

## ОБ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ПРОЧНОСТИ КРИСТАЛЛОВ СЕГНЕТОВОЙ СОЛИ

К. М. КЕВРОЛЕВА

В литературе имеются неполные и противоречивые сведения об электрической прочности сегнетовой соли.

По данным Приходько Н. А. [1], электрическая прочность сегнетовой соли в неоднородном поле на переменном токе зависит от кристаллографического направления, причем по оси  $a$  прочность в 2 раза ниже, чем по осям  $b$  и  $c$ . Это автор связывает с высоким значением диэлектрической проницаемости по этой оси.

Б. В. Горелик [2] исследовал электрическую прочность сегнетовой соли на постоянном, переменном, импульсном напряжениях в условиях однородного и неоднородного поля при атмосферном давлении, помещая образцы в трансформаторное масло и в сжатый воздух при давлении 5–10 атмосфер.

Б. В. Горелик получил следующие значения электрической прочности сегнетовой соли, равные на импульсах длительностью  $10^{-5}$  сек—310 кв/см в неоднородном поле, на постоянном токе в трансформаторном масле—610 кв/см, на переменном напряжении—50 Hz—70 кв/см.

При этом не наблюдалась зависимость  $E_{пр}$  от температуры и кристаллографического направления. Мы провели систематическое исследование электрической прочности сегнетовой соли. Отсутствие определенных данных о временах релаксации диполей сегнетовой соли вызвало интерес к зависимости электрической прочности от времени воздействия напряжения.

Методика определения электрической прочности сегнетовой соли заслуживает особенное внимание.

1. Сегнетова соль резко анизотропна по своим свойствам, имеет аномально высокое значение диэлектрической проницаемости по оси „ $a$ “.

По данным И. В. Курчатова [3], высокое значение диэлектрической проницаемости по оси  $a$  сохраняется и в сильных полях. По исследованиям Б. В. Горелика [2], значение диэлектрической проницаемости по оси  $a$  в полях, близких к пробивным, снижается и становится близким к значениям по осям  $b$  и  $c$ , а именно, диэлектрическая проницаемость по оси  $a$  при напряженности поля 600 кв/см, по данным Б. В. Горелика [2], равна 12, а по осям  $b$  и  $c$ , по данным Мезона [4], соответственно равна 8 и 9 единицам.

2. Сегнетова соль является кристаллогидратом, содержащим 4 молекулы кристаллизационной воды, которые по предположениям Фаулера [4] являются ответственными за аномальные свойства сегнетовой соли. При температуре  $55,6^{\circ}$  происходит плавление сегнетовой соли в кристаллизационной воде.

Наши исследования, кроме снятия температурной зависимости электрической прочности сегнетовой соли, производились при температурах

14—18°C и относительной влажности воздуха 78—81%, что соответствует области влагоустойчивости кристаллов.

Пробой производился в условиях однородного поля, что обеспечивалось формой образца.

Радиус лунки превышал толщину образца в самом тонком месте в 25—40 раз, тем самым полностью выполнялось условие создания однородного поля.

Кристалл распиливался мокрой нитью на пластины перпендикулярно осям  $a$ ,  $b$  и  $c$ . Лунка в образце создавалась специальным сверлом, полировка ее производилась деревянной шарошкой с ватой, смоченной ненасыщенным раствором сегнетовой соли при комнатной температуре.

Доводка толщины производилась шлифованием на мокром материале, натянутом на гладкую поверхность. Измерение толщины производилось дважды: толщиномером с точностью до 0,01 мм при первоначальной обработке и на вертикальном оптиметре марки ИЗВ—1 с точностью отсчета до 1 микрона при окончательном измерении. После измерения образцы просматривались в проходящем свете и выборочно под микроскопом.

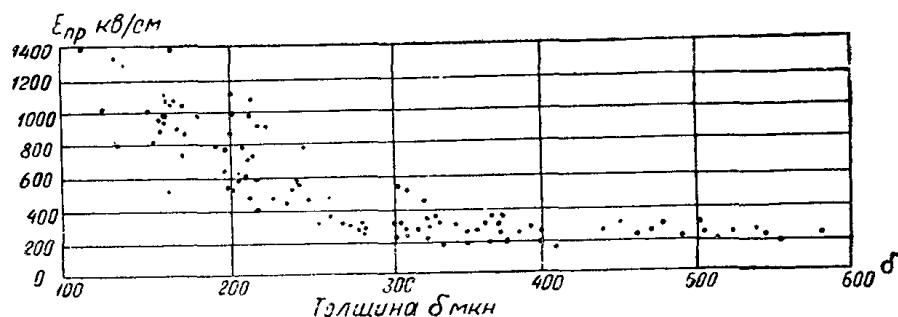


Рис. 1. Зависимость электрической прочности ( $E_{пр}$ ) сегнетовой соли от толщины образцов  
Ось  $a$ .  $\tau = 10^{-6}$  сек.  $t = 18^\circ$ .

