

- [3] Bryksin V.V., Mirlin D.N., Reshina // Sol. St. Comm. 1972. V. N 11. P. 695.
- [4] Begley D.L., Alexander R.W., Ward C.A. and Bell R.J. // Surface Science. 1979. V. 81. P. 238.
- [5] Вайчикаускас В.В., Вайшкунас С., Жижин Г.Н., Малдутис Э.К., Яковлев В.А. Препринт ИФАН Лит. ССР, Вильнюс, 1987.
- [6] Ordal M.A., Bell R.J., Alexander R.W., Long L.L., Querry M.R. // Appl. Opt. 1985. V. 24. N 24. P. 4493.

Поступило в Редакцию
20 октября 1989 г.

Письма в ЖТФ, том 16, вып. 2

26 января 1990 г.

03; 04

© 1990

ИССЛЕДОВАНИЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ПРОБОЯ МАЛОГО ПРОМЕЖУТКА, ЗАПОЛНЕННОГО ДИСТИЛЛИРОВАННОЙ ВОДОЙ

Б.А. Сребров, Л.П. Дишкова,
Ф.И. Кузманова

Пробой малых промежутков, заполненных жидкостью, изучен значительно слабее, чем пробой газов и твердых диэлектриков. В литературе имеются лишь незначительные сведения по этому вопросу, к тому же относящиеся к промежутку, заполненному углеродосодержащими диэлектрическими жидкостями [1, 2, 4]. Что касается пробоя малого промежутка (\sim мкм), заполненного водой, за исключением нескольких величин [3, 5], других данных в литературе нет.

Согласно основным работам в этой области, при подобных условиях часто речь идет о электрическом пробое при высоких напряженностях поля ($> 10^5$ В/см); в этом случае источником носителей зарядов служит автоэлектронная эмиссия электронов из катода.

В настоящем сообщении приводятся результаты исследования зависимости напряжения пробоя ($U_{пр}$) от межэлектродного расстояния ($d_{пр}$) для случая сильных полей (10^6 – 10^7 В/см), получаемых при пробое межэлектродного промежутка порядка нескольких микронов, заполненного дистиллированной водой, и приложении импульсного напряжения к электродам до 10^3 В.

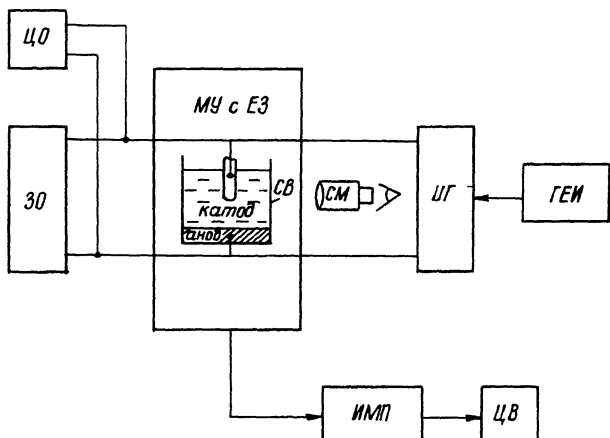


Рис. 1. Схема опытной установки.

Схема опытной установки показана на рис. 1. Она состоит из стеклянной ванны (СВ), двух электродов, расположенных в СВ, микрометрического устройства для фиксирования малых межэлектродных расстояний МУ, на котором смонтирован емкостной зонд (ЕЗ) для измерения малых межэлектродных расстояний, измерителя малых перемещений ИМП, связанного с ЕЗ; цифрового вольтметра ЦВ для отсчета значений межэлектродного расстояния, импульсного генератора ИГ, генератора единичных импульсов ГЕИ, цифрового омметра ЦО для регистрации нуля межэлектродного расстояния (электрического контакта), запоминающего осциллоскопа ЗО для регистрации $U_{пр}$, стереомикроскопа СМ для наблюдения промежутка.

Снятие зависимости $U_{пр} = f(d_{пр})$ производилось следующим образом. Устанавливалось межэлектродное расстояние $d_{пр}$ с помощью МУ, причем его значение отсчитывается при этом по ЦВ и СМ. Относительный ноль определяется предварительно с ЦО. Стеклянная ванна заполняется водой и при помощи СМ наблюдается, чтобы не образовались воздушные пузыри в разрядном промежутке. Подается единичный импульс напряжения, амплитуда которого 400 В, а продолжительность 5 мкс на разрядный промежуток. Запоминающий осциллоскоп регистрирует значение напряжения пробоя $U_{пр}$ для установленного значения $d_{пр}$.

На рис. 2 (кривая 1) показаны значения $U_{пр ср}$ и аппроксимированная к ним кривая по методу наименьших квадратов. Она описывается уравнением:

$$U_{пр} = - 2.42 + 90.57 d_{пр}^{1/2} + 12.34, \quad (1)$$

где $U_{пр}$ подставляется в В, а $d_{пр}$ в мкм.

