладает резкой анизотропией.

Все сегнетоэлектрические свойства, а именно: спонтанная поляризация в пределах температур (—18) — (+24)°С, пьезоэлектрический эффект, недостижимый у других известных веществ, скачок теплоемкости, нелинейная зависимость поляризации от напряженности поля и другие свойства имеют место только вдоль кристаллографической оси *а*.



Фиг. 9. Станок для резки кристаллов мокрой ниткой. *аа* — шланг для подачи воды и стока воды,

- *в* трубчатый обогреватель,
- с бесконечная нить,

d-гребенки для направления нити и крепления образца,

е- ведущий валик с канавками, задающими ширину образца.



Фиг. 10. Форма образцов для определения зависимости Епр от кристаллографического направления в условиях однородного и неоднородного поля.





В литературе имеются противоречивые данные о величине электрической прочности сегнетовой соли в зависимости от кристаллографического направления.

По данным Н. А. Приходько [10], электрическая прочность сегнетовой соли в неоднородном поле на переменном токе зависит от кристаллографического направления, причем по оси «а» прочность в 2 раза ниже, чем по осям в и с. Автор связывает это с высоким значением диэлектрической проницаемости по этой оси.

Б. В. Горелик [11] не наблюдал зависимости электрической прочности от кристаллографического направления.

Мы провели систематическое исследование электрической прочности сегнетовой соли по разным кристаллографическим направлениям в зависимости от длительности приложенных импульсов, вида напряжения [12].

В дополнение к прежним исследованиям мы определили электрическую прочность по оси *а* и *в* в условиях однородного поля при длительности импульса 10^{-} сек, так как эффект структуры должен наиболее полно выявиться при коротких временах, и в условиях неоднородного поля на импульсном напряженин $\tau_{\phi} = 10^{-6}$ сек. Как следует изфиг. 12 и 13, зависимость электрической прочности от кристаллографического







Фиг. 13. Электрическая прочность сегнетовой соли для разных кристаллографических направлений в неоднородном поле. ($\pm \mathcal{A}$). Пробой на импульсах 10 - 6сек $T = 20^{\circ}$ С, толщина образцов 0,200 мм осось а, $\Delta - 0$ сь в

направления при рассмотренных условиях воздействия напряжения не обнаружена.

Таким образом, экспериментально не обнаружено зависимости электрической прочности от кристаллографического направления для

кристаллогидратов эпсомита и сегнетовой соли в условиях однородного и неоднородного полей на импульсном напряжении длительностью 10 6 сек. Для сегнетовой соли зависимость Етр от кристаллографического направления не обнаружена также при длительности импульса 10^{-4} -10 - сек и постоянном токе.

Выводы

1. Молекулы кристаллизационной воды не проявляют себя в сильных полях при воздействии одиночных импульсов длительностью 10⁻⁶сек и меньше. Зависимость электрической прочности кристаллогидратов сегнетовой соли, талька онотского, льда речного от времени воздействия напражения имеет вид пологих кривых при временах воздействия 10⁻⁻⁶, 10⁻⁻⁵, 10⁻⁻⁴ сек со значительным подъемом при длительности импульса 10-7 сек и меньше. Электрическая прочность талька, сегнетовой ссли на постоянном и переменном напряжении значительно ниже, чем на импульсном.

2. Время формирования и скорость распространения разряда в кристаллогидратах сегнетовой соли, талька онотского такого же порядка, как и в безводных щелочно-галондных кристаллах, и равны соответственно 10⁻⁸ и 10⁻⁶ см/сек. Скорость распространения разряда в кристаллогидратах увеличивается при увеличении перенапряжения.

3. Эффект ориентационной поляризации диполей под действием поля определенной частоты не смог быть выявленным, так как время релаксации молекул кристаллизационной воды одного порядка с временем формирования разряда в кристаллогидратах.

4. Не обнаружена зависимость электрической прочности монокристаллов KNaC4H4O6 4H2O и MgSO4 7H2O от кристаллографического направления в условиях однородного и неоднородного полей. Пробой производился на импульсном напряжении разной длительности и постоянном токе.

