

24
И Н С Т И Т У Т
ЯДЕРНОЙ ФИЗИКИ СОАН С С С Р

И Я Ф 70 - 71

Д.Д.Рютов

"ДИФФУЗИОННЫЕ" ЭЛЕКТРОДЫ ДЛЯ
ИССЛЕДОВАНИЯ ПРОБОЯ ЖИДКИХ
ДИЭЛЕКТРИКОВ

Новосибирск

1971

Д.Д.Рютов

Пробой жидкостей в нелинейной области промежуточных напряжений характеризуется наличием вихревой структуры (см. рис. 1). Прочность системы, следовательно, и величина ее потерь зависят от формы электродов. В работе рассмотрены различные варианты электродов, позволяющие исследовать свойства жидкостей в области промежуточных напряжений. Показано, что вихревая структура в жидкостях характеризуется наличием вихревой структуры, которая приводит к образованию вихревой структуры. Вихревая структура характеризуется наличием вихревой структуры, которая приводит к образованию вихревой структуры.

Д.Д.Рютов

**"ДИФФУЗИОННЫЕ" ЭЛЕКТРОДЫ ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ
ПРОБОЯ ЖИДКИХ ДИЭЛЕКТРИКОВ**

В настоящей работе предлагается метод исследования пробоя жидкостей в области промежуточных напряжений. Этот метод основан на использовании в качестве электродов для тонких слоев жидкостей, в которых происходит пробой. С помощью этого метода можно исследовать свойства жидкостей в области промежуточных напряжений. В работе рассмотрены различные варианты электродов, позволяющие исследовать свойства жидкостей в области промежуточных напряжений. Показано, что вихревая структура в жидкостях характеризуется наличием вихревой структуры, которая приводит к образованию вихревой структуры. Вихревая структура характеризуется наличием вихревой структуры, которая приводит к образованию вихревой структуры.

Новосибирск
1971

"ДИФФУЗИОННЫЕ" ЭЛЕКТРОДЫ ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ ПРОБОЯ ЖИДКИХ ДИЭЛЕКТРИКОВ

Д.Д.Рютов

Пробой жидкости в не слишком толстых промежутках чаще всего начинается с поверхности одного из электродов (см., например, /1/). Причина состоит, по-видимому, в наличии на поверхности электродов различного рода микронеоднородностей, приводящих к локальному усилению электрического поля. Поэтому получаемые в соответствующих экспериментах значения пороговой напряженности электрического поля характеризуют не столько жидкость как таковую, сколько процессы, происходящие на поверхности жидкость-электрод.

В настоящей работе предлагается метод, позволяющий исключить влияние приэлектродных эффектов на пробой жидкости. Этот метод состоит в создании у поверхности каждого электрода переходного слоя с плавно спадающей в глубь жидкости проводимостью. Такой слой можно создать путем нанесения на поверхность электрода тонкой пленки вещества, при растворении которого в жидкости последняя делается проводящей^{х)}. С течением времени вследствие диффузии этого вещества в жидкость профиль проводимости станет гауссовским, что обеспечит плавность перехода между проводящей и непроводящей средами. Время диффузии $\tau_{\text{дифф}}$ (т.е. время между началом растворения и началом эксперимента по пробое) следует подбирать таким образом, чтобы эффективная толщина проводящего слоя $l \sim \sqrt{2 D \tau_{\text{дифф}}}$ существенно превышала высоту микронеоднородностей на поверхности металла, но была много меньше расстояния между электродами L . Отметим, что ранее Г.И.Будкером указывалось на возможность определенного увеличения электрической прочности жидкости путем введения незначительного количества примеси равномерно по объему жидкости.

Дальнейшие оценки мы проведем в применении к экспериментам типа /1/, в которых исследовалась электрическая прочность во-

х) Фактически соответствующую примесь можно вносить в приэлектродный слой и другими способами.

ды. В таких экспериментах $L \sim 1$ см, так что l разумно выбрать порядка 0,1 см. Для веществ типа NaCl коэффициент диффузии в воде равен примерно $3 \cdot 10^{-6}$ см²/сек, так что $\tau_{\text{дифф}} \sim l^2/2D \sim 10^5$ сек. За это время конвекционные потоки не должны перемещать жидкость, т.е. их скорость должна удовлетворять условию: $v \leq l/\tau_{\text{дифф}} \sim 10^{-4}$ см/сек.

