

**ИССЛЕДОВАНИЕ ВРЕМЕНИ ЗАПАЗДЫВАНИЯ РАЗРЯДА
В ИОННЫХ КРИСТАЛЛАХ НА ГРАНИЦЕ СМЕНЫ МЕХАНИЗМА
РАЗРЯДА**

Л. Г. НЕКРАСОВА

(Представлена научным семинаром НИИ ВН)

В Томском политехническом институте длительное время изучается механизм развития разряда в твердых диэлектриках. На основании проведенных исследований разработаны две схемы развития разряда в «толстом» и «тонком» слое [1].

Число электронов в лавине

$$n_{\text{э}} = 2 \frac{d}{\lambda_{\text{и}}},$$

где d — толщина диэлектрика,

$\lambda_{\text{и}}$ — длина пробега между ионизационным столкновением.

При достаточно большом d количество объемного заряда у анода от одной лавины достаточно для зарождения стримера, приводящего к пробое. Пробой осуществляется одной лавиной электронов, такой механизм получил название лавинностримерного.

В «тонком» слое количество объемного заряда у анода после прихода одной лавины может не достигнуть критической величины, необходимой для развития стримера.

В этом случае пробой происходит лишь после прихода в малую область на аноде нескольких электронных лавин, создающих положительный объемный заряд у анода, приводящий к образованию стримера. Такой механизм разряда получил название многолавиностримерного. Для его развития требуется определенное время — время накопления объемного заряда, которое определяет время запаздывания пробоя, и в тонком слое диэлектрика оно может быть значительным.

На основании исследования времени развития разряда в щелочно-галогидных соединениях [1] построена зависимость времени разряда в кристаллах от толщины (рис. 1). Скачкообразное изменение времени разряда при толщине $d_{\text{кр}} \approx 10^{-3}$ см является результатом смены механизма разряда. Большая величина времени разряда при толщине $10^{-3} - 10^{-4}$ см свидетельствует о многолавином механизме разряда, что подтверждается также снижением пробивного напряжения с увеличением интенсивности облучения катода [2]. Исследованиями времени запаздывания разряда $t_{\text{зап.}}$ в тонких слоях ионных кристаллов [3] $d \approx 10^{-3}$ см получено $t_{\text{зап.}}$ порядка нескольких микросекунд и полу-

чено уменьшение времени запаздывания разряда с увеличением перенапряжения β (рис. 2), где

$$\beta = \frac{U}{U_{ст}},$$

$U_{ст}$ — статическое напряжение пробоя, соответствующее вероятности пробоя $\psi = 90\%$.

При однолавином механизме развития разряда при $d = d_{кр}$ не было непосредственно измерено время развития разряда, оно предполагалось равным 10^{-8} сек (рис. 1). Нами была сделана попытка измерения времени развития разряда при однолавином и многолавином меха-

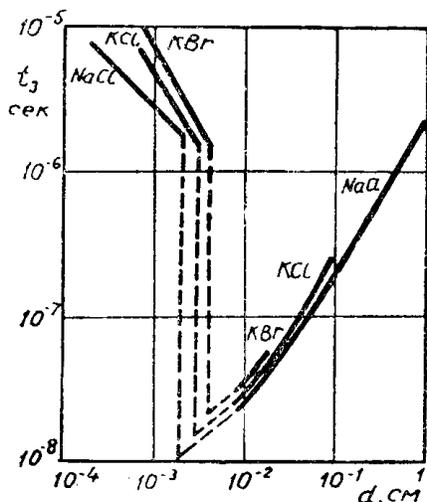


Рис. 1. Зависимости времени разряда в кристаллах NaCl, KCl и KBr от толщины.

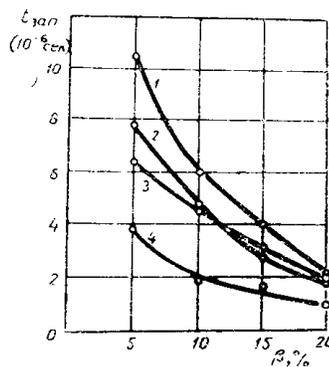


Рис. 2. Зависимость времени запаздывания разряда $t_{зап}$ от перенапряжения β : 1 — KBr, $d = 7$ мк; 2 — KBr, $d = 10$ мк; 3 — NaCl, $d = 6,15$ мк; 4 — NaCl, $d = 11,5$ мк.

низма развития разряда при толщине, близкой к критической, с целью подтверждения разрыва во времени на несколько порядков, обусловленного сменой механизма разряда.

Методика исследований

Образцы каменной соли толщиной $d \cong d_{кр} = 30$ мк с жидкостными электродами, изготовленные по методике [4], исследовались на прямоугольных импульсах напряжения с длительностью фронта порядка $5 \cdot 10^{-7}$ сек, полученных с помощью одноступенчатого генератора импульсов.