Из полученных результатов видно, что значения $U_{пр}$ имеют большую дисперсию, но $U_{пр ср}$ сравнительно хорошо описывается

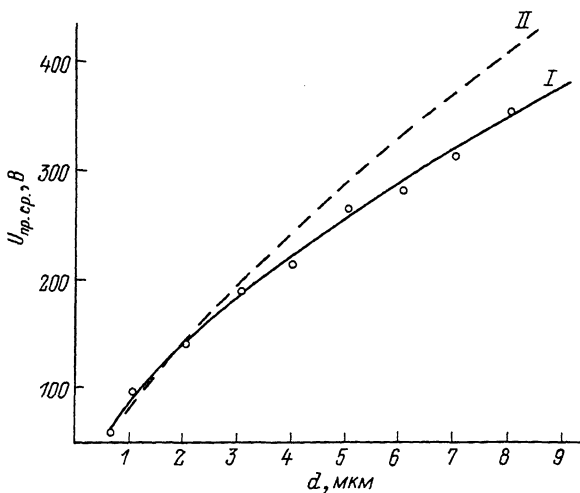


Рис. 2. Зависимость напряжения пробоя от межэлектродного промежутка. I — экспериментальная кривая для воды. II — теоретическая кривая для минерального масла.

плавно изменяющейся кривой вида (1).

На основании полученных экспериментальных результатов, а также используя данные модельного описания пробоя жидкого диэлектрика при высоких значениях напряженности электрического поля [4], можно сделать некоторые предположения в отношении механизма пробоя жидких диэлектриков для малых межэлектродных расстояний (порядка нескольких микрон).

На рис. 2 приведена также кривая II, полученная на базе работы [4], в которой исследован пробой минерального масла. Согласно [2], при чисто электрическом пробое вид жидкости не влияет существенно на напряжение пробоя. Из рисунка видно, что существует довольно хорошее совпадение полученных в настоящей работе экспериментальных данных для напряжения пробоя воды при высоких напряженностях поля с теоретически полученной кривой. Это дает основание полагать, что механизм пробоя может быть описан следующим образом. Вначале, перед наступлением пробоя, в результате высокой напряженности поля получается начальный предпробойный автоэмиссионный ток из катода. В результате ионизационных столкновений электронов с молекулами воды образуется электронная лавина, которая движется от катода к аноду. При достижении критического значения плотности тока (около 10^3 А/см²) лавина формирует разряд с довольно большим током и сравнительно низким катодным падением потенциала.

Количественно пробой тонкого слоя жидкого диэлектрика коротко можно описать следующим образом.

Плотность автоэмиссионного тока определяется из выражения

$$j_K = \alpha E_K^2 e^{-\delta/E_K}, \quad (2)$$

где E_K — напряженность поля у катода; α и δ — константы.

Коэффициент объемной ионизации α в этом случае выражается через E_K следующим образом:

$$\alpha = \alpha_0 E^n, \quad (3)$$

где n и α_0 — константы, зависящие от вида жидкости.

При наличии положительных и отрицательных объемных зарядов для одномерного случая из уравнения Гаусса получаются два основных уравнения пробоя [4]:

$$\alpha_0 d_{np} = \int_0^{j_a/j_K} \ln \frac{j_a}{j_K} \frac{dy}{E^n}, \quad (4)$$

$$\alpha_0 E_{cp} d_{np} = \int \ln \frac{j_a}{j_K} \frac{dy}{E^{n+2}}, \quad (5)$$

где y — переменная интегрирования, введенная в работе [4]; j_a — плотность анодного тока; j_K — плотность катодного тока.

Теоретическая кривая II (рис.2) получена путем интегрирования уравнений (4 и 5) для случая пробоя минерального масла. Хорошее совпадение этой зависимости с экспериментальными результатами, полученными при пробое тонкого слоя воды, свидетельствует о том, что пробой тонких слоев воды и минерального масла при сильных полях существенно не различаются друг от друга, т.е. их α_0 и n имеют близкие значения.

С п и с о к л и т е р а т у р ы

- [1] Н и к у р а д з е А. Жидкие диэлектрики. Л.: ОНТИ. 1936. 237 с.
- [2] С к а н а в и Г.И. Физика диэлектриков. М.: Физматгиз. 1958. 832 с.
- [3] Б а л ы г и н И.Е. Электрическая прочность жидких диэлектриков. М.: Энергия. 1964. 228 с.
- [4] К у ч и н с к и й Г.С. //ЖТФ. 1966. Т. 36. № 7. С.1297-1304.
- [5] В а н Д а й к Ф., К р у к а л Дж.Р., Г е й в е л ь м а н И.Дж., С н о у е с Р. Некоторые результаты физического исследования электроэрозионной обработки. Доклады на ISEM - 4. Братислава, сентябрь 1974, С. 68-75.

Поступило в Редакцию
4 июля 1989 г.