Имея в виду, что кинематическая вязкость воды ν равна 10^{-2} см²/сек, можно оценить время затухания конвекционных движений: $\tau_{\text{вязк}} \sim L^2/\nu \sim 100$ сек. Это значит, что примесь следует вводить в воду не ранее чем примерно через 30 мин после заполнения разрядного промежутка водой.

В поле тяжести конвекционные потоки могут возникать за счет неустойчивости Рэлея-Тейлора, связанной с тем, что плотность раствора отличается от плотности чистой жидкости. Для устранения этого эффекта растворимое в жидкости вещества следует подбирать таким образом, чтобы у верхнего электрода плотность раствора была меньше плотности жидкости, а у нижнего - больше.

Приэлектродные слои могут разрушаться под действием пондеромоторных сил, возникающих при включении электрического поля. Время разрушения удовлетворяет неравенству $\tau_{\text{понт}} \geq l \sqrt{8\pi \rho^2/E^2 \delta\rho}$, где ρ - плотность жидкости, а $\delta\rho$ - разница плотностей жидкости и раствора. Для воды при $E \sim 10^7$ в/см и $\rho/\delta\rho \sim 10^2$ эта оценка даёт $\tau_{\text{понт}} \geq 10^{-4}$ сек, тогда как время развития стримера (если он вообще возникает) по данным работы [1] не превышает 10^{-6} сек, т.е. роль указанного эффекта при исследовании электрической прочности воды несущественна.

Для получения электротехнических характеристик рассматриваемой системы мы найдем её отклик на "ступенчатый" импульс напряжения

$$U(t) = \begin{cases} 0, & t < 0, \\ U_0, & t > 0. \end{cases}$$

В случае, когда электроды плоские, соответствующая задача описывается системой уравнений:

$$\begin{aligned} \frac{\partial}{\partial t} \rho(x,t) + \frac{\partial}{\partial x} \sigma(x) E(x,t) &= 0, \\ \epsilon \frac{\partial E(x,t)}{\partial x} &= 4\pi \rho(x,t), \quad \int_0^L E(x,t) dx = U(t) \\ \sigma(x) &= \sigma_0 \left\{ \exp\left(-\frac{x^2}{l^2}\right) + \exp\left[-\frac{(x-L)^2}{l^2}\right] \right\}, \end{aligned}$$

где ϵ - диэлектрическая проницаемость жидкости, σ - её проводимость, а ρ - плотность заряда. Проводимость считается не зависящей от времени (поскольку время пробоя много меньше времени диффузии). Можно показать, что плотность тока через обкладку $j \approx \sigma_0 E(0,t)$ при условии $l \ll L$ определяется формулой:

$$j = \frac{U_0 \sigma_0}{L} \left\{ e^{-\gamma t} + \frac{2l}{L} \int_0^\infty d\xi \frac{e^{-\tau e^{-\xi^2}} - e^{-\tau}}{e^{\xi^2} - 1} \right\}$$

где $\gamma = 4\pi\sigma_0/\epsilon$. При $t \gg \gamma^{-1}$

$$j \approx \frac{U_0 \sigma_0}{L} \frac{l}{L} \frac{1}{\gamma t \sqrt{\ln \gamma t}}$$

Происхождение этой медленно (неэкспоненциально) убывающей части тока обусловлено постепенным перемещением слоя, где сосредоточен пространственный заряд, вглубь жидкости. За время $t \gg \gamma^{-1}$ слой смещается на расстояние $\sim l \sqrt{\ln \gamma t}$ от поверхности электрода.

Помимо задач, связанных с исследованием электрической прочности жидкостей, применение диффузионных электродов может оказаться полезным в высоковольтных накопителях энергии с жидким диэлектриком.

Автор приносит глубокую благодарность Г.И.Будкеру за постоянную поддержку работы и А.Г.Пономаренко за обсуждение результатов.

Л и т е р а т у р а

1. А.П.Алхимов, В.В.Воробьев, В.Ф.Климкин, А.Г.Пономаренко,
Р.И.Солоухин. ДАН СССР, 194, 1052, 1970.

Ответственный за выпуск Д.Д.РЮТОВ.

Подписано к печати 16.11.71. МН 15234

Усл. 0,2 печ.л. тираж 250 экз. Бесплатно.

Заказ № 70 . ПРЕПРИНТ

Отпечатано на ротапринтере в ИЯФ СО АН СССР.вг