Время пробоя измерялось от начала импульса до момента пробоя по осциллограммам, полученным на высоковольтном электронном осциллографе при перенапряжении на образце, равном 5%.

Величина перенапряжения определялась как

$$\beta = \frac{U_2 \cdot 100}{U_1 + \frac{\Delta U}{2}} \%,$$

где U_1 — амплитуда импульса, еще не вызывающего пробоя образца; U_2 — амплитуда импульса, при котором произошел пробой.

Амплитуда напряжения определялась зарядным напряжением ГИН(а). На каждый образец подавалось не более 2—3 импульсов с последовательно возрастающей амплитудой.

Исследованиями [5] показано, что подача предварительных импульсов напряжения амплитудой ниже пробивной при жидкостных электродах не влияет на электрическую прочность твердых диэлектриков. Из пробитой партии образцов в количестве $n=54$ учитывались образцы, в которых пробой осуществлялся на плоской части. Для измерения времени разряда при многолавином механизме использовался высоковольтный электронный осциллограф с длительностью временной развертки 25 мксек.

Значения $t_{\text{зап}}$ для партии в $n=54$ образца статистически обрабатывались (рис. 3). В результате исследования для многолавиностримерного механизма пробоя для NaCl при $d=30$ мк и $\beta=5\%$ получено $t_{\text{зап}} = 3,4$ мксек.

При исследовании $t_{\text{зап}}$ из всей партии образцов в количестве $n=54$, $n_1=14$ образцов пробивались на фронте импульса с малым временем запаздывания разряда $t_{\text{зап}} \leq 5 \cdot 10^{-7}$ сек.

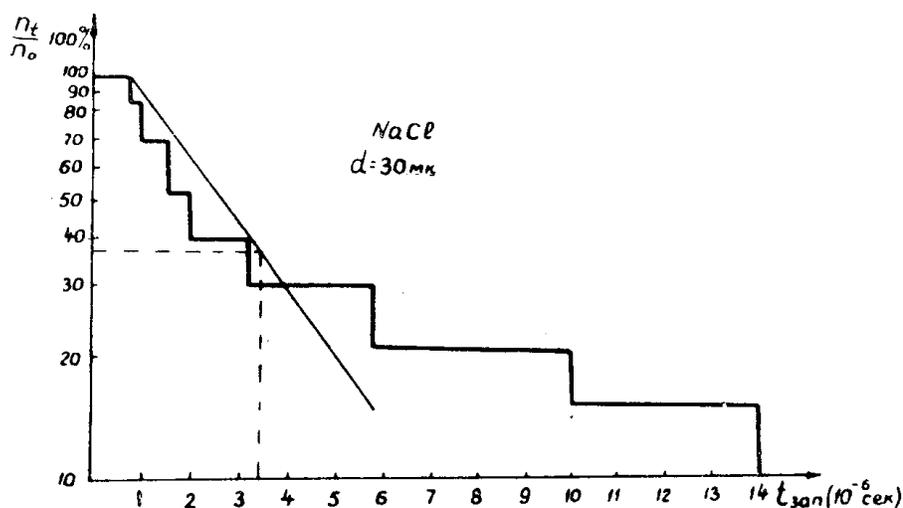


Рис. 3. Статистическая обработка времени запаздывания.

Малое время запаздывания свидетельствует об однолавином механизме разряда; так как за время, меньшее 10^{-6} сек, многолавиный механизм не успеет развиваться, и пробой осуществляется при большей напряженности поля за счет образования одной мощной лавины.

Для определения времени пробоя при однолавином механизме мы изменили параметры импульса — укоротили фронт до $5 \cdot 10^{-9}$ сек.

Схема установки, выполненная по типу, разработанному в Томском политехническом институте [6], показана на рис. 4.

В качестве формирующего элемента импульсов был использован коаксиальный кабель типа РК-3. Коммутирующий разрядник помещен в камеру с азотом под давлением 8 ат. Данный генератор позволял получать одиночные импульсы с длительностью фронта порядка $5 \cdot 10^{-9}$ сек и амплитудой, соответствующей половине зарядного напряжения.

Время пробоя определялось как разность между моментом пробоя образца по осциллограмме пробоя и моментом прихода импульса на короткозамкнутую нагрузку, фиксирующееся на осциллографе. Так как образец и делитель, подключаемый к ПЯ осциллографа, отстоят друг от друга, необходим учет этого фактора. Исследования показали, что

из партии исследованных образцов в количестве $n = 59$ часть $n_1 = 31$ пробивалась на фронте, остальные n_2 — за экраном осциллографа. В этих образцах осуществлялся, по всей вероятности, многолавино-стримерный механизм разряда с большим временем запаздывания.