ЛИТЕРАТУРА

Водопьянов К. А. ЖТФ. 19, 1067, 1949.
Водопьянов К. А. ДАН СССР, 84, 919, 1952.
Изергин А. П. Тр. СФТИ, вып. 30, стр. 181, 1950.
Тонконогов М. П. Изв. Томского политехн. ин-та, том. 91, стр. 287, 1956.
Водопьянов К. А. ЖТФ. том XXIV, вып. I, стр. 216, 1954.
Зингерман А. С. ЖТФ, 18, 1029, 1948.
Воробьев Г. А. ЖТФ, том 30, вып. 2, стр. 256, 1956.
Шубников А. В. Образование кристалов. Излание Акал. нам. СССР. 1047.

8. Шубников А. В. Образование кристаллов. Издание Акад. наук СССР, 1947. 9. Воробьев А. А., Завадовская Е. К. Электрическая прочность твер-дых диэлектриков. Москва, стр. 38. 1956. 10. Приходько Н. А. Труды СФТИ том VI, вып. 2, 1942. 11. Горелик Б. В. Ж. ТФ том Х, вып. 5, стр. 369, 1940.

allowers that a second second

12. Кевролева К. М. ЖТФ, том XXVII, вып. 10, стр. 2243, 1956.

Следует читаль Crp. Строка Напечатано 3 10+6 10 - 611 сн. 9 св. 9 5.10-9 сек 5.10-9 cek 11 $2 \div 3.10_8 - ce\kappa$ 2 -:- 3.10-8 cek 1 св. $\overline{29}$ 10-6 см/сек 106 CM/Cek 6 сн. 292 сн. большой больший 10-6 сек 30 3 св. 10 6 cek 326 сн. спаянности спайности 10-8 CrK 33 17 св. 10 - сек 343 cb. 10-6 CEK 10 6 cek 344,5 cB. 10-4 - 10-1 cek 10 4 - 10- cek 34 19 cs. 10-8 н 10-6 см сек 10-8 сек и 10° смлеек В конце фигурной скобки следует - 1. 56 форм. 9 65 3 сн. форму формулу 91 5 св. 1350 ом и R $_{\rm T} = 30$ ком R_{T} 1350 OM RT 30 KOM 107 6 св. $\tau = 10 - c e \kappa$ $\tau = 10^{-6} ce\kappa$ 109 16 сн. образцов микротвердости образцов 111 4 CH. E Enp 112 поле неоднородное энг. 9. 5 **св**. поле однородное Винчелл 116 12 сн. Винчелла спайность 1237 CE. спаянность 128 32 ¢B. 90 мол ч/о 40 мол 0 п 170 1 сн. тангенса ангенса 217При введении примесей типа 15-сн. При введении примесей в твердые растворы типа внедрения внедрения 21824 св. Определялась зависимость Измерялась зависимость 219 8 св. бромистый калий хлористый рубидий 219 22 сн. хранения монокристаллов хранения из монокристаллов В точке начала координат слева по оси 19 с следует 220фиг. 2 поставить - 12 выражение ыражение 2284 св. тогда 2285 св. огда фарфора арфора 2286 св. в каркасном 2287 св. каркасном детальной етальной 2288 св. катушек гатушек 2**2**8 16 св. C_{g} Cg228форм. З Из диаграммы плавкости Из фиг. 1 242 2 сн. рентгенограммы сплава смещены рептгенограммы смещены 24411—12 сн. с ионизированным 25124 св. с ионизованном ионизирующих монизирующих 301 7 сн. 50-процентного 302 -процентного 18 сн. 950 плотности монокристалла -95% монокристалла 306 9 cu. 11 группы 325 группы 24 сн. $10^7 - 10^8 \ cm/cek$ 107 — 108 ом сек 332 6 сн. "438 – 1 " "ИЗВ—1" 34**3** 1 сн. Co.. 8 сн. Co 394

опечатки

ŧ.