Электроды на образец наносились испарением металла (олова) в вакууме при разрядении  $10^{-4}$ — $10^{-5}$  мм ртутного столба. Это обеспечивало плотный контакт высоковольтного электрода с кристаллом, что непосредственно проверялось тестером, один вывод которого присоединялся к сферическому высоковольтному электроду, а другой—к слою металла, выходящему за пределы лунки.

Пробой при температурах выше 0°C производился в трансформаторном масле, а при отрицательных температурах (ниже 0°C) в спирте в термостате, снабженном терморегулировкой. Пробивное импульсное напряжение измерялось при помощи электронного осциллографа, а на постоянном и переменном токе—электростатическим вольтметром С-96.

На рис. 1 и 2 представлена зависимость электрической прочности кристаллов сегнетовой соли, разрезанных перпендикулярно оси  $a$ , от толщины образца.

Упрочнение в более тонких образцах, а также увеличение разброса в пределах 110—220 микрон объясняется неоднородностью сегнетовой соли. В последующих опытах были взяты равнозначные интервалы толщин, а именно: при снятии температурной зависимости 160—180 микрон, при снятии вольтсекундных характеристик 140—200 микрон.

На рис. 3 приведена зависимость электрической прочности от температуры.

На рис. 4 и 5 представлены изменения электрической прочности при разных вероятностях пробоя, построенные для различных кристаллографи-

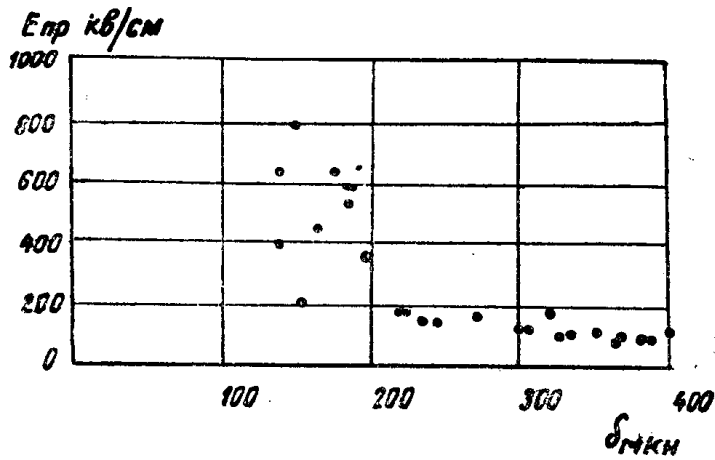


Рис. 2. Зависимость  $E_{пр}$  сегнетовой соли от толщины образца на постоянном токе; ось  $a$ . Диаметр лунки образца 10 мм;  $t = 18^\circ$ .

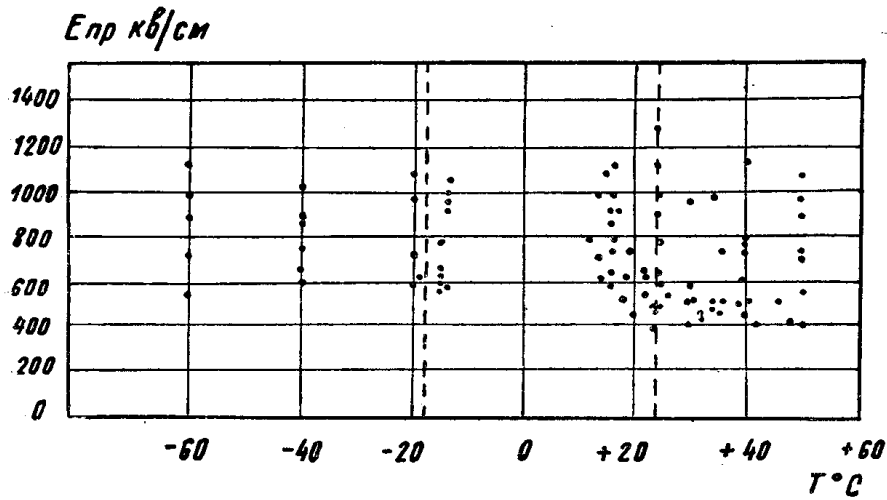


Рис. 3. Зависимость  $E_{пр}$  сегнетовой соли от температуры на импульсном напряжении;  $\tau = 10^{-6}$  сек.