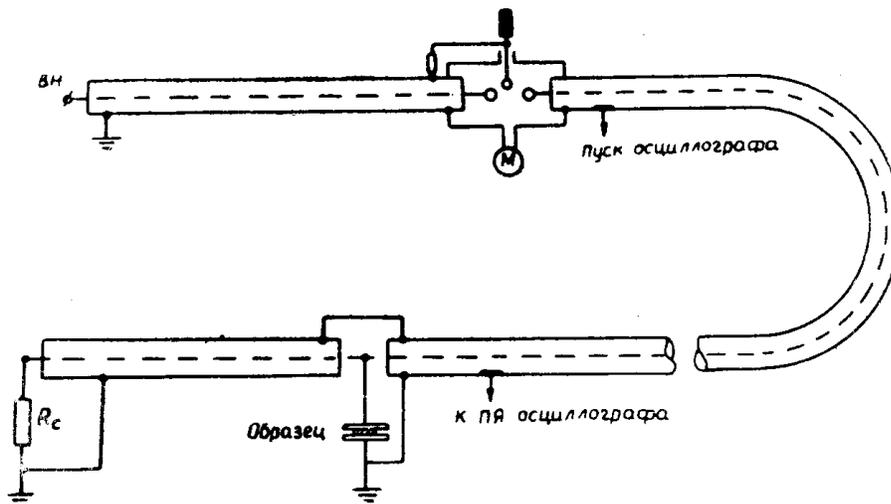


Рис. 4. Схема установки для исследования $t_{\text{зап}}$.

По нашим исследованиям, время развития разряда при однолавином механизме разряда составляло не больше длины фронта импульса, т. е. меньше $5 \cdot 10^{-9}$ сек. Для проверки была пробита партия образцов с большей разверткой регистрируемого импульса, равной 0,3 мксек. Получено такое же разделение во времени развития разряда.

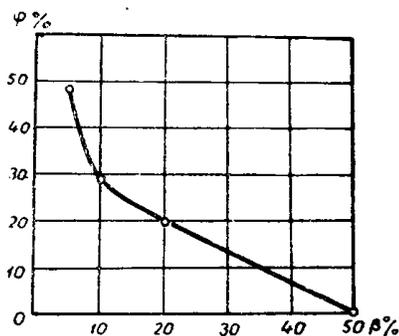


Рис. 5. Зависимость вероятности пробоя $\varphi\%$ с большим временем запаздывания от перенапряжения $\beta\%$.

Одна часть образцов пробивалась на фронте n_1 , другая n_2 — за экраном осциллографа, времени запаздывания пробоя в пределах длительности развертки 0,3 мксек не наблюдалось. Тогда перешли к исследованиям с разверткой осциллографа 0,1 мксек с целью оценить время развития разряда при однолавином механизме, которое оказалось меньше $5 \cdot 10^{-9}$ сек и измерениям $t_{\text{зап}}$ при многолавином механизме разряда с разверткой 25 мксек, которое оценено как $3,4 \cdot 10^{-6}$ сек.

Далее проведены исследования для нескольких партий образцов при перенапряжениях $\beta = 5; 10; 20; 50\%$ и оценивалась вероятность осуществления пробоя с большим временем запаздывания (многолавино-стримерный механизм).

С увеличением β количество образцов, пробивающихся на фронте, возрастает, и при $\beta = 50\%$ все образцы из исследуемой партии пробиваются на фронте импульса с временем запаздывания меньше длительности фронта импульса $5 \cdot 10^{-9}$ сек. Рис. 5 иллюстрирует характер изменения $\varphi = f(\beta)$, где $\varphi = \frac{n}{n_2} 100\%$, β — перенапряжение в %.

Наши исследования экспериментально подтверждают различие во временах развития разряда при $d \approx d_{\text{кр}}$, при одном и том же перенапряжении на образце.

В случае осуществления однолавиного механизма $t_{\text{зап}}$ меньше $5 \cdot 10^{-9}$ сек, в то время как при многолавином механизме время развития разряда оценено как 3,4 мксек. Скачкообразное изменение времени развития разряда на несколько порядков подтверждает смену механизма разряда в твердых диэлектриках.

ЛИТЕРАТУРА

1. А. А. Воробьев, Г. А. Воробьев. Радиотехника и электроника. 7, 9, 1523, 1962.
 2. Г. А. Воробьев, В. А. Кострыгин. ФТТ, 4, 3, 811, 1962.
 3. В. А. Кострыгин, Л. Т. Мурашко. Известия вузов МВ ССО СССР (Физика) 1, 169, 1961.
 4. Г. А. Воробьев, В. А. Кострыгин, Л. Т. Мурашко. Приборы и техника эксперимента. 5, 198, 1961.
 5. А. В. Баранов, М. Н. Лисецкая, И. С. Пикалова. ФТТ (в печати).
 6. Г. А. Воробьев, Г. А. Месяц. Техника формирования высоковольтных наносекундных импульсов. Госатомиздат, 1963.
-