Пробой по оси  $a$ . Поле равномерное.

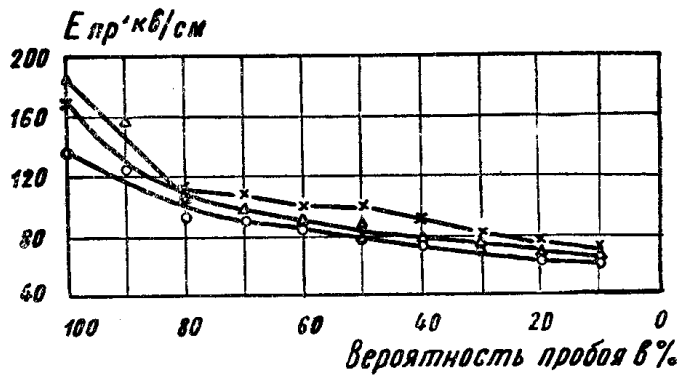


Рис. 4. Электрическая прочность сегнетовой соли для разных кристаллографических направлений на постоянном токе. Поле близкое к однородному. Толщина образца  $0,25 \div 0,50$  мм. Температура  $= 20^\circ\text{C}$ ,  $x$  — ось  $a$ ;  $\Delta$  — ось  $b$ ;  $o$  — ось  $c$ .

ческих направлений. Из этих результатов не видно, чтобы пробой развивался предпочтительно по какому-либо кристаллографическому направлению. Как быстро происходит процесс поляризации в сегнетовой соли, успевает ли произойти ориентация доменов за время воздействия импульсного напряжения, как отразится это на электрической прочности?

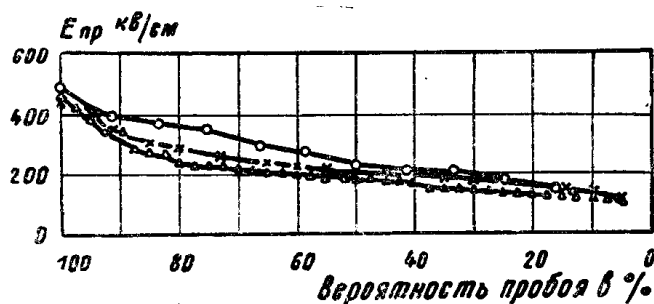


Рис. 5. Электрическая прочность сегнетовой соли для разных кристаллографических направлений на импульсах  $10^{-6}$  сек. Поле близкое к однородному. Толщина образца  $0,25 \pm 0,50$  мм. х--ось *a*; Δ—ось *b*; о—ось *c*.

На эти вопросы мы пытались найти ответ, снимая вольтсекундные характеристики сегнетовой соли на импульсах длительностью  $10^{-4}$ ,  $10^{-5}$ ,  $10^{-6}$ ,  $10^{-7}$  сек.

Рис. 6 представляет зависимость электрической прочности от времени воздействия напряжения. Вольтсекундные характеристики снимались для всех трех направлений.

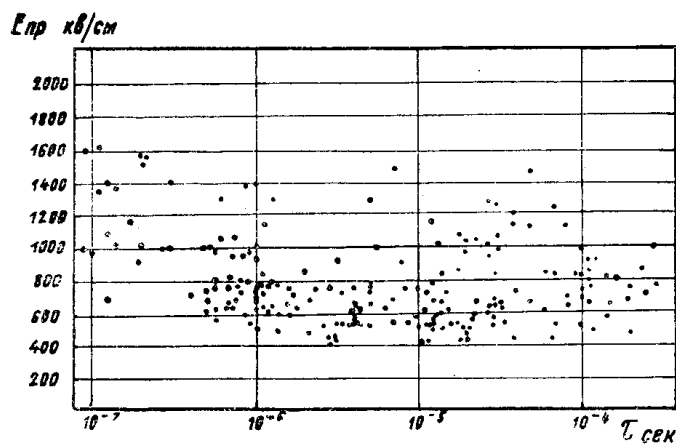
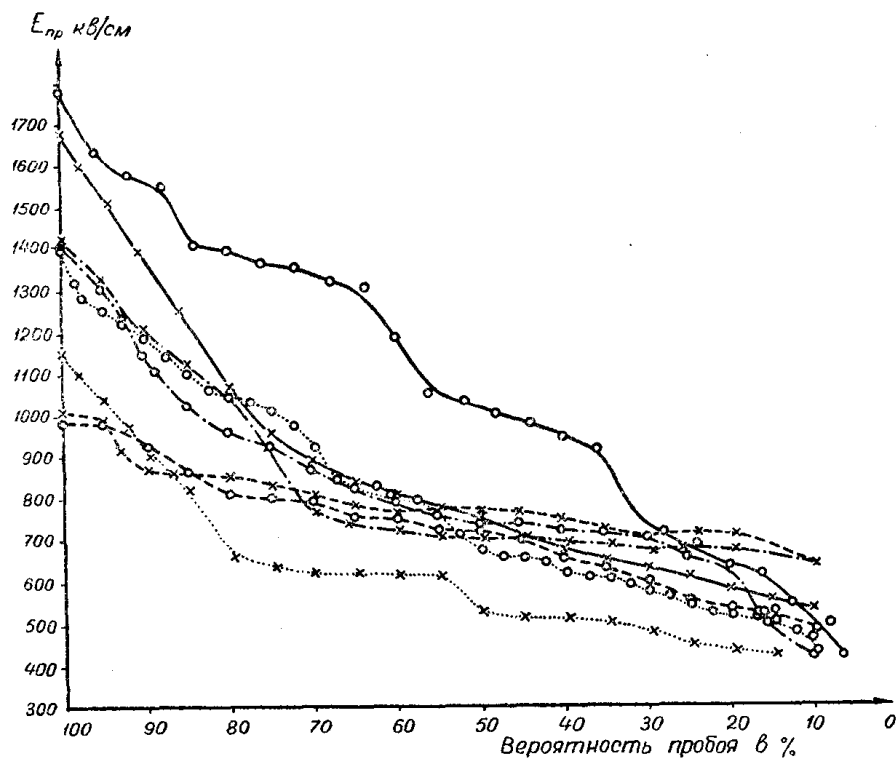


Рис. 6. Вольтсекундная характеристика сегнетовой соли на импульсах в однородном поле. Температура  $18^\circ\text{C}$ .

Аналогично данным Г. А. Воробьева [5] для щелочно-галогидных кристаллов отмечается повышение электрической прочности сегнетовой соли при уменьшении длительности импульса до  $10^{-7}$  сек, что следует отнести за счет запаздывания формирования разряда.

Как и при длительности импульса  $10^{-6}$  сек, так и при остальных временах воздействия зависимости электрической прочности от кристаллографического направления не наблюдалось.

На рис. 7 представлены результаты статистической обработки вольт-секундной характеристики сегнетовой соли для оси *a* и осей *b* и *c*.



Статистическая обработка вольтсекундной характеристики сегнетовой соли по осям *a* и *bc*

Ось <i>a</i>	$10^{-7}$ ○—○	Ось <i>bc</i>	$10^{-7}$ ×—×
	$10^{-6}$ ○—○		$10^{-6}$ ×—×
	$10^{-5}$ ○—○		$10^{-5}$ ×—×
	$10^{-4}$ ○—○		$10^{-4}$ ×—×

Рис. 7.

## Результаты опытов

1. Электрическая прочность сегнетовой соли на импульсах и постоянном токе уменьшается с увеличением толщины образца.

2. Электрическая прочность сегнетовой соли не зависит от температуры в интервале от  $+50$  до  $-60^{\circ}\text{C}$ , и не наблюдается каких-либо изменений электрической прочности в верхней и нижней точках Кюри ( $-18$  и  $+24^{\circ}\text{C}$ ).

3. Электрическая прочность сегнетовой соли не зависит от кристаллографического направления как на постоянном токе, так и при длительности воздействия одиночных импульсов  $10^{-7}$ ,  $10^{-6}$ ,  $10^{-5}$ ,  $10^{-4}$  сек.

4. Электрическая прочность сегнетовой соли повышается при уменьшении времени воздействия импульсного напряжения.

5. Несмотря на наличие в сегнетовой соли 4 молекул кристаллизационной воды, электрическая прочность ее высока и равна в однородном поле  $1300$  кВ/см при времени воздействия одиночных импульсов  $10^{-6}$  сек.

В заключение приношу глубокую благодарность профессору доктору А. А. Воробьеву, под научным руководством которого выполнена настоящая работа, и сотрудникам кафедры Г. А. Воробьеву и А. М. Трубицыну

за обсуждение результатов работы и пользование собранными ими высоко-  
вольтными установками.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Приходько Н. А. Труды СФТИ, т. VI, вып. 2, 1942.
2. Горелик Б. М. ЖТФ, том X, вып. 5, 1940.
3. Курчатов И. В. ЖТФ, том I, вып. 121, 1931.
4. У. Кэдди „Пьезоэлектричество и его практическое применение“.  
Издание И. Л., 1949.
5. Воробьев Г. А. ЖТФ, том XXX, вып. 2, 1956.

Томский политехнический  
институт

---